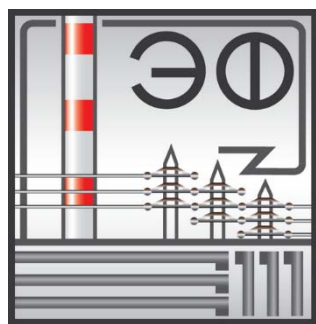


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ – 2021



Материалы студенческой
научно - технической
конференции

*Электронное научное
издание*

Минск 2021

УДК 620.9(06)

ББК 31 я 43

А 43

С о с т а в и т е л и:

Прокопеня Иван Николаевич
Петровская Татьяна Александровна

Р е д к о л л е г и я:

Пономаренко Е.Г. (пред.), Карницкий Н.Б., Фурсанов М.И., Седнин
В.А., Бладыко Ю.В., Козловская В.Б., Манцорова Т.Ф., Новаш И.В.

Р е ц е н з е н т

Директор филиала «Учебный центр подготовки и повышения
квалификации персонала РУП «Минскэнерго»
к.т.н., доцент Саранцев В.В.

В сборник включены материалы студенческой научно-технической конференции по секциям: «Электрические системы»; «Электроснабжение»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электроника и электротехника»; «Тепловые электрические станции»; «Экономика и организация энергетики»; «Электрические станции».

Белорусский национальный технический университет.
Энергетический факультет.
пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 293-92-16 Факс: 292-71 -73
E-mail: ef@bntu.by
<https://bntu.by/faculties/ef>

© Прокопеня И.Н. редак., компьютерный дизайн.

© БНТУ ЭФ, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	4
2. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ	155
3. СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА	238
4. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	381
5. СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	604
6. СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ	702
7. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	762

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

РАЗВИТИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И.С. Хитров

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»

Д.Г. Ковзова, С.С. Соловьёв

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.О. Степанюк

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А.И. Васильева

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

УСТРОЙСТВО ГРОЗОЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ

П.А. Матусевич, М.А. Шешко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

ВИДЫ И КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

М.В. Прокопович, С.А. Приснаков

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель.

ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ НАГРУЗКИ НА ТРЕХЖИЛЬНЫЕ КАБЕЛИ 6-10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Е.Б. Иселёнок

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор,

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

А.А. Киреня

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Е.В. Радюк

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Г.К. Ковтун

Научный руководитель – М.А. Короткевич, доктор технических наук

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ: НАЗНАЧЕНИЕ, ТИПЫ, ПРИНЦИП РАБОТЫ

Г.Д. Козин, С.В. Климчук

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ: НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ, ПРИНЦИП РАБОТЫ

В.В. Голуб, Е.В. Драневский

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

И.В. Ковалец, В.Н. Коршун

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель.

АУКЦИОНЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ КАК ДРАЙВЕР ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ В СТРУКТУРУ ЭНЕРГОПРОИЗВОДСТВА

М.Н. Булин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

КОНСТРУКЦИИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А.А. Бандюкевич, И.Д. Винников

Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель

СВОДКА ОБ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЯХ ВЛ И КЛ 6-10 КВ

А.В.Манько, А.А.Захарченко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА: НАЗНАЧЕНИЕ, ТИПЫ, ПРИНЦИП РАБОТЫ

П.Г. Балаш

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ ВЛ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛ 110 КВ И ВЫШЕ

П.Ю. Ратькович, Н.Ю. Подоба, Н.Е. Пурлан

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АСУТП ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВСЕМИ ПРОЦЕССАМИ

Д.Д. Соболевский

Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

М. Э. Астремский, В. В. Люцко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

**КАБЕЛИ ВОЛС (ОКГТ)- ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ И
ОБОРУДОВАНИЕ НА ПОВЫШЕННЫХ ОПОРАХ**

Е.В. Езерская, Д.П. Мерцалов

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

**ПОДДЕРЖАНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СЕТИ 10 КВ И
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТ РАЗМЫКАНИЯ ЛИНИЙ 10 КВ С ДВУСТОРОННИМ
ПИТАНИЕМ**

Е.В. Радюк, В.Д. Слесарев

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

**НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

С.В. Зеньков, К.В. Зубаревич

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

А.А. Могильницкая

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК НА
ОДНОЖИЛЬНЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ**

Т.В. Арсенович

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор

**ТРАДИЦИОННЫЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НАРУЖНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ
ИЗОЛЯЦИИ**

В.С. Вадейко, Е.В. Куделько, Н.С. Болтуть

Научный руководитель – Петрашевич Н.С., старший преподаватель.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В.Н. Коршун, И.В. Ковалец, Г.Н. Загрузин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

**ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПО РАЗРЫВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОЛЬЦА БРЭЛЛ
ПО КОНТРОЛИРУЕМОМУ СЕЧЕНИЮ БЕЛАРУСЬ – ЛИТВА**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

**КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Д.Д. Тарасевич, М.Н. Булин

Научный руководитель – Н.А. Попкова, ассистент

**СОЗДАНИЕ СОБСТВЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ НА RYTHON ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ
ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО МАРКАМ ПРОВОДОВ**

К.А. Марчук

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЛ 110 КВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОГРАННЫХ ОПОР**

Н.Г Коваленок, И.В Мединцев, И.А Кобяк.

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ КАБЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ**

И.В. Ковалец, В.Н. Коршун

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ВИЭ ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОЙ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

М.Н. Булин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель

СОВРЕМЕННЫЕ НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Н. В. Грищенко

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ $f(x)=0$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MATHCAD

К.С. Мордвинцев

Научный руководитель – С.О. Новиков, доцент

УДК 621.311

РАЗВИТИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ DEVELOPMENT OF PROJECT DESIGN IN THE ENERGY SECTOR

И.С. Хитров

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Khitrou

Supervisor – V. Khanevskaya, engineer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Энергосистема развивается. Для этого проектируются новые сети, производится реконструкция старых линий электропередачи. Созданием таких проектов занимаются проектировщики. Они используют ЭВМ для упрощения и ускорения работы. Однако, вполне возможно, что в будущем за них это будут выполнять программы и алгоритмы и люди проектировщики перестанут быть необходимы.

Abstract: The power system is developing. For this purpose, new networks are being designed, old power transmission lines are being reconstructed. Designers are engaged in the creation of such projects. They use computers to simplify and speed up work. However, it is quite possible that in the future programs and algorithms will do it for them, and human designers will no longer be necessary.

Ключевые слова: проектирование, компьютер, алгоритм, программа, чертёж, проект.

Keywords: project design, computer, algorithm, program, drawing, project.

Введение

Развитие человечества не стоит на месте, с каждым годом появляются новые технологии, растёт численность населения. Вместе с этим, соответственно, растёт потребление электрической энергии. Касательно Беларуси на сайте статистики можно увидеть, как оно росло с 2005 года. График представлен на рисунке 1.

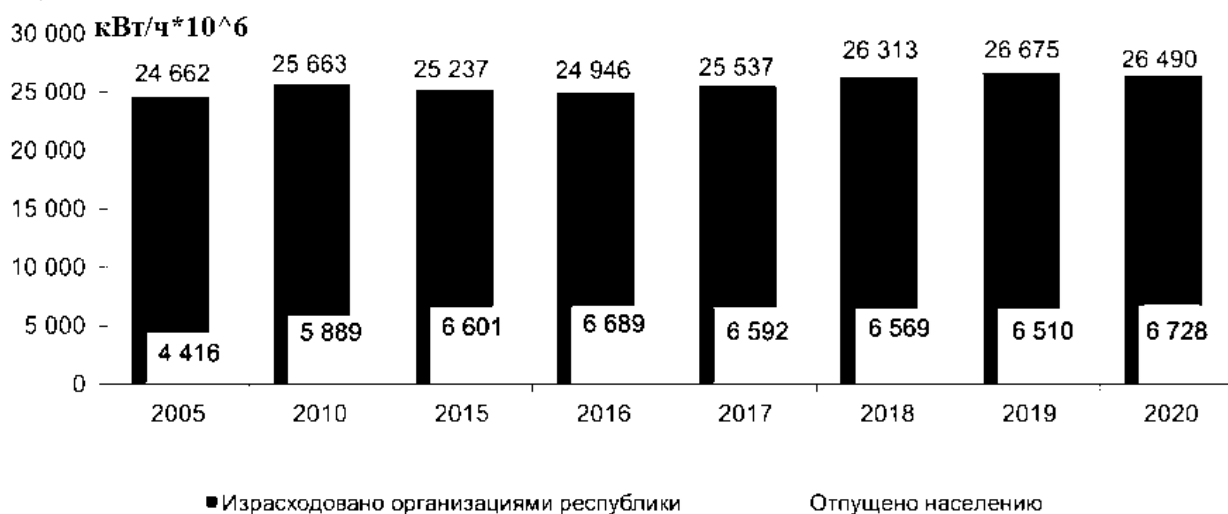


Рисунок 1 – Конечное потребление электрической энергии

Из этого следует что вся энергосистема развивается и обновляется. Для обеспечения повышающейся потребности в электроэнергии применяется новое оборудование на электростанциях и подстанциях, прокладываются новые линии электропередачи, реконструируются старые. Чтобы это реализовать нужны проекты, которые разрабатывают проектировщики.

Основная часть

Оглядываясь назад, в то время когда ещё не были распространены ЭВМ, работа проектировщика была весьма сложна. Много процедур приходилось выполнять вручную, наиболее сложные из них были: расчёты и создание чертежей.

Основным расчётом при проектировании электрических сетей является расчёт режима. Его особенность заключается в том, что количество уравнений меньше количества неизвестных. Для решения необходимо задаться некоторым приближенным значением и выполнять итерационный расчёт, пока не достигнем нужной точности. Хорошо если таких итераций будет максимум 5 и сеть небольшая, а представьте, нужно выполнить 20 однотипных расчётов для сети с несколькими контурами и большим количеством узлов, имея под рукой лишь калькулятор и ручку. Процесс расчёта мог растянуться на месяцы, а, с учётом человеческого фактора, могло оказаться что есть ошибка в самом начале и нужно считать всё по новой.

Выполнение чертежей задача может и попроще, на первый взгляд, но тоже весьма трудоёмка. Необходимо начертить местность со всеми объектами, коммуникациями и прочим. После этого аккуратно нанести сам проект, а если вдруг какая-то ошибка, исправить её тоже та ещё задача. К слову, всё это выполняется на больших форматах, начиная с А2 и далее. Как это выглядело можно увидеть на рисунке 2.

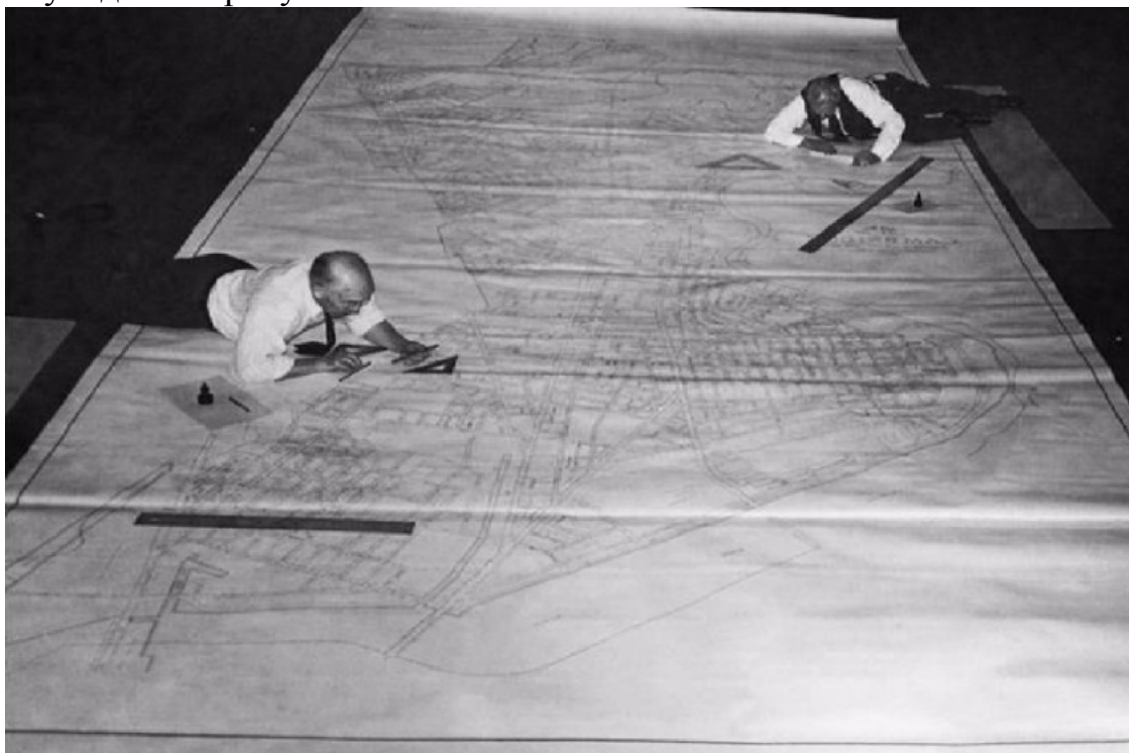


Рисунок 2 – Выполнение чертежа вручную

Однако прогресс не стоит на месте со временем появились ЭВМ, способные выполнять много расчётов за секунды и доли секунд. Расчёт режима свёлся к тому, что человек просто вводит исходные данные, такие как параметры схемы и часть параметров режима, нажимает пару кнопок и через пару секунд компьютер выводит все необходимые данные по режиму сети для последующего проектирования.

Чертежи же всё ещё делали вручную, но спустя некоторое время, с развитием графического интерфейса, появились системы автоматизированного проектирования и черчения. Огромные чертежи на несколько квадратных метров помещались на небольшой экран. Их было легко редактировать и сохранять, чтобы потом частично использовать в других проектах.

Таким образом, на сегодняшний день работа проектировщика электрических сетей упростилась. Для выполнения проекта ему, по большей части, необходим только компьютер, на котором с помощью ряда программ, таких как «Rastrwin», «Autocad», «Mathcad» и т.д. Также вся необходимая литература находится в быстром доступе. При работе над новым проектом он может без особых сложностей взять часть из старых проектов. Всё это позволяет выполнить проект в кратчайшие сроки.

Вполне вероятно, что в ближайшее время компьютерные технологии смогут развиваться до стадии на которой программы, благодаря отточенным алгоритмам, смогут полноценно сами выполнять проект. Заказчику нужно будет всего лишь предоставить ряд данных и задачу на проектирование. Как мы знаем, все программы работают быстро и поэтому готовый проект будет выполнен в кратчайшие сроки. По началу это могут быть часы, а в дальнейшем минуты и секунды.

Для примера можно рассмотреть алгоритмизацию оптимизации электрической сети с помощью батареи статических конденсаторов. Как правило данное мероприятие проводится вручную. Рассчитывается режим, в различные узлы устанавливаются БСК разной мощности, вновь производится расчёт режима и анализируется что произошло с потерями электроэнергии. Если потери уменьшаются, то можно ещё установить БСК и продолжить оптимизацию. Когда же потери перестанут уменьшаться оптимизацию прекращают и происходит процесс анализа экономической целесообразности установки в узлах БСК.

Из выше сказанного следует что процесс не быстрый, особенно если сеть имеет много узлов, если это выполнять вручную. Однако процесс можно алгоритмизировать и написать программу которая будет автоматически устанавливать БСК в узлы, производить расчёт режима и выполнять заключение об эффективности установки. Пример программы написанной в «Mathcad» представлен на рисунках 3, 4, 5.

$U_{by} := 230$
 $S_n := [-(0 \ 0 \ 10 \ 10 \ 0 \ 30)]^T$ (здесь будет добавление БСК)
 $R_{\omega} := (4.38 \ 4.38 \ 7.731 \ 7.731 \ 19.688 \ 7.731 \ 10^{-6})^T$ Сопротивление ветвей
 $X := (86.7 \ 86.7 \ 13.258 \ 13.258 \ 20.424 \ 13.258 \ 10^{-6})^T$ $Q := 1 \cdot j$ Мощность БСК
 $G_{\omega} := (1.4 \ 1.40 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T \cdot 10^{-6}$ активная и реактивная проводимости ветвей $n := 1$ Номера узлов и с которого начинаем
 $B := (-8.5 \ -8.5 \ 82.6 \ 82.6 \ 117.3 \ 82.6 \ 0)^T \cdot 10^{-6}$ $fl := 1$ Флажок для первичного расчёта без БСК

Рисунок 3 – Исходные данные

```

Sbsk := while n < 7
    Sn_n ← Sn_n + Q if fl = 1
    iter ← 0
    for i ∈ 1..cols(Yy)
        j ← 1..rows(Yy)
        while iter < 20
            for i ∈ 1..cols(Yy)
                buffer ← 0
                for j ∈ 1..rows(Yy)
                    buffer ← buffer + Yyi,j · Uj
                Fi ← buffer + Uby · Ybyi -  $\frac{S_{n_i}}{U_i}$ 
            for i ∈ 1..cols(Yy)
                for j ∈ 1..rows(Yy)
                    if i = j
                        v1i,j ← Yyi,j +  $\frac{S_{n_i}}{(U_i)^2}$ 
                    else
                        v1i,j ← Yyi,j
            iter ← iter + 1
            U ← U - v1-1 · F
            X ← augment(X,U)
    
```

Рисунок 4 – Блок программы с расчётом режима

```

XX ← X
UU ← (XX1,cols(XX) XX2,cols(XX) XX3,cols(XX) XX4,cols(XX) XX5,cols(XX) XX6,cols(XX))T
UΔ ← Uby · Kt1,1 - UU
ΔUv ← MT · UΔ
Iv ← dZB-1 · ΔUv
ΔP ← Re(dZB) · Re(Iv2)
N ← last(ΔP)
ΔP ← ∑i=1N |ΔPi|
if ΔP ≥ Pot
    | Snn ← Snn - Q
    n ← n + 1
if ΔP < Pot
    | if (Pot - ΔP) · τ · β > Cbsk
        | fl ← fl + 1
        | nbsk ← nbsk + 1
    | if (Pot - ΔP) · τ · β ≤ Cbsk
        | Snn ← Snn - Q
        | n ← n + 1
    | Pot ← ΔP
if nbsk > 4
    | n ← n + 1
    | nbsk ← 0
Sn

```

Рисунок 5 – Блок программы с установкой БСК

Данный алгоритм не отлажен должным образом, но весьма прост и выполняет возложенную задачу, его может написать любой более-менее разбирающийся в теме человек за несколько часов. А теперь представьте, чтобы смогли сотворить команда профессиональных программистов и инженеров. Весьма вероятно, что они бы смогли создать программу с удобным интерфейсом, простую в использовании и эффективную.

Заключение

Основываясь на выше сказанном можно предположить, что уже в ближайшем будущем процесс проектирования максимально упростится и для выполнения проектов потребуется куда меньше персонала, а это значит сокращение рабочего персонала, уменьшение спроса на проектировщиков. Это будет только началом, потом вероятно программы и алгоритмы полностью заменят людей в этой сфере, останутся лишь единицы для контроля, ведь у программ бывают сбои. Проекты, полноценно созданные программами будут отвечать всем требованиям заказчика, будут выполнены в соответствии со всеми нормами и в кратчайшие сроки.

Уже сейчас часть рабочих заменяют роботами, особенно это эффективно в период пандемии. Много процессов упростилось благодаря компьютерам и программам. Никому не известно как далеко это зайдёт, заменят ли людей машины полностью, но мы можем предположить что во многих отраслях с течением времени будет увеличиваться спрос на них и как видим энергетика не станет исключением. Всё это весьма неблагоприятно скажется на рынке труда.

Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 18.09.2021.
2. Применение матричных моделей для расчета и анализа режимов электрических сетей: методическое пособие по выполнению курсовой работы и изучению дисциплины «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / Т.А. Шиманская-Семёнова. – Минск: БНТУ, 2010. – 158 с.
3. Номо Deus. Краткая история будущего / Юваль Ной Харари ; [пер. с англ. А. Андреева]. – М. : Синдбад, 2019. – 496 с.

УДК 621.315

**ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»
IMPLEMENTATION OF THE METHODOLOGICAL COMPLEX FOR THE
DISCIPLINE "INSTALLATION OF ELECTRIC NETWORKS"**

Д.Г. Ковзова, С.С. Соловьёв

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Kovzova, S. Soloviov

Supervisor – M. Korotkevich, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** Для подготовки специалистов по дисциплине "Монтаж электрических сетей" разработано методическое пособие, включающее в себя теоретические сведения по дисциплине, 16 практических значимых заданий и самопроверка по программе. При подготовке специалистов по монтажу, наладке и эксплуатации электрических систем методическое пособие имеет важное место в оценке знаний и умений обучающегося применять их на практике.*

***Abstract:** A methodological manual has been developed, which includes theoretical information on the discipline, 16 practical significant tasks and a self-test according to the program to train specialists in the discipline "Installation of electrical networks". The methodological manual has an important place in assessing the knowledge and skills of the student to apply them in practice when training specialists in the installation, commissioning and operation of electrical systems.*

***Ключевые слова:** учебно-методическое пособие, подготовка, воздушная и кабельная линия, образование, занятие, изучение.*

***Keywords:** teaching aid, preparation, air and cable line, education, occupation, study.*

Введение

Подготовка специалистов сегодня в учреждениях высшего образования должна отвечать требованиям работодателей. Важной составляющей является формирование у обучающихся правильных основ, знаний и умений по профилирующему предмету.

Основная часть

По данным 2021 г. в Беларуси протяженность воздушных линий электропередач, которые отработали свой нормативный срок службы, составило 49% от общей длины. Почти все линии 10кВ полностью износились, протяженность линии, необходимой к замене составила 59 тыс.км. Многие линии 35кВ (60%) работают более 40 лет и более лет. Таким образом 44% линий выработали свой ресурс.

Необходимость в грамотных специалистах возрастает, а с тем возрастает потребность в научной литературе. В учебно-методическом комплексе «Монтаж электрических сетей» изложен материал, помогающий студентам данной специальности подготовиться для самостоятельной работы в электрических

сетях. Электронный комплекс содержит теоретический раздел для выполнения последующих 16 практических занятий, разбор каждого задания и электронные расчеты, приложенные в виде электронной программы (для проверки своих расчетов). Данная методика поможет студентам углубленно изучить специфику монтажа и эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередач.

При подготовке специалистов по монтажу, наладке и эксплуатации электрических систем методическое пособие имеет важное место в оценке знаний и умений обучающегося применять их на практике.

Работы по сооружению воздушных линий электропередач разделяют на 4 этапа, которые выполняются последовательно профессионалами:

- подготавливают работ по сооружению ВЛ (поэтапно разбивают центры опор и осей воздушной линии, производят пикетаж, расчищая трассу; поэтапно переустраивают инженерные сооружения, строят временные объекты, развозят материал на необходимые участки);
- производят строительные работы (разбивают или размечают центры котлованов, производят земляные работы, сооружают фундаменты и заземляющие устройства, собирают, устанавливают, проверяют и закрепляют опоры);
- производят монтажные работ (раскатывают и соединяют провода и тросы, поднимают их на опоры, натягивают и закрепляют на опорах, устанавливают гасители вибрации и дистанционные распорки, производят монтаж петель и грозозащитных устройств);
- проверяют пусконаладочными работами и сдают воздушную линию в эксплуатацию.

В методическом пособии собраны важные практические материалы по составлению программы испытаний железобетонной опоры на прочность, жесткость и трещиностойкость, правилам раскатки проводов, определению усилий, действующих на анкерные опоры, на провода и тросы при их опускании, разбивке котлованов для правильной установки опор, определению наведенного напряжения на проводах отключенных линий, находящихся в зоне влияния других линий.

Заключение

Данный комплекс выступает средством обучения и может быть использован для самостоятельной работы студентов и преподавателей технической дисциплины, так как материал систематизирован, понятно и доступно изложен.

Литература

1. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей : учебное пособие / М. А. Короткевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 511 с.
2. Короткевич, М. А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть : учебное пособие / М. А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 572 с.
3. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки

жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний : ТКП 339–2011. – Минск : Мин-во энергетики Респ. Беларусь, 2011. – 594 с.

4. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей : учебное-методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / М. А. Короткевич. – Минск: БНТУ, 2016. – 67 с.

УДК 621.311

**АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
AUTOMATIC CONTROL AND ACCOUNTING SYSTEMS ELECTRICITY**

А.О. Степанюк

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Stepanyuk

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** исследовать автоматические системы контроля и учёта электроэнергии. Научная новизна заключается во внедрении внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии. В результате исследования были найдена наиболее продуктивная и удобная система отслеживания электроэнергии.*

***Abstract:** is to investigate automatic control systems and electricity metering. Scientific novelty lies in the introduction of the introduction of automated control systems and electricity metering. As a result of the research, the most productive and convenient system for tracking electricity was found.*

***Ключевые слова:** автоматические системы контроля и учёта электроэнергии, аскуэ, индукционные приборы*

***Keywords:** automatic control and electricity measurement systems, induction devices*

Введение

Внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии позволяет:

- получать наиболее достоверной и точной информации о поставке и потребления энергоресурсов;
- более эффективно обнаруживать какие-либо неисправности в системе;
- обработать большей массив данных и т.д.

Целью автоматизации приборного учёта электроэнергии в Республике Беларусь является определение в условиях дальнейшего развития рыночных отношений для всех субъектов объединённой энергосистемы Беларуси и потребителей ее энергии основных направлений и принципов организации учета электроэнергии как высоколиквидного товара, обладающего высокой потребительской стоимостью.

Основная часть

В Республике Беларусь на данный момент проходят работы по совершенствованию приборного учета электрической энергии в двух направлениях:

- замена индукционных приборов учета электроэнергии на электронные приборы учета;
- внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии – АСКУЭ.

Замена однофазные счетчики электрической энергии (рисунок 1):

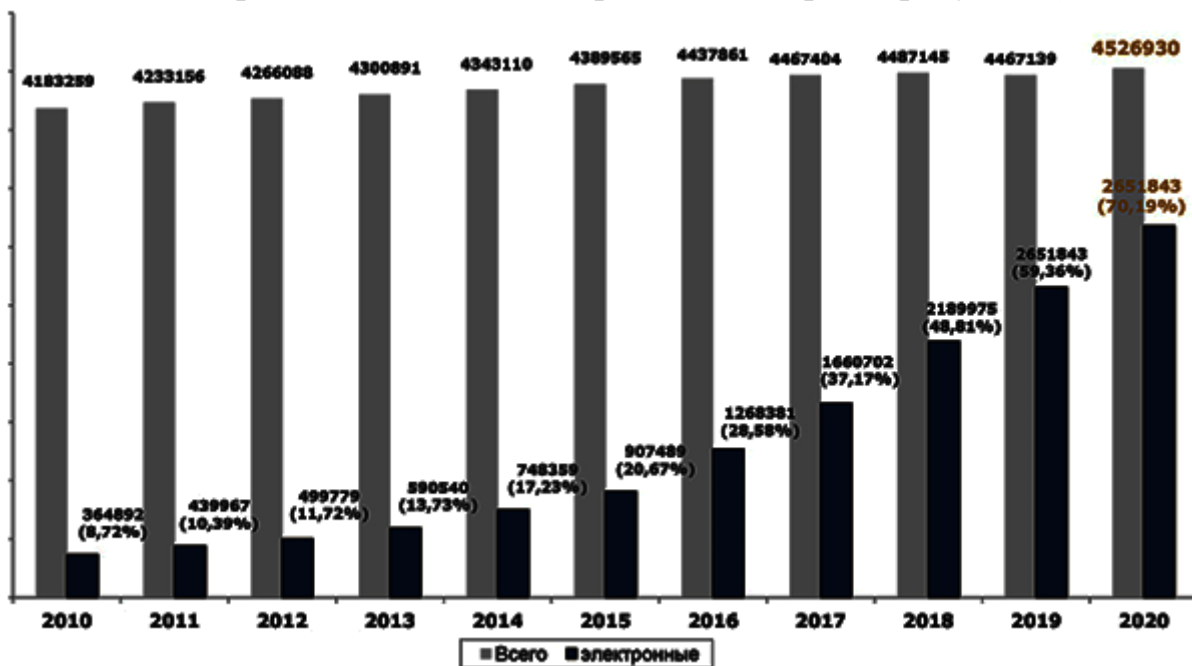


Рисунок 1 – Соотношение электронных и аналоговых приборов

Замена трехфазные счетчики электрической энергии (рисунок 2):

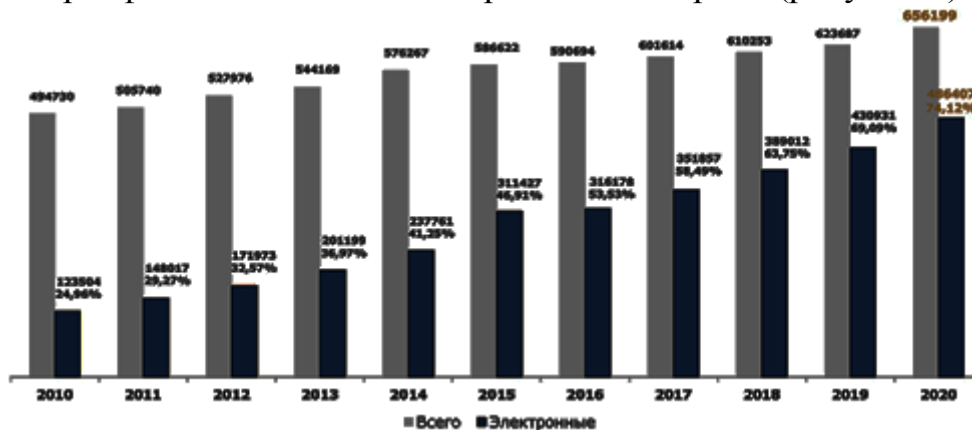


Рисунок 2 – Соотношение электронных и аналоговых приборов[1]

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) – система технических и программных средств для автоматизированного сбора, передачи, обработки, отображения и документирования процесса выработки, передачи и (или) потребления электрической энергии (мощности) по заданному множеству пространственно распределенных точек их измерения, принадлежащих объектам энергоснабжающей организации или абоненту.

АСКУЭ по назначению делиться на два типа:

- коммерческого учёта. Коммерческий учет - учет потребляемой электроэнергии для денежного расчета за нее с поставщиком. Для такого учета нужна установка приборов высокой точности;
- система технического учёта. Технический учет нужен для контроля процессов энергопотребления внутри предприятия, по всем его корпусам, цехам, энергоустановкам. Анализ показаний системы учета дает предприятиям возможности по сокращению потребления

электроэнергии, не меняя при этом объемы производства.

Функции системы АСКУЭ:

- автоматический сбор данных коммерческого учёта потребления (отпуска) электроэнергии по каждой точке (группе) учёта на заданных коммерческих интервалах (согласно ОАО АТС — 30 мин.);
- хранение параметров учёта в базе данных;
- обеспечение многотарифного учёта потребления (отпуска) электроэнергии;
- обеспечение контроля за соблюдением режимов энергопотребления;
- вывод расчетных параметров на терминал и/или на устройство печати по требованию оператора;
- ведение единого системного времени с возможностью его корректировки.

В состав АСКУЭ входят (рисунок 3):

- электронные счетчики или импульсным выходом;
- устройства сбора и передачи данных, обеспечивающие сбор информации от счетчиков и передачу ее на верхние уровни управления, где данные собираются, хранятся в базах данных, обобщаются, обрабатываются и выдаются всем заинтересованным организациям и службам;
- каналы связи с соответствующей каналобразующей аппаратурой для передачи измерительной информации, в которых используются любые современные средства модемной или мобильной связи, интернет;
- рабочие места оперативно-диспетчерского персонала (АРМ ОДП или АРМ Энергетика), имеющие модули связи с УСПД и средства обработки информации (как правило, персональные ЭВМ и ПО)[2].



Рисунок 3 – Структурная схема АСКУЭ

Динамика внедрения АСКУЭ промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВА и выше (рисунок 4):

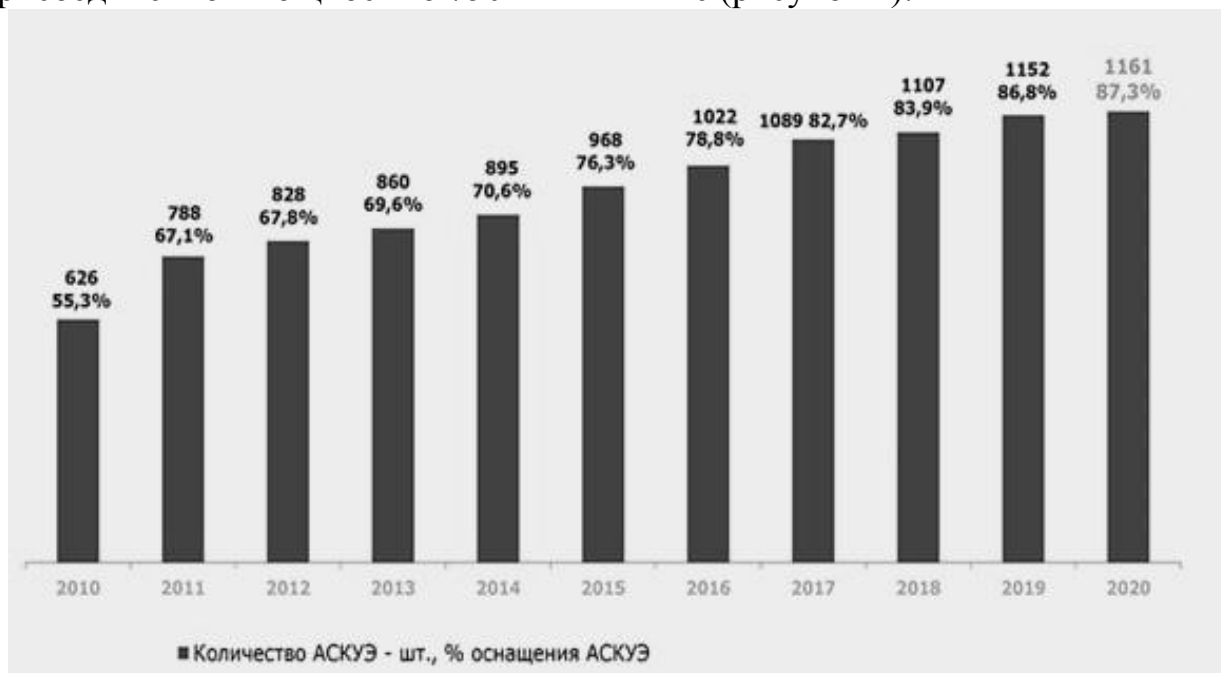


Рисунок 4 – Количество внедренных в промышленность АСКУЭ

Динамика внедрения АСКУЭ-быт в многоквартирных жилых домах (рисунок 5):

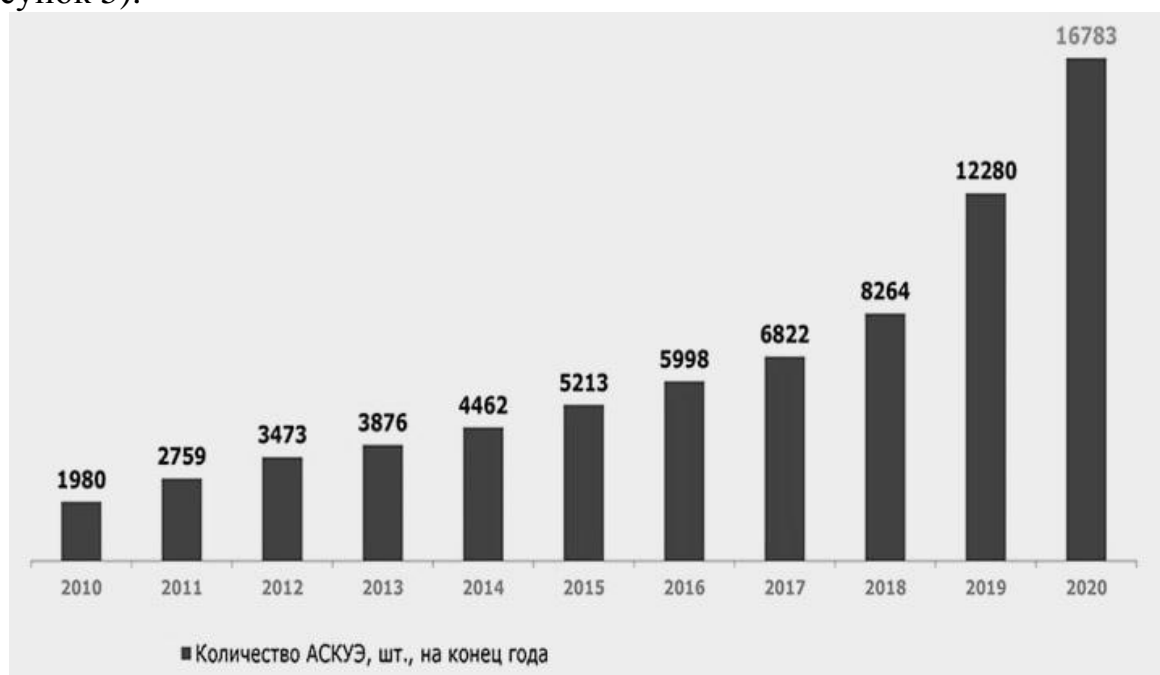


Рисунок 5 – Количество внедренных в многоквартирные дома АСКУЭ[3]

Внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии значительно повышает эффективность работы структур.

Заключение

В конце хотелось отметить, что применение автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии позволяют сократить энергетические

потери, перераспределить энергетическую мощность, перевести наиболее энергоёмкие производственные операции на время действия более выгодных тарифов. На основании этих данных разрабатываются мероприятия по энергосбережению, внедрение которых является важным шагом на пути повышения эффективности энергетического потенциала.

Литература

1. Белэнерго [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://surl.li/ajdjj> – Дата доступа : 07.10.2019.
2. Брестэнерго [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.csm.brest.by/что-nuzhno-znat-ob-askue> – Дата доступа : 07.10.2019.
3. Автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rep.bsatu.by/handle/doc/1952> – Дата доступа : 07.10.2019.

УДК 621.311

**ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
THE MAIN ELEMENTS OF THE CONSTRUCTION
OF CABLE POWER LINES**

А.И. Васильева

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Vasileva

Supervisor– N. Petrashevitch, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** описание конструкции, классификации силовых кабелей и назначение элементов кабельной линии.*

***Abstract:** description of the design, classification of power cables and the purpose of the elements of the cable line.*

***Ключевые слова:** кабельная линия, токопроводящие жилы, изоляция, защитная оболочка, броня, наружные защитные покровы.*

***Keywords:** cable line, conductive cores, insulation, protective shell, armor, external protective covers.*

Введение

Кабельная линия – линия, которая служит для передачи электроэнергии, состоящая из одного или нескольких кабелей, покрытых изоляционным материалом. Кабельные линии используют силовые кабели, которые предназначены для передачи электрической энергии от производителя к потребителю.

Бывают следующие способы прокладки: подземные, подводные и воздушные. На работу кабельных линий не влияют погодные условия. Поэтому они более выгодные, чем работа воздушных линий.

Основная часть

Приведём классификацию силовых кабелей:

- по номинальному напряжению (низкое/высокое напряжение);
- по типу изоляции (резиновая, бумажная, полиэтиленовая, поливинилхлоридная);
- по материалу изготовления жил (медь или алюминий);
- по наличию экрана;
- по способу защиты от механических повреждений (бронированные и небронированные);
- по гибкости (для подвижного или неподвижного соединения);
- по количеству жил (одно-, двух-, трех-, четырех и пятижильные);
- по площади поперечного сечения. [3]

Кабель обязательно включает в себя токопроводящие жилы, изоляцию каждой жилы, оболочку и наружные защитные покровы.

Токопроводящие жилы изготавливают из алюминия и электротехнической меди. Формы бывают следующие: круглые, секторные, сегментные. Рассмотрим зависимость площади сечения и количеству проволок. Алюминиевые жилы до 35 мм² изготавливаются однопроволочными, 300-800 мм² – многопроволочные, до 300 мм² – одно- и многопроволочные. Медные жилы до 16 мм² изготавливаются однопроволочными, 120-800 мм² – многопроволочные, 25-95 мм² – одно- и многопроволочные. Преимущество алюминия в его цене, но медь более пластична, поэтому и не ломается при частых перегибах. Так как удельное сопротивление меди меньше, а электрическая проводимость больше, то медный провод при одинаковом сечении выдерживает большие нагрузки. [1]

Силовые кабели включают в себя основные и нулевые жилы. Нулевые служат для прохождения разности токов фаз при неравномерной нагрузке. Нулевая жила маркируется синим цветом и имеет самое маленькое сечение, а также выполняет функцию нулевого проводника. [1]

При напряжении до 1кВ используются четырехжильные кабели. В сети переменного тока до 35кВ используются в основном трехжильные, на 110кВ и выше – одножильные. При постоянном токе могут использоваться одно- и двухжильные кабели.

Изоляция нужна для того, чтобы защитить жилы от влияния друг на друга. Изоляция бывает отдельно каждой жилы и общая, которая называется поясной. Различают бумажную, резиновую и пластмассовую изоляцию. Последняя бывает поливинилхлоридной и полиэтиленовой.

Самый старый способ изоляции – бумага с пропиткой. В настоящее время используют преимущественно полимерную и резиновую изоляцию. [1]

Бумажная изоляция пропитывается вязкими маслоканифольными составами и синтетически изоляционными смолами. Их недостаток в прокладке по наклонным трассам с перепадом высот, так как смола стекает вниз. Применяется в электросетях с номинальным напряжением до 35 кВ.



Рисунок 1 – Кабель с бумажной изоляцией на напряжение 35 кВ 1 – Жила многопроволочная, алюминиевая или медная; 2 – Экран из электропроводящей бумаги; 3 – Фазная бумажная изоляция, пропитанная вязким или нестекающим составом; 4 – Экран из электропроводящей бумаги; 5 – Свинцовая оболочка; 6 – Защитный слой из крепированной бумаги и полиэтилентерефталатной пленки; 7 – Заполнение из кабельной пряжи; 8 – Подушка из кабельной пряжи; 9 – Броня из стальных лент. [6]

Резиновая изоляция состоит из сплошного слоя резины или в виде лент. Используется при прокладке сетей постоянного тока напряжением до 10кВ и переменного тока до 1кВ. Преимущество кабеля – гибкость. [4]

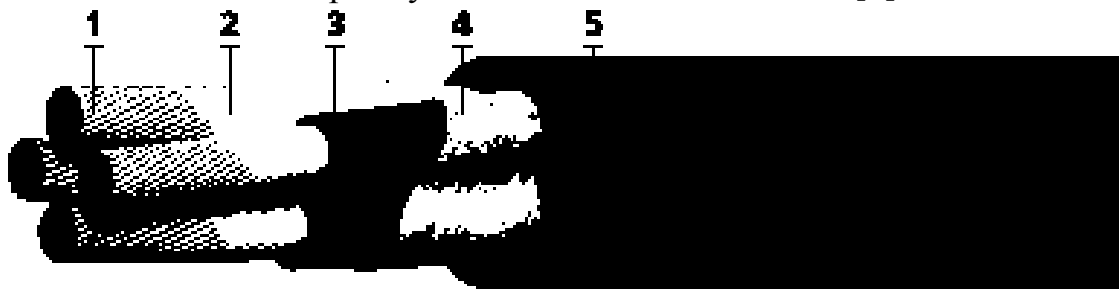


Рисунок 2 – Силовые кабели с резиновой изоляцией. 1 – Жила однопроволочная или многопроволочная, алюминиевая или медная; 2 –Обмотка из полиэтилентерефталатной пленки; 3 – Изоляция из резины на основе натурального и бутадиенового каучука; 4 –Обмотка из термоскрепленного полотна; 5 – Оболочка из маслостойкой найритовой резины. [2]

Полимерная изоляция использует слой поливинилхлорида (ПВХ) или сшитого полиэтилена(СПЭ). А также для исключения пожара используются из самозатухающего полиэтилена, которые не поддерживают горения. Такие кабели обычно более легкие и гибкие, устойчивы к ультрафиолету, выдерживают низкие температуры и высокие (до 90 °С). Используются в сетях переменного тока с напряжением до 6 кВ.

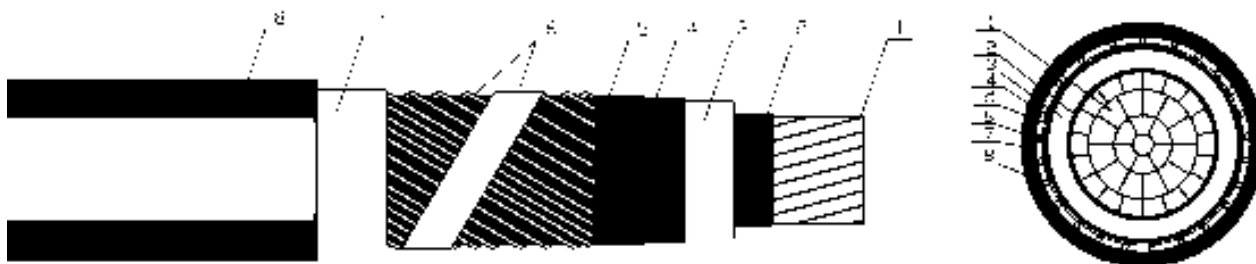


Рисунок 3 – силовые кабели с изоляцией из шитого полиэтилена на напряжение 35 кВ. 1 – ТПЖ многопроволочная медная/алюминиевая; 2 –Электропроводящий экран по ТПЖ; 3 – Изоляция из сшитого полиэтилена; 4 -Электропроводящий экран по изоляции; 5 – Электропроводящий слой из ленты (влагонабухающей электропроводящий ленты); 6 -Медный проволочный экран, скрепленный пасьмой из восьми проволочек или медной лентой; 7 – Разделительный слой («г» — влагонабухающая лента, «2г» — влагонабухающая электропроводящая лента и лента алюмополиэтиленовая; «нг-LS» — стеклолента/пластикат пониженной пожароопасности); 8– Наружная оболочка (ПВХ, ПВХ пониженной пожароопасности, НПП, ПЭ).

Защитные оболочки выполняют следующие функции: объединение в единую конструкцию и защита от различных воздействий. Встречаются алюминиевые, свинцовые, резиновые и пластмассовые. Для подземного способа прокладки используются алюминиевые и свинцовые оболочки.

Из-за химических и механических воздействий кабели покрывают защитными покровами: экран, подушка, броня, наружный покров. Может быть один, два или три защитных покрова.

Экран нужен для защиты от электромагнитных полей. А также экран делает симметричным поле, которое возникает возле проводника. Исполняют из полупроводящей бумаги и алюминиевой/медной фольги.

Подушка располагается на экране или оболочке. Защищает от повреждения броней и от коррозии. Исполняют из поливинилхлоридных, полиамидных лент, битума, пропитанной кабельной пряжи.

Броня предполагает использование стальных лент и стальных проволок. Ленты накладываются на оболочку, защищённой подушкой, в два слоя. Применяются при прокладке в воде, почве. [5]

Наружный покров выполняется из слоя кабельной или стеклянной пряжи, пропитанной битумным составом. Используется для защиты брони от коррозии.

Заключение

Конструкция силового кабеля зависит от его применения, но основными конструктивными элементами силового кабеля являются токопроводящие жилы и изоляция. Кабельные линии имеют широкую область применения и защищённость от неблагоприятных погодных условий.

Литература

1. Силовые кабели. Виды и структура. Характеристики и маркировки [Электронный ресурс]/Электросам.ру- Режим доступа : <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektroobustrojstvo/jelektroprovodka/silovye-kabeli/>.- Дата доступа : 17.10.2021.
2. Силовые кабели с резиновой изоляцией [Электронный ресурс] /ПУЭ8- Режим доступа : <https://pue8.ru/kabelnye-linii/128-silovye-kabeli-s-rezinovoy-izolyaciey.html>.- Дата доступа : 17.10.2021.
3. Классификация кабельных ЛЭП [Электронный ресурс] /Студопедия - Режим доступа : <https://studopedia.org/8-164383.html>.- Дата доступа : 17.10.2021.
4. Конструкция силового кабеля [Электронный ресурс] /Компания ТЕХНОЛОГ- Режим доступа : <http://zao-tehnolog.ru/page116149>.- Дата доступа : 17.10.2021.
5. Конструкция силовых кабелей [Электронный ресурс] /Школа для электрика- Режим доступа : <http://electricalschool.info/main/elsnabg/662-konstrukcija-silovykh-kabelej.html>.- Дата доступа : 17.10.2021.
6. Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией [Электронный ресурс] /ПУЭ8- Режим доступа : <https://pue8.ru/kabelnye-linii/126-silovye-kabeli-s-propitannoy-bumazhnoy-izolyaciey.html>.- Дата доступа : 17.10.2021.

УДК 621.316.9

**УСТРОЙСТВО ГРОЗОЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ
LIGHTNING PROTECTION AND GROUNDING AT SUBSTATIONS**

П.А. Матусевич, М.А. Шешко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Matusevich, M. Sheshko

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturers
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Сектор энергетики, связанный с электрической энергией, включает в себя множество электроустановок, для работы которых требуются устройства грозозащиты и заземление. В данной статье рассматривается их назначение и принцип работы на подстанциях. Устройство грозозащиты и заземления должны выполнять функции электробезопасности, которая нужна для обеспечения работы электроустановок, защиты при эксплуатационных повреждениях, например, коротком замыкании, и опасностях, возникающих вследствие удара молнии.

Abstract: The energy sector related to electrical energy includes many electrical installations that require lightning protection devices and grounding. In this article we will consider their purpose and the principle of operation at substations. The lightning protection and grounding device must perform the functions of electrical safety necessary to ensure the operation of electrical installations, protection in case of operational damage, for example, a short circuit, and hazards arising from a lightning strike.

Ключевые слова: устройство грозозащиты, устройство заземления, электрическая подстанция, перенапряжение, молния, грозозащитный разрядник.

Key words: lightning protection device, grounding device, electrical substation, overvoltage, lightning, lightning arrester.

Введение

Молниезащита компонентов энергосистемы (линий, подстанций и высоковольтных электроприборов) очень важна для стабильной изолированной работы. Поэтому для обеспечения приемлемых мер и мер молниезащиты необходимо соблюдать требования ПУЭ и руководства по защите электросети 6-1150 кВ от перенапряжения. Надежная молниезащита обеспечивается комплектом защитного оборудования, и его характеристики должны соответствовать характеристикам импульсного перенапряжения и прочности электрической изоляции во время грозы.

Основная часть

Надежность молниезащиты и защиты от перенапряжения на электростанциях и подстанциях должна быть значительно выше, чем в линиях электропередачи. Потому что это определяется относительно большим ущербом, вызванным ударами молнии и перенапряжением на подстанциях. Внутренняя

изоляция силовых трансформаторов и другого оборудования, расположенного на подстанциях, имеет меньший запас электрической прочности, чем у линий электропередачи, и не обладает характеристиками самовосстановления после гашения дуги грозового перекрытия [1].

Превышение рабочего напряжения (перенапряжение) из-за ударов молнии может произойти двумя способами. Перенапряжение прямого воздействия возникает, когда молния непосредственно ударяет в подстанцию. Индукция происходит из-за удара о землю рядом с объектом. Хотя продолжительность воздействия невелика (около 100 микросекунд), ущерб может быть очень значительным. В дополнение к тому, что молния обладает огромным напряжением, температура разряда в основном канале может достигать 30 000 °С. Конечно, повреждение подстанции или ее компонентов может быть довольно значительным.

Превышение рабочего напряжения на установке может быть вызвано ударом молнии в участок воздушной линии вблизи подстанции. Эти участки специалисты называют подходом или опасной зоной. Поэтому грозозащита линий электропередач также можно отнести к комплексу мер по защите подстанций от молний.

Защитой оборудования подстанций от прямых ударов молнии служат стержневые молниеотводы. Устройство было изобретено в середине 18 века и не теряет актуальность и по сей день. Молниеотводы могут быть тросовыми и стержневыми. Тросовые используются для защиты от молнии протяженных объектов, типа шинных мостов, и применяются довольно редко. Вторые же более распространены и обеспечивают молниезащиту зданий и опор воздушных ЛЭП.

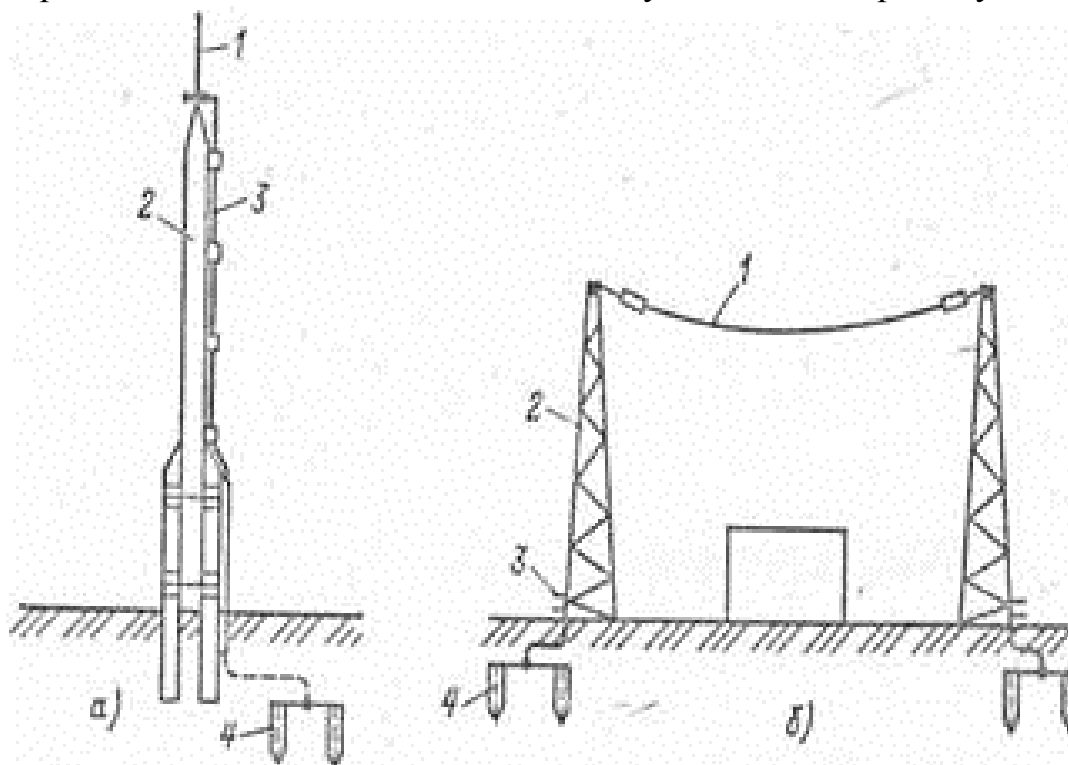


Рисунок 1 – стержневой (а) и тросовый (б) молниеотводы

Стержневой молниеотвод состоит из молниеприемника, токопровода и заземлителя. Он и принимает на себя удар молнии, так как располагается выше всех остальных конструктивных элементов сооружения, как минимум на 3 метра (ПУЭ). Молниеприемники устанавливают на порталах, прожекторных мачтах и крышах зданий. Металлоконструкции порталов и мачт при этом используются как токоотводы, которые соединяют молниеприемники с заземлителем.

Защиту подстанции при непрямом попадании молнии обеспечивают специальные аппараты, которые осуществляют защиту от импульсного перенапряжения. Все входы и выходы подстанции оснащаются разрядниками или более совершенными ограничителями перенапряжения (ОПН), так как заранее неизвестно, куда попадет молния.

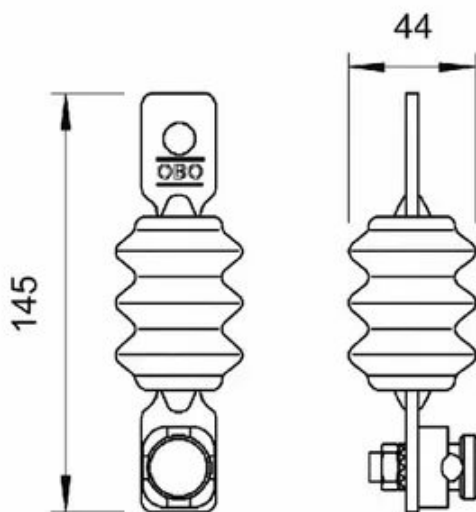


Рисунок 2 – искровой разрядник

Принцип работы искрового промежутка основан на образовании дуги между двумя стержневыми электродами. Один электрод заземлен, а второй электрод подключен к фазному проводу. Они разделены защитными промежутками. Когда последний ломается, возникает искра, и все электрическое устройство отключается для обеспечения молниезащиты.

Более совершенным устройством защиты от молнии с индуктивной волной является искровой разрядник вентильного типа. В дополнение к использованию для зазоров в пластах, он также включает герметичные керамические шины и резисторы с нелинейными вольтамперными характеристиками (ВАХ). Стоит отметить, что согласно ПУЭ, существует ограничение на максимальное расстояние от искрового промежутка до трансформатора на подстанции, составляющее от 60 до 90 м, в зависимости от типа воздушной линии.

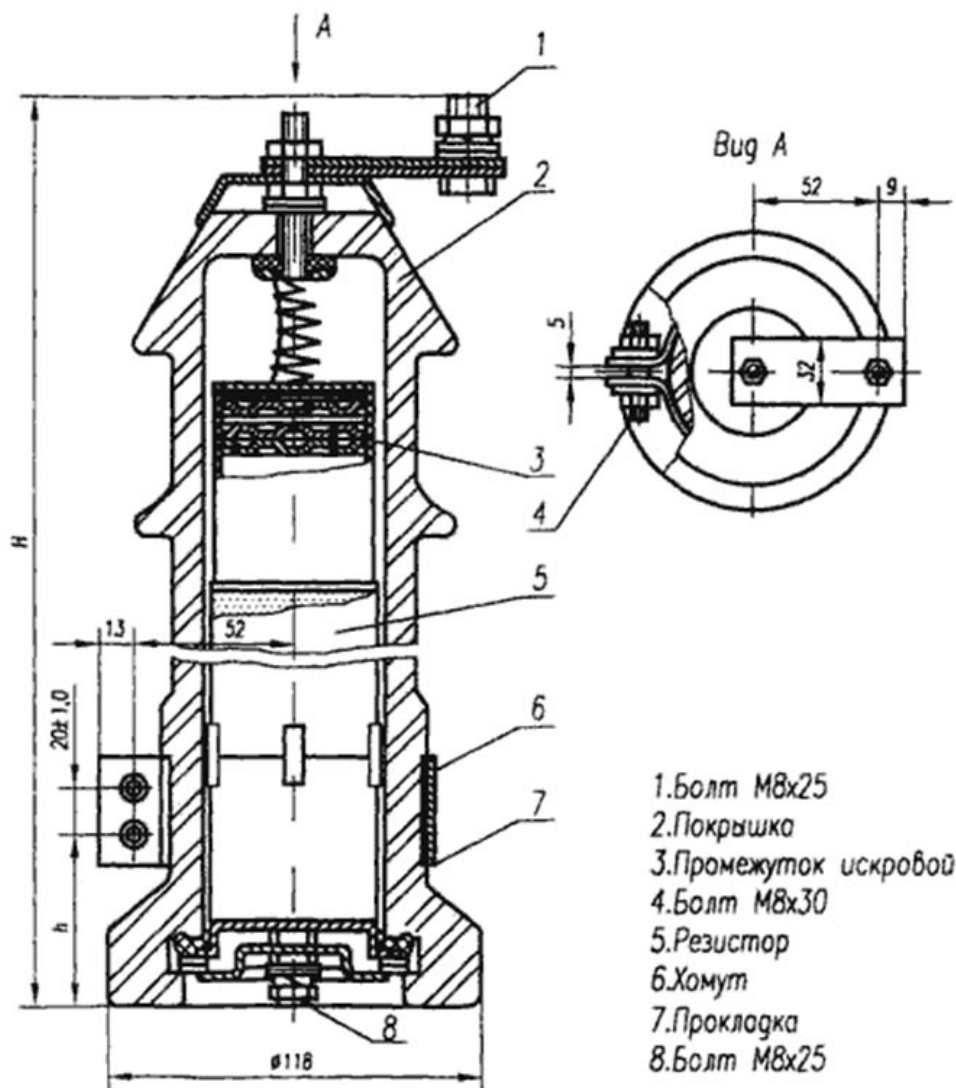


Рисунок 3 – вентильный разрядник

Молниеотводы используются все реже и реже для обеспечения молниезащиты на подстанциях. Сегодня их место постепенно занимает более совершенное оборудование. Их основные преимущества включают отсутствие искрового промежутка, малый размер и предельную глубину перенапряжения.

Принцип действия ОПН, его также можно назвать разрядник без искровых промежутков, достаточно прост в исполнении. Варистор (нелинейный резистор), который входит в состав устройства, ведет себя как сопротивление до того момента, пока не достигнет порогового напряжения. Если это значение превышено, устройство поддерживает напряжение на заданном уровне и отводит часть тока на землю.

При использовании разрядника без искровых промежутков в качестве молниезащиты, имеется проблема связанная с длительностью удержания рабочего напряжения. Но при правильном подборе типа прибора нелинейная молниезащита наиболее эффективна [2].

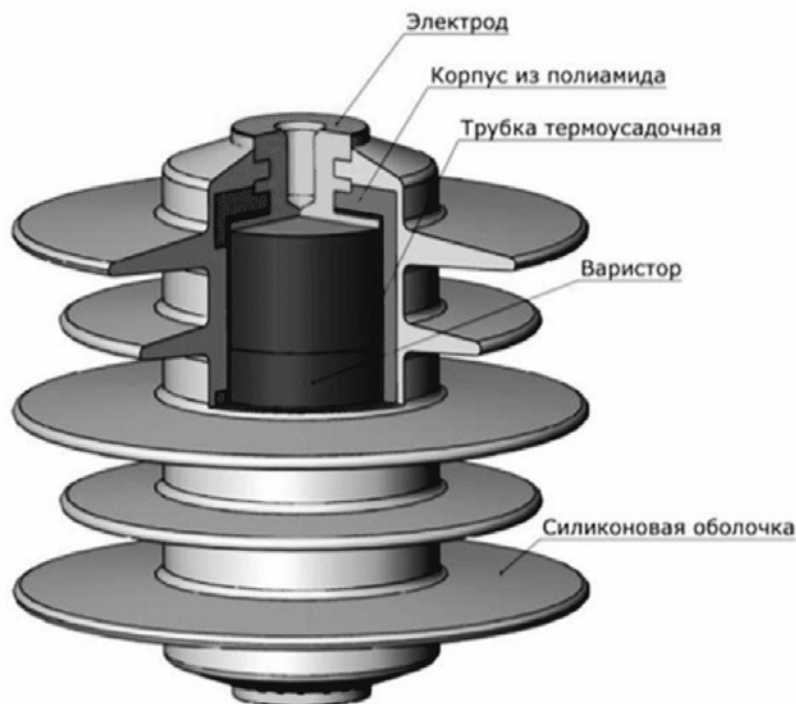


Рисунок 4 – ограничитель перенапряжения

Заземляющие устройства - это электрические устройства, использующиеся для создания надежного и низкоомного заземления для определенных частей двигателей, оборудования, линий тока и громоотводов для обеспечения распознаваемых режимов работы электроустановок, защиты персонала от поражения электрическим током и выполнения молниезащиты от перенапряжения. Исходя из вышесказанного, существует рабочее, защитное и молниезащищенное заземление.

Рабочее заземление используется для обеспечения нормальной работы электроустановок, их компонентов и сетей. К рабочему заземлению мы можем отнести заземление нейтралей силовых и измерительных трансформаторов, реакторов и т.д.

При ремонте электроустановок необходимо защитное заземление для обеспечения безопасности персонала. Этот тип заземления включает заземление внешних металлических частей двигателей, трансформаторов, электроустановок и токовых труб, которые не находятся под напряжением в обычном режиме. Защитное заземление относится к точечному заземлению вторичной цепи ТТ и ТН.

Грозозащитное заземление обеспечивает защиту электроустановки от грозовых перенапряжений. К этой категории относят заземления стержневых и тросовых молниеотводов, металлических крыш зданий и сооружений, порталов ОРУ и металлических железобетонных опор ЛЭП.

Как правило, заземляющие устройства используются для выполнения всех трех типов заземления электроустановок. Он состоит из проводника заземления,

находящегося в непосредственном контакте с землей, и системы проводников, соединяющей элемент заземления с проводником заземления. Существуют естественные и искусственные заземляющие устройства. Искусственные заземлители выполняют контурными.

Заземляющие устройства для объектов напряжением 110 кВ и выше выполнены из вертикальных заземлителей, соединительных полос и выравнивающих полос. Соединительные полосы расположены вдоль оборудования, а плоские полосы уложены горизонтально, образуя сеть заземления с переменным шагом. Значение сопротивления заземляющего устройства должно быть отрегулировано в соответствии с ПУЭ.

Заземляющее устройство, используемое для установки незаземленных или резонансно заземленных нейтральных точек, выполнено в виде прямоугольной формы горизонтальных и вертикальных заземляющих проводников [3].

Заключение

Таким образом, устройства грозозащиты и заземление необходимо для работы и автоматизации электрических машин и оборудования, что помогает управлять и контролировать рабочие процессы и функции электрического оборудования. Это необходимо для защиты электрооборудования от аварий и отказов, а также для предотвращения самих аварий. Если эти устройства не организованы должным образом или вообще не существуют, появляется риск того, что в результате аварийной ситуации электрооборудование перестанет работать в течение времени, необходимого для обнаружения и устранения его причины. В течение всего этого периода может пройти несколько часов или даже дней, и потребители от жилых зданий до регионов или городов будут лишены электричества. Кроме того, последствиями отключений электроэнергии могут быть экономические потери, вызванные остановками производства и угрозами, связанными с отключениями жизнеобеспечения. Во избежание отключения подачи электроэнергии очень важно обеспечить бесперебойную работу объекта.

Литература

1. Средства защиты от перенапряжений [Электронный ресурс]/. Средства защиты от перенапряжений -Режим доступа: https://www.studmed.ru/halilov-f-h-sredstva-zaschity-ot-perenapryazheniy-molniezaschita-i-elektromagnitnaya-sovmestimost-v-elektroenergetike_f5f9889 /. – Дата доступа: 20.10.2021.
2. Молниезащита подстанций [Электронный ресурс]/. Молниезащита подстанций -Режим доступа: <https://evosnab.ru/ustanovka/molnija/zashhita-podstancij> /. – Дата доступа: 16.10.2021.
3. Описание грозозащиты и заземления подстанции [Электронный ресурс]/. Описание грозозащиты и заземления подстанции -Режим доступа: <https://helpiks.org/9-9006.html> /. – Дата доступа: 16.10.2021.

УДК 621.311

**ВИДЫ И КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
TYPES AND DESIGNS OF POWER SWITCHES**

М.В. Прокопович, С.А.Приснаков

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Prokopovich, S. Prisnakov

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматриваются основные виды и конструкции силовых выключателей, их назначение, принцип действия и особенности. Особое внимание было обращено непосредственно на классификацию высоковольтных выключателей.

Abstract: The article discusses the main types and designs of power switches, their purpose, principle of operation and features. Particular attention was paid directly to the classification of high voltage circuit breakers.

Ключевые слова: выключатели, силовые выключатели, высоковольтные выключатели, энергетика, коммутационный аппарат.

Keywords: switches, power switches, high-voltage switches, power engineering, switching devices.

Введение

Высоковольтный выключатель — коммутационный аппарат, который предназначен для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме в нормальных или аварийных режимах при ручном, дистанционном или автоматическом управлении.

Основные конструктивные элементы высоковольтных силовых выключателей: корпус, изоляция, контактная система с дугогасящим устройством, токоведущие части и приводной механизм.

Основная часть

Силовые выключатели среднего и высокого напряжения (с номинальным напряжением 6 - 220 кВ) и большими токами отключения (до 50 кА) нашли широкое применение на электростанциях. Также эффективно их используют и на подстанциях, которые позволяют донести до потребителя электроэнергию в наиболее оптимальной форме. Такие выключатели конструктивно являются довольно сложными, управляются различными приводами: пневматическими, электромагнитными, гидравлическими, или пружинными приводами.

К выключателям предъявляются следующие требования:

- Надежность в работе и безопасность для окружающих;
- Быстродействие – минимальное время отключения;
- Удобство в обслуживании и эксплуатации;
- Простота монтажа;
- Бесшумность работы;
- Относительно невысокая стоимость.

Силовые высоковольтные выключатели классифицируют по различным параметрам

По способу гашения дуги:

- Масляные выключатели (различают баковые и маломасляные): в них контакты помещаются в ёмкость с трансформаторным маслом, а гашение дуги происходит при помощи паров масла; Основные недостатки масляных выключателей: взрыво- и пожароопасность, необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и т.д.
- Воздушные выключатели, в которых дуга гасится сжатым воздухом при давлении 2-4 МПа, а изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства выполнена из фарфора или других твердых изолирующих материалов;
- Электромагнитные выключатели, которые чаще всего используются в распределительных сетях номинальным напряжением до 10 кВ;
- Элегазовые выключатели (различают баковые и колонковые), в которых используют специальный газ с высокой электрической прочностью – гексафторид серы SF₆ (элегаз);
- Вакуумные выключатели, в которых дуга гасится в вакуумной дугогасительной камере (ВДК); Основными преимуществами вакуумных выключателей перед масляными, воздушными и элегазовыми являются: надежность, простота конструкции и ремонта, малые размеры, удобство эксплуатации и др.

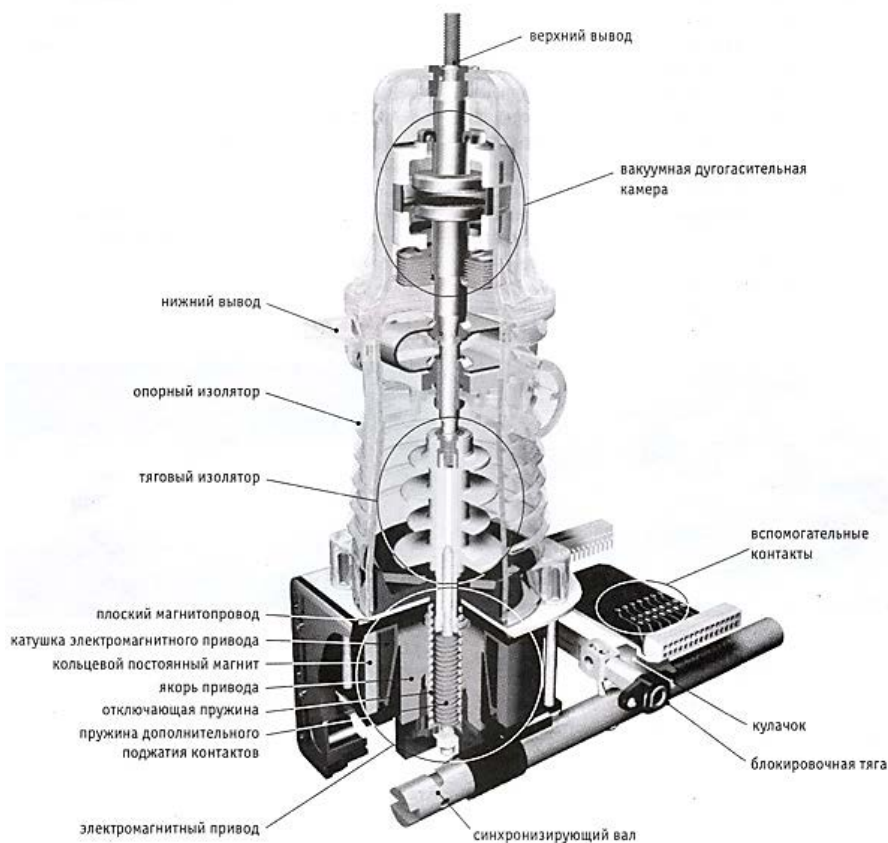


Рисунок 1 – Устройство вакуумного выключателя

По назначению:

- Сетевые выключатели, рассчитанные на напряжения от 6 кВ, применяются в электрических сетях и предназначены для коммутирования тока в нормальных условиях работы сети, а также в заданных ненормальных условиях, например, условия короткого замыкания.
- Генераторные выключатели работают на напряжении от 6 до 20 кВ. Применяются в цепях электрических машин (генераторов, синхронных и асинхронных электродвигателей и т.д.). Предназначены для пропускания и коммутаций тока в нормальных условиях, пусковых режимах и при коротких замыканиях. Отличаются большими значениями номинального тока (до 10 кА) и тока отключения.
- Выключатели на напряжение от 6 до 220 кВ для электротермических установок, применяемые в цепях крупных электротермических установок (например, сталеплавильных, рудотермических и других печей) и предназначенные для пропускания и коммутаций тока в нормальных условиях, а также в различных эксплуатационных режимах и при коротких замыканиях.
- Выключатели нагрузки — выключатели, предназначенные для коммутаций под номинальным током, но не рассчитанные на разрыв сверхтоков. Используются в сетях до 10 кВ для коммутации небольших нагрузок.
- Реклоузеры — подвесные, дистанционно управляемые выключатели. Они снабжены защитой и устанавливаются на опорах воздушных линий электропередачи.

Выключатели специального назначения классифицируются по следующим параметрам.

По виду установки:

- Опорные — имеют основную изоляцию на землю опорного типа.
- Подвесные — имеют основную изоляцию на землю подвесного типа.
- Выкатные — имеют приспособления для выкатывания из ячеек распределительных устройств и создания «видимого разрыва» при работах на линии.
- Настенные — укрепленные на стенах закрытых распределительных устройств.
- Встраиваемые в комплектные распределительные устройства

По категориям размещения:

- Для работы на открытом воздухе (категория размещения 1)
- Для работы на открытом воздухе с минимальной защитой (категория размещения 2)
- Для работы в комплектных распределительных устройствах (КРУ) и в помещениях (категория размещения 3)
- Для работы в специально оборудованных помещениях (категория размещения 4)

По климатическому исполнению различают десять 10 разновидностей силовых выключателей в зависимости от географического места установки:

- У — умеренный климат (-45...+40°C);
- ХЛ — холодный климат (-60...+40°C);
- УХЛ — умеренный и холодный климат (-60...+40°C);
- Т — тропический климат (+1...+40°C);
- М — морской умеренно-холодный климат (-40...+40°C);
- О — общеклиматическое исполнение (кроме морского) (-60...+50°C);
- ОМ — общеклиматическое морское исполнение (-40...+45°C);
- В — всеклиматическое исполнение (-60...+50°C);

Длительность времени работы выключателя зависит от конструкции его привода и типа применяемой энергии для отключения.

Выключатели могут использовать энергию:

- взведенной пружины;
- давления сжатого газа либо воздуха;
- электромагнитного поля;
- или их комбинации.

Современные силовые выключатели полностью выполняют отключение примерно за 0,04 секунды с момента поступления команды на привод.

Заключение

Силовые выключатели являются одними из наиболее важных и неотъемлемых элементов в любой электроэнергетической системе. Их разнообразие позволяет подобрать наиболее оптимальный вариант для каждой из поставленных задач и подобрать выключатель исходя из требований. В наше время идет активное развитие в направлении создания и разработки новых конструкций выключателей высокого номинального напряжения с целью уменьшения габаритов и массы, увеличения скорости гашения дуги. Ведутся поиски новых сред, в которых гашение дуги будет протекать эффективнее, чем в вакууме и элегазе.

Литература

1. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]/ Высоковольтные выключатели. -Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Высоковольтный_выключатель. - Дата доступа: 21.10.2021
2. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]/ Высоковольтные выключатели. -Режим доступа: <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/394-naznachenie-vysokovoltnykh-vyklyuchatelej.html>. - Дата доступа: 21.10.2021
3. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]/ Высоковольтные выключатели. -Режим доступа: <https://forca.ru/spravka/vysokovoltnye-vyklyuchateli/klassifikaciya-vyklyuchateley.html> - Дата доступа: 21.10.2021

4. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]/
 Высоковольтные выключатели. -Режим доступа:
<https://rep.bntu.by/handle/data/13679> - Дата доступа: 21.10.2021
5. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]/
 Высоковольтные выключатели. -Режим доступа:
<https://rzso.ru/info/articles/vysokovoltnye-vakuumnye-vyklyuchateli/>. - Дата
 доступа: 21.10.2021

УДК 621.311

**ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ НАГРУЗКИ НА ТРЕХЖИЛЬНЫЕ
КАБЕЛИ 6-10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА
LONG-TERM PERMISSIBLE LOAD CURRENTS ON THREE-CORE
CABLES OF 6-10 KV WITH CROSS-LINKED POLYETHYLENE
INSULATION**

Е.Б. Иселёнок

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Iselyonok

Supervisor – M. Korotkevich, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допустимы большие значения токов нагрузки независимо от характеристик окружающей среды, по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией, за счет большей допустимой разности температур нагрева токопроводящих жил кабеля и окружающей среды, а также меньших значений тепловых сопротивлений изоляции и других конструктивных элементов кабеля.

Abstract: For cables with cross-linked polyethylene insulation large values of load currents are permissible, regardless of the characteristics of the environment, in comparison with cables with paper-oil insulation, due to the greater permissible temperature difference between the heating of the conductive cores of the cable and the environment, as well as lower values of thermal resistance of insulation and other structural elements of the cable.

Ключевые слова: длительно допустимые токи нагрузки, трёхжильные силовые кабели, коэффициент поверхностного эффекта, коэффициент близости.

Keywords: long-term permissible load currents, three-core power cables, surface effect coefficient, closeness value.

Введение

Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелем с бумажно-масляной изоляцией обладает следующими важными преимуществами: меньшей повреждаемостью, большей пропускной способностью, неограниченной разностью уровней прокладки, меньшим радиусом изгиба, возможность прокладки при отрицательных температурах.

Основная часть

Расчетные значения длительно допустимых токов нагрузки, исходя из длительно допустимой температуры нагрева жил вычисляются по формуле, которая взята из ГОСТа [1]. Диэлектрические потери W_d не учитываются, т.к. напряжение кабеля меньше 110 кВ, а именно 6-10 кВ.

$$I = \left[\frac{\Theta_{\text{доп}} - \Theta_0}{R\{T_1 + 3[(1 + \lambda_1)T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)]\}} \right]^{0,5}, \quad (1)$$

где $\Theta_{\text{доп}}$ – максимальная рабочая температура жилы, °С;

Θ_0 – температура окружающей среды, °С;

R – сопротивление жилы переменному току при максимальной рабочей температуре, Ом/м;

T_1 – тепловое сопротивление между жилой и экраном на единицу длины, К · м/Вт;

T_2 – тепловое сопротивление подушки между оболочкой и броней;

T_3 – тепловое сопротивление наружного защитного покрытия кабеля на единицу длины, К · м/Вт;

T_4 – тепловое сопротивление между поверхностью кабеля и окружающей средой (земля, воздух) на единицу длины, К · м/Вт;

λ_1 – отношение потерь в металлической оболочке или экранах к общим потерям во всех жилах кабеля;

λ_2 – отношение потерь в броне к общим потерям во всех жилах кабеля.

В электротехническом справочнике указано, что коэффициент поверхностного эффекта больше, чем коэффициент близости. Однако коэффициенты, рассчитанные по формулам (2) и (3), взятым из ГОСТа [1], начиная со значения площади поперечного сечения жилы 150 мм² коэффициент близости больше, чем коэффициент поверхностного эффекта [2].

Коэффициент поверхностного эффекта y_s определяют по формуле:

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8 \cdot x_s^4}, \quad (2)$$

где $x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_s$;

f – частота, Гц.

Значения k_s приведены в [1, таблице 2].

Коэффициент эффекта близости определяют по формуле:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} + 0,27} \right], \quad (3)$$

где $x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_p$,

d_c – диаметр жилы, мм;

s – расстояние между осями жил, мм.

Длительно допустимые токи нагрузки, определенные по формуле (1), увеличиваются, с увеличением напряжения с 6 до 10 кВ. Длительно допустимые токи кабеля с медными жилами больше, чем с алюминиевыми. У кабеля с пофазным экраном токи больше, чем с общим.

Длительно допустимые токи нагрузки, определенные для кабелей, прокладываемых в земле, меньше примерно в 1,3 раза соответствующих значений, приведенных в ПУЭ, в связи с тем, что удельное термическое сопротивление грунта ранее принималось 1,2 °К · м/Вт вместо нынешних 1,8 °К · м/Вт [3]. В ПУЭ наоборот [4].

Длительно допустимые токи нагрузки для кабелей, прокладываемых на воздухе, больше значений таких же токов, характерных при прокладке кабелей в земле [2].

По международным стандартам кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена рассчитаны на работу в длительно допустимом режиме при температуре 90°C, а кабели с бумажно-масляной изоляцией – при 70 °С, поэтому из-за большей разности температур у кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена сопротивление переменному току больше.

При сравнении длительно допустимых токов нагрузки для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с расчетными значениями допустимых токов нагрузок для кабеля с бумажно-масляной изоляцией, а также со значениями из ПУЭ получается, что для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допустимы большие значения токов нагрузки независимо от характеристик окружающей среды, по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией, за счет большей допустимой разности температур нагрева токопроводящих жил кабеля и окружающей среды, а также меньших значений тепловых сопротивлений изоляции и других конструктивных элементов кабеля [2].

Заключение

Максимальная передаваемая мощность у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена в 1,2 раза больше, чем у кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией. Стоимость и себестоимость передачи электроэнергии у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена примерно в 1,2 раза больше, чем у кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией [2]. Однако вероятность отказа кабельной линии с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена на порядок меньше. Следовательно, при длительно допустимом токе нагрузки надо выбрать кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена на одну ступень меньшую.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения: – М.: Стандартинформ, 2009. – 25 с.
2. Иселёнок, Е. Б. Определение длительно допустимых токовых нагрузок на трехжильные силовые кабели напряжением 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена/ Е. Б. Иселёнок; науч. рук. М. А. Короткевич. Минск: БНТУ, 2021.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчет теплового сопротивления: – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.
4. Правила устройства электроустановок: сборник нормативных правовых актов Республики Беларусь / составители: Л. С. Овчинников, Н. В. Овчинникова. - Минск: Дизайн ПРО, 2012. - 1375 с.

УДК 621.311

**ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ
КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF CONTEMPORARY TYPES OF
SWITCHING DEVICES**

А.А Киреня

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kirenia

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Данная статья должна ознакомить читателя с типами современных коммутационных аппаратов на примере высоковольтных выключателей. Она описывает преимущества и недостатки выключателей различной конструкции. Актуальность статьи заключается в том, что в данный момент происходит активное замещение аппаратов старой конструкции на современные устройства. Знание сильных и слабых сторон различных типов устройств поможет совершить наиболее рациональный выбор при модернизации.

Abstract: The following article must acquaint the reader with information about types of contemporary switching devices on the example of high-voltage switches. The article describes advantages and disadvantages of switches of various designs. The relevance of the article lies in the fact that currently there is an active replacement of devices of the old design with modern ones. Knowledge's about strengths and weaknesses of different types of devices will help to make the most rational choice.

Ключевые слова: Коммутационные аппараты, выключатели, высоковольтный, электрическая дуга, короткое замыкание.

Keywords: Switching devices, switches, high-voltage, electric arc, electrical short.

Введение

Все процессы, связанные с замыканием и размыканием электрических цепей, принято называть коммутацией. Для выполнения этих функций существует специальное оборудование, которое устанавливается в различных цепях с целью достижения нормального функционирования системы.

Коммутационные аппараты представляют собой устройства, которые призваны подавать или прекращать поступление электрического тока в сеть. Сегодня применяется множество разновидностей представленных агрегатов. Они отличаются конструкцией и спецификой действия. Чтобы правильно выбрать агрегат, необходимо рассмотреть существующие виды и их особенности.

Коммутационные аппараты подразделяются на большое количество различных видов, однако в нашем случае изучение и сравнение характеристик оборудования будет производиться на примере различных классов высоковольтных выключателей.

Основная часть

Выключатели – это важнейший элемент оборудования распределительных устройств подстанций, так как данный коммутационный аппарат осуществляет включение и отключение участков электрической сети под рабочим током нагрузки, а в случае возникновения аварийных режимов – очень большие токи, токи короткого замыкания.

В электроустановках применяется несколько типов высоковольтных выключателей: воздушные, масляные, вакуумные, электромагнитные и элегазовые.

В воздушных высоковольтных выключателях гашение плазменной дуги, возникающей при коммутационных процессах, происходит с помощью потока сжатого воздуха, получаемого от компрессора и хранящегося в ресивере. Зачастую в параллель к дугогасящим контактам присоединяют шунтирующее сопротивление, которое помогает погасить плазменную дугу.

Воздушные высоковольтные выключатели считаются наименее эффективным типом из-за своих внушительных габаритов и дороговизны обслуживания, поэтому на электростанциях (или других объектах) происходит постепенная модернизация с заменой их на высоковольтные выключатели с другим принципом действия.

Гашение дуги масляного выключателя происходит в масляной среде. Выключатели этой группы состоят из маломасляных выключателей, в которых масло используется только в качестве среды для гашения дуги, и баковых выключателей с большим объемом масла, которое также играет роль изолятора токоведущих частей.

В элегазовых выключателях статус дугогасящей среды получил электропрочный газ SF₆ (элегаз), который циркулирует внутри системы выключателя и не выбрасывается наружу. В момент гашения дуги автопневматический аппарат направляет элегаз, сжатый поршневым устройством, в зону коммутации. По количеству газа элегазовые выключатели различают на колонкового и бакового типа.

Для гашения дуги вакуумных выключателей используют такую характеристику вакуума как электрическая прочность, которая в десятки раз превышает показатели газа при атмосферном давлении. В момент размыкания контактов образуется вакуумная дуга, которая получается путем испарения частиц металла, по которому проходит ток. Дуга существует малый промежуток времени (7-10 микросекунд), пока синусоида тока не достигнет нулевой отметки.

В электроустановках с частыми коммутационными операциями чаще всего устанавливаются электромагнитные выключатели. Гашение дуги в данном типе высоковольтного выключателя осуществляется путем значительного приумножения сопротивления плазмы из-за увеличения её длины под действием электромагнитного поля и низких температур в дугогасящей камере.

Основные критерии оценки эффективности выключателей:

- Механическая прочность;

Чем проще конструкция выключателя, тем выше его механическая прочность. Среди рассмотренных типов высоковольтных выключателей самый

высокий показатель прочности имеет вакуумный выключатель, а наименьший – масляный выключатель.

- Электрическая прочность дугогасящей среды;

Элегазовая среда гашения дуги обладает самыми высокими диэлектрическими параметрами, особенно при напряжении выше 110 кВ. При напряжении до 110 кВ вакуумная дугогасящая среда не уступает по электрической прочности элегазовой. Наименьший показатель прочности у масляного выключателя, что объясняется низкой устойчивостью масла к высоким температурам и его испарением при возникновении дуги горения.

- Коммутационный ресурс выключателя;

Количество циклов, которое может осуществить выключатель, связано с силой тока коммутации – с ростом величины тока снижается срок службы составных частей оборудования. Каждый высоковольтный выключатель рассчитан на конкретное (гарантированное) количество «разрываний» электрической сети. В этом плане главным недостатком вакуумных выключателей является тот факт, что по исчерпанию коммутационного ресурса невозможно произвести работы по замене компонентов выключателя, и требуется полная замена агрегата. В свою очередь, у элегазовых и электромагнитных высоковольтных выключателей по окончании коммутационного ресурса есть возможность проведения капитального ремонта, в процессе которого происходит общий осмотр выключателя, проверяется степень износа элементов конструкции аппарата и выносится заключение о дальнейшем сроке эксплуатации высоковольтного выключателя. Масляный выключатель по истечении коммутационного ресурса также подлежит восстановлению, но со значительно меньшим межремонтным периодом. В большинстве случаев после семи раз срабатывания выключателя при возникновении токов короткого замыкания предписано проводить капитальные работы по ремонту коммутационного аппарата. Главным образом это связано с тем, что трансформаторное масло (дугогасящая среда) теряет свои изоляционные свойства и способность гасить дугу и подлежит обязательной замене.

- Габариты и вес;

Если сравнивать вес разных типов высоковольтных выключателей для работы с напряжением 110 кВ, то масляные выключатели обладают в несколько раз большими габаритными размерами и массой, чем элегазовые или вакуумные при схожих эксплуатационных характеристиках.

- Гарантийный срок обслуживания;

Если производитель дает большой гарантийный срок, то это свидетельствует о том, что данная продукция очень надежна. В таком случае возможные проблемы, возникающие при эксплуатации в течение гарантийного срока обслуживания, устраняются представителями завода-изготовителя.

Заключение

Нельзя со стопроцентной вероятностью определить, какой из видов выключателя эффективнее всех остальных, так как эффективность во многом зависит от условий использования. А также коммутационный ресурс, механическая прочность, быстрота реагирования на аварийные ситуации и

прочие параметры зависят от качества сборки и материалов, из которых произведены составные части конструкции выключателя. Однако уже сейчас активно идет процесс по замене устаревших типов аппаратов, таких как воздушные и масляные, на другие типы. Впрочем, в последнее время все яснее видна тенденция производителей высоковольтных выключателей – это создание моделей вакуумных выключателей с интегрированными в них приборами, которые выполняют три основных функции – защита, коммутация и измерения. Так называемых аппаратов интеллектуального типа.

Литература

1. Сравнительная характеристика масляных, вакуумных и элегазовых высоковольтных выключателей [Электронный ресурс]/. -Режим доступа: <http://electricalschool.info/elstipod/1722-sravnitelnaja-kharakteristika.html> /. – Дата доступа 08.10.2021.
2. Виды высоковольтных выключателей и их различия [Электронный ресурс]/. -Режим доступа: <https://eds-engineering.com/ru/novosti/vidyi-vyisokovoltnyix-vyiklyuchatelej-i-ix-razlichiya> /. – Дата доступа 08.10.2021.
3. Сравнительная характеристика масляных, вакуумных и элегазовых высоковольтных выключателей [Электронный ресурс]/. -Режим доступа: <https://oooevna.ru/sravnitelnaa-harakteristika-maslanyh-vakuumnyh-i-elegazovyh-vysokovoltnyh-vyklucatelej> /. – Дата доступа 08.10.2021.
4. Выключатели вакуумные 6-10КВ ВВ-БЭМН, ВВ-БЭМН-М, ВВ-БЭМН-Л [Электронный ресурс]/. -Режим доступа: <http://www.bemn.by/production/vakuumnye-vyklyuchateli/vakuumnyu-vyklyuchatel-6-10kv-vv-bemn-m-l> /. – Дата доступа 08.10.2021.

УДК 621.315.2.016.2

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ
CLASSIFICATION AND LABELING OF POWER CABLES

Е.В. Радюк

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Radziuk

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Силовой кабель – говоря общими словами, это кабель для передачи электрической энергии. Он обеспечивает подключение потребителей к питанию от распределительных щитов промышленных и коммунальных объектов. Традиционно принято считать, что силовой кабель – это любой кабель, кроме проводов для подключения осветительных приборов, акустических проводов для усилителя, сетевых для компьютера и телевизионных. Так чем же так важны силовые кабели?

Abstract: Power cable - in general terms, it is a cable for the transmission of electrical energy. It provides connection of consumers to power supply from distribution boards of industrial and municipal facilities. Traditionally, it is believed that a power cable is any cable other than wires for connecting lighting devices, acoustic wires for an amplifier, network wires for a computer and television. So why are power cables so important?

Ключевые слова: силовой кабель, жила, маркировка, классификация, электричество, энергетика.

Keywords: power cable, core, marking, classification, electricity, energy.

Введение

Силовой кабель – это изолированный токопроводящий проводник, рассчитанный на большие нагрузки. Главным отличием проводов от кабелей является то, что те используются для внутренней разводки и подключения электрооборудования. Кабели, в свою очередь, используются в частных домах для подключения самого объекта к ближайшей электросети и для подачи питания на силовые агрегаты: электрокотлы отопления, электроплиты и т.п. Силовые кабели играют очень важную роль в повседневной жизни человека, помогая ему грамотно использовать все блага человечества, созданные на принципе передачи электроэнергии. Для выбора наиболее подходящего силового кабеля используется определенная классификация силовых кабелей по различным параметрам, которые мы рассмотрим ниже.

Основная часть

Силовой кабель – это токопроводящий проводник, применимый на большие нагрузки и оснащенный определенным типом изоляции. Исходя из определения, можно сказать, что силовые кабели можно классифицировать по нескольким факторам: по назначениям номинального напряжения сети, по типу изоляции, по особенностям конструкции (рисунок 1).

Материал для изготовления токопроводящих жил также может отличаться. Наиболее распространенными материалами в настоящее время являются алюминий и медь [1].

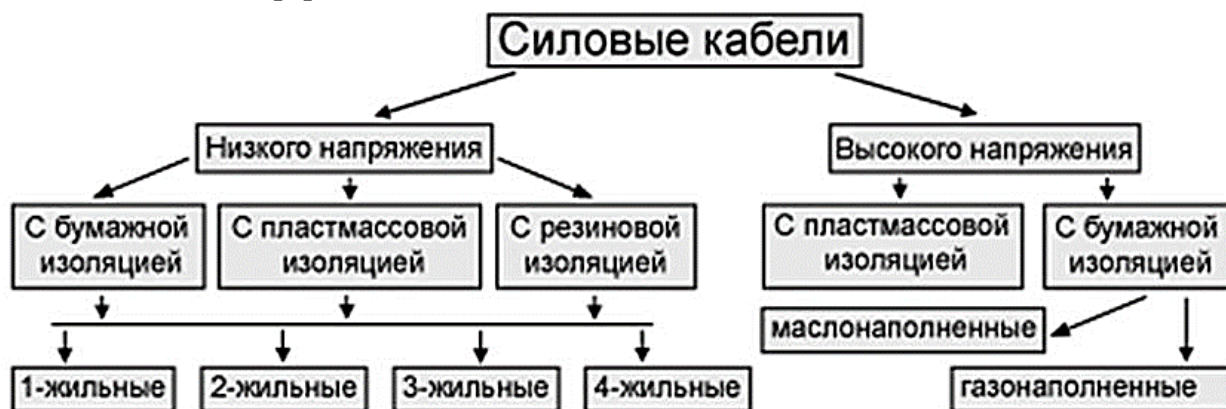


Рисунок 1 – Классификация силовых кабелей

Силовые кабели подразделяются на кабели низкого и высокого напряжения. К кабелям низкого напряжения относят кабели для сетей переменного напряжения, особенно напряжения от 1кВ до 35кВ, и кабели для сетей с заземленной нейтралью в сетях постоянного тока. К кабелям высокого напряжения относят кабели для сетей переменного напряжения, а именно напряжения от 110кВ до 750кВ, и кабели для сетей постоянного напряжения от 100кВ до 400кВ.

В первую очередь, поговорим о кабелях низкого напряжения. Для них применима бумажная, пластмассовая и резиновая изоляции.

Пластмассовая изоляция – самый многообещающий вид изоляции. Преимущества кабелей с такой изоляцией в том, что они удобны в монтаже, примитивны в производстве и надежны при эксплуатации. Сопротивление изоляции кабелей с пластмассовой изоляцией будет долго оставаться в дозволённых пределах. Внушительный процент от всех изготавливаемых кабелей принадлежит именно кабелям с таким типом изоляцией. Силовые кабели с прочей изоляцией в наше время почти не выпускаются.

Кроме вида изоляции, отличительным фактором между кабелями низкого напряжения может являться количество жил. Силовые кабели низкого напряжения могут быть произведены в четырёх исполнениях: одножильном, двухжильном, трехжильном и четырехжильном.

Одножильные и трехжильные силовые кабели применимы в сетях напряжением от 1кВ до 35кВ, а двухжильные и четырехжильные кабели используют в сетях до 1кВ. Четырехжильные кабели предназначены для сетей электроснабжения четырехпроводного типа. Отличительной чертой четырехжильных кабелей является то, что четвертая жила является заземляющим проводником. Во взрывоопасных, пожароопасных и других опасных помещениях эта жила имеет сечение равное сечению иных жил.

Теперь перейдём к кабелям высокого напряжения. К этой группе относят кабели, предназначенные для службы в сетях переменного

напряжения с номинальными значениями 110, 220, 330, 380, 500, 750 кВ и выше, а также кабели постоянного напряжения от 100 до 400 кВ и выше.

Силовые кабели высокого напряжения также могут иметь разный тип изоляции: пластмассовая, бумажная маслonaполненная и газонаполненная изоляции. Самым распространенным видом изоляции среди кабелей высокого напряжения является маслonaполненная бумажная изоляция. Превосходство такого типа изоляции состоит в том, что давление масла обеспечивает отличную прочность и сопротивление изоляции.

В некоторых случаях для заполнения кабеля используют газ. В качестве наружной изоляции преимущественно применяется пластмасса. Именно подобный тип изоляции позволяет сохранять значение сопротивления изоляции кабеля в нормативе длительное время.

Для более рационального подбора и классификации силовых кабелей используется маркировка. Маркировка силовых кабелей в электроснабжении складывается из букв и цифр, каждая из которых имеет своё значение (рисунок 2).



Рисунок 2 – Маркировка силовых кабелей

Первая буква используется для обозначения материала жилы. Как говорилось ранее, наиболее распространенными материалами для изготовления жил являются алюминий и медь. Если жила произведена из алюминия, то используют букву А. При применении меди, первая буква не указывается.

Второй буквой обозначают материал изоляции. К нему может относиться бумага, негорючая резина, полиэтилен, поливинилхлорид и резина. В случае использования бумаги в качестве изоляции, вторая буква не указывается. Если изоляция произведена не из бумаги, то вторая буква зависит от используемого материала: Н – негорючая резина, П – полиэтилен, В – поливинилхлорид, Р – резина.

Третьей буквой обозначают тип внешней оболочки: А – алюминий, С – свинец, П – полиэтилен, В – поливинилхлорид, Р – резина.

Четвертая указывает на вид защитного покрова-брони. При использовании стальной ленты указывают букву Б, стальной плоской проволоки – П, а для случаев использования стальной круглой проволоки – К.

Последующие буквы указывают тип наружного покрова. Если наружный покров отсутствует, то пишут букву Г. Если наружным покровом служит шланг полиэтиленовый, то указывают букву Шп, если шланг поливинилхлоридный – Шв. Для указания негорючего состава пишется буква Н, если наружный покров представлен кабельной пряжей – буква отсутствует.

Маленькие буквы НГ обозначают оболочку пониженной горючести для оболочки из ПВХ. Для обозначения маслонаполненных кабелей используют букву М (Г для газа). Следующая буква Н обозначает низкое давление, а буква В высокое давление.

После всех букв идет цифра указывающая на количество жил. Далее идет цифра обозначающая сечение жил. Маленькие буквы ОЖ обозначают однопроволочный проводник жилы. Отсутствие букв указывает на то, что жилы многопроволочные [2].

Заключение

Силовые кабели играют очень важную роль в повседневной жизни человека, помогая ему грамотно использовать все блага человечества, созданные на принципе передачи электроэнергии. Для успешного использования силовых кабелей в долгосрочной перспективе нужно помнить о маркировке и классификации силовых кабелей. Это поможет нам выбрать наиболее подходящий вариант для передачи электрической энергии.

Литература

1. Электрооборудование и материалы [Электронный ресурс]/ Классификация и маркировка силовых кабелей. -Режим доступа: <https://elektrikru.ru/nashi-raboty/klassifikaciya-i-markirovka-silovogo-kabelya.html/>. – Дата доступа: 17.10.2021.
2. АО Энергетик [Электронный ресурс]/ Классификация и маркировка силовых кабелей. –Режим доступа: https://energetik-ltd.ru/statii/statii6/klassifikaciya_silovih_kabeley_i_provodov/. – Дата доступа: 17.10.2021.

УДК 621.3.05

**МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КАК
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ****MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION METHOD AS A TOOL FOR SOLVING
APPLIED POWER SUPPLY PROBLEMS**

Г.К. Ковтун

Научный руководитель – М.А. Короткевич, доктор технических наук
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

G. Kovtun

Supervisor – M. Korotkevich, Doctor of Technical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: при решении задач электроснабжения возникает задача определение оптимального решения из ряда предлагаемых. Классический подход заключается в оценке предлагаемых решений методом приведенных затрат. Однако в таком случае не учитываются качественные характеристики предлагаемых решений. Метод многокритериальной оптимизации позволяет учесть разнородные характеристики, неподдающиеся сравнению классическими методами.

Abstract: the task arises of determining the optimal solution from a number of proposed ones, when solving power supply problems. The classical approach is to evaluate the proposed solutions by the reduced cost method. However, in this case, the qualitative characteristics of the proposed solutions are not taken into account. The multi-criteria optimization method allows us to take into account heterogeneous characteristics that cannot be compared with classical methods.

Ключевые слова: электроэнергетика, электроснабжение, метод сравнения, многокритериальность, нормализация критериев.

Keywords: electric power industry, power supply, comparison method, multi-criteria, normalization of criteria.

Введение

В процессе решения задачи электроснабжения практически всегда предлагается несколько проектных решений. Каждое из них решает одну и ту же задачу, в то же время могут разительно отличаться: иметь различный структуру и состав оборудования, либо даже иметь абсолютно разную идеологию построения технологического процесса. В таком случае возникает задача создания метода комплексного сравнения, в котором помимо количественных параметров, сравнивались бы качественные характеристики объектов (сравнения). В рамках данной задачи сравниваемые объекты имеют ряд критериев, при этом один объект лучше по одним критериям, а второй – по другим. Возникает вопрос, как сформулировать единую цель, если критериев сравнения много и при этом они характеризуются совершенно различными единицами измерения, в основе которых лежат абсолютно разные физические принципы.

В этом и есть проблема неопределенности цели. Она типична для любого проекта реальной сложной системы. Реальный проект сложной системы всегда будет каким-то компромиссом, каким-то сочетанием требуемых качеств. Каким именно заранее неизвестно, в этом и заключается основная проблема многокритериальности [1]. Никакие расчеты не могут определить наилучший компромисс между этими критериями. Но так как решение должно быть принято, то недостаток информации, связанной с наличием многих критериев, необходимо восполнить. Для решения таких задач применяется метод многокритериальной оптимизации.

Основная часть

В рамках метода многокритериальной оптимизации все задачи разделяются на типы. Наша задача (сравнение нескольких разнородных технических решений) относится к первому типу – задачи оптимизации на множестве целей. В задачах этого типа имеется несколько целей (или несколько качеств объекта), каждая из которых должна быть учтена при выборе оптимального решения. Особенность – скалярные критерии, как правило, имеют различные единицы измерения [2].

При решении многокритериальных задач можно выделить ряд этапов:

- сформулировать итоговую задачу в терминах многокритериальной оптимизации с формированием множества критериев, которые в полной мере отражают целевые параметры сопоставляемых систем;
- определить коэффициенты важности критериев. Определение данных коэффициентов позволяет решать задачи перехода от многокритериальной задачи к однокритериальной;
- нормализовать (преобразовать) критерии. Необходимость преобразования обусловлена тем, что критерии имеют различные единицы измерения и часть критериев следует максимизировать, а другие – минимизировать. Необходимо нормализовать критерии, т. е. привести их не только к единому безразмерному масштабу, но и к единой шкале;
- завершающим этапом является сведение многокритериальной задачи к однокритериальной.

На первом этапе формулируется итоговая задача с позиции метода многокритериальной оптимизации. В общем виде применительно к области электроснабжения задача будет сформулирована следующим образом: выявить наиболее оптимальный проект технического решения по электроснабжению.

Далее определяется множество критериев, которые в полной мере отражают целевые параметры сопоставляемых вариантов электроснабжения, например:

- приведенные затраты;
- надежность работы;
- эксплуатационные характеристики;

и т.п.

При этом необходимо отметить, что для ряда критериев оценки благоприятный исход наблюдается при максимизации значения критериев

(надежность работы). А для других критериев – при минимизации значения данных критериев (приведенные затраты).

В рамках второго этапа необходимо определить значения важности критериев. Как показано в [3] и [4] одним из наиболее эффективных в проводимых исследованиях оказался метод ранжирования.

В рассматриваемой задаче ранжирование – это процедура определения коэффициентов важности критериев, проводимая на основе упорядочения критериев. Ранг – это параметр, определяющий порядковое место анализируемого критерия в перечне остальных критериев. Зачастую наиболее предпочтительному критерию присваивают первый ранг и наименее предпочтительному – последний ранг.

Пусть экспертиза проводится группой из l экспертов, которые являются специалистами в той области, в которой принимается решение. Анализ подвергнется r критериев. Суть метода ранжирования изложена ниже.

Каждый эксперт расставляет критерии в порядке их важности и проводит их нумерацию. Цифра 1 присваивается наиболее важному, по мнению экспертов критерию, цифра 2 – следующему по важности критерию и т. д.

Полученные на шаге 1 ранги преобразовывают так, что ранг 1 получает оценку r , ранг 2 — оценку $(r - 1)$ и т. д. до ранга r , которому присваивается оценка, равная единице. Называют полученные на шаге 2 оценки преобразованными рангами и обозначат их ρ_j^i , $j = \overline{1, r}$; $i = \overline{1, l}$.

Определить коэффициенты важности a_j , $j = \overline{1, r}$; критериев из выражения:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^l \rho_j^i}{\sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^l \rho_j^i}, \quad (1)$$

После определения значений коэффициентов важности проводится статистический анализ полученных данных [5]. Он заключается в том, что определяется степень согласованности мнений всех экспертов по оценке важности критериев. Мерой согласованности является коэффициент конкордации K_k который вычисляют по выражению:

$$K_k = \frac{12 \cdot S}{l^2 \cdot (r^3 - r)}, \quad (2)$$

где l – число экспертов;

r – число критериев;

S – сумма квадратов разностей между индивидуальными значениями оценок критериев и средним значением \bar{S} .

Коэффициент конкордации изменяется в пределах от нуля до единицы. Причем, при K_k равному нулю мнения экспертов полностью не совпадают, а при K_k равному единице имеем полное совпадение мнений экспертов.

Среднее значение \bar{S} определяется по выражению:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^l \rho_j^i}{r}. \quad (3)$$

В случае получения приемлемого уровня коэффициента конкордации (обычно более 0,4) переходят к третьему этапу.

Как уже отмечалось, критерии имеют, различную размерность, часть из них представляет собой максимизируемую, часть – минимизируемую функцию. С целью сравнения систем по множеству критериев необходимо осуществить преобразование критериев.

Преобразования должны удовлетворять следующим требованиям [3]:

- учитывать необходимость минимизации величины отклонений от оптимальных значений по каждому критерию;
- иметь общее начало отсчета и один порядок изменения значений на всем множестве допустимых альтернатив;
- не изменять множество эффективных альтернатив.

В качестве преобразования выбирают одну из монотонных функций следующего вида [3]:

$$K_j(S_\alpha) = \frac{f_j^0 - f_j(S_\alpha)}{f_j^0 - f_{j(\min)}}, j \in J_1, \quad (4)$$

$$K_j(S_\alpha) = \frac{f_j(S_\alpha) - f_j^0}{f_{j(\max)} - f_j^0}, j \in J_2, \quad (5)$$

$$K_j(S_\alpha) = \frac{f_j^0 - f_j(S_\alpha)}{f_j^0}, j \in J_1, \quad (6)$$

$$K_j(S_\alpha) = \frac{f_j(S_\alpha) - f_j^0}{f_j^0}, j \in J_2, \quad (7)$$

где $f_{j(\min)}, f_{j(\max)}$ – наименьшие значения максимизируемых и наибольшие значения минимизируемых критериев, достигаемые на множестве допустимых альтернатив;

f_j^0 – оптимальное значение j -го критерия;

J_1, J_2 – соответственно множества номеров максимизируемых и минимизируемых критериев.

Для преобразований вида (4), (5) величины $K_j(S_\alpha)$ лежат всегда в пределах от нуля до единицы, а для преобразований (6), (7) эти же величины могут и не лежать в указанных пределах. Заметим, что в практических вычислениях более удобными оказались преобразования (6), (7) [2].

Финальным – четвертым этапом является сведение многокритериальной задачи к однокритериальной. Данное действие может осуществляться различными способами, простейший из них – метод равномерной оптимальности или линейная свертка.

Согласно этому методу вместо r частных критериев $K_j(S_\alpha)$, $j = \overline{1, r}$ предлагается рассматривать критерий вида:

$$F(S_\alpha) = \sum_{j=1}^r a_j \cdot K_j(S_\alpha), \quad (8)$$

где a_j – коэффициенты важности критериев, причем $\sum_{j=1}^r a_j = 1$.

В качестве оптимальной системы выбирают такую систему S_α , для которой выполняется условие:

$$F(S_\alpha) = \min F(S_\alpha), \quad (9)$$

Недостатком данного метода является возможность компенсации недопустимо больших значений некоторых критериев достаточно малыми значениями других [1]. Данного недостатка лишён метод идеальной точки в пространстве критериев. Его и будем использовать в расчётах.

Допустим, выполнено решение r однокритериальных задач $\min K_j(S_\alpha)$, $j = \overline{1, r}$. В результате решения каждой задачи найдём оптимальную систему S_β , доставляющую минимальное значение критерию $K_j(S_\beta)$, $j = \overline{1, r}$. Говорят, что в многокритериальном пространстве определена идеальная точка $K^0 = \{K_1^0, K_2^0, \dots, K_r^0\}$, которую называют точкой утопии [6], [7]. Систему с такими значениями критериев называют идеальной. Как правило, не существует системы, для которой бы все критерии принадлежали этой точке. Поэтому в качестве наилучшей системы предлагается выбирать такую, которая находится ближе всего к идеальной. С этой целью введём новую целевую функцию [1]:

$$W(S_\alpha) = \left(\sum_{j=1}^r a_j \cdot (K_j(S_\alpha) - K_j^0)^2 \right)^{1/2}, \quad (10)$$

Выражение (10) показывает, насколько реальная система далека от системы идеальной.

В качестве оптимальной системы выбирают такую систему S_α^* , для которой выполняется условие:

$$W(S_\alpha^*) = \min(W(S_\alpha)), \quad (11)$$

Таким образом, наиболее оптимальным будет являться вариант, имеющий наименьшую величину целевой функции, т.е. наиболее близкий к идеальному варианту.

Заключение

Рассмотренный метод оценки оптимальности решений позволяет в полной мере учесть характеристики сравниваемых решений. Помимо количественных характеристик, используя данный метод, можно оценить и качественные характеристики предлагаемых решений и выбрать оптимальное.

Литература

1. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. — 488 с.

2. Сафронов, В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования / В. В. Сафронов. – Саратов. Научная книга, 2009. — 329 с.
3. Михалевич, В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. — М.: Наука, 1982. — 286 с.
4. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев // Автоматика и телемеханика. — 1997. № 8. — С. 3–35.
5. Саркисян, С. А. Теория прогнозирования и принятия решений: учеб. пособие / С. А. Саркисян. — М.: Высшая школа, 1977. — 351 с.
6. Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец. — М.: Наука, 1986. — 296 с.
7. Гуткин, Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств: учеб. пособие для вузов / Л. С. Гуткин. — М. : Сов. радио, 1975. — 368 с.

УДК 621.314

**СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ: НАЗНАЧЕНИЕ,
ТИПЫ, ПРИНЦИП РАБОТЫ
POWER TRANSFORMERS: PURPOSE, TYPES, PRINCIPLE OF
OPERATION**

Г.Д. Козин, С.В. Климчук

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

G. Kozin, S. Klimchuk

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье рассмотрены назначение, типы, принцип работы, нововведения в области разработки силовых трансформаторов.*

***Abstract:** this article discusses the purpose, types, principle of operation, innovations in the field of development of power transformers.*

***Ключевые слова:** трансформаторы, силовые трансформаторы, назначение трансформаторов, принцип работы трансформаторов.*

***Keywords:** transformers, power transformers, the purpose of transformers, the principle of operation of transformers.*

Введение

Одна из основных причин, по которой мы используем переменные напряжения и токи в наших домах и на рабочих местах заключается в том, что источники переменного тока можно легко генерировать при подходящем напряжении, преобразовывать (отсюда и название трансформатор) в гораздо более высокие напряжения, а затем распространять по стране с помощью кабелей на очень большие расстояния.

Основная часть

Силовой трансформатор – это статическая электромагнитная машина, предназначенная для преобразования посредством электромагнитной индукции системы переменного тока одного напряжения в систему переменного тока другого напряжения при неизменной частоте и без существенных потерь мощности.

Основным принципом работы трансформатора является закон электромагнитной индукции Фарадея или взаимная индукция между двумя катушками. Трансформатор состоит из двух отдельных обмоток, размещенных на сердечнике из многослойной кремнистой стали. Обмотка, к которой подключен источник переменного тока, называется первичной обмоткой, а нагрузка - вторичной обмоткой, как показано на рисунке 1 [1]. Он работает на переменном токе, потому что переменный поток необходим для взаимной индукции между двумя обмотками.

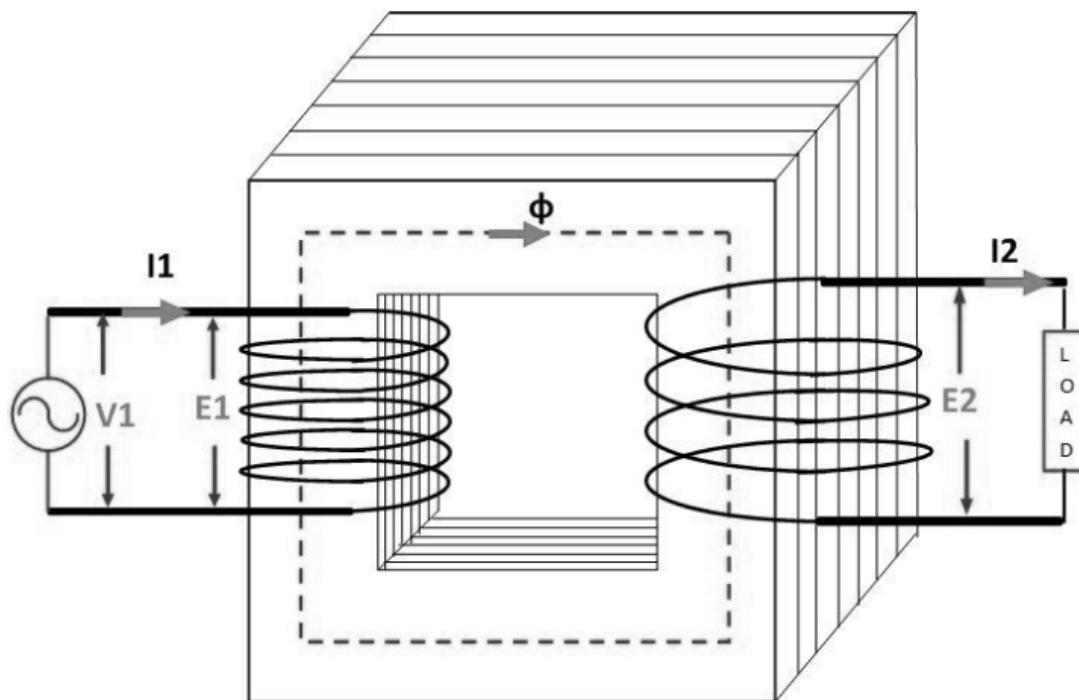


Рисунок 1 – Принцип действия трансформатора

Когда питание переменного тока подается на первичную обмотку с напряжением V_1 , переменный поток Φ устанавливается в сердечнике трансформатора, который соединяется с вторичной обмоткой, и в результате в нем индуцируется ЭДС, называемая ЭДС взаимной индукции. Направление этой наведенной ЭДС противоположно приложенному напряжению V_1 , это из-за закона Ленца (рисунок 2, [1]).

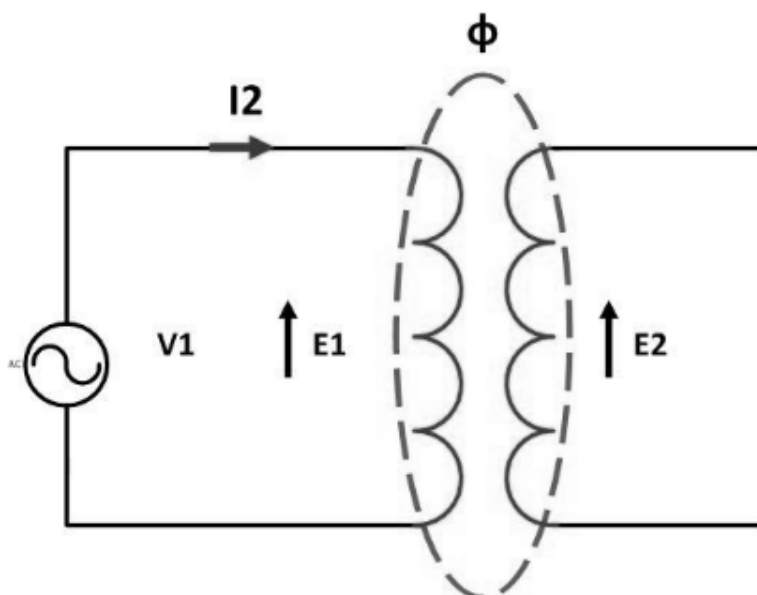


Рисунок 2 – Пример действия закона Ленца

Между двумя обмотками нет электрического соединения, но они связаны магнитным полем. Следовательно, электрическая мощность передается из первичной цепи во вторичную через взаимную индуктивность. Индуцированная

ЭДС в первичной и вторичной обмотках зависит от скорости изменения потокосцепления $(N * \frac{d\Phi}{dt}) \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ – это изменение магнитного потока, одинаковое как для первичной, так и для вторичной обмоток. Индуцированная ЭДС E_1 в первичной обмотке пропорциональна количеству витков N_1 первичной обмотке. Подобным образом наведенная ЭДС во вторичной обмотке пропорциональна количеству витков на вторичной стороне.

В Республике Беларусь определение типов силовых трансформаторов происходит в соответствии с ГОСТ 11677-85 ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ. Данный документ регламентирует следующие типы силовых трансформаторов: - исходя из условий работы: трансформаторы, предназначенные для работы в нормальных условиях и специальных; - в зависимости от вида охлаждения и изоляции: среды – сухие и масляные трансформаторы; в противовес трансформаторам заполненным маслом выступают трансформаторы с жидким негорючим диэлектриком; трансформаторы с литой изоляцией; - по типам, характеризующим назначение и основное конструктивное исполнение в соответствии с приложением 1 ГОСТ 11677-85. На данный момент мировое сообщество как никогда озабочено проблемой экологического состояния биосферы. Не секрет, что начиная с XVIII-XIX веков человечество, как следствие использования промышленных машин, загрязняло биосферу. В 2019 году был разработан первый в мире силовой трансформатор с номинальным напряжением 220 кВ, в котором изолирующая жидкость – фтороуглерод – одновременно является и теплоносителем, охлаждающим трансформатор. Данное вещество экологически чистое, негорючее и низкокипящее. Теплообмен происходит в процессе изменения агрегатного состояния жидкости [2].

Заключение

Несмотря на то, что большинство инноваций в наше время имеют цифровой характер, имеет место потребность в изучении новых технологий и методов, основанных на физических свойствах и законах. Именно такие нововведения будут являться прорывными в области проектирования и эксплуатации силовых трансформаторов.

Литература

1. Working Principle of a Transformer [Электронный ресурс]/ -Режим доступа: <https://circuitglobe.com/working-principle-of-a-transformer.html> /. – Дата доступа: 19.10.2021.
2. Инновации в трансформаторной индустрии [Электронный ресурс]/ -Режим доступа: <https://www.tor-trans.com.ua/innovacii-v-transformatornoj-industrii-za-2019-god.html> /. – Дата доступа: 19.10.2021.

УДК 621.316.9

**ПРЕДОХРАНИТЕЛИ: НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ,
ПРИНЦИП РАБОТЫ****FUSES: PURPOSE, DESIGN, PRINCIPLE OF OPERATION**

В.В. Голуб, Е.В. Драневский

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Golub, E. Dranevsky

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Люди всегда стремятся обезопасить свою жизнь и свое имущество, поэтому вопросы безопасности будут всегда актуальными. Это касается так же и энергетики. Довольно часто в энергосистеме случаются неполадки, которые могут навредить человеку и оборудованию. Чтобы исключить такие случаи придумали специальные защитные устройства – электрические предохранители.*

***Abstract:** People always strive to protect their lives and their property, so security issues will always be relevant. This also applies to energy. Quite often there are malfunctions in the power system that can harm a person and equipment. In order to exclude such cases, special protective devices were invented – electric fuses.*

***Ключевые слова:** предохранитель, защита, плавкая вставка, конструкции, сверхтоки.*

***Keywords:** fuse, protection, fuse box, constructions, overcurrents.*

Введение

Всякая электрическая система работает по балансу мощностей. К электрической сети подводится определенное напряжение, а в электрической сети есть определенное сопротивление. Поэтому по закону Ома в этой сети протекает ток определенной силы.

Сопротивление сети может медленно снижаться или быстро падать, это может быть вызвано ошибками монтажа, проблемами с изоляцией или другими факторами. При изменении сопротивления, ток будет увеличиваться, при этом нанесет вред и электрооборудованию и человеку.

Основная часть

Электрический предохранитель – это устройство, предназначенное для защиты электрической сети. Он размыкает электрическую сеть при повышении номинального тока цепи, благодаря этому спасет электрооборудование от электротравмы и человека от ударов тока (значение которого может достигать до 1 кОм). Существует четыре вида предохранителей, которые разделяются по принципу действия и способу разрыва схемы:

- Плавкие предохранители (одноразовые);
- Автоматические (многократные);
- На электронных компонентах;
- Самовосстанавливающиеся.

Плавкие предохранители.

Плавкий предохранитель состоит из плавкой вставки и стеклянной или фарфоровой оболочки. Плавкой вставкой называются элемент предохранителя, осуществляющий размыкание цепи, при появлении сверхтоков. В более мощных плавких вставках используют наполнитель для гашения электрической дуги. Контакты плавкой вставки – токоведущая часть, которая обеспечивает электрическую связь с подводными проводниками. Съёмной частью предохранителя, которая предназначена для того чтобы плавкая вставка оставалась на месте, называется держателем плавкой вставки. Держатель предохранителя – это основание предохранителя и держателя плавкой вставки. Бойком предохранителя называют механическое устройство, которое при срабатывании предохранителя освобождает энергию, которая необходима для срабатывания других аппаратов или для воздействия на свободные контакты предохранителя.

Некоторые предохранители сделаны с условием ограничения по форме и/или размерам, для того чтобы предотвращать случайные установки в их основаниях плавких вставок, отличающихся по электрическим характеристикам от тех, которые должны обеспечивать необходимый уровень защиты.

Автоматический предохранитель:

Основными элементами автоматического предохранителя являются диэлектрический корпус (внутри которого находятся подвижные и неподвижные контакты) и расцепители. Расцепители бывают двух видов: тепловые и магнитные.

- Тепловой расцепитель представляет биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим током. При протекании сверхтока эта пластина изгибается и приводит в действие пружину, которая отводит подвижный контакт, разрывая электрическую цепь.
- Магнитный (мгновенный) расцепитель состоит из соленоида, подвижного сердечника который приводит в действие пружину, отводящую подвижный контакт. Магнитный расцепитель, в отличие от теплового, срабатывает быстро (доли секунды), но при большем превышении тока.

Предохранители на электронных компонентах.

Транзисторы, диоды и тиристоры выполняют защитную функцию для этого типа предохранителя. Этот предохранитель с резистивного шунта снимает значение тока. Если ток проходящий через предохранитель превышает допустимое значение, то затвор закрывается и нагрузка будет равна нулю (отключается), при этом предохранитель быстро перейдет в состояние самоблокировки.

Самовосстанавливающиеся предохранители.

Эти устройства отличаются от других тем, что после того как их отключили они не перестают работать. Отсюда их название – самовосстанавливающиеся.

Эти предохранители используются в тех местах где человеку затруднительно менять одноразовые предохранители.

Заключение

Предохранители являются важной частью электрической схемы, ведь часто могут возникать проблемы с изоляцией, ошибки в монтаже электрических схем и при этом может пострадать не только оборудование, но и человек. Так же предохранители могут использоваться не только в электрических схемах, но и в промышленных установках и бытовых установках общего назначения.

Литература

1. Виды предохранителей[Электронный ресурс]/Принцип работы, схемы –Режим доступа <http://electricalschool.info/main/osnovy/1563-vidy-predokhranitelej.html> - Дата доступа: 23.10.2021.
2. Предохранители[Электронный ресурс]/Назначение, виды – Режим доступа <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/673508> - Дата доступа:23.10.2021.

УДК 621.315

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
MAIN DIRECTIONS FOR PERSPECTIVE DEVELOPMENT OF CABLE
TECHNOLOGY**

И.В. Ковалец, В.Н. Коршун

Научный руководитель – Е.М Гецман, старший преподаватель.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Kovalets, V. Korshun

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** развитие кабельно-проводниковой промышленности не является приоритетным направлением в мире, однако стратегическая важность в отрасли энергетики безусловна. Уже три столетия эта отрасль пользуется постоянным спросом, но именно в последние годы кабельная промышленность переживает свой рассвет. Очень трудно представить будущее развитие кабелей, но специалисты прикладывают множество усилий для того, чтобы это будущее пришло уже завтра.*

***Abstract:** the development of the cable and wire industry is not a priority in the world, but the strategic importance in the energy sector is undeniable. For three centuries this industry has been in constant demand, but it is in recent years that the cable industry is experiencing its dawn. It is very difficult to imagine the future development of cables, but experts are making a lot of efforts to ensure that this future comes tomorrow.*

***Ключевые слова:** Кабель, проводник, материалы, энергия, электричество, сигналы.*

***Keywords:** Cable, conductor, materials, energy, electricity, signals.*

Введение

Одним из главных элементов кабельного рынка являются коммутационные кабели. Однако энергетика является наиболее емким сектором, ведь провода имеют первостепенное значение при передаче электроэнергии потребителям. В настоящее время структура кабельной промышленности достаточно разнообразна, существует большое количество продукции, которая способна выполнять задачи по передаче электроэнергии как в городских жилых комплексах, так и передавать высокочастотные сигналы на космических станциях. Эта сфера постоянно развивается и человечество придумывает все новые материалы и способы их применения в кабельно-проводниковой промышленности.

Современные разработки активно применяются на практике, что приводит к быстрому расширению возможностей продукции, выводя ее на качественно новый уровень. Например, разрабатываются кабели, предназначенные для работы в предельно низких или, наоборот, очень высоких температурах, стойкие к постоянно изменяющимся условиям. Это позволит совершить прорыв в сфере различных исследований. Наибольшую популярность имеет развитие кабельной

продукции в системах передачи постоянного тока, кабельные системы для подводной прокладки, линии соединяющие источники возобновляемой энергии и как отдельные направления развития выделяют снижение затрат при передаче энергии и увеличение пропускной способности существующих линий электропередач.

Основная часть

Говоря о достижениях в развитии кабельно-проводниковой промышленности, выделяются исследования в области нанотехнологий. По заявлению специалистов они позволят совершить скачок в повышении эффективности кабельной техники, также облегчить технологию производства, увеличить проводимость. Также наноматериалы позволяют адаптировать применение кабелей для различных условий эксплуатации. Их применение достаточно разнообразно, например, используя углеродные нанотрубки и наноглины в качестве наполнителя можно создать огнестойкие кабели, такие линии способны устранять последствия при возникновении различных повреждений и препятствовать загрязнению, благодаря специальному покрытию. Отдельный интерес привлекает возможность повысить экономичность производства отдельных кабелей и целых их групп. Следует учитывать, что данные кабели будут более экологичны и безопасны для окружающей среды [1].

Хоть мало кто заметил приход наноматериалов в нашу жизнь, но производители в США, Азии и Европе уже используют эти материалы для проектирования различных конструкций. Их преимущества очевидны, особенно если сравнивать с другими вариантами усовершенствования свойств кабельной техники. Многие из них способны достичь тех же характеристик, что и наноматериалы при этом жертвуя мобильностью, электрическими характеристиками или даже усложняя процесс эксплуатации [2]. Кроме того, использование в производстве полиэтилена или поливинилхлорида, повышает общую стоимость производства, что конечно же является важной характеристикой при создании большого количества групп кабелей.

Появляются все новые идеи для улучшения показателей кабельных технологий. Всё большую популярность набирают кабели, имеющие токопроводящую жилу секторной формы. Его преимуществами являются небольшая масса и габариты. Эти параметры также позволяют снизить расход материалов в процессе изготовления и, следовательно, стоимость готового продукта. Скромные габариты увеличивают компактность: становится возможным увеличить длины кабеля, наматываемого на барабан. Данный момент позволяет снизить затраты на складирование и транспортировку. Кроме того, секторный кабель более гибкий в сравнении с «круглым». Благодаря большей длине кабеля на барабане и гибкости готового изделия при прокладке данного образца происходит меньший расход соединительных муфт. Благодаря легко отделяемому полупроводящему слою по изоляции упрощается разделка изделия без рисков повредить изоляцию. В результате внедрения данной разновидности кабелей инвестор может сократить и строительно-монтажные работы.

Заключение

Беря во внимание многочисленные преимущества, которые получают многие отрасли в мире, при развитии кабельно-проводниковой промышленности, следует ожидать большого распространения новых технологий в мегаполисах и комплексах энергетики [3]. Замена устаревших кабелей позволит повысить передаваемые мощности, экологическую безопасность или пожаробезопасность, преодолеть различные природные преграды и эффективно выводить мощность от электростанций к потребителям. Существует огромное количество идей модернизации капельной промышленности, однако есть одно но: данное производство основанное на высоких технологиях нельзя построить за день – для этого нужны годы качественных исследований и испытаний.

Литература

1. Нанотехнологии – перспективное направление развития кабельной отрасли [Электронный ресурс] -Режим доступа: <http://www.proelectro.info/news/detail/3580> – Дата доступа: 29.10.2021.
2. Современные тенденции производства кабельного производства [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-razvitiya-kabelnogo-proizvodstva/viewer> – Дата доступа: 29.10.2021.
3. Структурированные кабельные системы: перспективы развития в мире и в России [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://compress.ru/article.aspx?id=11942> – Дата доступа: 29.10.2021.

УДК 620.91

**АУКЦИОНЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ КАК ДРАЙВЕР
ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ В СТРУКТУРУ ЭНЕРГОПРОИЗВОДСТВА
RENEWABLE ENERGY AUCTIONS AS A DRIVER OF RES
INTEGRATION INTO THE STRUCTURE OF ENERGY PRODUCTION**

М.Н. Булин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Bulin

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье описаны отдельные меры стимулирования развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Республике Беларусь, выделены предпосылки перехода к аукционной модели развития ВИЭ, рассмотрен мировой опыт с выделением опыта проведения аукционов Республики Казахстан.*

***Abstract:** the article describes some measures to stimulate the development of RES in the Republic of Belarus, highlights the prerequisites for the transition to the auction model of renewable energy development, examines the world experience and the experience of the Republic of Kazakhstan.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, квоты, коэффициент, аукционы, модель, инвестиции, энергетическая безопасность, возобновляемая энергетика.*

***Key words:** renewable energy sources (RES), quotas, coefficient, auctions, model, investments, energy security, renewable energy.*

Введение

Рост общей доли использования возобновляемых источников энергии возможен только при содействии амбициозной политики поддержки отрасли и актуальной нормативной и законодательной правовой базы. Беларусь на протяжении многих лет разрабатывала стимулирующие меры для масштабного развёртывания ВИЭ, однако сам процесс всё еще находится на ранней стадии, в связи с чем темпы роста отрасли ВИЭ не позволяют использовать богатый ресурсный потенциал страны.

Основная часть

Сегодняшний уровень развития мировой энергетики тесно связан с одним из наиболее актуальных мировых направлений в электроэнергетической сфере – продвижению технологий по рациональному использованию и эффективному развёртыванию мощностей возобновляемых источников энергии. Страны, установившие своей целью повышение уровня энергетической независимости за счёт развития сектора ВИЭ, уделяют значительное внимание данной прерогативе на государственном уровне. Разумеется, одним из основополагающих факторов является то, что инвестиции в ВИЭ окупаются значительно быстрее, чем финансовые вливания в развитие традиционных углеводородных источников энергии.

По мере ускоряющегося развития сектора ВИЭ государственная политика в соответствующей сфере должна быть гибкой и адаптивной к меняющимся рыночным условиям, новым техническим и социально-экономическим вызовам.

Сегодняшний подход к развитию ВИЭ в белорусском энергетическом секторе обеспечивается за счет поддерживающих мер, однако, едва ли их можно назвать полноценно таковыми. Поясним: действующий процесс взаимодействия “производители ВИЭ – ГПО «Белэнерго»” в Республике Беларусь на сегодняшний день выстроен следующим образом: производитель возобновляемой энергии реализует свою электроэнергию поставщику в лице регионального дочернего предприятия ГПО «Белэнерго» согласно ставкам льготного тарифа, устанавливаемому Министерством антимонопольного регулирования и торговли (речь не идёт об установках на основе ВИЭ для частных нужд). Для каждой технологии характерен свой коэффициент мультипликации по отношению к базовому тарифу.

Ситуация, связанная с формированием льготно тарифа, в свою очередь связанного с базовыми тарифами на электроэнергию, на самом деле не отражающими себестоимость единицы продукции, еще более усугубляются тем, что коэффициенты мультипликации остаются низкими. В частности, особенно низкими остаются коэффициенты для ветровых и солнечных фотоэлектрических технологий, являющимися лидирующими направлениями ВИЭ, однако, по факту находящимися на одном уровне с другими более дешевыми технологиями [1].

Коэффициенты мультипликации утверждаются Постановлением Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 03.09.2018 № 73 «О тарифах на электрическую энергию, производимую из возобновляемых источников энергии, и отпускаемую республиканскими унитарными предприятиями электроэнергетики».

Представим коэффициенты мультипликации на примере солнечных фотоэлектрических станций в таблице 1, в которой чётко прослеживается ежегодное снижение коэффициентов мультипликации.

Вдобавок к этому, методология определения коэффициентов мультипликации недостаточно прозрачна: некоторые коэффициенты дифференцируются по сроку службы проекта, в то время как другие дифференцируются по мощности, сроку работы оборудования установок на момент их ввода в эксплуатацию или согласно прочим параметрам.

Развитие ВИЭ в белорусском энергетическом секторе также ограничивается ежегодным выделением квот, которые определяют объёмы установленных мощностей по технологии ВИЭ. Квоты распределяются на предстоящий трехлетний период, однако регулярно подвергаются пересмотрам, что негативно сказывается на доверии инвесторов. Относительно частые перераспределения квот и внесение правок в нормативную документацию ограничивает темпы роста сектора ВИЭ.

Таблица 1 – Коэффициенты для установок, выделенных в установленном порядке

Вид ВИЭ, период эксплуатации	Для установок, созданных в пределах, выделенных в 2015 г. квот, введенных в эксплуатацию в период 21.08.2015-31.12.2018 гг.	Для установок, созданных в пределах, выделенных в 2016 г. квот, введенных в эксплуатацию в период 01.01.2017-31.12.2019 гг.	Для установок, созданных в пределах, выделенных в 2017 г. квот, введенных в эксплуатацию в период 01.01.2018-31.12.2020 гг.	Для установок, созданных в пределах, выделенных в 2018 г. квот, введенных в эксплуатацию в период 01.01.2019-31.12.2021 гг.	Для установок, созданных в пределах, выделенных в 2019 г. квот, введенных в эксплуатацию в период 01.01.2020-31.12.2022 гг.
Первые 10 лет эксплуатации СЭС с электрической мощностью:					
до 300 кВт включительно	2,5	2	1,3	1,3	1,3
от 301 кВт до 2 МВт включительно	2,3	1,7	1,25	1,25	1,25
свыше 2 МВт	2,1	1,5	1,2	1,2	1,2
Последующие 10 лет эксплуатации	0,75	0,75	0,45	0,45	0,45
Свыше 20 лет эксплуатации	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

Так, в период 2017-2019 годов поступившие заявки на сооружение установок по использованию ВИЭ составили 770 МВт установленной мощности, тогда как выделенные квоты за тот же период были в семь раз меньше (117,42 МВт) [2, стр. 47]. Более того, квоты, выделенные инвесторам на текущий трехлетний период 2021-2023 годов были дважды пересмотрены в сторону понижения и составили 129,56 МВт, среди которых только 10 МВт приходится на сооружение солнечных фотоэлектрических станций в 2023 году.

Квоты на использование возобновляемых энергоресурсов устанавливаются в соответствии с П. 6 Положения «О порядке установления, распределения, высвобождения и изъятия квот на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 6 августа 2015 г. № 662. До сих пор методология распределения квот остаётся недостаточно прозрачной, ограничивающей круг заинтересованных сторон и вовлеченность инвесторов, создавая узкие места в правовой документации.

Для создания более чёткого горизонта инвестиционного планирования необходимо вовлекать в процесс выделения квот больше заинтересованных

сторон, а также пересмотреть период действия квот в сторону увеличения, что позволит инвесторам иметь представление о развитии рынка в краткосрочной и среднесрочной перспективе. Также вопросы остаются и к механизму распределения квот по структуре ВИЭ, в частности стимулированию гидроэнергетического направления, и относительно невысокого внимания в фотоэлектрэнергетической отрасли.

Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что процесс развития ВИЭ в составе энергосистемы с одной стороны поддерживается стимулирующими мерами, однако и они не лишены недостатков, неопределённости и присущего регулирующие-ограничивающего характера процесса. Квотирование, урезание коэффициентов в совокупности с прочими факторами создают опасения со стороны инвесторов и продуцируют риски вхождения крупных игроков на внутригосударственный рынок.

Выходом из сложившейся ситуации, а также весомым драйвером развития направления и привлечения инвестиций в сферу ВИЭ (в особенности крупных инвестиций в блок-станции большой мощности/коммунального масштаба) может стать организация аукционов по ВИЭ, способствующих установлению рыночных тарифов на производство возобновляемой энергии. Сегодня аукционы являются одним из наиболее успешных механизмов поддерживающей политики в области развития ВИЭ по всему миру. Они позволяют осуществлять хорошо спланированное и экономически выверенное использование ВИЭ, обеспечивая прозрачность процесса формирования стоимости и снижения рыночных рисков.

Переход от механизма государственной поддержки сектора ВИЭ к механизму аукционных торгов, базирующемуся на гарантированной покупке всей электроэнергии, производимой ВИЭ, по фиксированным тарифам является стандартной процедурой для всех стран, наращивающих долю ВИЭ на своём энергетическом рынке. География аукционов ВИЭ за по состоянию на 2016 год представлен на рисунке 1 [3].

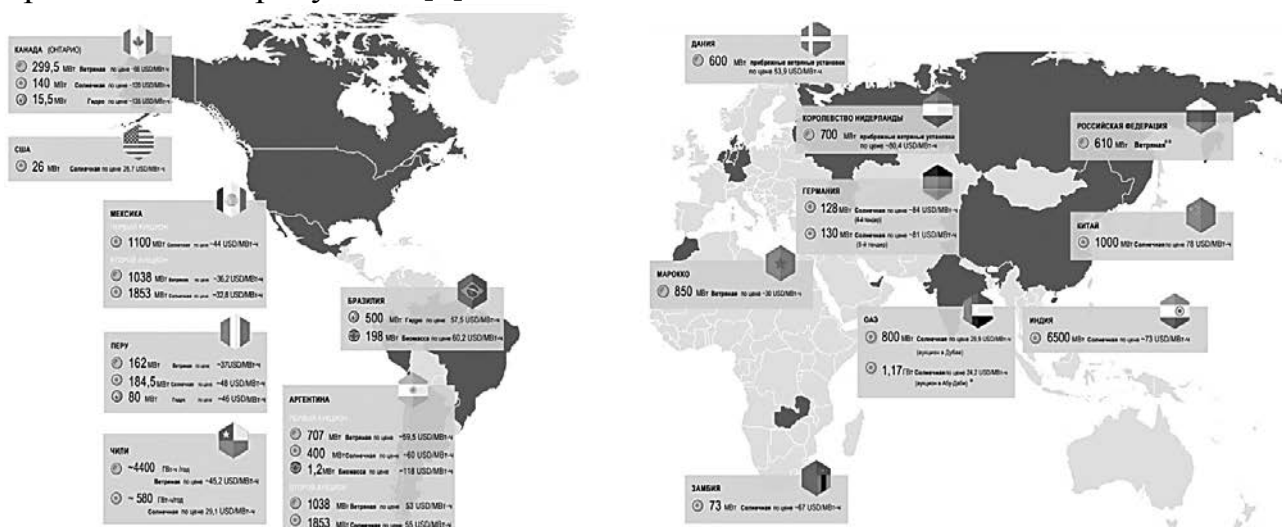


Рисунок 1 – География аукционов ВИЭ за 2016 год

Теперь объясним выгоду для сторон аукционного договора. Собственникам блок-станций на основе ВИЭ аукционы обеспечивают прозрачные рыночные условия, а также долгосрочную гарантию заработка. Потребители, в свою

очередь, облагаются минимальным тарифом в следствие конкуренции производителей. Во-многом именно благодаря такому взаимовыгодному сотрудничеству во всем мире растет тренд к снижению стоимости энергии на основе ВИЭ как результат аукционирования.

С позиции инвестора долгосрочный договор, заключенный после победы в аукционе, защищает его экономические интересы, фиксируя обозначенный доход за оговоренный период времени (зачастую около 15-20 лет).

Государству как игроку, внедрение аукционной модели позволяет повысить уровень контроля бюджетных средств и, как следствие, средств потребителей. Это обуславливается тем, что в основном объеме торгов предварительно задаётся предел стоимостной ставки.

Локально развитие сектора ВИЭ посредством проведения аукционов – это движение к прямому контролируемому привлечению инвестиций непосредственно в энергетический сектор, а в глобальном – обеспечение энергетической безопасности и повышение ресурсной независимости.

На рисунке ниже (рис. 2 [4]) представим наиболее упрощённую модель типового аукциона ВИЭ в Республике Казахстан.

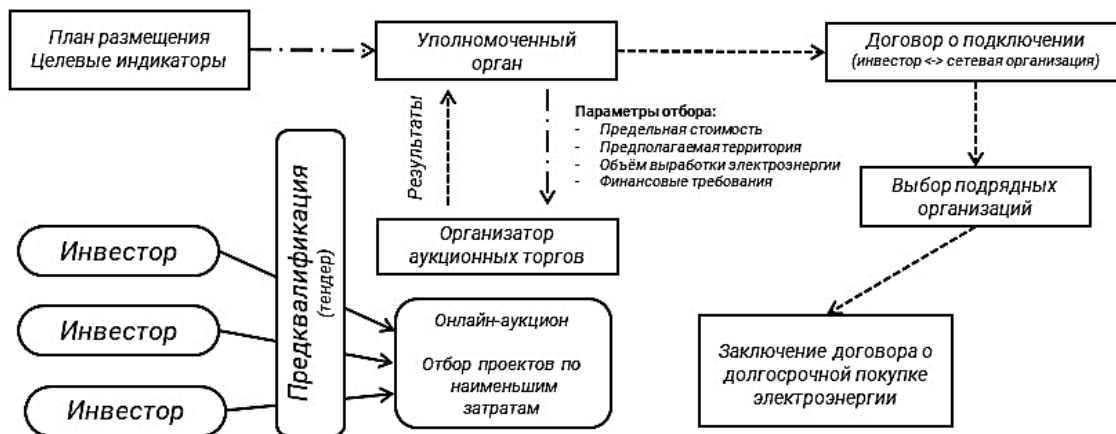


Рисунок 2 – Упрощённая схема аукциона ВИЭ

Рассмотрим опыт внедрения аукционных моделей в Казахстане. В 2018 году было проведено два пилотных аукционных раунда для того, чтобы достичь целевого показателя в 1,7 ГВт установленной возобновляемой мощности к 2020 году (933 МВт энергии ветра, 467 МВт солнечной энергии, 290 МВт гидроэнергии и 10 МВт биогаза), а также 50% доли ВИЭ в структуре производства электроэнергии к 2050 году.

Аукционы 2018 года были разделены на транши (доли), посвященные отдельным возобновляемым технологиям, проектным территориям и размерам блок-станций. В первом раунде в мае 2018 года десять траншей были выставлены на аукцион почти одновременно, два из которых были свёрнуты ввиду недостаточной конкуренции. В октябре 2018 года состоялся второй раунд аукциона, насчитывающий 10 траншей, из которых разыграно было шесть проектов.

Казахстанский аукционный механизм аукционов требует наличие не менее 3 заявок на 1 транш возобновляемой мощности. Вдобавок к этому, общий объем

полученных заявок должен составлять не менее 150 % от общего объема выставленных на аукцион мощностей.

По итогам аукционных торгов за 2018 год было подписано 30 контрактов на 804 МВт общей установленной мощности, а максимальное снижение аукционной стоимости составило: для ветровой генерации – 23,3%, для солнечной генерации – 48%, для проектов малых гидроэлектростанций (ГЭС) – 23,4% и биотопливных электростанций (БиоЭС) – 0,25%.

Позже на торгах в 2019 году были получены заявки 32 казахстанских и зарубежных компаний из Российской Федерации, Китая, Германии, Италии, Испании и Малайзии. В результате аукционных торгов было заключено 12 договоров на 202 МВт суммарной установленной мощности. Максимальное снижение аукционной цены составило: для ветровой генерации – 15%, для солнечной генерации – 66%, для проектов ГЭС – 0,3% и БиоЭС – 0,1%.

Заключение

Аукционы ВИЭ становятся всё более популярным средством регуляции рынка, привлечения прямых инвестиций в отрасль ВИЭ, обеспечения прозрачности процесса распределения квот и усиления энергетической независимости государства. При внедрении модели аукционов основной задачей является анализ опыта других стран в совокупности с консолидацией всех заинтересованных сторон и актуализации нормативно-правовой и законодательной базы в соответствующей сфере.

Литература

1. Постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 26 августа 2019 г. № 70 Об изменении постановления Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 3 сентября 2018 г. № 73
2. Energy [R]evolution: a Sustainable Belarus Energy Outlook/ S. Simon, I. Filiutsich, N. Bekish, P. Harbunou; edited by Y. Oharenko // Heinrich Boell Foundation. – Kyiv: Publishing house “Art Book” Ltd., 2018. – 120 p.
3. Новый взгляд на энергетику 2017 [Электронный ресурс] / IRENA, International renewable energy agency. – Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jan/IRENA_REthinking_2017_ES_Russian.pdf. – Дата доступа: 25.10.2021.
4. Актуальные вопросы развития ВИЭ [Электронный ресурс] / Министерство энергетики РК. – Режим доступа: <https://www.carecprogram.org/uploads/05-Renewable-Energy-Sources-Development-Current-Issues-ru.pdf>. – Дата доступа: 25.10.2021.

УДК 621.315

**КОНСТРУКЦИИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
DESIGN AND APPLICATION OF BARE WIRES ON OVERHEAD POWER LINES**

А.А. Бандюкевич, И.Д. Винников

Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Bandyukevich, I. Vinnikov

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: На основе литературных данных рассмотрены конструкции и область применения неизолированных проводов на воздушных линиях электропередач

Abstract: On the basis of literary data the construction and application of bare wires on overhead power lines are considered.

Ключевые слова: неизолированные провода, конструкции проводов, область применения.

Keywords: bare wires, wire construction, scope of application.

Введение

На ВЛЭП, напряжение в которых выше 1кВ, используют неизолированные тросы и провода, которые подвержены влиянию атмосферы так, как находятся на воздухе. Следовательно проводам необходимо иметь не только достаточную механическую прочность, но и противостоять различным явлениям таким, как ветер, коррозия, гололёд, перепад температур и многим вредным примесям, находящимся в атмосфере. Помимо этого, использование неизолированных проводов должно сопрягаться с минимальными возможными потерями при бесперебойном электроснабжении.

Основная часть

Исходя из обширного разнообразия условий работы ВЛЭП, существует несколько конструкций проводов.

Основные конструкции:

- однопроволочные провода из одного металла,
- многопроволочные провода из одного металла,
- многопроволочные провода из двух металлов,
- полые или пустотелые провода,
- биметаллические провода.

Большее распространение по сравнению с однопроволочными получили многопроволочные провода так, как они более прочные и гибкие при одинаковой площади сечения. Полые провода используют для ЛЭП 220 кВ и выше из-за малых потерь энергии на корону по сравнению с многопроволочным.

Однопроволочные провода сделаны из одной проволоки. Многопроволочные провода из одного металла сделаны из нескольких скрученных между собой отдельных проволок.

Достоинства многопроволочных проводов:

- обладают высокими временными сопротивлениями материала
- более устойчивые к вибрациям
- более гибкие

Провода, изготовленные из меди, имеют малое удельное сопротивление и обладают высокой механической прочностью, а так же достаточно хорошо противостоят коррозии. Несмотря на все плюсы, медь является дорогим металлом, из-за чего почти не используется при изготовлении проводов ВЛЭП.

Провода, изготовленные из алюминия, весят в несколько раз меньше медных, но имеют большее удельное сопротивление и меньшую прочность. Их применяют в основном в местных сетях, где не допускается сильного тяжения. Они подвержены воздействию вредных примесей воздуха. Провода изготавливаются многопроволочными для увеличения прочности.

Провода, изготовленные из стали обладают большой механической прочностью, однако удельное сопротивление у таких проводов намного больше, чем у медных и алюминиевых. Их применяют для передачи малых мощностей. Сталь сильно подвержена коррозии, поэтому, провода из этого материала оцинковывают.[1]

Сталеалюминевые провода обладают одинаковым удельным сопротивлением с алюминиевыми проводами. Причина одинаковых практически равных удельных сопротивлений в том, что проводимостью стальной части можно пренебречь ввиду её малости по отношению к алюминиевой части. Сталь предназначена для увеличения механической прочности, алюминий является токопроводящей частью. Конструктивно стальные проволоки составляют внутреннюю часть сталеалюминиевого провода, а алюминиевые проволоки – внешнюю. Сталеалюминевые провода усиленной прочности рекомендуется применять в районах с толщиной стенки гололеда более 20 мм.

Провода из альдрей прочнее алюминиевых и имеют практически такое же сопротивление. Альдрей является сплавом алюминия с железом, магнием и кремнием. Так же, как и алюминий, сильно подвержен коррозии. Провода из альдрей неустойчивы к вибрациям. [2]

Полый провод - один из наиболее развиваемых типов проводников, по которым транспортируется электрическая энергия. Одна из главных черт этого провода заключается в том, что внутри него отсутствует жила. Применяется в: генераторах, индукционных печах, магнитно-резонансных томографах, ускорителях элементарных частиц, оборудовании для исследования плазмы.

Цель совместить высокую проводимость (как у меди) с огромной прочностью (например сталь) привела к производству биметаллических проволок для создания проводов. На проволоку из стали наносится медное покрытие, материалы соединяются сваркой.

Заключение

Приведенные выше достоинства многопроволочных проводов выявили, что однопроволочными создаются провода для меньших сечений. В большинстве случаев применяются многопроволочные провода. Алюминиевые провода воздушных линий обычно создаются многопроволочными. Однопроволочные провода из алюминия не имеют нужной прочности и не проводят надежности электроснабжения потребителей. В настоящее время на воздушных линиях самое большое применение нашли сталеалюминиевые провода.

Литература

1. Конструкции неизолированных проводов для воздушных линий электропередачи[Электронный ресурс]/ Конструкции неизолированных проводов для воздушных линий электропередачи.- Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/kabel/1216-konstrukcii-neizolirovannykh-provodov.html>. Дата Доступа: 26.10.2021.
2. Конструкция неизолированных проводов вл[Электронный ресурс]/ Конструкция неизолированных проводов вл.-Режим доступа: <https://lemzspb.ru/konstruktsiya-neizolirovannykh-provodov-vl/>. Дата доступа: 26.10.2021.
3. Провода и тросы воздушных линий электропередачи[Электронный ресурс]/ Провода и тросы воздушных линий электропередачи.-Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/kabel/630-provoda-i-trosy-vozdushnykh-linij.html>. Дата доступа:26.10.2021.

УДК 621.311

**СВОДКА ОБ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЯХ ВЛ И КЛ 6-10 КВ
SUMMARY OF EMERGENCY SHUTDOWNS OF OVERHEAD LINES AND
6-10 KV CABLE LINES**

А.В.Манько, А.А.Захарченко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Manko, A. Zakharchenko

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В этой статье рассматриваются основные причины аварийных возникновений отключений линий электропередач 6-10 кВ.

Abstract: This article discusses the main causes of emergency outages of 6-10 kV power lines.

Ключевые слова: Воздушная линия электропередачи, аварийное отключение, устройства автоматизации.

Keywords: Overhead power line, emergency shutdown, automation devices.

Введение

Воздушная линия электропередачи напряжением 6-10 кВ представляет собой систему, в которой компоненты взаимосвязаны посредством сложных причинно-следственных связей. Проблема аварийных отключений линий электропередачи из-за перекрытия изоляции по неизвестным причинам имеет давнюю историю и по-прежнему актуальна в наше время. Согласно опыту эксплуатации, доля аварийных отключений воздушных и кабельных линий по неизвестным причинам, может достигать более 50 % [1]. Надежность каждого компонента по-разному влияет на работу других компонентов. Один тип повреждений переходит в другой, поэтому наблюдается явление развития аварии. Обычно это отключение происходит утром или вечером, при хороших погодных условиях, и сопровождается успешным повторным подключением. В то же время причина перекрытия изоляции не была четко определена, и обычно она неясна.

Системы автоматизации в сетях 6-10 кВ и их устройства.

В воздушных линиях в основном используются алюминиевые и сталеалюминиевые провода, деревянные или железобетонные опоры. В настоящее время в сетях напряжением 6-10 кВ используются следующие системы и оборудование автоматизации:

- Устройство сигнализации и управления;
- Устройство для включения резервного питания;
- Устройства секционирования;
- Устройства повторного включения .

ЛЭП объединяются в разветвленной сети через пункт автоматического включения резерва. Подстанции столбового исполнения используются при нагрузке сети от 10 до 100 кВА. Эти подстанции устанавливаются на опоре. При

нагрузках от 160 кВА по большей части применяются подстанции закрытого исполнения. В электрической сети 6-10 кВ предусмотрена установка наружных вакуумных выключателей, предохранителей-разъединителей.



Рисунок 1 – Трансформаторная подстанция закрытого типа

Основные причины отключения линий электропередач

ВЛ в европейской части страны в основном выполнены из проводов марки АС, имеющих сечение 35-70 мм². До 60 % линий были введены в эксплуатацию до 1975 года, но большинство из этих электросетей исчерпали свой нормативный срок эксплуатации.

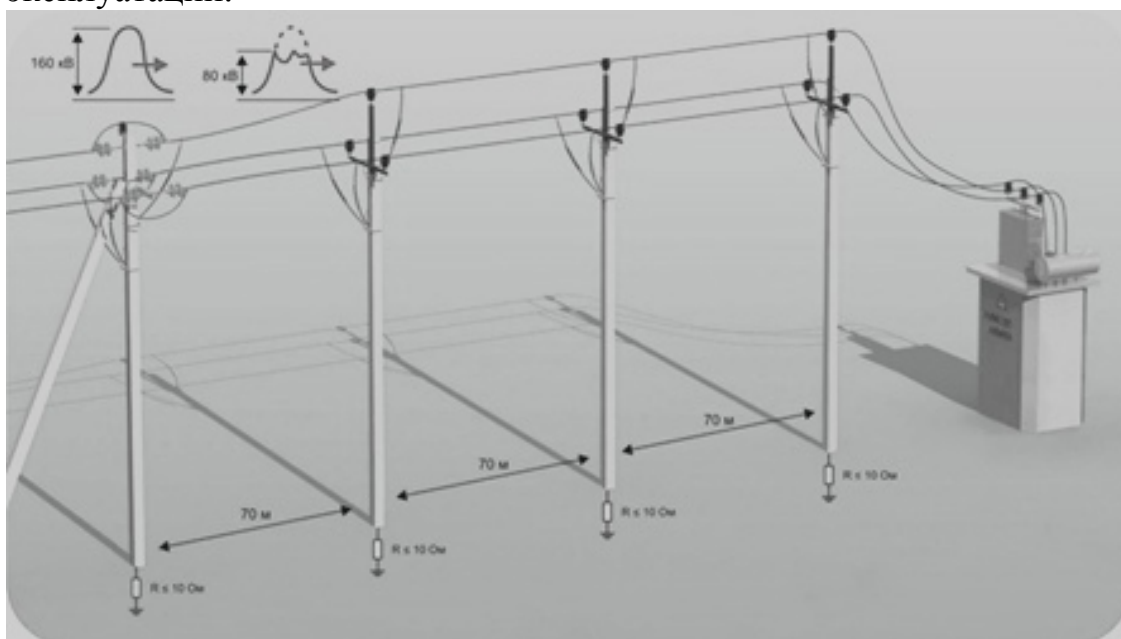


Рисунок 2 – Рекомендуемые расстояния между опор ВЛ

Новые воздушные линии электропередач в настоящее время эксплуатируются в недостаточном объеме. Вместе с этим, в качестве вынужденной меры из-за роста числа потребителей превышают расстояния между опорными столбами. Это превышение достигает более , чем вдвое. Данные факторы приводят к увеличению количества отключений в электросетях, снижению надежности и качества линий. Анализ зарегистрированных аварийных отключений показывает, что в большинстве своем преобладают именно устойчивые отключения. Такой параметр продолжает показывать стабильный рост особенно в сельской местности.

На эффективность работы подключенных устройств АПВ значительно влияет увеличивающееся количество отключений. Стоит отметить, что не все выключатели оснащены устройствами АПВ. Это связано с тем, что зачастую используются приводы уже устаревших моделей.

Основные причины аварий, приводящие к отключению воздушных линий напряжением 6-10 кВ м: замыкание на землю, воздействие природных факторов и осадков, механическое повреждение изоляторов и опор, обрыв провода, физический износ оборудования и материалов, срабатывание предохранителей в трансформаторных подстанциях, срабатывание релейной защиты, прочие посторонние воздействия.

Наиболее серьезные последствия из всех вышеперечисленных повреждений, которые возникают в линиях электропередачи 6-10 кВ, - различные разрушения опор. Согласно данным это составляет 28,1% по длительности и 19,9% по количеству аварийных отключений [3]. Отключения из-за повреждения опор и приставок происходят под воздействием значительных ветровых нагрузок 49,7%, разрядов молнии, которые вызывают расщепление или возгорание верхней части деревянных опор 23,0%, гололедно-изморозевых 19,3% и наезде транспортных средств 8,0%. Аварии, связанные с ветровыми нагрузками, происходили при скорости ветра 26-35 м/с, при этом угол между осью пролётам и направлением ветра составлял 70-90°. Вследствие этих причин было разрушено 267 бетонных опор, где 44 из них - аварийные отключения, 364 деревянные опоры на железобетонных приставках (97 отключений), 129 деревянных опор (46 отключений).

Большинство аварийных отключений воздушных линий 6-10 кВ вызвано воздействием сильного холодного ветра, из которых 54 % отключений связаны с динамикой поведения проводов в воздушном потоке [4]. Эти перебои вызваны одним из следующих повреждений: провод сгорает во время опасного столкновения и сближения, обрыв провода или проволочной вязки к штыревому изолятору, срыв изолятора с штыря.

Аварийные отключения воздушных линий 6-10 кВ из-за опасного схождения проводов на ветру и схлестывания происходили при наличии разрегулировки стрел провеса проводов относительно друг друга от 20 до 60% [5]. Диапазон изменения частоты колебаний маятника провода составляет от 9 % до 21%, а диапазон логарифмического уменьшения внутреннего трения составляет от 7,8% до 23,4%, что значительно увеличивает асинхронность вибрации провода под воздействием ветра, а также способствует взаимному

сближению проводов. Согласно верховым осмотрам ВЛ 6-10 кВ, основная причина разрегулировки стрел провеса проводов – это ослабление крепления провода к штыревому изолятору вязальной алюминиевой проволокой. Это связано с тем, что проволочная вязка не способна выдерживать длительные динамические нагрузки при ветре и гололеде, поэтому как следствие происходит ее ослабление, а после и разрушение. К проскальзыванию провода в узле крепления и его смещению относительно штыревого изолятора в случае может приводить разница в ветровой нагрузке на соседние опорные кабели, если крепежный элемент ослаблен. Это может произойти при неодинаковой длине проводов, а также при неравномерном ледяном покрытии. Таким образом, это вызывает изменение длины фазных проводов и разрегулировку их стрел провеса.

Помимо устойчивых отказов работы ВЛ 6-10 кВ из-за опасных сближений проводов под действием порывистого ветра имеют место неустойчивые самоустраняющиеся отказы, которые устраняются действием АПВ или РПВ. В некоторых случаях воздушные линии электропередач автоматически отключались десятки раз. Такие кратковременные отклонения очень опасны, поскольку они приводят к локальным повреждениям электрических проводов и в конечном итоге становятся потенциальным очагом аварий. Следовательно, наряду с усилением механической прочности элементов пролета ВЛ 6-10 кВ к числу действий по повышению их надежности относятся такие мероприятия как: защита проводов в режимах их низкочастотных колебаний при влиянии гололедных и ветровых нагрузок, координация расстояний между фазными проводами по условиям их скрестывания, совершенствование конструкции устройств для крепления провода к штыревому изолятору.

Заключение

Проанализировав статистические данные, можно сказать, что наиболее распространенными причинами отключений подачи электроэнергии является, негативное воздействие природных явлений: внезапные порывы ветра, образование ледяного и снежного покрова на линиях электропередач, а также срабатывания систем РЭА.

Литература

1. Аварийные отключения [Электронный ресурс]/ Аварийные отключения. -Режим доступа:[http://news.elteh.ru/gbook/Аварийные отключения ВЛ-](http://news.elteh.ru/gbook/Аварийные_отключения_ВЛ-) Дата доступа: 25.10.2021
2. Причины аварийных отключений [Электронный ресурс]/ Причины аварийных отключений. -Режим доступа: <https://test-energy.ru>. - Дата доступа: 25.10.2021
3. Причины аварийных отключений [Электронный ресурс]/ Причины аварийных отключений. -Режим доступа: <https://www.elibrary.ru>. - Дата доступа: 25.10.2021
4. Причины аварийных отключений [Электронный ресурс]/ Причины аварийных отключений. -Режим доступа: <http://www.rusnauka.com>. - Дата доступа: 25.10.2021

5. Причины аварийных отключений [Электронный ресурс]/ Причины аварийных отключений. -Режим доступа: <http://os.x-pdf.ru>. - Дата доступа: 25.10.2021

УДК 621.314.224.8

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА: НАЗНАЧЕНИЕ,
ТИПЫ, ПРИНЦИП РАБОТЫ
MEASURING CURRENT TRANSFORMERS: PURPOSE, TYPES,
PRINCIPLE OF OPERATION**

П.Г. Балаш

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Balash

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** принцип работы и область применения измерительных трансформаторов тока.*

***Abstract:** principle of operation and field of application of measuring current transformers.*

***Ключевые слова:** измерительный трансформатор тока, коэффициент трансформации, короткое замыкание, классификация.*

***Keywords:** measuring current transformer, transformation ratio, short circuit, classification.*

Введение

Со времен появления в нашей жизни электричества появилась необходимость его передавать на расстояние, для чего в наше время используют сети высокого напряжения. Контролирование же таких сетей осуществляется с помощью измерительных трансформаторов тока.

Основная часть

Измерительные трансформаторы тока выполняют важную задачу в области измерения электроэнергии. Эти устройства снижают ток в цепи до такой степени, чтобы его можно было безопасно измерить с помощью стандартного амперметра. В совокупности с трансформаторами напряжения они могут дать полное представление о состоянии сети.

Устройство измерительного трансформатора тока (рисунок 1) немного отличается от трансформатора напряжения. Его первичная обмотка состоит только из одного или нескольких витков, которая может быть исполнена либо в виде провода, намотанного вокруг сердечника, либо просто проводником, проходящим через магнитопровод. За счёт этого такие трансформаторы часто называют последовательными, так как первичная обмотка соединена последовательно с первичной нагрузкой.

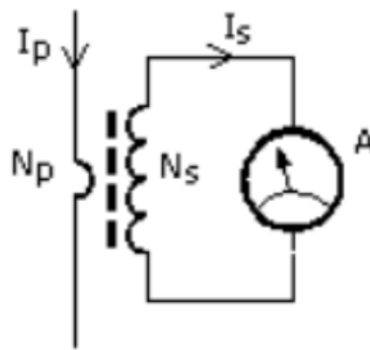


Рисунок 1 – Схема измерительного трансформатора тока

Вторичная же обмотка состоит из разного количества витков в зависимости от того, какой коэффициент трансформации нам нужен. Обычно используются трансформаторы с несколькими группами вторичных обмоток, которые предназначены для измерения или для защиты.

На практике выделяют следующие значения коэффициентов трансформации: 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000 [1].

Подключение трансформаторов к считывающим устройствам производится напрямую. Поэтому в основном, из-за крайне низкого сопротивления измерительных устройств, трансформаторы тока работают в режиме короткого замыкания. В таких условиях нельзя размыкать цепь при включённой схеме. Это сопоставимо с тем, что трансформатор напряжения также не должен работать в режиме короткого замыкания.

По конструктивному исполнению трансформаторы тока схожи с трансформаторами напряжения и выполнены в виде литой монолитной конструкции из магнитопроводов с намотанными на неё первичной и вторичной обмотками.

Общая классификация трансформаторов тока приведена ниже.

По типу установки трансформаторов тока выделяют трансформаторы:

- наружной установки;
- внутренней установки;
- встроенные – устанавливаемые в электрические машины или коммутационные аппараты;
- накладные – устанавливаемые сверху на проходные изоляторы;
- переносные – используемые в лабораторных испытаниях.

По функциональности их разделяют на:

- Защитные;
- Измерительные ;
- Промежуточные.

По типу исполнения изоляции:

- С сухой изоляцией;
- С бумажно-масляной изоляцией;
- Маслонаполненные;
- Газонаполненные;

По рабочему напряжению:

- Выше 1000В;
- Ниже 1000В.

Заключение

Измерительные трансформаторы тока широко используются для пропорционального преобразования больших токов. Их вторичная обмотка обеспечивает значительно пониженный ток, который может использоваться для обнаружения условий перегрузки по току (минимального, пикового или среднего). К таким трансформаторам предъявляются высокие требования по точности, которые обеспечивают надежное измерение требуемых параметров.

Литература

1. Измерительный трансформатор тока [Электронный ресурс]/ измерительный трансформатор тока. -Режим доступа: <https://keaz.ru/company/press-center/blog/2016/890-izmeritelniy-transformator-toka-chto-eto-i-zachem-on-pujen>. – Дата доступа: 25.10.2021.
2. Назначение и принцип действия измерительных трансформаторов [Электронный ресурс]/ измерительный трансформатор. -Режим доступа: <https://www.kesch.ru/info/articles/naznachenie-i-printsip-deystviya-izmeritelnykh-transformatorov/>. – Дата доступа: 25.10.2021.
3. Трансформатор тока [Электронный ресурс]/ трансформатор тока. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Трпнсформатор_тока. – Дата доступа: 25.10.2021.
4. Current Transformer Types and Applications [Электронный ресурс]/ current transformer. -Режим доступа: <https://talema.com/current-transformer-types-applications/>. – Дата доступа: 25.10.2021.

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И
МАТЕРИАЛОВ ВЛ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВЛ
110 КВ И ВЫШЕ****APPLICATION OF STRUCTURES AND MATERIALS OF OVERHEAD
LINES IN THE CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF
OVERHEAD LINES 110 KV AND ABOVE**

П.Ю. Ратькович, Н.Ю. Подоба, Н.Е. Пурлан

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Ratkovich, N. Podoba, N.Purlan

Supervisor – E. Getsman, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: С каждым годом растет спрос на электроэнергию, поэтому классические конструкции проводников, начинают не соответствовать современным требованиям по мощностям передачи электроэнергии. Для удовлетворения спроса на электроэнергию необходимо развивать новые технологии и новые конструктивные решения проводов ВЛ. В статье рассказывается об инновационных проводах для воздушных линий электропередачи. Новые провода были испытаны в лаборатории научно-исследовательских институтов, а также смоделировано использование данных провод на компьютере.

Abstract: The demand for electricity is growing every year, therefore, the classic designs of conductors begin to fail to meet modern requirements for power transmission capacities. To meet the demand for electricity, it is necessary to develop new technologies and new design solutions for overhead lines. The article talks about innovative wires for overhead power lines. The new wires were tested in the laboratories of research institutes, and the use of the data wire on a computer was simulated.

Ключевые слова: новая технология производства проводников; высоковольтные линии электропередачи; компактированные провода; пластически деформированные провода.

Keywords: new technology for the production of conductors; high voltage power lines; compacted wires; plastically deformed wires.

Введение

В последнее время при передаче электрической энергии постоянно возникали проблемы, это привело к тому, что встала необходимость найти новые решения для целого ряда направлений в проектировании и строительстве воздушных линий.

При анализе аварий и отказов на линиях электропередачи было обнаружено, что отказы проводов составляют 40-50% от всех выявленных нарушений, и с каждым годом они увеличиваются на 3-5%. Основными причинами повреждений линий являются гололедные нагрузки (гололедные образования на

проводах увеличивают вес линий, а под воздействием ветра нагрузка становится еще больше), усталость материала проводов (из-за вибраций происходят разрывы отдельных проволок около мест закрепления провода близко к зажимам, около опор), коррозия материала, удары молний в ЛЭП.

Практика работы ведущих электросетевых компаний свидетельствует о том, что перспективным направлением в решении проблемы повышения пропускной способности ЛЭП является разработка новых конструкционных материалов для проводов и сердечников линий электропередачи, способных длительно эксплуатироваться при температурах 100–200 °С.

Основная работа электросетевых компаний направлена на решение проблемы увеличения пропускной способности линий электропередач, это достигается путем разработки новых конструкционных материалов для изготовления проводов ЛЭП, которые могут долго работать при достаточно высоких температурах от 100 до 200 градусов Цельсия.

Российские разработчики создали принципиально новую технологию производства проводников с высоким коэффициентом заполнения, которые могут работать при более высоких температурах, в отличие от классических решений. Этот новый неизолированный провод состоит из несущего сердечника из стали и скрученных токопроводящих жил (рис. 1), произведенных из алюминий-циркониевого сплава.

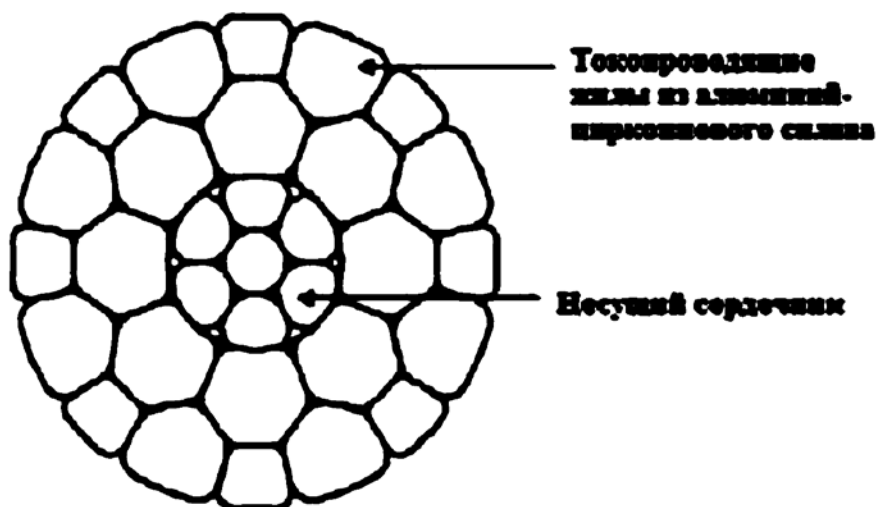


Рисунок 1 – АСВТ и АСВП

Данная конструкция провода является наиболее эффективной для использования в районах с более тяжелыми погодными условиями, то есть повышенная гололедная и ветровая нагрузка. Сталеалюминевые неизолированные провода АСВП (высокопрочный) и АСВТ (высокотемпературный) предназначены для передачи электрической энергии воздушными ЛЭП напряжением от 35 до 1150 кВ.

АСВТ и АСВП

Пластическое деформирование алюминиевых проволок и стальных проволок сердечника позволяет максимально плотно заполнить площадь рабочего сечения, достаточно простым и дешевым путем.

Конструкция, полученная с применением пластического деформирования, также способствует увеличению полезного токопроводящего сечения провода, а его внешняя поверхность оказывается более гладкой и ровной, чем у проводов, выполненных из круглых проволок, что позволяет уменьшить нагрузку от атмосферных воздействий[2].

Провод обладает более высокой стойкостью к атмосферным перенапряжениям, которые возникают на линиях из-за грозовых явлений (при ударе молнии в провод часто возникают пробой изоляции, а иногда и разрушение). Кроме этого, провод лучше выдерживает термическое воздействие тока короткого замыкания, которое происходит при обрыве проводов и замыкания их на землю.

После испытаний в лабораторных условиях подтверждена рабочая температура провода марки АСВТ — 150 °С, а предельно допустимая — 210 °С.

Кроме использования новых материалов в изготовлении проводов отмечается изменение в конфигурации проволок в проводе. В частности Z-образные проволоки (рис. 2), используемые в проводе марки АЕРО-Z. Данная инновация позволяет решать целый ряд проблем в их эксплуатации. А именно из-за гладкой поверхности уменьшается обледенение и налипание снега на проводах, снижается усталость, в связи с тем, что провод сам гасит колебания, полностью устраняется внутренняя коррозия, сокращаются тепловые потери при передаче, пляска проводов (колебание проводов с малой частотой 0,2-04 Гц, большой длиной волны и значительной амплитудой 05-5м)

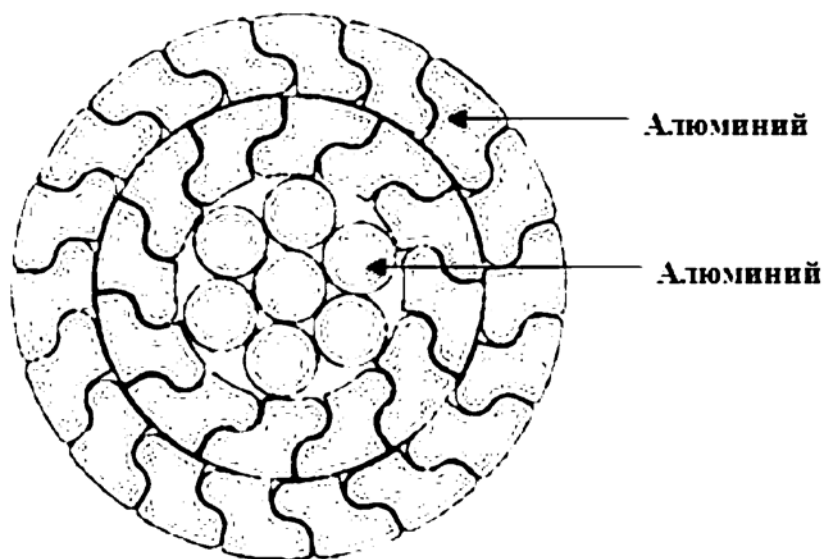


Рисунок 2 – Провода АЕРО-Z

Тем не менее, у провода АЕРО-Z имеется несколько недостатков: сложность ремонта и относительно небольшая максимальная температура эксплуатации, которая составляет 90° С.

Провода марки АЕРО-Z представляют собой новый класс компактированных проводов с повышенной прочностью и повышенной пропускной способностью.

Такие провода имеют большую механическую прочность и большие допустимые нагрузки по току.

Проволоки нового грозотроса однонаправленно скручены, состоят из отдельно пластически деформированных проводов. Компактированный проводник со скрученными проволоками отличается от классических конструкций,

Его производство происходит следующим образом: сначала скручивается сердечник, плотность сердечника увеличивается от сжатия, затем аналогично скручивают проводящие проволоки. Пример такой конструкции приведен на рис. 3.



Рисунок 3 – 1. Пластически деформированный провод (АСВП/АСВТ); 2. Грозотрос старой конструкции (большого диаметра) и новой конструкции (меньшего диаметра с той же молниестойкостью); 3. ОКГТ (оптический кабель, встроенный в грозотрос).

Пластическая деформация со степенью обжатия поперечного сечения, рассчитанной для каждого из материалов, предотвращает раскручивание провода и взаимное перемещение его элементов под действием сил на растяжение, а из-за механического упрочнения прочность алюминиевых проволок возрастает в 1,5–2 раза, в то время как разница в проводимости составляет менее 1% [3].

Стоимость проводников АСВП, АСВТ и реконструкции ВЛ с этими проводниками не выше, чем с обычными проводами, а в расчете на жизненный цикл даже ниже, но увеличение мощности (несколько десятков процентов для АСВП и до 80–100% для АСВТ) нивелирует любую разницу в цене, снижение же нагрузок на опоры уменьшает растягивающие нагрузки, уменьшает нагрузки от ветра и мокрого снега, и в конечном счете повышает надежность воздушной линии, чего нам следует достичь для стабильности работы энергосистемы в целом.

Параметры новых проводов лучше, чем у старых: увеличился максимальный допустимый ток в линиях, разрывное усилие и пропускная способность, уменьшилась стрела провеса, но немного увеличилась масса. Таким образом новые провода отлично подходят для новых линий, которые планируется построить в регионах с повышенными ветровыми или гололедными нагрузками.

Сопоставление основных характеристик представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Сопоставление основных характеристик проводов

№	Производитель	Провод	Диаметр, мм	Масса, кг/км	МТПС, А	Разрывное усилие, кН
Традиционные провода						
1	Стандартные сталеалюминевые провода	АС 240/32	21,6	921	605	72,7
2		АС 300/39	24,0	1 132	710	89,2
3		АС 400/51	27,5	1 490	825	115,4
Инновационные провода (с улучшенными характеристиками)						
4	«Энергосервис»	АСВТ 461/64 высоко-температурный	26,9	1 802	1668	170,5
		АСВТ 371/106	26	1882	1476	220,4
		АСВТ 277/79	22,4	1400	1199	163,9
		АСВП 277/79 highstrength	22,4	1400	862	163,9

Продолжение таблицы 1

№	Производитель	Провод	Сопротивление Ом/км	Стрела провеса, м
Традиционные провода				
1	Стандартные сталеалюминевые провода	АС 240/32	0,121	13,2
2		АС 300/39	0,098	11,5
3		АС 400/51	0,075	11,7
Инновационные провода (с улучшенными характеристиками)				
4	«Энергосервис»	АСВТ 461/64 высоко-температурный	0,063	9,3
		АСВТ 371/106	0,0776	7,8
		АСВТ 277/79	0,1040	7,7
		АСВП 277/79 highstrength	0,1040	7,9

Новые провода АСВП и АСВТ расширяют рамки проектирования воздушных линий и позволяют решить задачи, которые раньше решить было нельзя или решение которых было связано с большими денежными затратами.

При использовании новых проводов увеличивается прочность на разрыв и снижение удельных потерь электроэнергии при той же текущей нагрузке, аэродинамические нагрузки также снижаются максимум до 35% и образование льда до 25%, коэффициент расширения температуры проводника уменьшается на 15% только из-за конструктивных особенностей проектирования провода. [4]

Заключение

Инновационная технология пластической деформации отмечена Патентами Германии и России и обеспечивает важные и перспективные преимущества. Кроме того, все новые продукты, несомненно, имеют очень перспективную особенность — при их эксплуатации значительно пропускная способность

и надежность ЛЭП. В дополнение к преимуществам, перечисленным выше, новые провода уже показали стойкость к ударам молнии и последовательным циклическим воздействиям, механическую прочность, стойкость к изгибу и сочетанию нагрузок растяжение — изгиб, а также усталостную прочность.

Сопоставление оценки параметров сталеалюминиевых тросов, расчетов механической прочности в различных условиях окружающей среды показали, что пластически деформированные сталеалюминиевые тросы позволяют эффективно решать конструктивные проблемы линий электропередачи.

При сравнении возможности передачи обычных проводов АСВТ и АСВП, мы можем сделать вывод, что при одной и той же возможности передачи диаметр новых проводов меньше. Это позволяет снизить нагрузку на опоры и провисание проводов.

Литература

1. Transmission Line Reference Book, 345 KV and Above / Second Edition, Copyright 1992 by the Electric Power Research Institute Inc., Prepared by Project UHV.
2. Патент РФ № 132241 «Провод сталеалюминевый по воздушной ЛЭП»/ Фокин В.А., Власов А.К., Петрович В.В., Звягинцев А., Фролов В. Оpubл. : 09.10.2013. Бык. № 25
3. Справочник по электротехническим материалам. Vol. 3/ Под ред. Корицкого. В., Пасынков В.В., Тареев Б.М.Л. : Энергоатомиздат, 1988.
4. Власов А.К. Инновационные решения для воздушных линий // Электроэнергия: передача и распределение. 2015 г. № 1 (28). С. 48–51.

УДК 621.315

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АСУТП ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВСЕМИ ПРОЦЕССАМИ
INTRODUCTION OF AN ASUTP SYSTEM TO MANAGE ALL PROCESS

Д.Д. Соболевский

Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Sobolevskiy

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: На основе литературных данных рассмотрены преимущества и область применения АСУТП.

Abstract: Based on literary data, the advantages and scope of the ASUTP are considered.

Ключевые слова: преимущества, область применения, цель, производство.

Keywords: benefits, scope of application, aim, manufacture.

Введение

Цели улучшения повышения эффективности производства и лучшего качества выпускаемой продукции, и конечно же обеспечения нового качества управляемости являются самыми важными для всех предприятий, в частности, если технологические процессы сложны и малейший сбой может привести к большим экономическим потерям или создать чрезвычайную ситуацию для предприятий.

Важной частью для выполнения этих задач является автоматизированная система управления технологическими процессами – АСУ ТП.

Основная часть

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — совокупность различных технических средств как программных так и аппаратных и он предназначен для автоматизации управления оборудованием, которое осуществляет технологический процесс в самых разных сферах, на данный момент сложно представить производство которое работало без систем автоматизации. Участие человека при этом не имеет необходимости, но всё же присутствует на уровне принятия наиболее ответственных решений.

Преимущества внедрения АСУТП:

- комплексное взаимодействие автоматизированных систем предприятия;
- повышение качества и производительности предприятия;
- снижение затрат на персонал;
- повышение экологичности;
- оптимизация расходов предприятия.

АСУТП обеспечивает автоматизированный контроль и управление параметрами технологического процесса, поддерживает оптимальный режим работы технологических устройств и учет промежуточных данных, позволяет

проводить диагностику измерительного оборудования предприятий и гражданских объектов.

Функции и задачи АСУТП:

- работа с данными (сбор, регистрация, обработка, хранение, передача);
- управление оборудованием и параметрами ТП;
- реакция на аварийные и нештатные ситуации.

Все АСУТП представляют собой многофункциональную систему, поэтому существуют две функции: внешняя и внутренняя функции. Внешние функции – это функции которые определяются назначением системы; внутренние — служебные функции, которые обеспечивают кокачественное выполнение основных, внешних функций. Внешние функции АСУТП подразделяют на информационные и управляющие. Информационные функции включают в себя функции системы, итогом выполнения которых является предоставление оператору ТП или внешним потребителям информации о состоянии управляемого процесса.

Широкое использование интегрированных систем автоматизации, их построение, классификация и стандартизация рассматривается во многих аспектах в соответствии с различными источниками. АСУ ТП используются в различных областях промышленности:

- системы управления на транспорте;
- нефтегазовая промышленность;
- телекоммуникации и связь;
- производство и учет электроэнергии;
- лабораторно-измерительные системы.

Основная цель внедрения АСУ ТП - это повышение экономической эффективности предприятия. Её достижение достигается за счёт грамотного выполнения всего комплекса работ в области создания интегрированных систем комплексной автоматизации, построенных на основе современных технических, программных и коммуникационных средств и технологий.

Заключение

Целью данной работы являлось изучение Автоматизированных Систем Управления Техническими Процессами (АСУТП). Автоматизация процессов управления предприятием является важной и сложной задачей.

На данный момент любое крупное производство не мыслимо без автоматизации, так как позволяет значительно улучшить планирование, противоаварийный контроль и защиту, что позволяет сделать технологические процессы высококачественными. При помощи автоматизированной системы можно использовать ресурсы предприятия более эффективнее и экономнее, повысить производительность труда, снизить затраты производства, повысить конкурентоспособность и получать максимально возможную прибыль.

Литература

1. Благовещенская М.М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами .-М.: Высшая школа 2005

2. Автоматизированных систем управления технологическими процессами [Электронный ресурс]/ автоматизированных систем управления технологическими процессами.-Режим доступа: <https://asutp.ru>. Дата доступа: 26.10.2021.

3. Автоматизация производственных процессов предприятия [Электронный ресурс]/ Автоматизация производственных процессов предприятия.-Режим доступа: https://revolution.allbest.ru/programming/00363411_0.html. Дата доступа: 26.10.2021.

4. Разработка и внедрение АСУ ТП [Электронный ресурс]/ разработка и внедрение АСУ ТП.-Режим доступа <http://www.en-spektr.ru/texts/new00>. Дата доступа: 26.10.2021.

УДК 621.311

**ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
DIGITAL POWER TRANSMISSION LINE MONITORING SYSTEM**

М. Э. Астремский, В. В. Люцко

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Astremsky, V. Lutsko

Supervisor – N. Petrashevich, senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье рассказывается о мониторинге состояния ЛЭП в реальном времени, его преимуществе и системах мониторинга, которые используют в современности.*

***Abstract:** this article describes the monitoring of the state of power lines in real time, it's advantages and monitoring systems that are used in modern times.*

***Ключевые слова:** мониторинг, воздушные линии электропередачи*

***Keywords:** monitoring , overhead power lines*

Введение

При передаче электроэнергии по воздушным линиям возникают потери, которые приводят к увеличению затрат на эксплуатацию ЛЭП и уменьшению их срока службы. Погодные условия так же приводят к увеличению потерь в линии, их короткому замыканию и частичному повреждению проводов ЛЭП. Поэтому необходимо проводить постоянный мониторинг состояния линий электропередачи для уменьшения потерь, предотвращению возникновения короткого замыкания и повреждения или обрыв ЛЭП. На данный момент для этого применяют цифровые системы мониторинга в реальном времени, такие как CAD-1, OTLM и др.

Основная часть

К условиям мониторинга технического состояния воздушных ЛЭП относят:

- Измерение температуры проводов линии
- Контроль состояния подвешенной изоляции
- Локация дефектов
- Локация мест повреждений
- Контроль обледенения проводов
- Поиск замыкания на землю
- Стрела прогиба проводов в линии
- Загрязнение изоляторов

Преимущества цифрового мониторинга ЛЭП в реальном времени:

- Более эффективная передача мощности через ЛЭП



Рисунок 1– Эффективность передачи энергии в ЛЭП со статическими и динамическими параметрами

Так как при передаче электроэнергии через ЛЭП установлены допустимые токи нагрузки и используют предельные значения тока, для определения провиса проводов выше критического. Однако эти данные взяты для экстремальных условий, которые практически не встречаются в эксплуатации ЛЭП. Следовательно, у сети есть возможность передать дополнительную мощность при необходимости. При наличии системы мониторинга эту дополнительную мощность можно использовать с соблюдением регламента по надёжности (рис 1).

- Уменьшения воздействия погодных условий на ЛЭП

На ЛЭП оказывают влияния погодные условия: температура, осадки, атмосферное давление, влажность, скорость и направление ветра. Знание погодных условий ЛЭП позволяет снизить количество отключений энергии.

- Мониторинг состояния проводов и изоляции линий электропередачи

При эксплуатации ЛЭП происходит износ проводов и изоляции, пробой и загрязнение изоляторов. Из-за старения проводов возможно критическое провисание. В документации о проекте указаны критические значения стрелы провеса. Стрела провеса может определяться тензодатчиками установленных на опорах подвеса проводов.

- Определение гололеда на проводах ЛЭП

При гололеде на проводах возможны обрывы, тросов, разрушения арматуры, изоляторов. Наличие гололеда определяют с помощью метеодатчиков, тензодатчиками подвеса и акселерометров.

- Уменьшение влияния гармоник

При анализе гармоник можно выявить утечки и замыкания. Это нужно для лучшего согласования с нагрузкой и уменьшения потерь электроэнергии при передаче.

В данный момент используют множество рядов систем мониторинга ВЛ. Далее приведены примеры некоторых из них.

- CAD-1

В настоящее время во всем мире используется свыше 300 систем мониторинга САТ-1. Система обеспечивает мониторинг в реальном времени погодных условий и натяжения проводов в точках крепления к опорам.

- OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring)

Измерительный модуль OTLM устанавливается на высоковольтный провод. Измерение тока в проводе и питание модуля осуществляется бесконтактно. Прибор заряжается от энергии, получаемой от провода через токовый трансформатор. Система OTLM показывает в реальном времени измерение температуры и тока проводов.

Заключение

Передача электроэнергии от поставщика к потребителю - это одна из ключевых задач энергетики. На большие расстояния электроэнергия передается зачастую по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП). Эффективность и надежность электропередачи энергии зависит от состояния сети электроснабжения. Поэтому мониторинг воздушных линий электропередачи помогает решить и предотвратить многие проблемы в передаче энергии.

Литература

1. Системы мониторинга ЛЭП [Электронный ресурс]/ Системы мониторинга ЛЭП. -Режим доступа: <https://controlengrussia.com/otraslevyeresheniya/sovremennyye-tehnologii-monitoringa-vozdushnyh-e-lektrosetej-le-p/>. – Дата доступа: 26.10.2021.
2. Системы мониторинга ЛЭП [Электронный ресурс]/ Системы мониторинга ЛЭП. -Режим доступа: <https://docplayer.com/82212613-Sistemy-monitoringa-sostoyaniya-vozdushnyh-lep-trebovaniya-k-nim-vozmozhnye.html>. – Дата доступа: 26.10.2021.
3. Системы мониторинга ЛЭП [Электронный ресурс]/ Системы мониторинга ЛЭП. -Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/127/000000831/attfile/01.pdf>. – Дата доступа: 26.10.2021.
4. Системы мониторинга ЛЭП [Электронный ресурс]/ Системы мониторинга ЛЭП. -Режим доступа: <https://research-journal.org/technical/monitoring-linij-elektroperedachi-v-zadachax-upravleniya-propusknoj-sposobnostyu-v-rezhime-realnogo-vremeni/>. – Дата доступа: 26.10.2021.

УДК 621.311

**КАБЕЛИ ВОЛС (ОКГТ)- ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ И
ОБОРУДОВАНИЕ НА ПОВЫШЕННЫХ ОПОРАХ
FOCL CABLES - FIBER-OPTIC CABELS AND EQUIPMENT ON
EVEVATED SUPPORTS**

Е.В. Езерская, Д.П. Мерцалов

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Ezerskaya, D. Mertsalov

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: достоинства оптических световодов, волоконно-оптические кабели, кабели ОКГТ, достоинства прокладки ВОЛС, эксплуатационные требования ВОЛС.

Abstract: advantages of optical fibers, fiber-optic cables, OPGT cables, advantages of laying fiber-optic communication lines, operational requirements of fiber-optic communication lines.

Ключевые слова: ВОЛС, кабели ОКГТ, прокладка ВОЛС, оптический кабель, достоинства.

Keywords: operational requirements of fiber-optic communication lines, OCGT cables, fiber optic cable laying, optical cable, advantages

Введение

Достоинства оптических световодов как физической сферы распространения сигналов электросвязи и конструктивной основы оптических кабелей связи широко известны. Главными из них считаются: обширная полоса пропускания, обеспечивающая вероятность передачи сигналов электросвязи на дистанции вплоть до 150 километров со скоростью до 10 Гбит/сек; нечувствительность к электромагнитным помехам; отсутствие препятствий в оптических кабелях; небольшая масса и масштабы оптических кабелей.

ВОЛС, на базе оптических кабелей, также нынешних цифровых систем передачи, в настоящее время берут ведущее место в системах взаимосвязи разного назначения. Особенно перспективно применение ВОЛС, подвешиваемых в опорах воздушных линий электропередачи высокого напряжения, имеющих высшую надежность согласно сравнению с иными видами ВОЛС. Помимо того, волоконно-оптические линии связи воздушных линий имеют ряд преимуществ согласно сравнению с классическими методами строительства оптических кабельных линий связи. К ним можно отнести недостаток потребности отвода земли и согласования права на доступ, сокращение сроков введения линии в использование, снижение капитальных, а также эксплуатационных расходов. [4]

Основная часть

Волоконно-оптические кабели представляют собой заземлённый протяжённый тросовый молниеотвод, натянутый вдоль воздушной линии

электропередачи напряжением от 35кВ и выше, служащий для защиты токопроводящих проводов от прямых ударов молнии, а также для выполнения функций кабеля связи и передачи данных с помощью оптического волокна. Волоконно-оптический кабель встроен в грозозащитный трос. Комбинированная конструкция состоит из центрального силового элемента в виде стальной проволоки, термомеханическое покрытие алюминием, вокруг которого скручены стальные проволоки, термомеханическое покрытие алюминием или проволоки из алюминиевого сплава и оптические модули, с уложенными внутри оптическими волокнами. Оптический модуль по всей длине заполнен гидрофобным компаундом (термопластическая полимерная смола и эластомерные материалы с наполнителями и добавками или без них после затвердевания). Поверх модулей наложен один или несколько повивов стальных проволок, термомеханическое покрытие алюминием или проволок из алюминиевого сплава. [2]

Кабели ОКГТ бывают разных типов:

- ОКГТ с центральным оптическим модулем (кабель ОКГТ-Ц);
- ОКГТ с оптическим модулем в скрутке (кабель ОКГТ-С);
- ОКГТ с оптическим модулем, плакированным алюминием (ОКГТ-Ц-А);
- Грозозащитный трос коррозионностойкий (ГТК);
- Оптический кабель, встроенный в фазный провод (кабель ОКФП);
- Навивной ка фазный провод (кабель ОМП-2Д-Э);
- Навивной на фазный провод (кабель ОМП-1Д-А-П).

С помощью кабеля ОКГТ можно произвести мониторинг ЛЭП, что становится элементом этой системы, благодаря оптическому в конструкции грозотроса. Такие системы определяют место удара молнии с высокой точностью, а также фиксируют несанкционированную активность в охранной зоне.

Это дает возможность: сократить время на поиск места повреждения, вычислять индекс износа элементов ЛЭП, предотвращать повреждения опор. [1]

К прокладке ВОЛС по опорам прибегают в тех случаях, если применять прокладку в канализации либо траншейным методом неразумно (или невозможно). При постройке внутризоновых и главных оптических сетей получило распространение использования оптического кабеля во грозозащитном тросе – это наиболее практичный и высоконадежный метод подвески ВОЛС в ЛЭП напряжением 110 кВ и более. В внутризоновых и районных линиях используется также подвес самонесущего кабеля с креплением в нижнем траверсе. Данный вид применяется как в ЛЭП, напряжением 110 кВ и более, так и в воздушных линиях менее высокого напряжения (10 кВ и ниже) наравне с низковольтными линиями, линиями освещения, опорами контактных сетей железных дорог.

К количеству достоинств прокладки ВОЛС по опорам можно отнести снижение сроков постройки наряду с уменьшением капитальных и эксплуатационных расходов (необходимость отвода земель и согласований с причастными организациями отсутствует), снижение масштабов возможных

повреждений в участках городской стройки и промзонах, а также независимость от видов грунта.

Также, воздушная прокладка оптических кабелей значительно легче подземной, необходимо выделить также такие недостатки прокладки ВОЛС по опорам, равно как снижение времени службы из-за воздействия окружающей среды, подверженность повышенным механическим напряжениям при негативных атмосферных условиях, а, кроме того, трудности расчета при влиянии нагрузок в разных условиях эксплуатации.

Для прокладки ВОЛС способом подвески к опорам в населенных пунктах зачастую применяют подвеску оптоволоконного кабеля к металлическому тросу, что натягивается между опорами на консолях. Используется также подвес оптоволоконного кабеля с интегрированным тросом на консолях специальной конструкции. [3]

Эксплуатационные требования для конструкции:

- Рабочая температура: от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- Минимальная температура при монтаже: -30°C ;
- Температура транспортировки и хранения: от -60°C до $+70^{\circ}\text{C}$;
- Минимальный радиус изгиба кабеля: не менее 20 диаметров кабеля;
- Срок службы: 25-50 лет (в зависимости от типа кабеля);
- Срок гарантийной эксплуатации: 2 года после ввода в эксплуатацию, не более 2.5 лет со дня доставки;
- Растягивающее усилие: от 33,0 кН до 484,0 кН;
- Раздавливающее усилие: 100кг/10мм. [2]

Заключение

Подбор схемы постройки ВОЛС-ВЛ – нелегкая, а также тяжелая проблема, требующее серьезного технического, в частности и финансово-экономического рассмотрения. Основное заключение можно сделать в том, что любой проект ВОЛС по собственному уникален и конкретного единого подхода к решению задачи не имеется. Ресурс ВЛ электропередачи как уникальной в настоящий период «воздушной канализации» с целью постройки ВОЛС далеко еще не исчерпан.

На вопрос энергетиков, необходимо ли им лично строить ВОЛС-ВЛ либо такое бессмысленно, отвечают конкретно - необходимо. Также чем раньше это станет выполнено, тем более положительных сторон получит предприятие, имеющая в собственном запасе ВОЛС-ВЛ и освоившая как строительство, так и использование таких ВОЛС. В западных государствах процедура изучения ВЛ как ресурса для ВОЛС уже пройден. [4]

Литература

1. Кабель ОКГТ [Электронный ресурс] -Режим доступа <https://incab.ru/optical-cable/orgw/> . – Дата доступа: 26.10.2021.
2. КАБЕЛЬ волоконно-оптический ОКГТ [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://focnet.net/product/266>. – Дата доступа: 25.10.2021.

3. Прокладка ВОЛС по опорам [Электронный ресурс] – Режим доступа https://skomplekt.com/technology/prokladka_vols_po_oporam.htm/. – Дата доступа: 27.10.2021.
4. ВОЛС на воздушных линиях [Электронный ресурс] –Режим доступа https://www.ruscable.ru/articles/doc/statii/vols_na_vozdushnykh_linnyakh_elektroper e . – Дата доступа: 27.10.2021.

УДК 621.311.16

**ПОДДЕРЖАНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СЕТИ 10 КВ
И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТ РАЗМЫКАНИЯ ЛИНИЙ 10 КВ
С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ
MAINTAINING NORMAL OPERATION OF THE 10 KV NETWORK
AND OPTIMIZING THE OPTIMIZATION OF 10 KV LINE OPTIMIZATION
WITH DOUBLE-RONNY POWER SUPPLY**

Е.В. Радюк, В.Д. Слесарев

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Radziuk, V. Slesarev

Belarusian national technical university, Minsk

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Все мы знаем, что для успешной и долгосрочной эксплуатации электрической сети основным фактором является поддержание в ней пропускной способности и достаточного напряжения. Что необходимо для поддержания нормального режима работы сети?*

***Abstract:** We all know that for the successful and long-term operation of the electrical network, the main factor is to maintain its capacity and sufficient voltage. What is needed to maintain normal network operation?*

***Ключевые слова:** нормальный режим, электрическая сеть, оптимизация, двустороннее питание, размыкание.*

***Keywords:** normal mode, mains, optimization, bi-directional power supply, trip.*

Введение

Электрические сети 10 кВ относят к распределительным сетям.

Они предназначены для передачи и распределения электроэнергии от источников питающих сетей до потребителя. Сети 10 кВ относятся к районным и городским сетям. Они состоят из распределительных устройств, токопроводов и воздушных и кабельных линий.

Как же распределительные сети 10 кВ передают электроэнергию до потребителей? Электроэнергия передается высоковольтными воздушными линиями ЛЭП 500кВ в масштабах областей и центров, поступает на распределительные узлы с понижающими трансформаторами затем распределяется по ЛЭП 220кВ и 110кВ передается на подстанции с понижающими трансформаторами 220/35/10кВ или 110/35/10кВ зависит от загруженности мощностей на территориях. [1]

Основная часть

Для правильной работы электрических сетей необходимо выполнять необходимые условия для поддержания в них необходимой пропускной способности и достаточного напряжения. Исходя из этих показателей различают нормальный, аварийный режимы.

Нормальный режим – это режим, при котором показатели пропускной способности и напряжения близки к номинальным. Для данного режима характерно плавное регулирование работы электростанции, при которой потери электроэнергии в сети минимизируются. Это позволяет нам осуществлять оперативные переключения в сети.

Нормальный режим электрической сети обеспечивает передачу электроэнергии от источников питающих сетей до потребителей без перебоев и с достаточным напряжением. [2]

Для поддержания нормального режима нам нужно избегать отклонений в работе сети, которые могут привести к аварийному режиму. К таким отклонениям относятся такие факторы, как:

- Короткое замыкание. Избегаем превышение номинального напряжения более, чем на допустимые значения. При превышении напряжения в десятки раз в сети происходит короткое замыкание, которое проявляется яркой вспышкой света лампочки.
- Перегрузка электросети. При перегрузке сети потребитель может понять, что что-то не так из-за нагревания розетки, выключателя, вплоть до их возгорания.
- Скачок тока. Скачок тока характеризуется кратковременным превышением напряжения, которое можно заметить, когда лампа накаливания перегорает.
- Слабый ток. Причиной этого отклонения может являться разрыв сети. Данное отклонение можно увидеть при работе лампы накаливания, горячей тусклым светом.
- Скачок напряжения. Причиной резкого изменения напряжения в сети может являться удар молнии. Чаще всего это приводит к дальнейшей неисправности электроприборов.
- Низкое напряжение. Такое отклонение возникает при частичном разрыве цепи. При таком режиме цепи устройства со временем выходят из строя.

Для регулирования напряжения и поддержания нормального режима работы электрической сети 10 кВ нужна оптимизация в центрах питания разомкнутых электрических сетей. В разомкнутом режиме работают практически все сети 10 кВ. Центрами питания этих сетей обычно являются подстанции 500-35/6-20 кВ.

Главной задачей оптимизации напряжения в центре питания является контроль отклонений напряжения, чтоб не позволять ему выходить за допустимые значения. Также это позволяет одновременно снизить потери электрической энергии в распределительных сетях.

Сети напряжением 10 кВ, как правило, работают в разомкнутом режиме, поэтому для оптимизации работы сети нам нежно думать не о размыкании контура, а о поиске наилучшего места размыкания сети.

Изменение места размыкания сети с двусторонним питанием ведет к перераспределению нагрузок между питающими ПС и изменению потерь во

внешней сети. Место размыкания сети определяется зависимостью потерь во внешней сети от нагрузки одной из ПС.

Существуют также специальные программы автоматизированного выбора оптимальных точек размыкания сетей. К ним можно отнести программу ОТРО, которая помогает нам осуществлять выбор оптимальных точек размыкания линий с двусторонним питанием на напряжении 6—330 кВ по критерию максимума показателя абсолютной экономической эффективности суммарных затрат. Данная программа также учитывает общие затраты на получение и обработку необходимой информации, что позволяет нам получать наиболее правдивые результаты.

Данная программа автоматизированного выбора оптимальных точек размыкания рассчитывает различные режимы работы сети при учёте условий со стороны питающего центра. К таким режимам относятся:

- исходный режим с вычислением потоков и потерь электроэнергии на участках линии, показателей их загрузки, уровней напряжения в узлах в среднем нагрузочном режиме;
- оптимальный по минимуму потерь электроэнергии режим работы линии с условно замкнутой схемой;
- режим работы линии с оптимальной по минимуму потерь электроэнергии точкой размыкания (ОР); при отсутствии в месте ОР существующего коммутационного аппарата учитываются затраты на его установку;
- режим работы линии с размыканием ее ближайшим коммутационным аппаратом от ОР до первой точки питания (режим рассчитывается в случае, когда в месте ОР нет коммутационного аппарата);
- режим работы линии с размыканием ближайшим коммутационным аппаратом на пути от точки ОР до второй точки питания;
- серию режимов работы линии с размыканием в заданных точках.

Заключение

В наше время технологии позволяют выбрать оптимальные условия для поддержания нормального режима работы любой электрической сети. Для максимальной продолжительной и эффективной работы электрической сети 10 кВ необходимо выбрать наилучшее место размыкания сети. Рассчитать наиболее выгодное место размыкания можно как ручным расчётом, так и при помощи специальных программ автоматизированного выбора оптимальных точек размыкания сетей.

Литература

1. Исполнительная документация. Электромонтажные работы [Электронный ресурс]/ Распределительные устройства. Кабельные линии. Электроснабжение. -Режим доступа: <https://isdok.ru/elektroseti-10kv/>. – Дата доступа: 27.10.2021.
2. ПУЭ8 [Электронный ресурс]/ Режимы электрических сетей. –Режим доступа: https://energetik-ltd.ru/statii/statii6/klassifikaciya_silovih_kabeley_i_provodov/. – Дата доступа: 17.10.2021.

УДК 658.262

**НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ
ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
PURPOSE AND BASIC DESIGNS OF LIGHTNING PROTECTION CABLES
OF OVERHEAD POWER LINES**

С.В. Зеньков, К.В. Зубаревич

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Zenkov, K. Zubarevich

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: на основе литературных данных рассмотрено назначение и виды грозозащитных тросов, а также специфика их применения.

Annotation: on the basis of literature data, the purpose and types of lightning protection cables, as well as the specifics of their application, are considered.

Ключевые слова: молния, трос, напряжение.

Keywords: lightning, cable, voltage.

Введение

Молния является одним из источников неисправностей на воздушных линиях, а также повреждений чувствительного электронного оборудования. Существуют различные варианты того, как молния может нарушить работу линий.

Основная часть

Переходные процессы могут возникнуть в результате прямых или косвенных ударов (либо внутри облака или вспышки облако-земля).

Молния может вызвать перенапряжение при попадании либо в линию (прямые удары), либо на точку в непосредственной близости от нее (не прямые удары).

Попадание молнии в воздушную линию приводит к возникновению напряжения, около 2000 кВ, что намного превышает уровень изоляции линии [1, 2-5]. Как следствие, возникают множественные пробой как между фазами, так и между фазами и землей. Потребители испытывают падение напряжения во время короткого замыкания и кратковременное прерывание при размыкании выключателя для устранения неисправности. Для избежания попадания молнии используются грозозащитные тросы.

В качестве грозозащитных тросов используют изготовленные из оцинкованной проволоки, стальные канаты для особо жестких и агрессивных условий работы и по способу свивки нераскручивающиеся сечением: 35 мм² на ВЛ 35 кВ; 50 мм² на ВЛ 110–150 кВ; 70 мм² на ВЛ 220 кВ и выше [2, 97].

Иногда применяют сталеалюминиевые провода на тех переходах, где нужна высокая надежность. Это касается проводов, проходящих через инженерные сооружения, на участках воздушных линий в районах с повышенным загрязнением, около фабрик и заводов и на линиях с большими токами

однофазного короткого замыкания для уменьшения влияния воздушной линии на линии связи.

Необходимым условием является наличие дистанционных изолирующих распорок между составляющими частями сдвоенного троса на анкерных опорах. Расстояние от одного троса до другого в пролете не должно превышать 40 м.

Заключение

В итоге можно отметить, что грозозащитные тросы являются довольно важной составляющей элестрической сети и не позволяют молнии нарушать работу линий электропередач.

Литература

1. Александр Пиантини. Грозозащита воздушных распределительных линий, 2008.–30с.
2. Правила эксплуатации электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М., 2007.

УДК 621.311

**ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ
DIGITAL SUBSTATIONS**

А.А. Могильницкая

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Mogilnitskaya

Supervisor – V. Makarevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: в данной статье затрагивается тема развития энергетики, а именно внедрение цифровых подстанций. В статье изложены достоинства и недостатки цифровых подстанций и пример их реализации в Республике Беларусь.

Abstract: this article touches on the topic of energy development, namely the introduction of digital substations. The article outlines the advantages and disadvantages of digital substations and an example of their implementation in the Republic of Belarus.

Ключевые слова: цифровые подстанции, современные технологии, дистанционный мониторинг, электроэнергия, автоматизация.

Keywords: digital substations, modern technologies, remote monitoring, electric power, automation.

Введение

В энергетической программе любой страны стоит важная задача: развитие энергетической промышленности и повышение эффективности производства при минимальных затратах на базе развития научно-технического прогресса. За два последних десятилетия появились цифровые подстанции. Благодаря внедрению микропроцессора в автоматизацию, произошел скачок от «обычной сети» до «умной». Цифровой мир позволил значительно расширить рамки управления, контроля и сбора данных.

Основная часть

Цифровая подстанция (ЦПС) – автоматизированная подстанция, оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами и функционирующая без присутствия постоянного дежурного персонала.

Работа и управление такими подстанциями базируется на программно-техническом комплексе цифровой подстанции (ПТК ЦПС), разделенном на структурные уровни (процесса, присоединения и подстанции), которые объединяются между собой посредством сегментов локально-вычислительной сети Ethernet. Сегменты локально-вычислительной сети (ЛВС) образуют шину процесса, объединяющую уровни процесса и присоединения, и шину подстанции, объединяющую уровни присоединения и подстанции.

Эти инновации помогут решить такие проблемы в обслуживании и эксплуатации энергетических комплексов:

- сложность контроля энергокомплексов. Большинство энергетических объектов расположено в труднодоступных местах. Добраться до них, чтобы провести технический мониторинг достаточно сложно;
- значительное снижение количества кабельных связей в составе комплекса и их полная диагностируемость, что ускоряет поиск неисправности и сокращает время восстановительного ремонта;
- убытки из-за нерационального расхода топлива и электроэнергии. Из-за того, что энергосетевые комплексы сложно контролировать силами сотрудников, расходуется больше ресурсов, чем необходимо. Электростанции вырабатывают энергию с избытком, и при этом теряют деньги;
- снижение объемов и частоты периодических проверок за счет организации более оптимального планирования профилактических и необходимых восстановительных работ;
- нештатные ситуации в связи с поломками. Самостоятельно следить за износом и состоянием оборудования – сложная задача. Установки внезапно ломаются, приводят к авариям. Компании остаются без электроэнергии и несут убытки.

Разберемся, как именно современные технологии на цифровых подстанциях решат эти проблемы энергетической отрасли. Проще контролировать энергокомплексы с помощью беспилотников. Некоторые подстанции уже сейчас контролируют оборудование с помощью дронов, оснащенных камерами и датчиками. Аппараты снимают линии электропередачи, выявляют нарушения и попытки несанкционированного доступа на объекты и передают актуальные данные в диспетчерские пункты. Дистанционный мониторинг помогает лучше контролировать энергокомплексы и снизить убытки. Внедряя системы на базе интернета вещей (IoT), производители электроэнергии эффективнее используют ресурсы, уменьшают потери электроэнергии и оптимизируют строительство новых мощностей. Также искусственный интеллект и машинное обучение просчитывают износ и предсказывают аварии. В электроэнергетике уже сейчас используют оборудование на основе искусственного интеллекта. С его помощью оптимизируют управление техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. В основе таких инструментов лежит предиктивная аналитика средствами машинного обучения. Система собирает большие массивы данных, собранных датчиками и прогнозирует события. Цифровое обеспечение может отразить полный цикл работы подстанции и показать сроки износа оборудования в зависимости от условий эксплуатации. Благодаря этому заранее предотвращают сбои и аварии на объекте.

Недостатки:

- необходимость квалифицированного обслуживающего персонала;
- требует установку нового дорогостоящего оборудования, которое пока имеет небольшой период опытной эксплуатации;
- совместимость разнородного оборудования;
- вопрос кибербезопасности.

Реализация в Республике Беларусь

Концепция цифровой подстанции реализована на ПС-110 «Приречная» с применением системы Hard Fiber Process Bus – системы выносных модулей ввода/вывода с передачей данных по оптоволоконным кабелям. Система включает в себя МПРЗА, оптические кабели и выносные модули ввода/вывода (УСО), которые получили название Bricks (“Кирпичи”). Первым пилотным проектом по внедрению данной технологии стала подстанция АЕР Corridor 345/138 кВ, г. Колумбус, штат Огайо. На базе системы HardFiber была построена дистанционная защита линий Conesville и Nyatt 345 кВ, а также УРОВ на выключателе, соединяющем эти линии в схеме 3/2. 12 модулей Bricks понадобилось для создания дублированной системы: по два модуля на каждый из трех выключателей, два на трансформаторы тока и напряжения каждой из линий, еще два на отдельно стоящий трансформатор тока. Модули крепились к металлическим конструкциям распределительного устройств. Система была сдана в эксплуатацию в 2009г. За время работы было зафиксировано около десяти внешних коротких замыканий, при этом устройства РЗА работали в штатном режиме. При построении системы РЗА на ПС-110 «Приречная» руководствовались двумя основными, взаимно противоречивыми, принципами:

- надёжность – применено полное аппаратное дублирование всех устройств;
- экономичность – максимальное использование всех возможностей каждого устройства для уменьшения числа используемых модулей и соединительных кабелей.

В качестве устройств релейной защиты присоединений 110 кВ были применены микропроцессорные РЗА GE серии UR, в которых платы прямого аналогового ввода были заменены на платы ввода МЭК 61850 (оптический Ethernet). На каждом присоединении 110 кВ установлено по два модуля ввода/вывода (Brick), подключенных к разным кернам ТТ. Также на них заведены вторичные цепи ТН 1С.Ш. 110 кВ и ТН 2С.Ш. 110 кВ. Переключение с одного ТН на другой производится вручную испытательными блоками в зависимости от фиксации каждого присоединения. Операции отключения и включения выключателя выполняются контактами Brick по командам устройств РЗА серии GE UR.

Первая в Белорусской энергосистеме цифровая подстанция «Могилев-330»

На ПС «Могилев-330» устройства релейной защиты управления и противоаварийной автоматики и автоматизированная система управления технологическими процессами MicroSCADA работают в соответствии с международным стандартом IEC 61850 с использованием передовых способов сбора и передачи информации. Связи между всеми элементами цифровой подстанции, т.е. первичным оборудованием, устройствами РЗА и другими устройствами, выполнены посредством оптоволоконных кабелей. Вся необходимая информация по данным кабелям передается в цифровом виде и включает в себя:

- данные о значениях токов и напряжений на оборудовании подстанции и линиях электропередачи (протокол передачи мгновенных значений тока и напряжения МЭК 61850-9-2 (Sampled Values), такой обмен

данных называют «шиной процесса»;

- информацию обмена данными между устройствами РЗА и первичным оборудованием посредством формирования и приема-передачи дискретных сигналов в цифровом виде (протокол GOOSE – Generic Object-Oriented Substation Event, МЭК 61850-8-1), такой обмен данных называют «шиной станции»;

передачу управляющих сигналов MMS (Manufacturing Message Specification – протокол передачи данных по технологии «клиент – сервер»). Реализация концепции «шина станции» и «шина процесса» позволяет добиться высокой степени надежности в части передачи информации, ее резервировании, а значит, и надежности работы подстанции в целом.

Управление всеми коммутационными аппаратами, т.е. ввод и вывод из работы первичного оборудования, устройств РЗА, оперативный персонал может осуществлять дистанционно. При необходимости можно управлять ПС из ЦДС Могилева и даже из ОДУ Минска, т.к. заложенные технологии это позволяют. Причем диспетчер посредством системы видеонаблюдения визуально может контролировать процессы коммутации разъединителей и ножей заземления при их включении или отключении. Применение оптоволоконных кабелей связи на ПС «Могилев-330» позволило отказаться от 75% традиционных медных кабелей. На данной подстанции они используются только в цепях питания оперативным током, обогрева и освещения. Оптоволоконные кабели в отличие от медных имеют ряд существенных преимуществ – высокая помехозащищенность, невозможность возникновения так называемой «земли» – пробоя изоляции кабеля во внешнюю среду, высокая степень диагностики состояния кабеля.

Заключение

В настоящее время в мире началось массовое внедрение цифровых подстанций. Их использование должно позволить в будущем существенно сократить расходы на проектирование, обслуживание, эксплуатацию и т.д. Цифровые технологии дают возможность полного дистанционного контроля, что повысит уровень бесперебойной работы подстанций и более высокую безопасность для самого человека и экологии в целом благодаря уменьшению расходуемого материала и площади, необходимой для строительства подстанции.

Литература

1. Цифровая подстанция [Электронный ресурс]/ цифровая подстанция. – Режим доступа: <https://goo.su/8175>. – Дата доступа: 03.10.2021.
2. Энергетика Беларуси [Электронный ресурс]/ реконструкция и развитие. – Режим доступа: <https://goo.su/817Q>. – Дата доступа: 02.10.2021.
3. Elensis.ru [Электронный ресурс]/ цифровые подстанции. – Режим доступа: <https://clck.ru/Xx9Jg>. – Дата доступа: 03.10.2021.

УДК 621.311

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК
НА ОДНОЖИЛЬНЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ
DETERMINATION OF LONG-TERM PERMISSIBLE CURRENT LOADS
ON SINGLE-CORE POWER ELECTRICAL CABLES**

Т.В. Арсенович

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Arsenovich

Supervisor – M. Korotkevich, doctor of technical sciences, professor
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** проведены расчёты сопротивления медных и алюминиевых жил переменному току. Оценены потери мощности в экранах и броне (стальной проволочной и немагнитной). Определены тепловые сопротивления и длительно допустимые токи нагрузки. Кабели больших сечений лучше выбирать по экономической плотности тока, а малых по допустимой плотности тока.*

***Abstract:** calculations of the resistance of copper and aluminum conductors to alternating current have been carried out. Power losses in screens and armor (steel wire and non-magnetic) are estimated. Thermal resistance and long-term permissible load currents have been determined. It is better to choose cables of large cross-sections according to the economic current density, and small ones according to the permissible current density.*

***Ключевые слова:** кабели, изоляция, сшитый полиэтилен, сопротивление, потери мощности.*

***Keywords:** cables, insulation, XLPE insulated, resistance, power loss.*

Введение

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена с начала двухтысячных годов внедряются в Республике Беларусь. Это относится к одножильным кабелям среднего (6-35 кВ) и высокого (110 кВ) напряжения. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена приходят на замену кабелям с бумажно-масляной изоляцией.

Основные преимущества одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- низкая повреждаемость;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- высокая механическая прочность на разрыв и сжатие;
- высокая пропускная способность;
- возможность прокладки на сложных трассах;
- соединительные и концевые муфты технологичны и экологически безопасны;
- возможность прокладки при низких температурах без предварительного подогрева;

- экологическая безопасность кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Отсутствуют масло, битум и свинец, что обеспечивает минимальное влияние на окружающую среду.

Основная часть

Сопротивление жилы переменному току R , Ом/м:

$$R = R' \cdot (1 + y_s + y_p), \tag{1}$$

где R' – сопротивление жилы постоянному току при максимальной рабочей температуре, Ом/м;

y_s – коэффициент поверхностного эффекта;

y_p – коэффициент эффекта близости;

R' – сопротивление жилы постоянному току, Ом/м [1].

Коэффициент поверхностного эффекта y_s :

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8 \cdot x_s^4}, \tag{2}$$

где $x_s^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot k_s$;

f – частота, Гц.

Коэффициент эффекта близости y_p :

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} \cdot \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 \cdot \left[0,312 \cdot \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} + 0,27} \right], \tag{3}$$

где $x_p^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot k_p$;

d_c – диаметр жилы, мм;

s – расстояние между осями жил, мм.

Таблица 1 – Расчётные сопротивления жилы переменному току

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Сопротивление жилы постоянному току R' , Ом/м · 10 ⁻³	Коэффициент поверхностного эффекта y_s	Коэффициент эффекта близости y_p	R , Ом/м · 10 ⁻³	
					горизонтальное расположение	треугольное расположение
Медь	120	0,1951	0,0022	0,0014	0,1958	0,1958
Алюминий	120	0,3244	0,0008	0,0005	0,3248	0,3248

Потери в экране λ_1 складываются из потерь, обусловленных вихревыми токами λ_1' и циркулирующими токами λ_1'' :

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''. \tag{4}$$

Для трёх одножильных кабелей, расположенных треугольником, коэффициент потерь:

$$\lambda_1' = \frac{R_{\text{экр}}}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_{\text{экр}}}{X}\right)^2}, \tag{5}$$

где $R_{\text{экр}}$ – сопротивление экрана, Ом/м [1];

X – реактивное сопротивление оболочки или экрана на единицу длины кабеля, Ом/м [1];

$\lambda_1'' = 0$, т.е. потери, обусловленные вихревыми токами, не учитываются.

Таблица 2 – Расчётные потери в экране

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Номинальное напряжение кабеля, кВ	R, Ом/м · 10 ⁻³	Бронированный кабель	λ_1	
					горизонтальное расположение	треугольное расположение
Медь	120	35	0,1958	Нет	0,2331	0,0570
				Да	0,1554	0,0380
Алюминий	120	35	0,3248	Нет	0,1573	0,0385
				Да	0,1049	0,0257

Расчёт потерь мощности в стальной проволочной броне одножильных кабелей при соединении оболочки и брони на обоих концах производим в следующем порядке:

- эквивалентное сопротивление параллельных оболочки и брони R_{Σ} , Ом/м:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{экp}} \cdot R_{\text{бр}}}{R_{\text{экp}} + R_{\text{бр}}}, \quad (6)$$

где $R_{\text{экp}}$ – сопротивление экрана на единицу длины кабеля при максимальной температуре, Ом/м;

$R_{\text{бр}}$ – сопротивление брони переменному току на единицу длины при максимальной рабочей температуре, принимаем $\tau_{\text{бр}} = 65^{\circ}\text{C}$, Ом/м.

Сопротивление брони $R_{\text{бр}}$ переменному току на единицу длины при максимальной рабочей температуре:

$$R_{\text{бр}} = R_{\text{бр}0} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_{\text{бр}} - 20)], \quad (7)$$

где $R_{\text{бр}0}$ – сопротивление брони при 20 °С, Ом/м;

α_{20} – температурный коэффициент сопротивления при 20 °С.

- индуктивность элементов цепи на фазу:

Значения коэффициентов B_1, B_2 , Ом/м:

$$B_1 = \omega \cdot (H_s + H_1 + H_3), \quad (8)$$

$$B_2 = \omega \cdot H_2, \quad (9)$$

где H_1, H_2, H_3 – компоненты индуктивности, Гн/м [1].

Потери в броне:

$$\lambda_2 = \frac{R_{\Sigma}}{2R_{\text{ж}}} \left(\frac{B_2^2 + B_1^2 + R_{\Sigma} B_2}{(R_{\Sigma} + B_2)^2 + B_1^2} \right). \quad (10)$$

Таблица 3 – Результаты расчёта относительных потерь мощности в стальной проволочной и немагнитной броне одножильных кабелей

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Номинальное напряжение кабеля, кВ	Броня	λ_2	
				горизонтальное расположение	треугольное расположение
Медь	120	35	Немагнитная	0,2320	0,0387
			Стальная проволочная	1,0127	1,0116
Алюминий	120	35	Немагнитная	0,3844	0,0961
			Стальная проволочная	1,3723	1,3709

Тепловое сопротивление между одной жилой и оболочкой T_1 :

$$T_1 = \frac{\sigma_{и}}{2\pi} \ln\left[1 + \frac{2 \cdot t_1}{d_{ж}}\right], \quad (11)$$

где $\sigma_{и}$ – удельное тепловое сопротивление изоляции, °С·м/Вт;

$d_{ж}$ – диаметр жилы, мм;

t_1 – толщина изоляции между жилой и оболочкой, мм.

Тепловое сопротивление между оболочкой и броней T_2 :

$$T_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{под} \cdot \ln\left[1 + \frac{2 \cdot t_2}{d_{экр.нар.}}\right], \quad (12)$$

где $\sigma_{под}$ – удельное сопротивление подушки, °С · м/Вт;

t_2 – толщина подушки, мм;

$d_{экр.нар.}$ - наружный диаметр оболочки, мм.

Тепловое сопротивление наружных защитных покрытий T_3 :

$$T_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{покр} \cdot \ln\left[1 + \frac{2 \cdot t_3}{d_{бр.нар.}}\right], \quad (13)$$

где $\sigma_{покр}$ – удельное тепловое сопротивление наружного защитного покрытия, °С · м/Вт;

t_3 – толщина защитного покрытия, мм;

$d_{бр.нар.}$ – наружный диаметр брони, мм.

Тепловое сопротивление T_4 среды, окружающей кабель, проложенный на воздухе и защищенный от прямого солнечного излучения:

$$T_4 = \frac{1}{\pi \cdot D_k^* \cdot h \cdot (\Delta\theta_s)^{1/4}}, \quad (14)$$

где D_k^* – наружный диаметр кабеля, м;

$\Delta\theta_s$ – превышение температуры поверхности кабеля над температурой окружающей среды, К;

h – коэффициент теплового рассеяния.

Изолированные одиночные кабели, проложенные в земле:

$$T_4 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{зем} \cdot \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}), \quad (15)$$

где $\sigma_{зем}$ – удельное тепловое сопротивление земли, К·м/Вт;

$$u = \frac{2 \cdot L}{D_k};$$

L – расстояние от поверхности земли до оси кабеля, мм;
 D_к наружный диаметр кабеля, мм.

Таблица 4 – Расчётные тепловые сопротивления T₁, T₂, T₃

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Номинальное напряжение, кВ	T ₁ , °С · м/Вт	T ₂ , °С · м/Вт	T ₃ , °С · м/Вт		
					нет брони	немагнитная броня	стальная проволочная броня
Медь	120	35	0,4822	0,0541	0,0922	0,0843	0,0765
Алюминий	120	35	0,4822	0,0541	0,0922	0,0843	0,0765

Таблица 5 – Расчётные тепловые сопротивления T₄

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Номинальное напряжение, кВ	Броня	T ₄ на воздухе, °С · м/Вт		T ₄ на воздухе по старой методике °С · м/Вт	T ₄ в земле °С · м/Вт
				Горизонтальное расположение	Треугольное расположение		
1	2	3	4	5	6	7	8
Медь	120	35	нет	0,6125	0,6179	0,2374	0,9184
			немагнитная	0,5895	0,6086	0,2203	1,3498
			стальная проволочная	0,5665	0,5674	0,2035	1,3202

Допустимая токовая нагрузка кабелей на переменное напряжение:

$$\Delta\theta = \left(I^2 \cdot R + \frac{1}{2} \cdot W_d \right) \cdot T_1 + [I^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda_1) + W_d] \cdot n \cdot T_2 + [I^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] \cdot n \cdot (T_3 + T_4), \quad (16)$$

где I – ток, проходящий по одной жиле, А;

n – число несущих нагрузку жил в кабеле;

Δθ – превышение температуры жилы над температурой окружающей среды, К;

Из формулы (16) получаем допустимое значение токовой нагрузки:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta}{R \cdot T_1 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1) \cdot T_2 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T_3 + T_4)} \right]^{0,5}. \quad (17)$$

Таблица 6 – Длительно допустимые токи нагрузки

Материал жилы	Сечение жилы, мм ²	Номинальное напряжение кабеля, кВ	Броня	I в земле, А		I на воздухе, А	
				Горизонтальное расположение	Треугольное расположение	Горизонтальное расположение	Треугольное расположение
Медь	120	35	нет	494,288	510,211	530,950	548,055
			немагнитная	430,254	490,885	462,167	527,295
			стальная проволочная	338,611	348,199	363,726	374,026
Алюминий	120	35	нет	389,291	397,593	418,165	427,084
			немагнитная	355,505	388,727	381,874	417,560
			стальная проволочная	301,840	309,462	324,228	332,416

Заключение

Определены длительно допустимые токи нагрузок на одножильные силовые электрические кабели напряжением 35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена с учётом места прокладки (в земле, в воздухе), расположения (горизонтальное, треугольное) кабеля, материала жилы, сечения токопроводящих жил (120 мм^2).

Основываясь на результатах расчёта, установлено, что длительно допустимые токовые нагрузки у кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в 1,1-1,4 раза больше аналогичных нагрузок для кабелей с бумажно-масляной изоляцией.

Для кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена с алюминиевыми жилами сечением 120 мм^2 и номинальным напряжением 35 кВ максимальная передаваемая мощность в 1,35 раза больше, чем у кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией. Кабели больших сечений лучше выбирать по экономической плотности тока, а малых по допустимой плотности тока.

Литература

1. Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчёта номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчёт потерь. Общие положения : ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. – М.: Стандартинформ, 2009. – 25 с.
2. Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчёт теплового сопротивления. Общие положения : ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.
3. Кабели и провода. Каталог продукции. – Витебск : ПО «Энергокомплект», 2019. – 135 с.
4. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение. Каталог продукции. – М. : ТД «Ункомтех», 2017. – 40 с.

УДК 621.311

ТРАДИЦИОННЫЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НАРУЖНОЙ
ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ
TRADITIONAL AND NEW MATERIALS FOR EXTERNAL HIGH-
VOLTAGE INSULATION

В.С. Вадейко, Е.В. Куделько, Н.С. Болтуть
Научный руководитель – Петрашевич Н.С., старший преподаватель.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Vadeyko, E. Kudelko, N. Boltut
Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer,
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье изложены сведения о традиционных и новых материалах наружной высоковольтной изоляции. Рассматриваются предпосылки перехода от традиционных материалов к новым, а также проблемы эксплуатации изоляторов из новых материалов.*

***Abstract:** This article provides information about traditional and new materials for external high-voltage insulation. The background for the transition from traditional materials to new ones are considered, as well as the problems of operating insulators made of new materials.*

***Ключевые слова:** изолятор, изоляционный материал, полимерный изолятор, высоковольтные линии электропередачи, композитные изоляторы.*

***Keywords:** insulator, insulating material, polymer insulator, high-voltage power lines, composite insulators.*

Введение

Наружная изоляция является неотъемлемой частью высоковольтных линий электропередачи. В настоящее время наряду с использованием традиционных изоляционных материалов происходит внедрение полимерных изоляторов. Актуальность использования полимерных изоляторов обуславливается научными достижениями в области синтеза высокопрочных композиционных материалов, которые позволяют компенсировать имеющиеся недостатки изоляторов, изготовленных из традиционных электроизоляционных материалов.

Основная часть

Материалы, используемые при изготовлении высоковольтных изоляторов воздушных линий электропередачи, выбираются таким образом, чтобы изоляторы без старения выдерживали ряд внешних воздействий: длительное ультрафиолетовое облучение, механические нагрузки разной направленности, колебания температуры, влияние токов утечки по поверхности влажного или загрязненного изолятора, воздействие электрической дуги без создания электропроводящих следов, действие неравномерного электрического поля, а также ошибки, допускаемые обслуживающим персоналом при монтаже и эксплуатации.

К традиционным материалам, используемым для электрической изоляции высоковольтных линий электропередачи, относятся фарфор, керамика и стекло.

Изоляторы из этих материалов на протяжении долгого времени характеризовались высокой надежностью и стабильностью.

Каолин – высококачественная белая глина, на основе которой изготавливаются фарфоровые изоляторы. Среди всех традиционных материалов, из которых изготавливаются изоляторы, фарфор обладает наилучшими прочностными характеристиками. Данный материал минимально подвержен старению в результате воздействия всех агрессивных выбросов предприятий, за исключением плавиковой кислоты. В условиях действия однородного электрического поля электрическая прочность материала при толщине исследуемого образца 1,5 мм составляет 30–40 кВ/мм. При этом значение электрической прочности обратно пропорционально толщине фарфорового изолятора. Опыт производства и эксплуатации данных изоляторов обеспечил создание свода достоверных и эффективных методик, позволяющих осуществлять достаточно надежный контроль их состояния.

Постепенно все большее количество фарфоровых изоляторов заменяются на стеклянные. Это объясняется электрическими и механическими свойствами стекла. По механической прочности стекло несильно уступает фарфору и в то же время лучше работает на сжатие. Причина хорошей устойчивости к сжатию заключается в том, что при производстве стеклянные изоляторы подвергаются закалке. При этом наружные слои стекла претерпевают твердение значительно раньше внутренних слоев, вследствие чего при последующей усадке внутренних слоев в толще стекла образуются растягивающие усилия, которые в результате препятствуют сжатию. Значение электрической прочности стекла при толщине образца 1,5 мм составляет 45 кВ/мм.

Керамические изоляторы так же, как и фарфоровые, изготавливаются из глины. Однако в то время как при производстве фарфоровых изоляторов используется каолин, изготовление керамических изоляторов предполагает использование коричневой, красной или пористой белой глины. Применение данных материалов при производстве определяет более низкую стоимость керамических, по сравнению с фарфоровыми изоляторами. С механической точки зрения керамика является достаточно твердым материалом, однако в экстремально холодную погоду может стать хрупкой. С целью улучшения характеристик керамических изоляторов они подвергаются глазурованию, при этом глазурь запекается только в верхнем слое.

Однако опыт эксплуатации и исследования данных материалов определили ряд недостатков. Так при увлажнении электропроводность поверхности стекла резко возрастает. Электротехнический фарфор подвержен старению, в то время как стекло претерпевает разрушение вследствие электролиза и выщелачивания. Керамические изоляторы, в свою очередь, схожи с фарфоровыми при меньшей стоимости и имеют аналогичные недостатки.

В связи с вышеперечисленными недостатками традиционных электроизоляционных материалов все большую значимость приобретает использование при изготовлении изоляторов нетрадиционных материалов. Таким образом был сформирован отдельный класс – полимерные изоляторы. Понятие «полимеры» в данном случае объединяет множество материалов,

основными из которых являются высокопрочный армированный стелоровингом эпоксидный компаунд, используемый в качестве изоляционного тела, и кремнийорганическая резина, показавшая хороший результат эксплуатации в качестве защитной оболочки изолятора. Кремнийорганическая резина характеризуется устойчивостью к старению, что обусловлено стойкостью данного материала к воздействию щелочей, кислот, устойчивостью перед ультрафиолетовым облучением, высокой гидрофобностью и эрозионной стойкостью. Кроме уже названных, материалами, используемыми для создания защитной оболочки, являются силиконовые эластомеры, политетрафторэтилен, тефлон, модифицированные фторопласты, полиолефиновые композиции и др.

Следует отметить, что изоляторы с использованием полимерных материалов могут быть изготовлены по различным технологиям, вследствие чего изоляторы подразделяют на цельные, изготовленные на основе одного полимерного материала, композитные, изготавливаемые с применением нескольких полимеров, традиционные с полимерным покрытием и традиционные с дополнительными полимерными элементами.

Наиболее часто для высоковольтных линий электропередачи используются композитные изоляторы, производителем которых в Республике Беларусь является «Арматурно-изоляторный завод». К продукции завода, применяемой в данном направлении, относятся линейные подвесные типа ЛК и опорные стержневые полимерные изоляторы типов ИОСКП, ОСК, соответствующие ГОСТ 52082-03. Также данный завод осуществляет производство изоляторов из традиционных материалов. Так среди производимой продукции числятся стеклянные подвесные тарельчатые и штыревые изоляторы.

Важными преимуществами среди полимерных изоляторов по сравнению с подвесными обладают линейные опорные изоляторы, поскольку их использование позволяет снизить высоту опор, уменьшить их габариты, а также исключить возможность «хрупкого излома», характерного для подвесных изоляторов.

Несмотря на названные выше положительные свойства полимерных материалов, следует учитывать, что в реальных условиях они гарантируются лишь в случае правильного выбора конструкции и конкретного материала с учетом предполагаемых условий среды, в которой применяется изолятор. В том же случае, если учет условий эксплуатации не был выполнен, полимерные изоляторы могут характеризоваться меньшей надежностью, чем изоляторы, изготовленные на основе традиционных материалов. Это обосновывается тем, что при разработке электрической конструкции композитных изоляторов за основу берется напряжение пробоя во время краткосрочных результатов, в то время как долгосрочная эксплуатация предполагает возможность старения материала в результате частичных разрядов, ухудшающую первоначальные свойства изолятора. Основываясь на опыте использования композитных изоляторов за рубежом, можно сделать вывод, что последние уязвимы к повреждениям, если вблизи их поверхности будут происходить частичные разряды и дуговая активность, что требует использования изоляторов со

специальными экранными электродами для ограничения воздействия электрического поля высокого напряжения на изолятор.

Важной характеристикой, определяющей спецификацию композитного изолятора, является ток утечки. При нормальных условиях выделяют три класса тока утечки на поверхности композитных изоляторов: низкий, относительно высокий ток, но далекий от значений, характерных для условия пробоя, класс значений высокого тока. Разработка традиционных изоляторов предполагает учет последнего класса тока утечки, означающего, что изолятор близок к явлению пробоя. При проектировании композитных изоляторов в свою очередь следует учитывать второй класс тока утечки, поскольку токи этого класса могут привести в долгосрочной перспективе к эрозии. Это говорит о том, что более рациональным подходом для обеспечения эффективности изоляторов будет не традиционный, основанный на классах загрязнения, а статистический, учитывающий условия окружающей среды и конкретные характеристики изолятора.

Также благоприятным для обеспечения надежной эксплуатации полимерных изоляторов является учет не только разнонаправленной механической нагрузки, но и наличия возможных постоянных повреждений, вызванных, например, неправильными методами установки.

Заключение

Таким образом обоснованным является использование для наружной высоковольтной изоляции как традиционных, так и новых, полимерных материалов. Также следует отметить, что из общего количества эксплуатируемых полимерных изоляторов лишь 1% приходится на изоляторы, установленные на высоковольтных линиях, при этом больше 90% из них – это изоляторы классов напряжений не выше 35 и 110 кВ. В настоящее время полимерные изоляторы проигрывают конкуренцию стеклянным, но при достижении технологией их производства зрелости, благодаря своим неоспоримым преимуществам доля полимерных изоляторов на рынке будет увеличиваться.

Литература

1. Most Insulator Failures Result from Improper Selection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.inmr.com/insulator-failures-result-improper-selection-2/>. – Дата доступа: 26.10.2021.
2. Новые технологии и конструкции наружной высоковольтной изоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/28/>. – Дата доступа: 26.10.2021.
3. Номенклатура высоковольтных стеклянных и полимерных изоляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aiz.by/katalog/izol/insul.shtml>. – Дата доступа: 26.10.2021.

УДК 621.311

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ
IMPROVEMENT OF ENERGY STORAGE SYSTEMS**

В.Н. Коршун, И.В. Ковалец, Г.Н. Загрузин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Korshun, I. Kovalets, G. Zagruzin

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В настоящее время важной составляющей самых популярных источников возобновляемой энергии является их ненадежность. Солнечные батареи бесполезны ночью в пасмурную погоду или ночью, а ветряки – в безветренную погоду. Человечество стало на путь совершенствования систем накопления энергии, ведь наступит то время, когда традиционные источники энергии выйдут из системы энергоснабжения, а возобновляемые источники энергии станут основой всей энергосистемы.

Abstract: Currently, an important component of the most popular renewable energy sources is their unreliability. Solar panels are useless at night in cloudy weather or at night, and wind turbines - in calm weather. Humanity has embarked on the path of improving energy storage systems, because the time will come when traditional energy sources will leave the energy supply system, and renewable energy sources will become the basis of the entire energy system.

Ключевые слова: система накопления энергии, гибридный накопитель, энергия, энергосистема, эффективность.

Keywords: energy storage system, hybrid storage, energy, power system, efficiency.

Введение

Мир энергетики постоянно находится на пути своего совершенствования, а вместе с ней – система накопления энергии. С самого начала формирования энергосистем бралось во внимание одновременность процессов производства и потребления электроэнергии, а также необходимость поддерживать в любой момент времени баланс между вырабатываемой и потребляемой мощностью. В структуре энергосистемы происходят существенные изменения, которые связаны с ограниченностью традиционных видов топлива, а, следовательно, происходит переход к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Такой источник энергии имеет достаточно непредсказуемый характер и зависит от погодных условий. Энергетика, работающая на этих источниках, использует потоки энергии, которые уже существуют в окружающем нас пространстве, происходит перераспределение этой энергии, но не нарушение её общего баланса. Поэтому для гарантированного обеспечения баланса необходим некоторый объём резервной мощности, который пока реализуется за счёт генерации традиционного вида топлива. Это способ поддержания баланса имеет свои технические и экономические ограничения, но он не решает проблему

внедрения возобновляемых источников энергии в состав традиционной энергосистемы.

Внедрение систем накопления энергии является одним из главных направлений развития энергосистемы. Устройства накопления энергии - это системы, хранящая энергию в различных её формах (электрохимическая, кинетическая, потенциальная, электромагнитная, химическая и тепловая) с использованием топливных элементов, аккумуляторов, конденсаторов, гидроаккумуляторов, супермагнитов, водорода и т. д.

Основная часть

За последнее столетие человечество изобрело и продолжает изобретать большое количество разновидностей накопителей. Одни превращают электрическую энергию в механическую (примером может быть гидроаккумулирующие станции и маховики), другие преобразовывают электроэнергию в химическую энергию веществ внутри батарей (например, натрий-серные, литий-ионные аккумуляторы и др. Достаточно длительное время ребром стоит вопрос об использовании накопителей, которые должны располагаться рядом с возобновляемыми источниками энергии. В тот момент, когда выработка электроэнергии падает, например, ночью, в пасмурную погоду или безветренную, накопитель отдаёт в сеть запасённую энергию, обеспечивая питание сеть, даже когда не идёт выработка энергии, а лишь использование её накопленной части. при производстве электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии возникает проблема непостоянства их мощности, поэтому накопленную энергию необходимо использовать в необходимом количестве.

На современном этапе возникает потребность в использовании новых устройств, исключающие недостатки, которые присущи уже созданным и эксплуатируемым приборам. Примером может быть гибридный накопитель электрической энергии (рисунок 1). Рассмотрим такой тип системы накопления энергии более подробно.

Гибридная система конструируется в виде единого устройства, которое объединяет в себе солнечные батареи и ветряные турбины. Данная система позволяет регулировать спады и подъёмы энергии, которая получается от ветряков и солнечных батарей, а также обеспечивает общую надёжность. В гибридных системах накопления используются сочетания разных видов накопителей. Соотношение накопителей определяется требованиями площадки, необходимым количеством энергии, а также количеством вырабатываемой мощности.

В настоящее время учёные-инженеры работают над созданием батареи, работающей дольше, чем используемые сейчас. Такие батареи будут хранить энергию, полученную от ветра или солнца, то есть от возобновляемых источников энергии, что является очень актуальным и необходимым в наше время. Для того, чтобы использовать эту энергию в момент отсутствия источников получения энергии, например, в пасмурный день, ночь или безветренную погоду. Это позволит в большей степени отказаться от альтернативных источников энергии и в максимальном количестве использовать

возобновляемые источники энергии в составе традиционной энергосистемы. Сочетание двух технологий дает явное преимущество для расширенных вспомогательных услуг и дальнейшей интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему.

Гибридную систему накопления энергии хорошо использовать для малого бизнеса или частных домохозяйств, в тех направлениях, где важна отдача электроэнергии для потребителей с высокими пиковыми нагрузками и необходим максимально длительный период эксплуатации сети, когда необходимо использовать наколенную энергию.

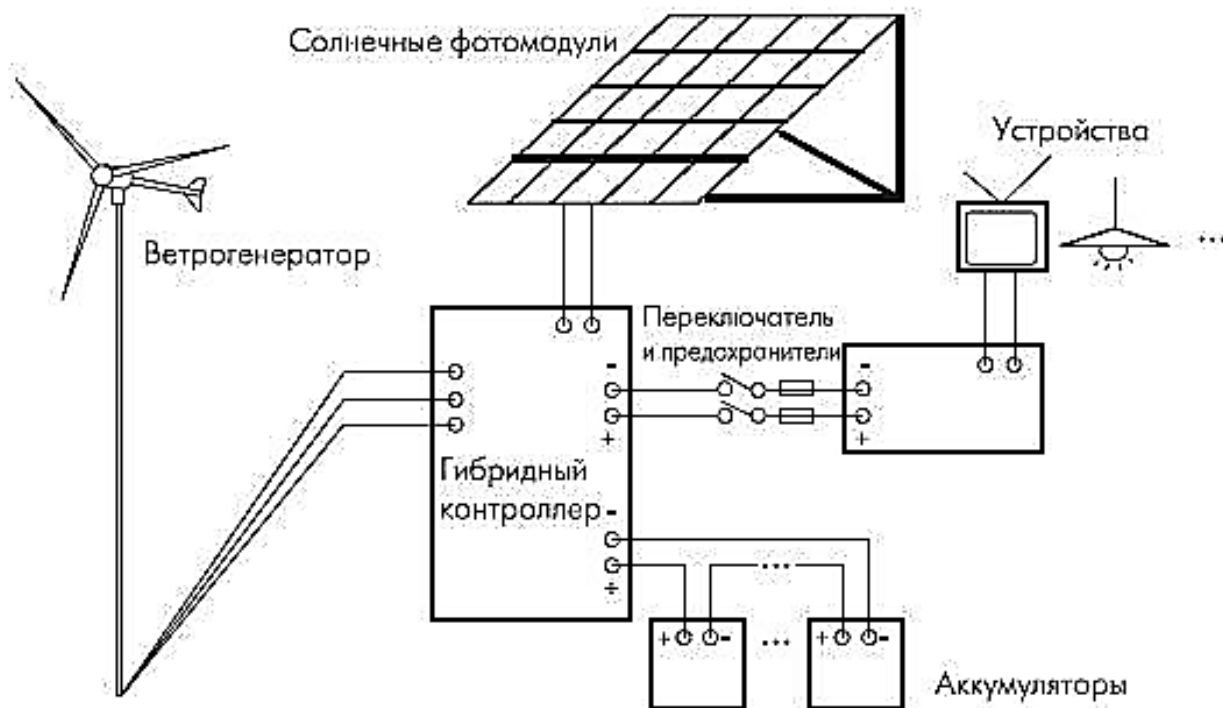


Рисунок 1 – Схема гибридного накопителя электрической энергии

Гибридный накопитель энергии чаще всего применяется в качестве накопителя энергии, а также источника бесперебойного питания, в составе системы аварийного энергоснабжения, работающей при длительном отсутствии сетевого напряжения, в составе солнечной или ветряной системы энергоснабжения и многое другое. В настоящее время данная система находит не очень широкое практическое применение, потому что система дорогостоящая, не раскрыт её полный потенциал. Но из-за активного развития энергетики будет происходить модернизация и усовершенствование систем накопления энергии

Приблизившись к реальным условиям, были проведены исследования в условиях лаборатории. Цель данного эксперимента: определить функциональные возможности гибридной системы накопления энергии. Мощность данной системы не менее 100кВт, а энергоёмкость 100 кВтч. Для реализации эксперимента был разработан стенд, состоящий из подсистем газотурбинной электростанции, имеющая напряжение 6,3 кВ и установленную

мощностью 1250 кВт, понижающего трансформатора с напряжением 6,3кВ/0,4кВ, блока активных и реактивных тестовых нагрузок (рисунок 2).

В ходе проведённого испытания происходили исследовались режимы работы преобразователей с фиксированным напряжением равным 630 В звена постоянного тока и с циклическим режимом, при котором происходит изменение напряжения от 420В до 720В.

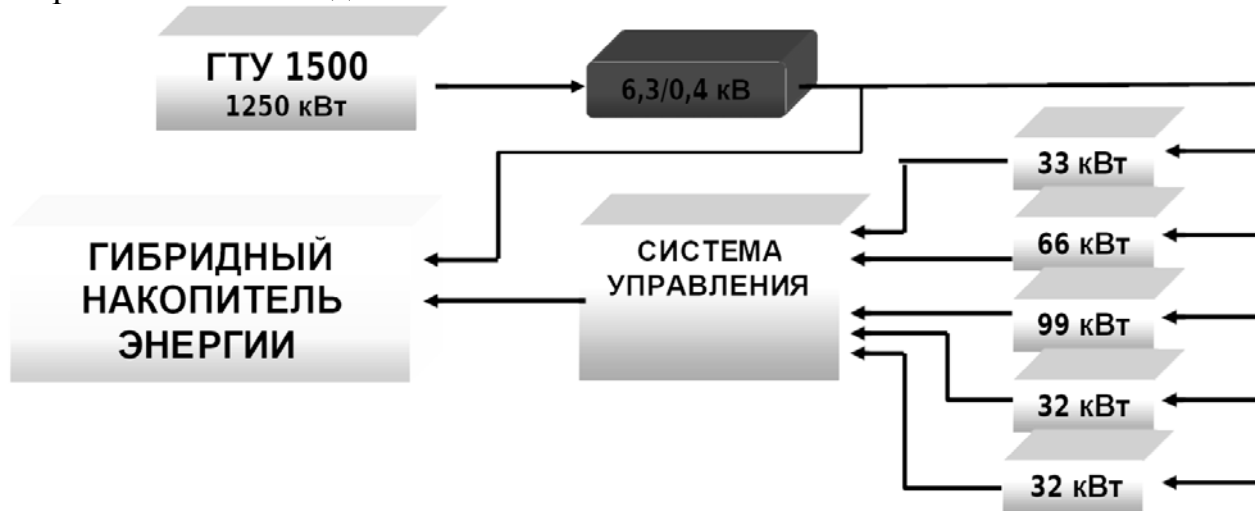


Рисунок 2 – Структурная схема испытательного стенда

Для того, чтобы определить эффективность использования гибридной системы накопления электроэнергии, в работе был проведен анализ различных накопителей электроэнергии по 6 основным параметрам: удельная мощность, время зарядки, время разрядки, удельная энергия, количество циклов зарядки/разрядки и эффективность зарядки/разрядки. Результаты данного анализа приведены в таблице 1.

Была определена степень влияния компенсационных режимов работы на эффективность системы накопления в целом по гибридной и отдельным схемам, а также, эффективность использования гибридной схемы накопителя при работе с сетью и потребителем электрической энергии.

Таблица 1 – Сравнительная таблица накопителей электроэнергии.

Параметр	Аккумуляторные батареи	Суперконденсаторы	Конденсаторы
Время зарядки	1,1 – 5,2 ч.	0.3 – 30 с.	$10^{-3} - 10^{-6}$ с
Время разрядки	0.29 – 3,3 ч.	0.3 – 30 с.	$10^{-3} - 10^{-6}$ с
Удельная энергия, (Втч/кг)	7 – 100	1 – 9	<0.1
Количество циклов	1000	>500000	>500000
Удельная мощность, (Вт/кг)	<1000	<10000	<100000
Эффективность зарядки/разрядки	0.75 – 0.9	0.89 – 0.96	>0.98

Заключение

Системы накопления электроэнергии интенсивно развиваются достаточно быстрыми темпами, модернизируются технологии, возникает всё большая необходимость работать над улучшением данных систем. Использование гибридной системы накопителя электроэнергии позволяет сглаживать суточный график потребления электроэнергии.

Можно сказать, что гибридное сочетание аккумуляторов и суперконденсаторов в одном накопителе может дать существенный эффект. Если не подключать суперконденсатор к аккумулятору, то происходит компенсация возмущения длительностью до нескольких первых минут. При более длительных возмущениях (например, минуты или часы) в работу подключается аккумуляторная часть накопителя. А наличие в составе накопителя суперконденсаторной части (чаще всего это происходит при параллельном с аккумулятором включении) позволяет сглаживать фронты импульсов тока и напряжения, тем самым обеспечивая снижение мгновенной мощности, которая отдаётся или получается от аккумуляторной части накопителя.

Литература

1. Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов [Электронный ресурс]. -Режим доступа: https://www.sskgroup.ru/files/doklad_zhuk.pdf/. Дата доступа: 27.10.2021.
2. 7 трендов 2020 года в области возобновляемой энергетики [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://recyclemag.ru/article/trendov-oblasti-vozobnovlyaemoi-energetiki/>. Дата доступа: 27.10.2021.
3. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://energypolicy.ru/sistemy-nakopleniya-energii-rossijsk/energetika/2020/16/18/>. Дата доступа: 27.10.2021.

УДК 621.311.161

**ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПО РАЗРЫВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
КОЛЬЦА БРЭЛЛ ПО КОНТРОЛИРУЕМОМУ СЕЧЕНИЮ****БЕЛАРУСЬ – ЛИТВА****CONDUCTING TESTS ON THE RUPTURE OF THE ELECTRIC BRELL
RING IN A CONTROLLED CROSS SECTION****BELARUS – LITHUANIA**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Kovaleva

Scientific supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Объектом исследования являются режимы работы энергосистем Беларуси с учетом выхода Литвы из кольца БРЭЛЛ.

Цель работы – изучить возможность работы энергосистемы Беларуси с учетом разрыва кольца БРЭЛЛ. В результате исследования были изучены все возможные варианты работы энергосистемы Республики Беларусь обособленно от энергосистемы Литвы и рассмотрен процесс проведения испытаний.

Abstract: The object of the study is the modes of operation of the power systems of Belarus, taking into account Lithuania's exit from the BRALL ring. The purpose of the work is to study the possibility of operation of the Belarusian energy system taking into account the BRELL ring rupture. As a result of the study, all possible options for the operation of the power system of the Republic of Belarus separately from the power system of Lithuania were studied and the testing process was considered.

Ключевые слова: Кольцо БРЭЛЛ, разрыв сечения, проведение испытаний по разрыву, отключение высоковольтных линий.

Keywords: BRELL ring, cross-section rupture, rupture testing, disconnection of high-voltage lines.

Введение

В настоящее время в соответствии с Соглашением между Концерном «Белэнерго», ГАО «Latvenergo», РАО «ЕЭС России», АО «Eesti Energia» и АО «Lietuvos Energija» (далее – Соглашение) о параллельной работе энергосистема Беларуси работает параллельно с энергосистемами России, Эстонии, Латвии, Литвы с использованием линий электропередачи 330, 500 и 750 кВ, образующих электрическое кольцо Беларуси, России, Эстонии, Латвии и Литвы (ЭК БРЭЛЛ).

Энергосистемы Беларуси и Литвы работают синхронно и имеют тринадцать межгосударственных линий электропередачи напряжением класса 35-330 кВ. При этом параллельная работа осуществляется по четырем системообразующим воздушным линиям электропередачи (ВЛ) классом напряжения 330 кВ, которые входят в состав межгосударственного сечения Беларусь – Литва и могут быть

использованы для осуществления коммерческих поставок (импорт/ экспорт) электрической энергии как из энергосистемы Беларуси в страны Балтии, так и в обратном направлении.

К таким ВЛ относятся:

- ВЛ 330 кВ Алитус – Гродно;
- ВЛ 330 кВ Молодечно – Вильнюс;
- ВЛ 330 кВ Поставы – Игналинская АЭС №1;
- ВЛ 330 кВ Поставы – Утена.

Остальные девять ВЛ 35 - 110 кВ между объединенной энергосистемой (ОЭС) Беларуси и энергосистемой (ЭС) Литвы преимущественно работают в тупиковом режиме и позволяют обеспечить надежное электроснабжение как белорусских, так и литовских потребителей приграничных районов в ремонтных схемах при реализации ремонтов сетевого оборудования.

Основная часть

Проектом новой Национальной стратегии энергетической независимости Литвы, принятой к рассмотрению Сеймом Литовской Республики 17 мая 2012 г., предусматривалось 3 основных направления:

- строительство Висагинской атомной электростанции (АЭС),
- строительство электрических связей со Швецией и Польшей,
- синхронизация энергосистемы Литвы с энергосистемой континентальной Европы.

Поскольку 31 декабря 2009 была остановлена Игналинская АЭС (функционировала с 1984 года), первоначально предполагалось строительство Висагинской АЭС, взамен вышедшей генерации, совместно странами Балтии и Польши. Однако, по результату длительной проработки вопроса, в январе 2016 года было объявлено, что работа над проектом Висагинской АЭС приостановлена (причиной является неблагоприятная ситуация на рынке для продажи электроэнергии).

Национальной энергетической стратегией Литвы, одобренной Правительством Литвы 6 октября 2010 года, предусматривался к 2020 году переход энергосистемы Литвы (совместно с энергосистемами Латвии и Эстонии) на синхронную работу с энергосистемами континентальной Европы по вновь построенной линии электропередачи Алитус (Литва) – Элк (Польша) – вставке постоянного тока 400 кВ мощностью 500 МВт LitPolLink, которая была введена в эксплуатацию 9 декабря 2015 года[1].

Вместе с тем прорабатывается вопрос строительства второй вставки постоянного тока LitPolLink2 через Марьямполь (Литва).

Параллельно с проработкой вопроса строительства LitPolLink была организована прокладка подводного силового кабеля постоянного тока 300 кВ NordBalt мощностью 700 МВт между Клайпедой (Литва) и Нибро (Швеции).

Ввод в эксплуатацию был осуществлен 14 декабря 2015 года.

Вместе с тем, после планируемого энергосистемами стран Балтии отделения от ОЭС Беларуси и единой электроэнергетической системы (ЕЭС) России, которое предусматривает отключение межгосударственных ВЛ между Беларусью и Литвой, техническая возможность осуществления экспорта

электрической энергии из Беларуси в Литву может быть обеспечена путем организации несинхронных межгосударственных электрических связей с энергосистемой Литвы.

В качестве организационных мероприятий выступили разосланные участникам Соглашения проекты программ по отключению и включению транзитных связей, соединяющих энергосистемы Беларуси и Литвы, для согласования проведения в указанные сроки намеченных испытаний. Основная задача специалистов белорусской стороны заключалась в возможности после отключения энергосистем стран Балтии сохранения в работе ВЛ 330 кВ Алитус – Гродно совместно со вставкой постоянного тока по условию надежности работы Гродненского энергоузла. С целью данного решения был получен ответ от системно-сетевого оператора Литовской энергосистемы Litgrid AB об невозможности работы существующей вставки постоянного тока на ПС 330 кВ Алитус совместно с ВЛ 330 кВ Алитус – Гродно по ряду причин. Основная заключается в установленном в настоящее время на подстанции Алитус 400/330/110 кВ преобразователе тока, построенном по классической технологии HVDC (высоковольтная линия электропередачи постоянного тока), что с технической и с экономической точки зрения не позволяет обеспечить работу в режимах технического обслуживания, а также гарантировать общую надежность Гродненской энергосистемы. При этом трансграничные линии HVDC используются для передачи электроэнергии между энергосистемами и преимущественно для торговли электроэнергией.

Учитывая имеющиеся стратегические планы энергосистем Балтии по присоединению к энергообъединению Европейского союза ENTSO-E, намеченное на 2025 год, с целью своевременной подготовки ОЭС Беларуси к выходу Литвы, Латвии и Эстонии из параллельной работы, 8 и 11 апреля 2021 года белорусской стороной были проведены натурные испытания с отключением транзитных межгосударственных ВЛ 110-330 кВ соединяющих энергосистемы Беларуси и Литвы с разрывом электрического кольца БРЭЛЛ по контролируемому сечению Беларусь - Литва. На период проведения испытаний электроснабжение приграничных ПС 35-110 кВ энергосистем Беларуси и Литвы осуществлялось от своих энергосистем.

Целью проведения вышеуказанных испытаний являлась:

- Оценка режимов работы энергоузлов ОЭС Беларуси;
- Получение информации о складывающихся перетоках при разных режимах работы энергоисточников энергосистемы в различные периоды времени;
- Выявления узких мест в обеспечении надежного электроснабжения ПС 330 кВ Гродно, Лида, а также приграничных с Литвой подстанций, имеющих на сегодняшний день связи 35-110 кВ с ЭС Литвы и режимы их работы;
- Анализ достаточности существующих связей ОЭС Беларуси с ЕЭС России в случае выхода из параллельной работы энергосистем стран Балтии;
- Исследование вопроса необходимости перенастройки комплекса

противоаварийной автоматики на сечении ОЭС Беларуси – ОЭС Центра, т.к. будут существенно изменены аварийные режимы работы данного сечения.

Для возможности проведения испытаний был выполнен ряд организационных, а также технических и режимных мероприятий.

В качестве организационных мероприятий участникам Соглашения были направлены письма с проектами программ по отключению и включению транзитных связей, соединяющих энергосистемы Беларуси и Литвы, для согласования проведения в указанные сроки намеченных испытаний. Кроме того, ГПО «Белэнерго» были направлены всем заинтересованным сторонам диспетчерские заявки на проведение испытаний по разрыву электрического кольца БРЭЛЛ и отключение межгосударственных ВЛ 330 кВ Беларуси и Литвы.

В части технических мероприятий было выполнено следующее:

- В период проведения испытаний поддерживался сбалансированный режим работы энергосистемы Беларуси, за исключением единичных часов при осуществлении поставок электроэнергии из Беларуси в Украину;
- В случае возникновения небаланса мощности для восстановления в Белорусской энергосистеме при проведении испытаний был обеспечен вращающийся резерв активной мощности, величиной не менее максимальной мощности работающего энергоблока, который размещался на генерирующем оборудовании ОЭС Беларуси.

Для обеспечения устойчивой работы энергосистемы Беларуси на период проведения испытаний были запрещены оперативные переключения и производство ремонтных работ на ПС и ВЛ 330 – 750 кВ, входящих в состав транзитных связей Беларусь – Украина и Беларусь – Россия, а также на энергообъектах, обеспечивающих надежное электроснабжение приграничных ПС 35-330 кВ.

Кроме того, были разработаны режимные мероприятия и проработаны варианты надежного электроснабжения приграничных потребителей исключительно от Белорусской энергосистемы для нормальных и аварийных режимов, в случае отключения межгосударственных ВЛ 35-110 кВ между Литовской энергосистемой и энергосистемами Гродненской и Витебской областей.

К моменту проведения испытаний в межгосударственном сечении «Беларусь - Литва» из четырех ВЛ 330 кВ в работе находились ВЛ 330 кВ Гродно – Алитус, ВЛ 330 кВ Молодечно – Вильнюс.

ВЛ 330 кВ Поставы – Утена и ВЛ 330 кВ Поставы – Игналинская АЭС №1 находились в ремонте.

В соответствии с программой испытаний первой была отключена ВЛ 330 кВ Молодечно – Вильнюс.

Фактическое время размыкания электрического кольца БРЭЛЛ при отключении ВЛ 330 кВ Алитус – Гродно 8 апреля – 00 часов 52 минуты, замыкания ВЛ 330 кВ Алитус – Гродно - 20 часов 55 минут. 11 апреля – 00 часов 23 минуты и 23 часа 18 минут соответственно.

Заключение

Таким образом в период проведения испытаний по размыканию электрического кольца БРЭЛЛ в сечении Беларусь – Литва ОЭС Беларуси работала параллельно по шести межгосударственным линиям связи 330 – 750 кВ: по двум ВЛ 330 кВ с ОЭС Украины и четырем ВЛ 330 – 750 кВ с ЕЭС России.

Литература

1. National Energy Independence Strategy – Lithuania, 2012. –59 p.
2. Положение об организации оперативно-диспетчерского управления синхронной работой ОЭС Беларуси, ЕЭС России, ЭС Эстонии, ЭС Латвии и ЭС Литвы – Рига, 2011. – 12 с.

УДК 621.311

**КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
SHORT-TERM LOAD PREDICTION USING NEURAL NETWORKS**

Д.Д. Тарасевич, М.Н. Булин

Научный руководитель – Н.А. Попкова, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. МинскD. Tarasevich, M. Bulin,
Supervisor – N. Popkova, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: в статье рассматривается проблематика краткосрочного прогнозирования нагрузки. Оценивается современная методика прогнозирования, использующая нейронные сети.

Abstract: the article deals with the problems of short-term load prediction. The modern prediction technique using neural networks is evaluated.

Ключевые слова: прогнозирование нагрузки, краткосрочное прогнозирование, нейронные сети.

Keywords: load prediction, short-term prediction, neural networks.

Введение

Процесс планирования нормальной работы электроэнергетической системы (ЭЭС) обеспечивается прогнозированием нагрузки, которое предоставляет всю необходимую исходную информацию. Прогнозирование нагрузки позволяет оценить и рассчитать оптимальный режим работы ЭЭС, определить ее надежность и экономичность и т.п. Разработанные в энергетике методы прогнозирования нагрузки – это различные сочетания статистических процедур. Существуют методы, основанные на выделении базовой части в изменяющейся нагрузке, а также те, которые рассматривают изменение нагрузки в качестве случайной зависимости. Точное прогнозирование весьма затруднительно, так как существуют различные сложные зависимости между нагрузкой и внешними факторами. Так же следует учитывать то, что для точного прогнозирования нагрузки данными методами необходимо иметь полные и точные данные о нагрузке и воздействующих на нее факторов; однако в реальных условиях получить эти данные представляет собой сложную задачу. В связи с этим требуются новые методы прогнозирования нагрузки, которые способны анализировать неточные и неполные данные. К таким методам можно отнести прогнозирование нагрузки с помощью нейронных сетей.

Основная часть

Сущность метода заключается в том, что нейронная сеть, зная предшествующее поведение системы, может предсказать ее будущие реакции. В предшествующий момент времени нейронная сеть обладает исходной информацией о нагрузке, поэтому она может спрогнозировать ее значение, которое будет самым вероятным. При этом процесс прогнозирования осуществляется весьма быстро.

При краткосрочном прогнозировании нагрузки рассматривается период от 1 часа до целой недели. При этом необходимо обладать различными данными о планировании по выработке электроэнергии различными блоками, распределении нагрузки, а также иметь контроль над работой ЭЭС в реальном времени. Для краткосрочного прогнозирования разработаны различные методы, однако они имеют ряд ограничений и не всегда могут учесть весь набор внешних факторов и зависимость мгновенной нагрузки от них. Использование нейронных сетей решает данные проблемы. Разработанные на основе нейронных сетей методы учитывают большой объем факторов, частности особенности потребления электроэнергии в выходные дни, атмосферные явления и погодные условия. Учет такого количества различных факторов становится возможным в связи с тем, что структуре нейронных сетей создать подструктуры, которые будут учитывать множество внешних факторов. [1]. При этом точность прогнозирования нагрузки достаточна велика. Для рабочих дней погрешность данных о нагрузке, спрогнозированной нейронной сетью, составляет 2.9 %, а для выходных – 2.1 % [2].

Заключение

В современной практике при расчетах прогнозируемой нагрузки возникали проблемы, связанные с точностью полученных данных. Для повышения точности результатов разрабатывают и внедряют новые методики прогноза нагрузки, к которым и относится нейронный метод, демонстрирующий высокую эффективность, надежность и малую погрешность.

Литература

1. Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотущенко В.Н. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / Под ред. В.В. Бушуева – М.: ИЦ «Энергия», 2012. – 124 с.
2. Манусов В.З., Бирюков Е.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/1345/1/bulletin_tpu-2006-309-6-36.pdf – Дата доступа: 25.10.2021.

УДК 004.65

**СОЗДАНИЕ СОБСТВЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ
НА PYTHON ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПО МАРКАМ ПРОВОДОВ
CREATING YOUR OWN DATABASE ON PYTHON TO FIND ORIGINAL
INFORMATION ON WIRE BRANDS**

К.А. Марчук

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Marchuk

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** создание своей базы данных на Python, для ускорения процесса поиска нужной информации из справочников и книг.*

***Abstract:** creating your own database in Python, to speed up the process of finding the necessary information from reference books and books.*

***Ключевые слова:** СУБД, SQL, базы данных.*

***Keywords:** DBMS, SQL, databases.*

Введение

В действительности, при поиске информации для решения задач многие сталкиваются с необходимостью использовать справочную литературу, что отнимает много времени, а было бы неплохо иметь всю необходимую информацию в виде определенной таблицы, к которой можно было бы своевременно обратиться и получить всю информацию либо же интересующую. Решение данной проблемы состоит в создании отдельной собственной базы данных. В современном мире насчитывается большое количество средств, предназначенных для хранения информации. Одним из наиболее распространенных способов являются базы данных, для работы с которыми используются различные системы управления. Данный способ хранения предполагает, что все данные четко структурированы и занесены в специальные таблицы. Они, в свою очередь, состоят из столбцов-атрибутов определенного типа данных [1]. В данной работе демонстрируются возможности Python при создании собственной базы данных при помощи библиотеки sqlite3.

Основная часть

Электрические кабели и провода – основа энергетической системы. Решения типовых задач предусматривает нахождение данных (технических характеристик) из справочной литературы по конкретной марке провода либо кабеля, что в свою очередь затрачивает много времени. В качестве примера создадим упрощенную таблицу электрических характеристик провода марки АС разных сечений со значением удельного активного и реактивного сопротивления. Данный код служит для заполнения базы данных вручную.

```

import sqlite3
with sqlite3.connect('server.db') as data: #создаем базу
    sql = data.cursor()#обращаемся к экземпляру класса Cursor
    # создаем таблицу провод
    sql.execute("""CREATE TABLE IF NOT EXISTS provod(
    mark TEXT,|
    r0 TEXT,
    x0 TEXT
    )""")
    data.commit()# сохраняем изменение
    # Получаем исходные данные
    mark = input('Марка провода:')
    r0 = input("Сопротивление активное:")
    x0 = input("Сопротивление реактивное:")
    #SQL запрос (получаем марку провода)
    sql.execute(f"SELECT mark FROM provod WHERE mark = '{mark}'")
    if sql.fetchone() is None:
        sql.execute(f"INSERT INTO provod VALUES (?,?,?)", (mark,r0,x0))#добавляем данные, если выполняется условие
        data.commit()
        print("Зарегистрировано")
    else:
        print("Такая запись уже есть")

```

Рисунок 1 – Код для создания своей базы данных проводов для ЛЭП

В результате выполнения программы в директории проекта появилась база данных server.db, содержащая таблицу provod, которая и содержит информацию о электрических характеристиках проводов марки АС разных сечений со значением удельного активного и реактивного сопротивления. (рис.2).

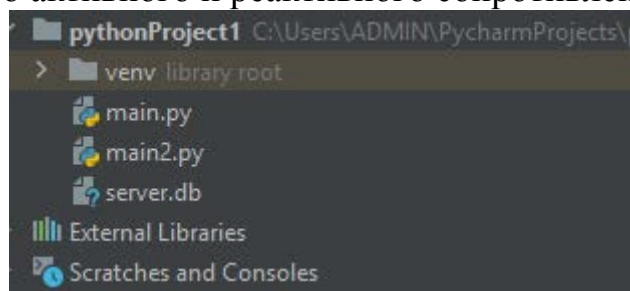


Рисунок 2 – База данных в директории

Для того чтобы считать базу данных следует воспользоваться следующим кодом (рис.3):

```

import sqlite3
with sqlite3.connect('server.db') as data:
    sql = data.cursor()#обращаемся к экземпляру класса Cursor
    for i in sql.execute("SELECT * FROM provod"):# считаем всю базу данных
        print(i)

```

Рисунок 3 – Код для считывания всей базы данных

В результате выполнения кода на (рис.3), получим информацию о электрических характеристиках проводов марки АС, которая и была предварительно занесена (рис.4):

```

('АС - 70/11', '0.46', '0.276')
('АС - 95/16', '0.33', '0.234')

```

Рисунок 4 – Данные из консоли

Полученную информацию можно сохранить в блокнот, Microsoft (MS)

Excel или MS Word и в дальнейшем вывести на печать. Допустим необходимо найти исходную информацию (электрические характеристики) по проводу марки АС 90/11, а база данных может хранить в себе массу информации

и без сортировки или фильтров потребуется больше времени на поиск необходимой информации, нежели со справочником. С помощью кода (рис.5) следует взять с созданной базы данных только конкретную информацию.

```
import sqlite3
with sqlite3.connect('server.db') as data:
    sql = data.cursor()#обращаемся к экземпляру класса Cursor

    mark = input('Марка провода:')

    sql.execute(f"SELECT mark FROM provod WHERE mark = '{mark}'")
    if sql.fetchone() is None:
        print("НЕ зарегистрировано")
    else:
        for i in sql.execute(f"SELECT mark,r0,x0 FROM provod WHERE mark = '{mark}'"):
            print(i)
```

Рисунок 5 – Код для считывания нужной информации

Заключение

В данной работе были продемонстрированы возможности Python для работы с базами данных при помощи библиотеки sqlite3, при этом их можно использовать не только для хранения данных из справочников и технической документации, но и для хранения информации личного характера, предварительно зашифрованной. Использование информации с базы данных куда удобнее, чем использование информации с блокнота, так как нет нужды вносить параметры в блокнот используя справочник, так как информация уже занесена и ее необходимо лишь достать.

Литература

1. SQLite // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lecturesdb.readthedocs.io/databases/sqlite.html>. - Дата доступа: 22.10.2021.
2. SQL – команды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zametkinapolyah.ru/zametki-o-mysql/chast-2-2-pervoe-znakomstvo-s-sqlite3-sozdanie-baz-dannyx-sqlite3-rasshirenie-fajlov-baz-dannyx-v-sqlite3.html>. – Дата доступа: 22.10.2021.

УДК 621.311

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, МОНТАЖ
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЛ 110 КВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МНОГОГРАННЫХ ОПОР**
**DESIGN, CONSTRUCTION, INSTALLATION AND OPERATION OF 110
KV OVERHEAD LINES WITH THE USE OF MULTIFACETED SUPPORTS**

Н.Г Коваленок, И.В Мединцев, И.А Кобяк.

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Kovalenok, I. Medincev, Ivan Kobiak.

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer,
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Монтаж опор многогранных ЛЭП. Монтаж фасетных опор ВЛ. Порядок установки опор многогранных ЛЭП. Монтаж линий электропередач.*

***Abstract:** Assembly of multifaceted supports for power transmission lines. Installation of faceted supports of overhead lines. The procedure for installing multifaceted supports for electrical transmission lines. Installation of electric transmission lines.*

***Ключевые слова:** Многогранные опоры ЛЭП, установка опор, втягивание секций, сборка секций, строповочные способы установка многогранной стойки.*

***Keywords:** Multifaceted power transmission line supports, support installation, section retraction, section assembly, slinging methods installation of a multi-faceted rack.*

Введение

Проектирование, конструкция, механическая часть воздушных линий электропередачи - важная часть проектирования электроснабжения. От правильного выбора элементов ЛЭП зависит длительная и безопасная работа линий, а, соответственно, надежное и качественное электроснабжение потребителей.

Основная часть

При проектировании нового строительства и реконструкции ВЛ рекомендуется использовать самонесущие изолированные провода (СИП), соответствующие ГОСТ 31946. Провод неизолированный применяют с соответствующими обоснованиями (на участках с допустимыми ветровыми и ледовыми нагрузками, на открытых пространствах и т. Д.). так далее.). При этом на магистрали ВЛИ, как правило, используют самонесущий изолированный провод с фазными жилами постоянного сечения по всей длине. В ВЛИ должны быть внедрены современные прогрессивные технические решения, способствующие бесперебойному электроснабжению потребителей, имеющие высокую надежность и ремонтпригодность. Рекомендуется выбирать технические параметры исходя из минимальных затрат на обслуживание при сроке эксплуатации не менее 40 лет. При проектировании нового строительства все элементы линий должны быть рассчитаны на механические нагрузки с учетом реальных климатических условий местности, где находится строящийся объект.

Многогранные опоры линий электропередач могут состоять из одной, двух и более секций, в зависимости от необходимой высоты. Максимально допустимая длина многогранных секций опоры, обычно составляет не более 12 м и обусловлена удобством их транспортирования. Соединение секций между собой могут быть выполнены в двух видах: фланцевом и телескопическом присоединении.

Обычно сборка фланцевого соединения многогранной опоры, выполняется достаточно понятно, а сборка телескопического соединения требует определенных навыков и умений. Телескопическое соединение станет надежным и эффективным при соблюдении всего двух условий:

- длина телескопического шарнира должна быть равна номинальной. Допустимое отклонение указывается в конструкторской документации и, обычно, составляет примерно 10 либо 12% длины стыка;
- стягивать секции нужно с возрастающей нагрузкой и с шагом, который зависящим от диаметра соединяемых секций, до тех пор, пока секции не перестанут двигаться относительно друг друга.

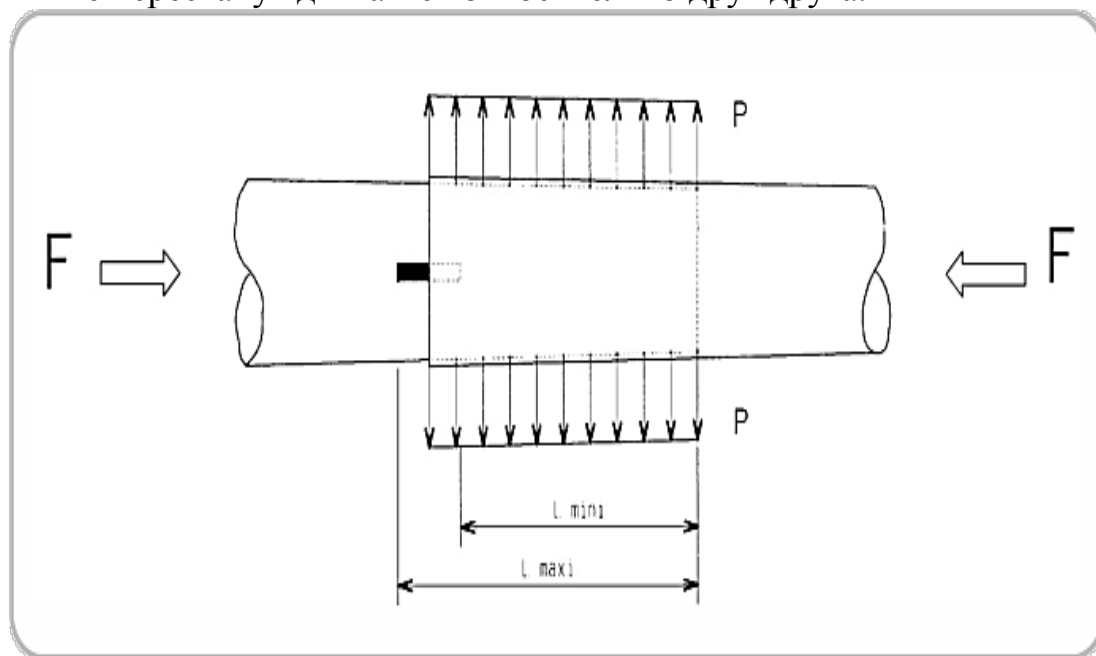


Рисунок 1 – Стягивание секций

Благодаря конусной форме растягивающая нагрузка создает достаточно плотное соединение между секциями многогранных опор, что позволяет передавать изгибающий момент без сдвижения. Это соединение можно сравнить с болтовым соединением с контролируемым крутящим моментом. Рекомендуется, чтобы стягивающая нагрузка составляла не менее 10 тонн. Для контроля длины телескопического стыка на заводах, как правило, наносят отметки, в пределах которых с учетом допустимого отклонения должно происходить заклинивание секций многогранной стойки относительно друг друга. Если данной отметки нет, то установщики наносят ее сами при сборке в соответствии с инструкцией по сборке или схемой подключения.

Для облегчения сборки секций многогранные опоры силовой передачи иногда оснащаются специальными проушинами, которые используются для

фиксации ручных подъемников или домкратов, создающих тянущее усилие. При стягивании секций многостороннего стеллажа несколькими домкратами или лебедками необходимо обеспечить равномерность приложения нагрузки во избежание завалов и преждевременного заклинивания секций, которые трудно восстановить.

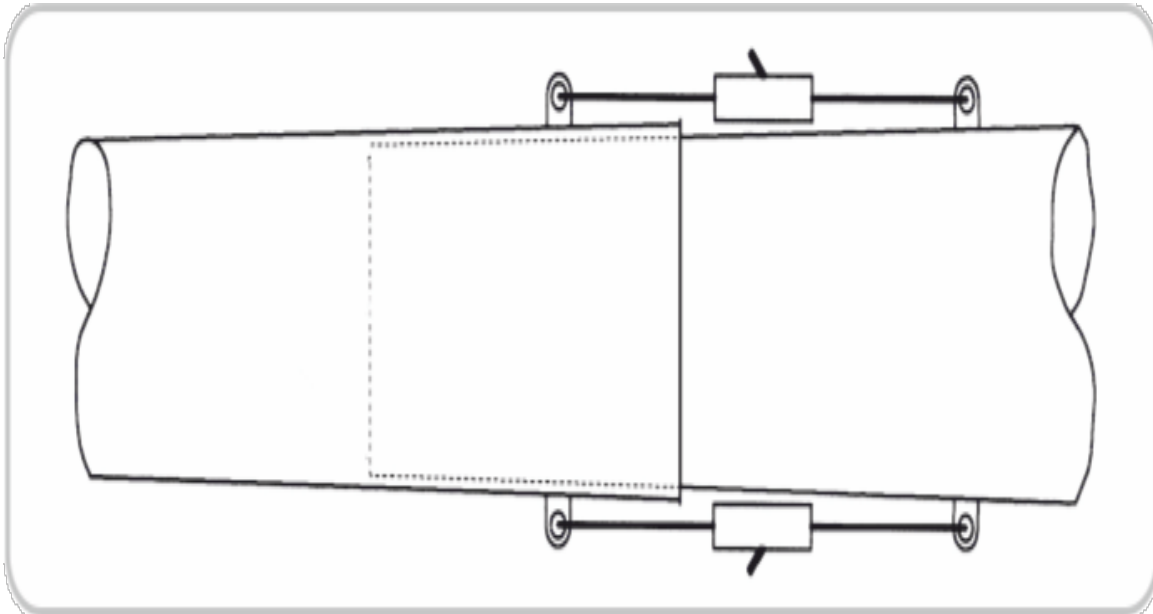


Рисунок 2 – Оснащение проушинами для закрепления ручных талей.

При отсутствии проушин, сборку производят с помощью лебедки, проложив крепежный трос внутри секций многогранной стойки и закрепив на стяжной балке и опорном фланце.

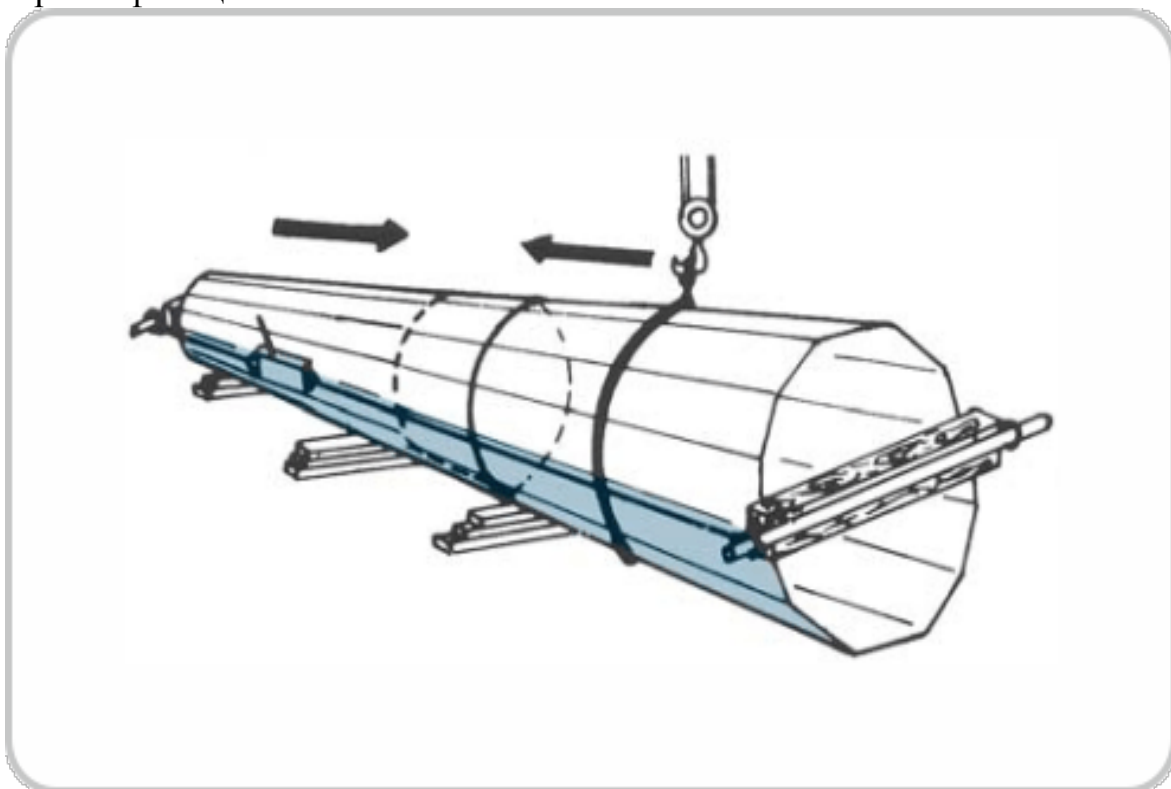


Рисунок 3 – Сборка с помощью лебедки.

При сборке секций опоры многогранной ЛЭП необходимо выполнить следующие действия:

- перед началом сборки нужно убедиться, что поверхность в районе телескопического соединения не загрязнена и не имеет неровностей;
- секции многогранной опоры следует по очереди складывать подкладки из дерева, которые стоят в горизонтальном положении;
- затягивание секции многогранной опоры нужно выполнять в соответствии с инструкциями по сборке этой многогранной опоры.

Строповка секций осуществляется ленточными стропами из текстиля или металлическими тросами, которые продеты в резино-тканевые шланги. Не допускается использование неизолированных тросов из металла, это приводит к нарушению покрытия, и также к скольжению при монтаже многогранной стойки методом строповки «на удав».

После того как стойка собрана металлической многогранной опоры собрана устанавливаются консольные траверсы, лестницы и площадки обслуживания. По завершении сборки элементов многогранной опоры, установка опоры может производиться как в сборке, так и в укрупненных деталях. От выбора способа монтажа многогранной опоры зависит конструктивное решение опоры, места установки.

Монтаж металлической многогранной опоры производится в соответствии с проектом на выполнение работ, включая технологические схемы и схемы производства отдельных типов работ, которые разработаны различными специализированными организациями. Металлоконструкции многогранных опор и опор ЛЭП должны поставляться для монтажа оцинкованными, очищенными от льда, масла, грязи и ржавчины. Металлоконструкции должны осматриваться на месте.

Отклонения которые допустимы от проектных размеров металлоконструкций должны соответствовать требованиям технических условий и настоящих строительных норм. Металлические многогранные опоры ЛЭП могут монтироваться на фундаменты различных конструкций и технологий сооружения, в зависимости от грунтовых условий по протоколу инженерно-геологических исследований и нагрузок данной опоры.

При прокладке ЛЭП необходимо принять следующие меры:

- перед монтажом многогранной опоры необходимо завершить работы по возведению фундамента с максимально точным выравниванием по высоте и по оси опоры, при этом фундамент должен иметь не менее 50 % надежности;
- при подъеме многогранной опоры для предотвращения разлета секций стойки на телескопических соединениях использовать специальные приемы строповки или фиксируют шарнир за проушины временными устройствами, которые демонтируются после поднятия;
- в точке установки строповочного троса многогранные опоры должны иметь прокладку для сохранения покрытия из цинка;
- проверка конструкции и полное затягивание всех гаек на опорном фланце перед демонтажем строп. Демонтаж строп с многогранной

- опоры осуществляется после полной затяжки всех гаек фундамента;
- крепежные болты рекомендуется затягивать с моментом затяжки не менее 15 кг/см;
- болты и гайки должны плотно прилегать к плоскостям деталей конструкции.
- надежность крепления гаек анкерных болтов обеспечивается контргайкой;
- чтобы повысить надежность болтовых соединений опор покрытых цинком следует подтянуть гайки после недели от первого монтажа метизов для компенсации сжатия цинкового покрытия;
- при совпадении с данным проектом ВЛ необходимо подключить дополнительные заземлители к контакту многогранной опоры.

Монтаж сборной конструкции многогранной опоры может осуществляться при помощи кранов различных видов, которые соответствуют грузоподъемности и вылету стрелы, и при помощи вертолетов во время установки в труднодоступных местах таких как горы, реки, леса и в местах с большим количеством построек. Во время проведения монтажных работ запрещаются механические повреждения и деформаций конструкций, а так же повреждений покрытий защиты.

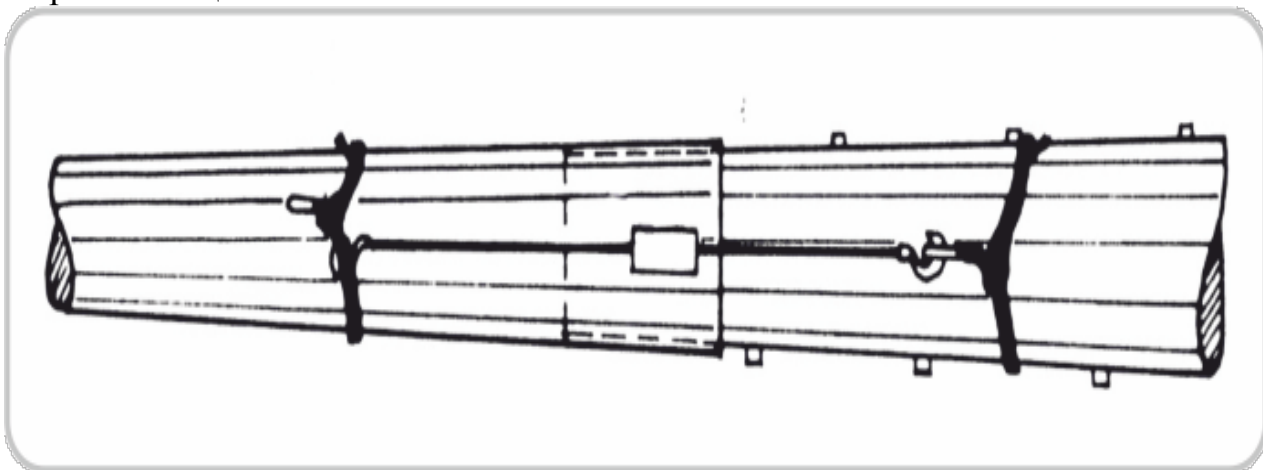


Рисунок 4 – Установка многогранной опоры с помощью кранов.

Заключение

Одними из основных конструктивных элементов ВЛ являются, тросы, провода, опоры, изоляторы, а так же линейная арматура. Провода используются для транспортировки электричества. В части которая находится вверху опор над проводами от грозовых перенапряжений устанавливаются грозозащитные тросы.

Опоры удерживают провода и линии электро передач на установленной высотой и уровнем воды и земли. Изоляторы изолируют провода от протекания и потерь тока через опору. При помощи линейной арматуры провода фиксируются на изоляторах, а сами изоляторы фиксируются на опорах.

Наиболее распространены одно и двух цепные ВЛ. Цепь трехфазной ВЛ содержит провода разных фаз. На одних и тех же опорах можно разместить две цепи.

Литература

1. Проектирование механической части линий электропередачи [учебно-методическое пособие] к практическим занятиям для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» специализации 1-43 01 02 02 «Проектирование, монтаж и эксплуатация электрических сетей» / М. А. Короткевич. – Минск.

2. Сборка, установка, монтаж многогранных опор ЛЭП[Электронный ресурс]/. общие сведения -Режим доступа: <https://polygonal.com.ua> Дата доступа:27.10.2021.

УДК 621.315

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
MAIN DIRECTIONS FOR PERSPECTIVE DEVELOPMENT OF CABLE
TECHNOLOGY**

И.В. Ковалец, В.Н. Коршун

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Kovalets, V. Korshun

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** развитие кабельно-проводниковой промышленности не является приоритетным направлением в мире, однако стратегическая важность в отрасли энергетики безусловна. Уже три столетия эта отрасль пользуется постоянным спросом, но именно в последние годы кабельная промышленность переживает свой рассвет. Очень трудно представить будущее развитие кабелей, но специалисты прикладывают множество усилий для того, чтобы это будущее пришло уже завтра.*

***Abstract:** the development of the cable and wire industry is not a priority in the world, but the strategic importance in the energy sector is undeniable. For three centuries this industry has been in constant demand, but it is in recent years that the cable industry is experiencing its dawn. It is very difficult to imagine the future development of cables, but experts are making a lot of efforts to ensure that this future comes tomorrow.*

***Ключевые слова:** Кабель, проводник, материалы, энергия, электричество, сигналы.*

***Keywords:** Cable, conductor, materials, energy, electricity, signals.*

Введение

Одним из главных элементов кабельного рынка являются коммутационные кабели. Однако энергетика является наиболее емким сектором, ведь провода имеют первостепенное значение при передаче электроэнергии потребителям. В настоящее время структура кабельной промышленности достаточно разнообразна, существует большое количество продукции, которая способна выполнять задачи по передаче электроэнергии как в городских жилых комплексах, так и передавать высокочастотные сигналы на космических станциях. Эта сфера постоянно развивается и человечество придумывает все новые материалы и способы их применения в кабельно-проводниковой промышленности.

Современные разработки активно применяются на практике, что приводит к быстрому расширению возможностей продукции, выводя ее на качественно новый уровень. Например, разрабатываются кабели, предназначенные для работы в предельно низких или, наоборот, очень высоких температурах, стойкие к постоянно изменяющимся условиям. Это позволит совершить прорыв в сфере различных исследований. Наибольшую популярность имеет развитие кабельной

продукции в системах передачи постоянного тока, кабельные системы для подводной прокладки, линии соединяющие источники возобновляемой энергии и как отдельные направления развития выделяют снижение затрат при передаче энергии и увеличение пропускной способности существующих линий электропередач.

Основная часть

Говоря о достижениях в развитии кабельно-проводниковой промышленности, выделяются исследования в области нанотехнологий. По заявлению специалистов они позволят совершить скачок в повышении эффективности кабельной техники, также облегчить технологию производства, увеличить проводимость. Также наноматериалы позволяют адаптировать применение кабелей для различных условий эксплуатации. Их применение достаточно разнообразно, например, используя углеродные нанотрубки и наноглины в качестве наполнителя можно создать огнестойкие кабели, такие линии способны устранять последствия при возникновении различных повреждений и препятствовать загрязнению, благодаря специальному покрытию. Отдельный интерес привлекает возможность повысить экономичность производства отдельных кабелей и целых их групп. Следует учитывать, что данные кабели будут более экологичны и безопасны для окружающей среды [1].

Хоть мало кто заметил приход наноматериалов в нашу жизнь, но производители в США, Азии и Европе уже используют эти материалы для проектирования различных конструкций. Их преимущества очевидны, особенно если сравнивать с другими вариантами усовершенствования свойств кабельной техники. Многие из них способны достичь тех же характеристик, что и наноматериалы при этом жертвуя мобильностью, электрическими характеристиками или даже усложняя процесс эксплуатации [2]. Кроме того, использование в производстве полиэтилена или поливинилхлорида, повышает общую стоимость производства, что конечно же является важной характеристикой при создании большого количества групп кабелей.

Появляются все новые идеи для улучшения показателей кабельных технологий. Всё большую популярность набирают кабели, имеющие токопроводящую жилу секторной формы. Его преимуществами являются небольшая масса и габариты. Эти параметры также позволяют снизить расход материалов в процессе изготовления и, следовательно, стоимость готового продукта. Скромные габариты увеличивают компактность: становится возможным увеличить длины кабеля, наматываемого на барабан. Данный момент позволяет снизить затраты на складирование и транспортировку. Кроме того, секторный кабель более гибкий в сравнении с «круглым». Благодаря большей длине кабеля на барабане и гибкости готового изделия при прокладке данного образца происходит меньший расход соединительных муфт. Благодаря легко отделяемому полупроводящему слою по изоляции упрощается разделка изделия без рисков повредить изоляцию. В результате внедрения данной разновидности кабелей инвестор может сократить и строительно-монтажные работы.

Заключение

Беря во внимание многочисленные преимущества, которые получают многие отрасли в мире, при развитии кабельно-проводниковой промышленности, следует ожидать большого распространения новых технологий в мегаполисах и комплексах энергетики [3]. Замена устаревших кабелей позволит повысить передаваемые мощности, экологическую безопасность или пожаробезопасность, преодолеть различные природные преграды и эффективно выводить мощность от электростанций к потребителям. Существует огромное количество идей модернизации капельной промышленности, однако есть одно но: данное производство основанное на высоких технологиях нельзя построить за день – для этого нужны годы качественных исследований и испытаний.

Литература

1. Нанотехнологии – перспективное направление развития кабельной отрасли [Электронный ресурс] -Режим доступа: <http://www.proelectro.info/news/detail/3580> – Дата доступа: 29.10.2021.
2. Современные тенденции производства кабельного производства [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-razvitiya-kabelnogo-proizvodstva/viewer> – Дата доступа: 29.10.2021.
3. Структурированные кабельные системы: перспективы развития в мире и в России [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://compress.ru/article.aspx?id=11942> – Дата доступа: 29.10.2021.

УДК 620.91

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ВИЭ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОЙ РАБОТЫ В СОСТАВЕ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****IMPROVING THE ACCURACY OF FORECASTING RES GENERATION
TO ENSURE THEIR RELIABLE OPERATION AS PART
OF POWER SYSTEM**

М.Н. Булин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Bulin

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматривается вопрос повышения точности прогнозирования выработки энергии от возобновляемых источников (ВИЭ) наравне с обеспечением возможности краткосрочного прогнозирования для их надёжной интеграции в составе современной энергосистемы посредством внедрения передовых программных и аппаратных средств. Также уделено внимание результатам повышения эффективности для существующих пилотных проектов, внедривших краткосрочное прогнозирование.*

***Abstract:** the article examines the issue of improving the accuracy of forecasting energy generation from renewable sources (RES) along with providing the possibility of short-term forecasting for their reliable integration into the modern energy system through the introduction of advanced software and hardware. Attention is also paid to the results of efficiency improvement for existing pilot projects that have implemented short-term forecasting.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, повышение эффективности прогнозирования, краткосрочное прогнозирование, численная модель прогнозирования погоды, возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, ветровая энергетика.*

***Key words:** renewable energy sources, improving the efficiency of forecasting, short-term forecasting, numerical model of forecasting, renewable energy, solar energy, wind energy.*

Введение

Увеличение доли ВИЭ в структуре энергетического производства наиболее развитых и стремительно развивающихся стран носит закономерный характер. Актуальная ситуация на рынке приводит к стремительному сокращению экономических издержек на производство электроэнергии из ВИЭ, обширным инновациям и постепенному смещению общего вектора развития электроэнергетики в сторону перехода на безуглеродные источники энергии. Перманентная трансформация энергетического сектора подталкивает отрасль к новым вызовам в технологическом и экономическом плане.

Основная часть

Увеличение объёмов непостоянных во времени ВИЭ требует актуализации привычного подхода к оценке перспектив выработки возобновляемой энергии. Создание более гибкой модели прогнозирования энергопроизводства повлечёт за собой повышение уровня диспетчеризации и коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), в частности обеспечение высокого уровня надёжности электроснабжения от ВИЭ, качества производимой электроэнергии и экономической эффективности установок. Следует отметить, что структура ВИЭ весьма разнообразна и включает в себя относительно большое число направлений. Согласно отчёту [1] Международного агентства по ВИЭ (IRENA – International Renewable Energy Agency) перспективное развитие электрической генерации и общей установленной мощности структурных элементов ВИЭ до 2050 года можно представить в виде рисунка 1, из которого видно, что наибольшее распространение будет характерно для ветровой (континентальной и оффшорной) и фотоэлектрической электроэнергетики. В ходе работы будем придерживаться данных направлений.

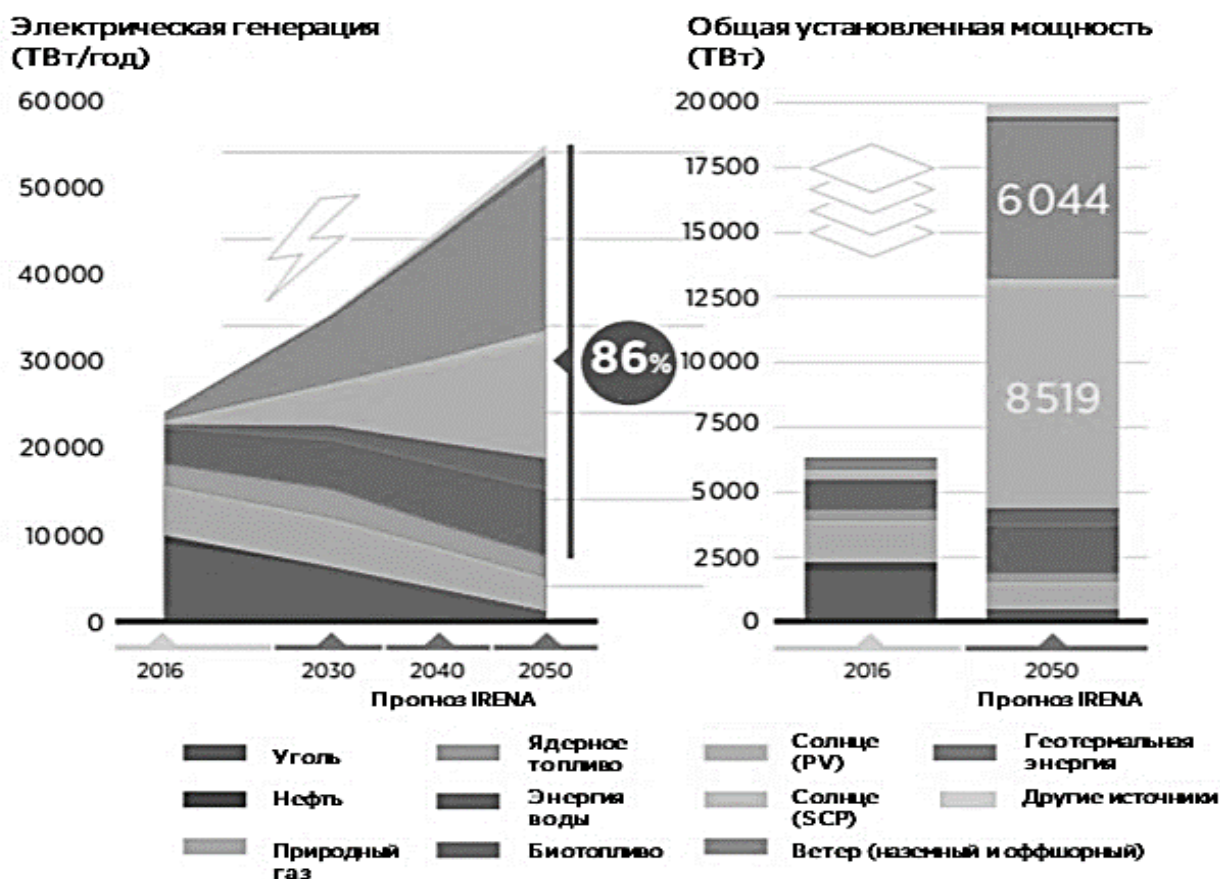


Рисунок 1 – Прогноз роста ВИЭ до 2050 года согласно докладу IRENA по направлениям

Как для солнечной фотоэлектрической, так и для ветровой энергетики одной из наиболее трудно решаемых задач, в некоторой степени, ограничивающей крупномасштабное развёртывание технологий, остаётся невозможность достаточно точно предсказать их прерывистый характер выработки. Быстрое проникновение возобновляемой энергии на рынок, требует адаптированного планирования производства и разработки более совершенных методов прогнозирования.

По своей сути прогнозирование является экономически эффективным инструментом управления взаимодействием энергосистемы и производителей энергии от ВИЭ, а также балансировки выработки таких электростанций. В настоящее время в Беларуси все электростанции на возобновляемой энергии мощностью свыше 1 МВт обязаны участвовать в планировании выработки на сутки вперед. Однако, учитывая изменчивость производства возобновляемой энергии, краткосрочное (0-6 часов) прогнозирование имеет решающее значение для планирования производства возобновляемой энергии на ближайшие несколько часов, вплоть до следующих нескольких минут. Поэтому предварительное планирование может ограничивать выработку электроэнергии, а в случаях изменения реальных погодных условий в течение следующих суток способно вызвать фактический простой фотоэлектрического или ветряного оборудования, тем самым снижая КИУМ.

Типичный прогноз выработки электроэнергии от солнечных и ветровых электрических станций (СЭС и ВЭС, соответственно) основывается на программной комбинации данных о доступности мощностей станции и актуальном метеорологическом прогнозе для местоположения СЭС/ВЭС. Передовые же методы прогнозирования погодных условий используют преимущества достижений в области цифровых технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и анализ больших данных о метеоусловиях, на основе которых и формируется прогноз (Big data/большие данные – структурированная и неструктурированная информация огромных объемов, в данном случае за длительный период).

Благодаря увеличению вычислительной мощности и совершенствованию алгоритмов прогнозы выработки электроэнергии стали более точными. В аналогичном ключе, благодаря все более широкому использованию ИИ повышается точность краткосрочных прогнозов.

Каждый энергетический прогноз неизменно начинается с численных моделей прогнозирования погоды (ЧМПП – компьютерная программа, составляющая на основе текущих данных метеорологический прогноз), которые являются принятыми базовыми прогнозами, регулирующимися и управляемыми государственными организациями (в Республике Беларусь таковой является Белгидромет). ЧМПП используют такие данные, как температура, давление и влажность в качестве входной информации, а затем при помощи физических и математических законов моделируют метеоусловия на ближайшее будущее. На основе смоделированных прогнозов погоды и данных о характеристике эффективности установок по использованию ВИЭ при различных условиях можно смоделировать теоретическую выработку энергии из ветровых или солнечных ресурсов. ЧМПП как правило используются для прогнозирования на 15 дней вперед, однако эти модели не обладают весомой точностью в краткосрочной перспективе (менее нескольких часов).

Достижение наибольшей возможной точности прогноза погоды в контексте осуществления краткосрочного и долгосрочного прогнозирования становится ключевыми фактором для обеспечения эффективной интеграции возобновляемой генерации в структуру энергосистемы и организации

скоординированного взаимодействия между производителем возобновляемой энергии и системным оператором. На рисунке 2 представлена типовая схема взаимодействия элементов прогнозирования в процессе получения итогового прогноза выдачи электроэнергии в сеть (производства электроэнергии).



Рисунок 2 – Схематичная структура взаимодействия элементов цепочки прогнозирования производительности блок-станции на основе ВИЭ

Влияние повышения точности прогнозирования солнечной энергии было проанализировано в исследовании [2] путем оценки работы всей энергетической системы за счёт ретроспективного анализа для нескольких сценариев: один полностью исключал использование солнечной энергии, а оставшиеся основывались на различном уровне проникновения солнечной фотоэлектрической генерации в состав энергосистемы (4,5%, 9%, 13,5%, и 18%). Каждому сценарию соответствовала своя степень повышения точности прогнозирования, заданная на уровне 25%, 50%, 75% и 100%.

Исследование показало, что выработка электроэнергии из традиционных источников энергии (природного газа и нефти) снижается на фоне повышения точности прогнозирования солнечной энергии, а удельная экономия повышается с повышением точности для каждого сценария (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели удельной экономии за счёт повышения точности прогнозирования

Экономия за счёт повышения точности прогнозирования, \$/МВт·ч	Доля солнечной энергии в структуре энергопроизводства, %			
	4,5	9,0	13,5	18,0
Повышение точности прогноза, %	4,5	9,0	13,5	18,0
25	0,11	0,33	0,39	0,50
50	0,29	0,62	0,77	0,95
75	0,30	0,74	1,03	1,25
100	0,32	0,82	1,13	1,42

Так оператор Национальной электросетевой системы Великобритании (ESO – Electricity System Operator) недавно заявил [3], что будет сотрудничать с Open Climate Fix, некоммерческим стартапом, использующим искусственный интеллект для повышения эффективности прогнозирования солнечной генерации. Представители ESO заявили, что их новые модели прогнозирования на основе ИИ улучшили прогнозирование выработки солнечной фотоэлектрической энергии на треть (33%).

Важно понимать, что повышение точности прогноза возможно только при совокупном использовании разнонаправленных технологий, таких как:

- Интеллектуальные счетчики для постоянной оценки выработки электрической энергии в режиме онлайн;
- Метеорологические датчики для постоянной оценки погодных условий в режиме реального времени;
- Доступ к базам локальной и государственной сети метеорологических станций для ежеминутного мониторинга, а также к спутниковым метеорологическим данным;
- Продвинутое программное обеспечение;
- Расширенные инструменты прогнозирования погоды, основанных на анализе больших данных посредством ИИ и машинного обучения;

Список стран, активно внедряющих прогрессивное прогнозирование постепенно растёт, далее рассмотрим на некоторых примерах. Так австралийское агентство по возобновляемым источникам энергии (ARENA – Australia Renewable Energy Agency) выделило финансирование в размере 5,6 млн. долл. США на 11 проектов по тестированию краткосрочного прогнозирования на крупномасштабных ВЭС и СЭС для и повышения точности краткосрочного пятиминутного прогнозирования австралийской ветроэнергетики [4].

Система прогнозирования солнечной фотоэлектрической генерации Suncast сочетает в себе несколько технологий прогнозирования, охватывающих различные временные промежутки и пространственные зоны, для прогнозирования локального солнечного облучения. Прогнозы из нескольких ЧМПП объединяются программным обеспечением динамического прогнозирования, используемого для получения прогнозов на срок более 6 часов, а также для краткосрочных прогнозов в диапазоне от 0 до 6 часов. Прогнозы солнечного облучения преобразуются в теоретические значения выработки электроэнергии, которые затем предоставляются сетевой организации для обеспечения диспетчеризации [5].

Проект гибридного прогнозирования возобновляемой энергии (HyREF – Hybrid Renewable Energy Forecasting), применённый на гибридной солнечно-ветровой электрической станции мощностью 670 МВт, сконструированной IBM для китайской государственной электросети Jibe Electric Power Company Ltd основывается на передовом анализе данных выработки энергии ветра и солнца за счёт технологии создания изображений небесного облачного покрова при помощи камеры высокого разрешения, в совокупности с использованием измерительных датчиков на гондоле ветрогенератора.

HyREF способен прогнозировать выдаваемую в сеть мощность как на несколько месяцев вперед, так и на последующий 15-минутный период до фактической выработки. Результатом внедрения стало сокращению издержек в среднем на 10% [6].

Заключение

Современная трансформация отрасли ВИЭ и её перерастание в полноценный аналог традиционным энергетическим ресурсам требует планомерного развития прогнозирования выработки электроэнергии. Актуальные подходы основываются на модернизации существующих и создании принципиально новых ЧМПП в совокупности с использованием всех доступных технических средств, включая ретроспективный анализ статистических метеоданных и актуализации базы больших данных с её последующим анализом при помощи ИИ.

Пилотное внедрение соответствующих технологий доказало свою эффективность в странах с высоким уровнем развития отрасли ВИЭ среди которых Австралия, Германия, США и Китай.

Литература

1. Electricity Storage Valuation Framework [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. - 2020. – Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_storage_valuation_2020.pdf – Дата доступа: 20.04.2021.
2. The value of day-ahead solar power forecasting improvement [Электронный ресурс] // Science Direct. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16000736>. – Дата доступа: 17.09.2021.
3. UK's National Grid to use Machine Learning to Better Predict Solar Generation [Электронный ресурс] // Prospero Events Group. – Режим доступа: <https://www.prosperevents.com/uks-national-grid-to-use-machine-learning-to-better-predict-solar-generation/>. – Дата доступа: 11.09.2021.
4. Vestas and Utopus Insights to pilot energy forecasting solutions for renewable power plants in Australia [Электронный ресурс] // UTOPIUS Insights. – Режим доступа: <https://www.utopusinsights.com/australiapilot>. – Дата доступа: 26.09.2021.
5. Building the Sun4Cast System: Improvements in Solar Power Forecasting [Электронный ресурс] // AMS, American Meteorological Society. – Режим доступа: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/99/1/bams-d-16-0221.1.xml>. – Дата доступа: 22.09.2021.
6. Market Evolution: Wholesale Electricity Market Design for 21st Century Power Systems [Электронный ресурс] // NREL, National Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/57477.pdf>. – Дата доступа: 01.10.2021.

УДК 621.319.8

**СОВРЕМЕННЫЕ НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ
MODERN ENERGY STORAGE**

Н. В. Грищенко

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Grishchenko

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Накопители энергии предназначены для хранения энергии. Их задачу можно свести к поддержанию непрерывного снабжения энергией. Но что же известно о накопителях энергии? Какие они бывают, в чём их преимущества и изъяны?

Abstract: Energy storage devices are designed to store energy. Their purpose can be reduced to maintaining a continuous supply of energy. But what is known about energy storage? What types are there, what are their advantages and disadvantages?

Ключевые слова: накопитель энергии, принцип действия, электроэнергия, энергия, гидроаккумулирующие электростанции, литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, механические накопители, накопители тепловой энергии, преобразование энергии.

Keywords: energy storage, operating principle, electricity, energy, pumped storage power plants, lithium-ion batteries, supercapacitors, mechanical energy storage, thermal energy storage, energy conversion.

Введение

Накопители энергии - устройства, воспринимающее, сохраняющее и выделяющее энергию для использования без преобразования её вида. Они обеспечивают постоянное снабжение электроэнергией и являются незаменимой поддержкой энергосистем во время их краткосрочной нестабильности. Они также играют важную роль в автономных системах возобновляемой энергии. При использовании возобновляемых источников электроэнергии возникает проблема непостоянства их мощности, что характерно и для атомной энергетики. Поэтому энергию источника при её избытке необходимо запасти в накопителях энергии, а затем уже расходовать эту накопленную энергию в необходимом количестве.

Основная часть

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) являются самыми старыми накопителями. Впервые они появились ещё в 1882 году. Их принцип действия основан на перекачке воды в расположенный наверху бассейн с помощью насосов, запускаемых за счёт неостребованной во время спада потребления энергии. Когда наступает пик потребления, вода падает в водохранилище запуская вращение турбины генератора и, как следствие, выработку электроэнергии. Подобная схема способствует повышению поставок электричества, позволяет избежать резких скачков энергоснабжения в разное

время суток. Однако при строительстве ГАЭС приходится наносить значительный вред окружающей среде, что является недостатком таких электростанций.

Накопители энергии делятся на три основные группы: накопители электроэнергии, накопители механической энергии и накопители тепловой энергии. Рассмотрим каждую группу.

Из накопителей электроэнергии наиболее перспективны для применения литий-ионные аккумуляторы. На данный момент они используются в накопителях, которые устанавливаются на потребителях и ключевых точках электрической сети. Их удельная энергоёмкость одна из самых высоких для электрических аккумуляторов – 400–720 кДж/кг, удельная мощность – около 300 Вт/кг. Преимуществом является отсутствие эффекта памяти, т.е. низкий уровень саморазряда. Недостатки – непродолжительный срок службы, подверженность старению, а неправильная эксплуатация или зарядка могут привести к выходу из строя аккумулятора, иногда к воспламенению и взрыву. Из ёмкостных накопителей наиболее перспективны электрохимические конденсаторы. К ним можно отнести суперконденсаторы – электрохимические накопители энергии, которые можно очень быстро, буквально за секунды, полностью зарядить или разрядить. Их плотность энергии гораздо выше, чем у электрических диэлектрических конденсаторов, а КПД близок к 100%. Более того эксплуатация суперконденсаторов безопасна, а сами они не содержат вредных для окружающей среды веществ. Однако удельная энергия суперконденсаторов ниже, чем у литий-ионных батарей, поэтому они не имеют широкого применения. К индуктивным накопителям энергии можно отнести все катушки индуктивности, однако из-за активного сопротивления обмоток длительный срок хранения невозможен.

Механические накопители энергии служат для преобразования электрической энергии в потенциальную или кинетическую и ее хранения, при необходимости превращая её обратно в электроэнергию. Как правило, в такие системы включены гидроаккумулирующие насосы, механические маховики и устройства для хранения сжатого воздуха. Многие виды этих систем выделяются невероятной простотой конструкции и фактически неограниченным сроком эксплуатации, а также хранения запасённой энергии. Ярким примером является пневматический накопитель. Их принцип работы заключается в закачивании сжатого с помощью насоса воздуха в резервуар. Если необходимо воспользоваться электроэнергией воздух из резервуара выпускают через турбину, которая вырабатывает электроэнергию. Однако их удельная энергоёмкость, как правило, очень мала, а КПД не превышает 55%. Современные динамические (или маховиковые) накопители энергии обеспечивают недостижимые для других накопителей удельные энергетические и особенно мощностные показатели. Маховик – это вращающееся механическое устройство для хранения энергии вращения. Подобные накопители используют входную электроэнергию и хранят в виде кинетической энергии. Маховик улавливает энергию от прерывистых источников энергии с течением времени и обеспечивает непрерывную подачу электрической энергии в сеть. Это свойство

маховиков кратковременно выделять огромную мощность используется в ударных генераторах, которые применяются при испытаниях высоковольтной аппаратуры на коммутационную способность.

Накопители тепловой энергии с фазовым переходом имеют наибольшее практическое значение. Они запасают и отдают большую тепловую энергию почти без изменения температуры рабочего тела, которое при этом переходит из жидкого состояния в твёрдое и наоборот. Подбирая материалы, плавящиеся при различных температурах, можно получать накопители теплоты с почти постоянной температурой рабочего тела при накоплении и выделении тепловой энергии. Обычно такие системы представляют собой емкости для хранения охлаждающей воды или воды для нагрева. Последняя генерируется в периоды невысокого потребления энергии и отдаётся в периоды пикового потребления, ограничивая максимальную нагрузку. Другие системы накопления тепловой энергии включают расплавленные соли, хранилище льда и криогенную технику. Расплавы солей применяют для хранения тепла, собранного гелиоустановками. Поэтому их используют для производства электроэнергии в плохую погоду или ночью.

Выводы

Накопитель энергии является отнюдь не новым изобретением. С годами эта технология существенно развилась и теперь существуют самые разнообразные их разновидности. В данной работе были рассмотрены основные виды накопителей энергии, а также их преимущества и недостатки, и можно увидеть, что каждый из них имеет своё применение в той или иной сфере за счёт своих уникальных свойств. Накопители энергии стали неотъемлемой частью энергетических систем.

Литература

1. Современные устройства накопления энергии, самые распространенные типы накопителей энергии. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/2443-ustroystva-nakopleniya-energii.html>. – Дата доступа: 26.10.2021
2. Накопители энергии. – Режим доступа: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2246533. – Дата доступа: 26.10.2021

УДК 61.513.5

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ $F(X)=0$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СРЕДЫ MATHCAD
SOLVING EQUATIONS $F(X)=0$ USING MATHCAD

К.С. Мордвинцев

Научный руководитель – С.О. Новиков, доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Mordvintsev

Supervisor – S. Novikov, Assistant Professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: оценка методов нахождения корней уравнений.

Abstract: evaluation of methods for finding the roots of equations.

Ключевые слова: mathcad, функция, деление, приближение, итерация, Ньютон.

Keywords: mathcad, function, division, approximation, iteration, Newton.

Введение

В практике научных и инженерных расчетов часто возникает необходимость решения уравнений типа $f(x) = 0$, где функция определена и непрерывна на некотором конечном или бесконечном интервале $a \leq x \leq b$.

В общем случае функции вида $f(x)$ не имеют аналитических формул для своих корней. Но на практике коэффициенты в уравнениях могут иметь приближенное значение, а значит и значение корня может иметь приближенное значение с определенной точностью.

Есть несколько способов нахождения корня. К примеру, графический, при котором по точкам строится график функции $y = f(x)$, и приблизительным значением корня является абсцисса точки пересечения данного графика с осью Ox . А большинство функций не имеют аналитических формул для своих корней в противоположность, к примеру, квадратному уравнению.

Но есть ряд методов приближенного нахождения корня.

Основная часть

Рассмотрим 4 различных метода приближенного нахождения корня. Данные методы смоделированы в среде MathCad 14, и для каждого из них построены графики зависимости значения работы программы от начального приближения корня. При выполнении программ использовались функция $f(x) = x^3 - 5x^2 + 12$ (рис. 1), $a = -2$, $b = 5$, точность вычислений $\varepsilon = 10^{-6}$, $\varphi(x) = \sqrt[3]{5x^2 - 12}$ (рис. 2).

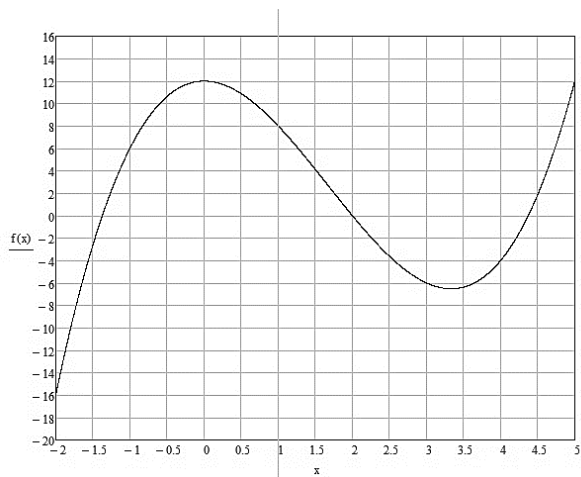


Рисунок 1 – График функции $f(x)$

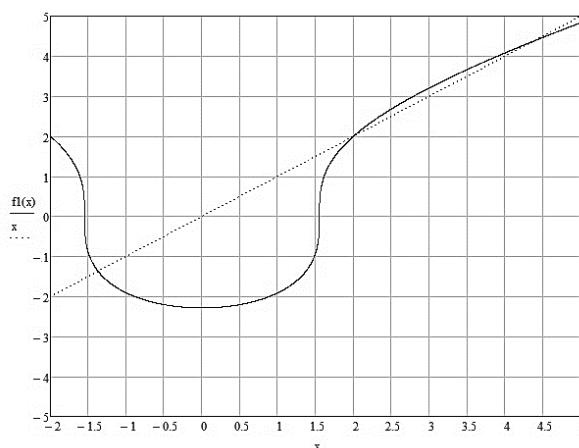


Рисунок 2 – График функции $\varphi(x)$

Метод деления отрезка пополам

Для использования данного метода необходимо, чтобы функция $f(x)$ была непрерывна и ограничена в заданном интервале $[a, b]$, внутри которого находится корень, а также значения функции $f(a)$ и $f(b)$ должны быть разного знака.

Суть метода состоит в следующем:

Находится значение функции в точке, являющейся серединой отрезка $[a, b]$ и сравнивается со значениями функции на концах отрезка. После чего эта середина становится одной из границ нового отрезка, в зависимости от совпадения значений функции в середине и на концах. Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия (рисунок 4).

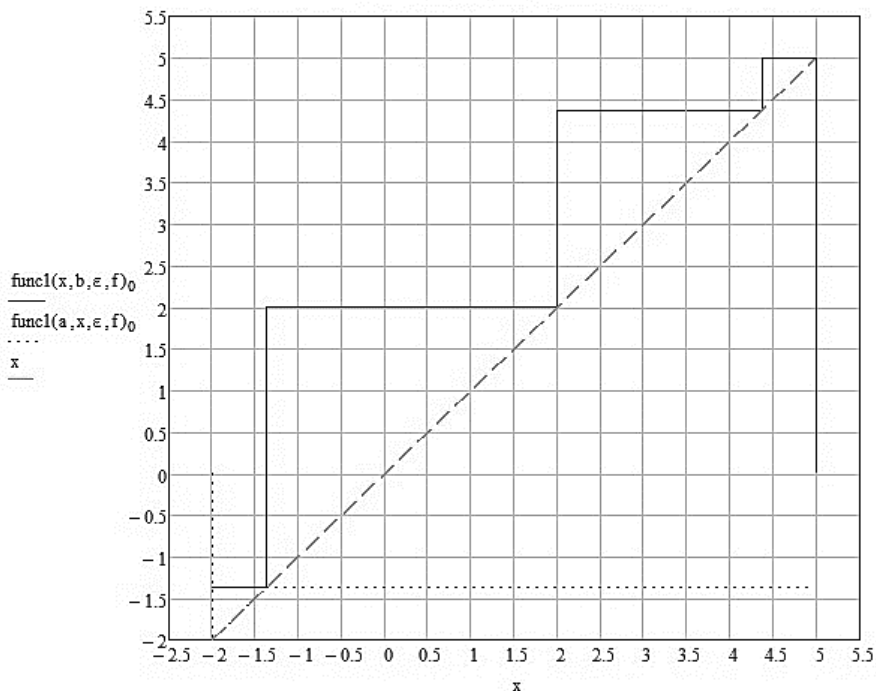


Рисунок 3 – Зависимость значений работы метода деления отрезка пополам от границы начального отрезка $[a, b]$

$$\text{func1}(a,b,\varepsilon,f) := \begin{cases} i1 \leftarrow 0 \\ \text{while } |a - b| \geq \varepsilon \\ \quad i1 \leftarrow i1 + 1 \\ \quad p \leftarrow \frac{a + b}{2} \\ \quad a \leftarrow p \text{ if } f(a) \cdot f(p) \geq 0 \\ \quad b \leftarrow p \text{ otherwise} \\ (p \ i1)^T \end{cases}$$

$$\text{func1}(a,b,\varepsilon,f) = \begin{pmatrix} -1.372 \\ 23 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{- приближенное значение корня} \\ \text{- количество итераций} \end{array}$$

$$f(\text{func1}(a,b,\varepsilon,f)_0) = 2.509 \times 10^{-6}$$

Рисунок 4 – Алгоритм метода деления отрезка пополам

В случае нахождения на отрезке $[a, b]$ одного корня проблем не возникает если $f(a) \cdot f(b) < 0$. При наличии 3 и более корней алгоритм находит либо первый, либо последний из корней на данном промежутке. Метод будет стремиться то к первому, то к последнему корню на отрезке в зависимости от значения функции в середине каждого из отрезков.

На рисунке 3 видно, что при близких значениях x к одному из корней в зависимости от того, справа или слева его взять, алгоритм сходится к различным корням.

Метод простой итерации

Данный метод заключается в том, что исходное уравнение $f(x) = 0$ заменяется на равносильное ему уравнение $x = \varphi(x)$. После чего находится новое приближение корня, равное значению функции $\varphi(x)$ в начальном приближении корня. Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия (рисунок 6).

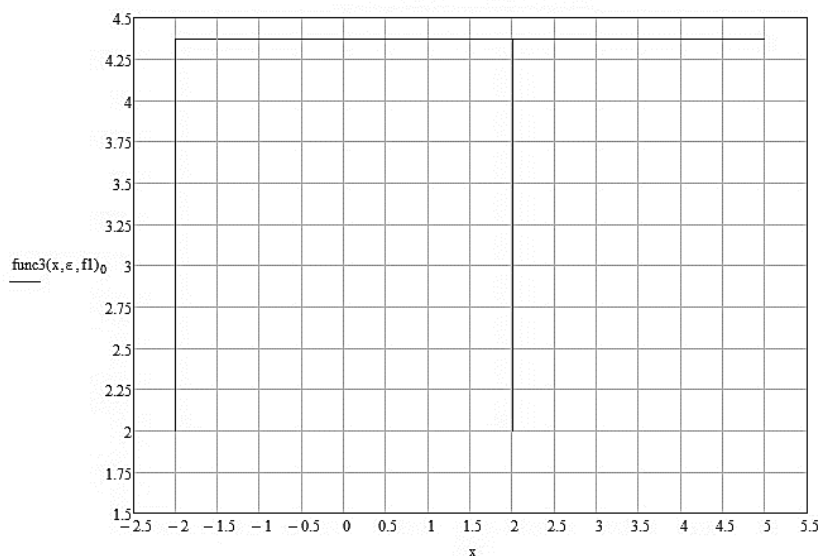


Рисунок 5 – Зависимость значений работы метода простой итерации от начального приближения корня

$$\text{func3}(b, \varepsilon, f) := \begin{cases} i3 \leftarrow 0 \\ \text{while } |f(b) - b| \geq \varepsilon \\ \quad \begin{cases} i3 \leftarrow i3 + 1 \\ b \leftarrow f(b) \end{cases} \\ (f(b) \ i3)^T \end{cases}$$

$$\text{func3}(b, \varepsilon, f1) = \begin{pmatrix} 4.372 \\ 44 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{- приближенное значение корня} \\ \text{- количество итераций} \end{array}$$

$$f(\text{func3}(b, \varepsilon, f1)_0) = 3.7 \times 10^{-5}$$

Рисунок 6 – Алгоритм метода простой итерации

Довольно простой метод, обладает средней точностью, но медленной сходимостью. Преимущественно зависит от функции $\varphi(x)$. Можно найти довольно много преобразований в $x = \varphi(x)$, но это надо делать с осторожностью, так как от этого будет зависеть, сойдется ли метод к нужному значению. Приближение корня следует брать при $|\varphi'(x)| < 1$, иначе метод может сойтись к неверному значению.

Исходя из рис. 5 получим, что данный метод сойдется только к одному корню на отрезке $[a, b]$. Также можно заметить аномальные значения при $x = -2$ и $x = 2$. Данное явление объясняется тем, что в этих точках $|\varphi'(x)| > 1$.

Метод последовательных приближений

Модификация метода простой итерации, уменьшающее количество итераций в несколько раз. Но, в отличие от метода простой итерации, здесь берется хорда, соединяющая точки функции $\varphi(x)$, абсциссы которых равны приближениям корней, которые находятся по формуле $x_1 = \varphi(x_0)$. И новым приближением корня x_2 будет абсцисса точки пересечения данной хорды с прямой $y = x$. После чего за новое приближение корня вместо x_0 берется x_2 . Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия (рисунок 7).

$$\text{func2}(a, b, \varepsilon, f) := \begin{cases} i2 \leftarrow 0 \\ \text{sigma1}(t, p) \leftarrow \begin{cases} \left| \frac{t-p}{t} \right| & \text{if } |t| > 1 \\ |t-p| & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{sigma2}(t) \leftarrow \begin{cases} \left| \frac{t-f(t)}{t} \right| & \text{if } |t| > 1 \\ |t-f(t)| & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{while } \text{sigma1}(b, a) > 10 \cdot \varepsilon \wedge \text{sigma2}(b) > 10 \cdot \varepsilon \\ \quad \begin{cases} i2 \leftarrow i2 + 1 \\ a \leftarrow f(b) \\ b \leftarrow a + \frac{a-b}{\left(\frac{b-f(b)}{a-f(a)}\right) - 1} \end{cases} \\ (b \ i2)^T \end{cases}$$

$$\text{func2}(a, b, \varepsilon, f1) = \begin{pmatrix} 4.372 \\ 3 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{- приближенное значение корня} \\ \text{- количество итераций} \end{array}$$

$$f(\text{func2}(a, b, \varepsilon, f1)_0) = 9.894 \times 10^{-8}$$

Рисунок 7 – Алгоритм работы метода последовательных приближений

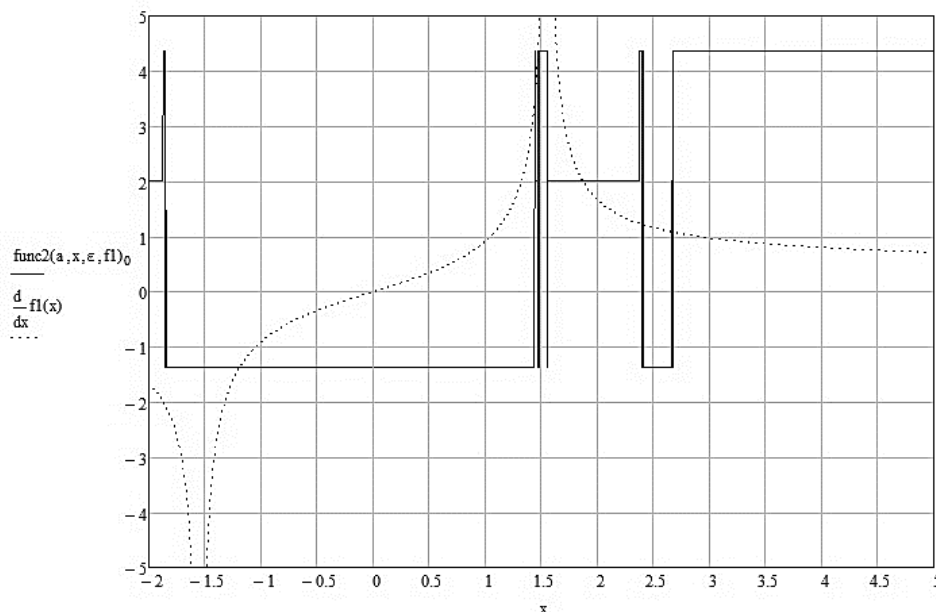


Рисунок 8 – Зависимость значений метода последовательных приближений от начального приближения корня

Данный алгоритм имеет самую высокую точность из данных методов. Но, как и прошлый метод, чувствителен к увеличению значения $|\varphi'(x)| > 1$, что можно видеть из рисунка 8: при увеличении значения $|\varphi'(x)| > 1$ алгоритм становится нестабильным и при малом изменении значения начального приближения может сходиться к разным корням, что влияет на возможность использования данного метода для нахождения нескольких корней.

Метод Ньютона

В данном случае за каждое последующее приближение корня берется абсцисса точки пересечения касательной в точке предыдущего приближения с осью Ox . Процесс повторяется до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия (рисунок 9).

$$\text{func4}(b, \epsilon, f) := \begin{cases} i4 \leftarrow 0 \\ k(x) \leftarrow \frac{f(x)}{\left(\frac{d}{dx} f(x)\right)} \\ h(y) \leftarrow \begin{cases} \left| \frac{k(y)}{y - k(y)} \right| & \text{if } |y - k(y)| > 1 \\ |k(y)| & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{while } |f(b - k(b))| > 100 \cdot \epsilon \wedge h(b) > \epsilon \\ \quad \begin{cases} i4 \leftarrow i4 + 1 \\ b \leftarrow b - k(b) \end{cases} \\ (b \ i4)^T \end{cases}$$

$$\text{func4}(b, \epsilon, f) = \begin{pmatrix} 4.372 \\ 3 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{- приближенное значение корня} \\ \text{- количество итераций} \end{array}$$

$$f(\text{func4}(b, \epsilon, f)_0) = 1.045 \times 10^{-3}$$

Рисунок 9 – Алгоритм метода Ньютона

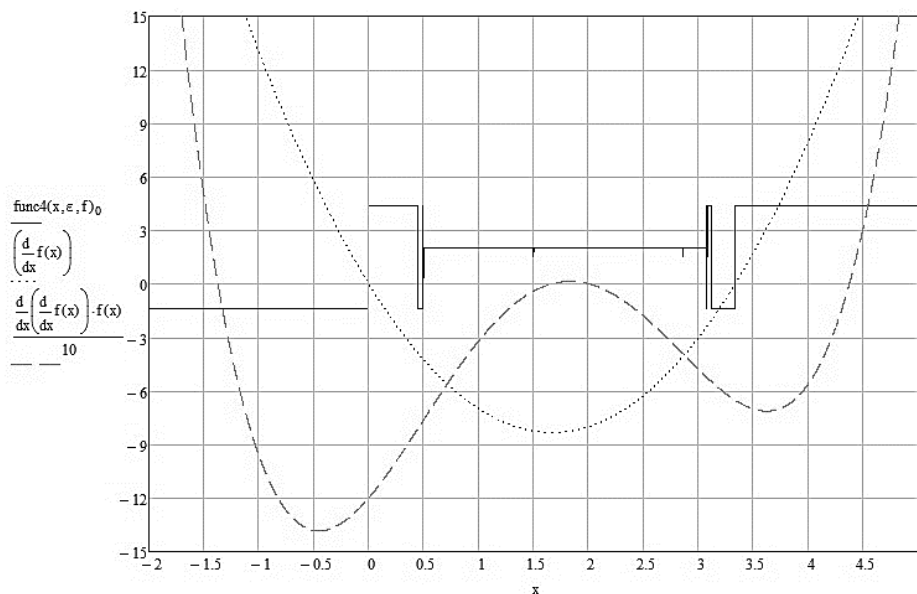


Рисунок 10 – Зависимость значений работы метода Ньютона от начального приближения корня

Данный метод имеет небольшую точность, но хорошую сходимость в случае поиска одного корня на данном промежутке $[a, b]$. В окрестностях точек, при которых значение производной $f'(x) = 0$, либо значение $f(x) \cdot f''(x)$ достаточно большое, данный метод нестабилен, так как касательная в этих точках пересекает ось Ox в точках, абсциссы которых довольно большие значения, что влияет на дальнейшие вычисления (рис. 10)

Таблица 1 – Значения функции в точках, найденных каждым методом, и количество совершенных итераций при нахождении этих точек

Метод	Деления отрезка пополам	Простой итерации	Последовательных приближений	Ньютона
$f(x)$	$2.509 \cdot 10^{-6}$	$9.894 \cdot 10^{-8}$	$3.7 \cdot 10^{-5}$	$1.045 \cdot 10^{-3}$
N	23	3	44	3

Заключение

Проблема нахождения решения уравнений вида $f(x) = 0$ до сих пор остается актуальной. Каждый метод из здесь представленных имеет ряд достоинств и недостатков.

Исходя из Таблицы 1 можно получить, что самый точный и быстросходимый алгоритм – метод последовательных приближений. У остальных же методов преобладает либо точность, либо малое количество итераций.

Метод простой итерации не подходит для нахождения нескольких корней на определенном промежутке, метод последовательных приближений и метод Ньютона нестабильны при $|\varphi'(x)| > 1$ и $|f(x) \cdot f''(x)| > 1$ соответственно для каждого из методов.

Поэтому можно сделать вывод, что при соблюдении определенных условий для каждого из методов на промежутке $[a, b]$ и наличия до 2 корней на данном отрезке, эффективнее всего сработает метод последовательных приближений. А

при наличии 3 и более корней следует использовать метод деления отрезка пополам.

Литература

1. Фурунжиев Р.И. Вычислительная техника: Практикум / Учебн. пособие для вузов/. – 2-е изд., перераб. И доп. – Мн.: Высш. шк., 1985. = 254 с., ил.
2. Стрекаловская, А.Д. Метод последовательных приближений: методические указания к лабораторной работе / А.Д. Стрекаловская, А.В. Рачинских, Т.А. Санеева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2011. – 27

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Н.П. Ваник

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК С ФУНКЦИЯМИ АНАЛИЗАТОРА ПКЭ

А.А. Шинкович

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

П.В. Сурович

Научный руководитель – А.Ю. Капустинский, м.т.н., старший преподаватель

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ЛИНИИ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ DIALUX

Е.Ю. Петровская, В. Д. Бородич

Научный руководитель – В. Н. Калечиц, м.т.н., старший преподаватель

БИОЭНЕРГЕТИКА

В.Д. Тихно

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СМЕШАННЫХ ТКО

А.М. Галкин, В.И. Кондратенко

Научный руководитель – В.В. Сталович, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В БЕЛАРУСИ

Е.Д. Самутичева

Научный руководитель – Д.М. Смолковская, ассистент

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОФИСНОГО ПОМЕЩЕНИЯ

А.В. Голубев

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель

ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ: РЕГУЛИРОВКА С ПОМОЩЬЮ ШИМ, ССR, DALI, DMX, 0-10V

Ю.И. Богданов, А.С. Пильник

Научный руководитель – В.Б. Козловская к.т.н., доцент

СПОСОБЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫТУ

В.О. Михайлов

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

А.С. Линкевич, М.В. Кишкель, Д.А. Козловская

Научный руководитель – Д.М. Смолковская, ассистент

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Е.А. Рогацевич

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент

ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ВЕНТИЛЯЦИЮ

Т.В. Сафонов

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель

УПРАВЛЯЕМЫЙ ШУНТИРУЮЩИЙ РЕАКТОР (УШР) ТИПА РТДУ 330/180000-У1, ЕГО ФУНКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ

А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОРОННЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Е.А. Шуляковский

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДОВ И НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ

Е.А. Чумаченко

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.П. Бортник

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель

Качество электрической энергии, способы повышения напряжения

П.С. Рудик

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель.

МАЛАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.Г. Гончаревич

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент

УДК 621.316

ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПОДСТАНЦИИ
FILTER-COMPENSATING DEVICES IN THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF A TWO-TRANSFORMER CONSUMER SUBSTATION

Н.П. Ваник

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г.Минск
N.Vanik

Supervisor – V. Schasny, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанцией, возможность поддержания баланса реактивной мощности в электрических сетях и требуемых уровней напряжения.*

***Annotation:** The article deals with the issues of equipment control by a two-transformer substation, the possibility of maintaining the balance of reactive power in electrical networks and the required voltage levels.*

***Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, адаптивная система, компенсация реактивной мощности, фильтрокомпенсирующие устройство.*

***Keywords:** transformer substation, adaptive system, reactive power compensation, filter-compensating device.*

Введение

Ежегодно увеличивается доля высокотехнологичного оборудования на промышленных предприятиях с использованием регулируемого электропривода с управляемыми тиристорными устройствами, источников бесперебойного питания электроприемников, современных аппаратов электросварки и дуговых электрических печей, установок индукционного нагрева, газоразрядных источников излучения и другого оборудования с нелинейными вольт-амперными характеристиками. Все это приводит к изменению характера и баланса нагрузок в электрических сетях, к ухудшению качества электроэнергии, уменьшению пропускной способности электрических сетей, снижению надежности электроснабжения, дополнительным потерям.

Обеспечения нормальных условий работы электроприемников, повышения надежности и экономичности системы электроснабжения предприятия позволяет использование на потребительских трансформаторных подстанциях адаптивной системы управления оборудованием. Система управления позволяет регулирования напряжения, уровни реактивной мощности и высших гармоник тока и напряжения, автоматическое повторное включение, оперативное переключение ввода-вывода трансформаторов на параллельную работу, включение и отключение коммутационных аппаратов отходящих линий низкого напряжения, блокировки от обратной трансформации, обеспечивать взаимосвязь регулирования различных

параметров и релейной защиты. Адаптивная система управления оборудованием трансформаторной подстанции должна иметь управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы.

На рисунке 1 представлена предлагаемая схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанцией.

Подстанция содержит набор силового оборудования, коммутационных аппаратов, датчиков тока и напряжения, расположенных в распределительных устройствах высокого и низкого напряжения.

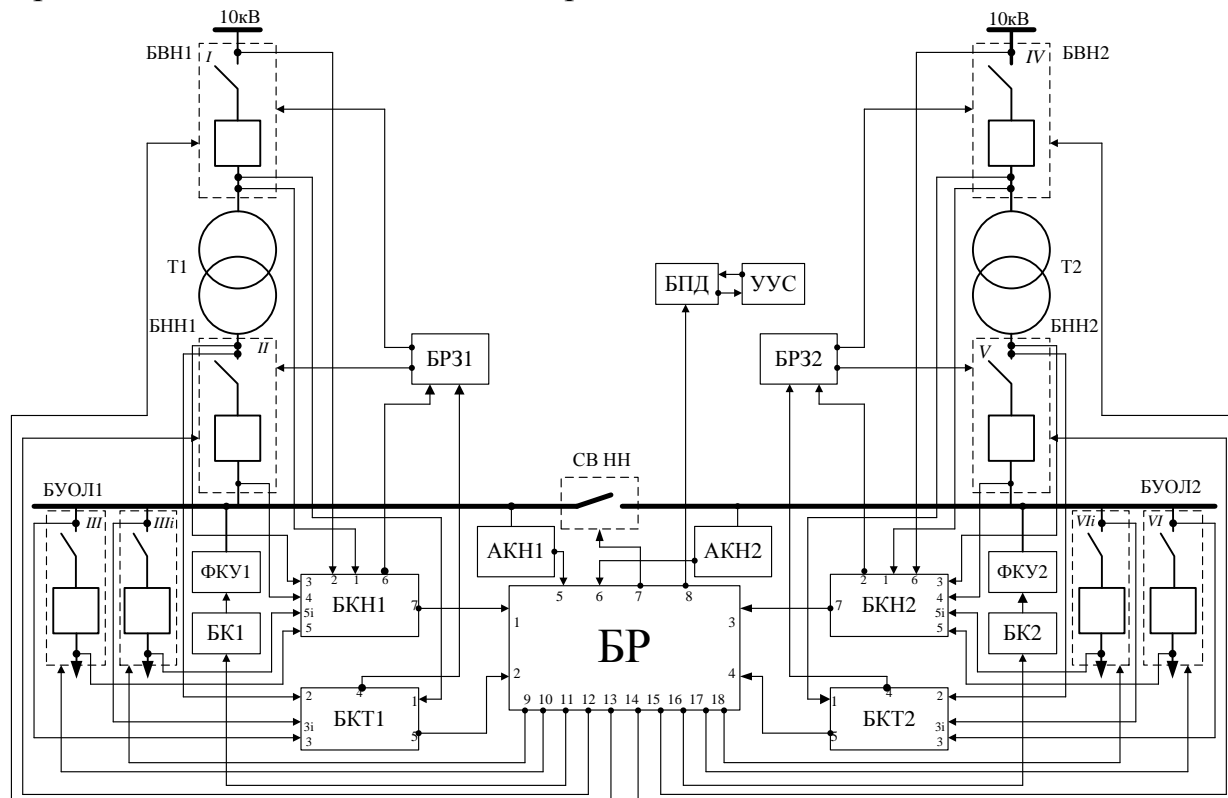


Рисунок 1 Схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанции

БВН1, БВН2, БНН1, БНН2 – управляемый блок силового оборудования высокого и низкого напряжения; БКН1, БКН2 – блок контроля напряжений; БКТ1, БКТ2 – блок контроля токов; ФКУ1, ФКУ2 – фильтро-компенсирующее устройство; БК1, БК2 – блок коммутации; АКН1, АКН2 – анализатор качества напряжения; БР – блок регулятора; СВНН – секционный выключатель низкой стороны; Т1, Т2 – силовой трансформатор; БР31, БР32 – блок релейной защиты; БУОЛ1, БУОЛ2 – управляемый блок силового оборудования отходящих линий; БПД – блок передачи данных; УУС – удаленная управляющая связь с диспетчерской и более высоким уровнем энергосистемы.

Блоки силового оборудования отходящих линий снабжены коммутационными аппаратами, датчиками тока и напряжения, обеспечивающими возможность контроля состояния аппаратов и формирования управляющих сигналов для дистанционного управления с блока регулятора. Принцип работы регулятора основан на анализе поступающих сигналов с блоков контроля токов и напряжений, анализаторов качества напряжений, формирования управляющих сигналов с помощью программного обеспечения и заданных режимов [1]. Это позволяет управлять коммутационными аппаратами, осуществлять контроль их включения и отключения, выбирать оптимальный

уровень компенсации реактивной мощности, высших гармоник тока и напряжения, не выходя за допустимые пределы уровня напряжения.

Основная часть

Использование установок компенсации реактивной мощности (УКРМ) с подключением их к шинам низшего напряжения подстанций требует учета ограничений как при выборе параметров УКРМ, так и при определении режимов работы устройств регулирования напряжения.

Потеря напряжения в сети с КРМ, принятая равной продольной составляющей падения напряжения, при пренебрежении поперечной составляющей определяется выражением

$$\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_K)X}{U}, \quad (1)$$

где P , Q – потоки активной и реактивной мощности в сети; R , X – активное и реактивное сопротивления сети; Q_K – мощность УКРМ; U – напряжение сети.

Влияние КРМ на величину потери напряжения в сети и отклонение напряжения у потребителя удобно рассматривать, оперируя показателем степени компенсации, определяемой соотношением $C = Q_K/Q$. Введя в выражение (1) степень компенсации, получим

$$\Delta U = \frac{PR + QX(1-C)}{U}. \quad (2)$$

С помощью выражения (2) можно определить фактическую потерю напряжения в любом элементе сети при любом значении степени компенсации реактивной мощности.

Действующий стандарт [2] устанавливает нормы качества электрической энергии в точках ее передачи пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения, т.е. на границах балансовой принадлежности электрических сетей.

Система электроснабжения крупного промышленного предприятия включает одну либо несколько главных понизительных подстанций напряжением 110/10(6) кВ, 35/10(6) кВ, распределительные пункты, подстанции и линии электропередачи напряжением 10, 6 кВ, а также линии напряжением до 1 кВ. Отклонение напряжения на стороне низшего напряжения подстанции $\delta U_{\text{нн}}$ равно сумме отклонения напряжения на стороне высшего напряжения $\delta U_{\text{вн}}$ и надбавки трансформатора $\delta U_{\text{нб}}$ за вычетом потери напряжения в трансформаторе $\Delta U_{\text{т}}$. При подключении УКРМ к шинам низшего напряжения подстанции отклонение напряжения на стороне низшего напряжения равно

$$\delta U_{\text{нн}} = \delta U_{\text{вн}} + \delta U_{\text{нб}} - \Delta U_{\text{т}} = \delta U_{\text{вн}} + \delta U_{\text{нб}} - \frac{PR_{\text{т}} + QX_{\text{т}}(1-C)}{U}. \quad (3)$$

В отличие от главных понизительных подстанций, потребительские подстанции промышленных предприятий напряжением 10(6)/0,4 кВ не имеют устройств РПН. Такие подстанции позволяют регулировать напряжение в узком диапазоне посредством переключения без возбуждения (ПБВ). При установке

УКРМ на стороне низшего напряжения цеховых подстанций либо на промежуточных распределительных пунктах напряжением 0,4 кВ важно обеспечить требуемые уровни напряжения у потребителей. Поэтому при выборе мощности УКРМ следует производить расчет напряжений в электрической сети и проверку отклонений напряжения у потребителей в различных режимах нагрузки [3].

Отклонение напряжения у потребителя δU_{Π} , получающего питание по сети 0,4 кВ, можно выразить через отклонение напряжения на шинах низшего напряжения главной понизительной подстанции $\delta U_{\text{НН}}$, надбавку напряжения трансформатора цеховой ТП 10(6)/0,4 кВ $\delta U_{\text{НБ}}$ и суммарную потерю напряжения в электрической сети напряжением 10(6) и 0,4 кВ ΔU

$$\delta U_{\Pi} = \delta U_{\text{НН}} + \delta U_{\text{НБ}} - \Delta U. \quad (4)$$

Потеря напряжения в электрической сети включает потери в основных ее элементах (линии высокого напряжения $\Delta U_{\text{ВЛ}}$, трансформаторе $\Delta U_{\text{Т}}$, линии низкого напряжения $\Delta U_{\text{НЛ}}$) и определяется выражением

$$\Delta U = \Delta U_{\text{ВЛ}} + \Delta U_{\text{Т}} + \Delta U_{\text{НЛ}} = \frac{P_{\text{ВЛ}}R_{\text{ВЛ}} + Q_{\text{ВЛ}}X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{ВЛ}}} + \frac{P_{\text{Т}}R_{\text{Т}} + Q_{\text{Т}}X_{\text{Т}}}{U_{\text{Т}}} + \frac{P_{\text{НЛ}}R_{\text{НЛ}} + Q_{\text{НЛ}}X_{\text{НЛ}}}{U_{\text{НЛ}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ВЛ}}$, $Q_{\text{ВЛ}}$, $P_{\text{Т}}$, $Q_{\text{Т}}$, $P_{\text{НЛ}}$, $Q_{\text{НЛ}}$ – потоки активной и реактивной мощности в линии высокого напряжения, трансформаторе, линии низкого напряжения соответственно; $R_{\text{ВЛ}}$, $X_{\text{ВЛ}}$, $R_{\text{Т}}$, $X_{\text{Т}}$, $R_{\text{НЛ}}$, $X_{\text{НЛ}}$ – активное и реактивное сопротивления линии высокого напряжения, трансформатора, линии низкого напряжения соответственно; $U_{\text{ВЛ}}$, $U_{\text{Т}}$, $U_{\text{НЛ}}$ – напряжение линии высокого напряжения, обмотки высшего напряжения трансформатора, линии низкого напряжения соответственно. При подключении УКРМ к шинам низшего напряжения подстанции уменьшаются потери напряжения в линии высокого напряжения и трансформаторе. Суммарная потеря напряжения в электрической сети

$$\Delta U = \frac{P_{\text{ВЛ}}R_{\text{ВЛ}} + (Q_{\text{ВЛ}} - Q_{\text{К}})X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{ВЛ}}} + \frac{P_{\text{Т}}R_{\text{Т}} + (Q_{\text{Т}} - Q_{\text{К}})X_{\text{Т}}}{U_{\text{Т}}} + \frac{P_{\text{НЛ}}R_{\text{НЛ}} + Q_{\text{НЛ}}X_{\text{НЛ}}}{U_{\text{НЛ}}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{К}}$ – мощность УКРМ.

С учетом степени компенсации и коэффициента мощности нагрузки выражения для определения потери напряжения в сети и отклонения напряжения у потребителя можно представить в виде:

$$\Delta U = \frac{PR}{U^2} [1 + \text{tg}\varphi(1 - C)]; \quad (7)$$

$$\delta U_{\Pi} = \delta U_{\text{НН}} + \delta U_{\text{НБ}} - \frac{PR}{U^2} [1 + \text{tg}\varphi^2(1 - C)]. \quad (8)$$

В представленной схеме не используются УКРМ с блоками статических конденсаторов, так как они очень чувствительны к перегрузкам по току, которые зависят от несинусоидальности напряжения. Для подавления высших гармоник требуются силовые фильтры, представляющие собой последовательно

включенные емкости и индуктивности с частотой настройки (резонанса) на конкретную гармонику сети [4]. Поэтому, целесообразно использовать фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ). Работа ФКУ в представленной схеме основана на анализе токов, напряжений, реактивной мощности, токов высших гармоник при заданной последовательности подключения отдельных ступеней. В программе формирования управляющих сигналов взят порядок возрастания номера гармоник. Токораспределение высших гармоник производится в соответствии с алгоритмом переключения ступеней от низшего уровня к высшему и наоборот, с контролем тока блока статических конденсаторов, включенных для компенсации реактивной мощности.

Управление потребительской двухтрансформаторной подстанцией может осуществляться и удаленно. Все параметры работы подстанции архивируются и доступны как в текущем времени, так и за определенный период. Адаптивная система управления трансформаторной подстанции поддерживает в автоматическом режиме в заданных допустимых пределах уровни напряжения, реактивную мощность, уровни высших гармоник.

Заключение

Использование предложенного устройства адаптивного управления потребительской двухтрансформаторной подстанции позволяет повысить качество электроэнергии, пропускную способность сетей и их надежность, уменьшить потери.

Литература

1. Счастный, В.П. Устройство управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции при параллельной работе трансформаторов / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 55-58.
2. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144–2013. Введ. Респ. Беларусь 01.04.2016. Минск: БелГИСС, 2016.
3. Счастный В.П. Взаимовлияние режимов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В.П.Счастный, А.И.Жуковский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, №3. С 239 – 24.
4. Прокопчик, В.В. Повышение качества электроснабжения и эффективности работы электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами: Монография / Под ред. д.т.н., проф. Б.И. Кулрина. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2002 – 283 с., ил.

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК С ФУНКЦИЯМИ АНАЛИЗАТОРА ПКЭ
ELECTRIC METER WITH PQI ANALYZER FUNCTIONS**

А.А. Шинкович

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A .Shinkovich

Supervisor – V. Kozlovskaja, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье описаны решения контроля качества электроэнергии и коммерческого учета электроэнергии в создании единого прибора.

Annotation: The article describes a solution to control the quality of electricity and commercial metering of electricity in the creation of a single device.

Ключевые слова: качество электроэнергии, прибор учета, АСКУЭ.

Key words: power quality, metering device, ASCAPC.

Введение

На сегодняшний день ПКЭ играют большую роль в работе электроприемников. В связи с большим диапазоном выполняемых операций, электроприемникам нужна точность необходимых действий для выполнения той либо иной операции, а, следовательно, стандартные изначальные параметры электроэнергии.

Для контроля качества электроэнергии потребителю проще всего организовать контроль на балансовой принадлежности электрических сетей, а именно в месте установки прибора учета электрической энергии. Поэтому остро стоит вопрос организации комплексного учета и контроля качества электроэнергии.

Основная часть

Качество электроэнергии оценивается рядом показателей [1], в т.ч. показателями, связанными с колебаниями, несимметрией и несинусоидальностью напряжения. На сегодняшний день установлен ГОСТ 32144–2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». В период высокого уровня технологического прогресса и развития IT-технологий не составляет большого труда в совмещении прибора, анализирующего качество электроэнергии, и прибора коммерческого учета электроэнергии. Прибор учета, совмещающий в себе обе функции, является практичным и полезным в организации электроснабжения.

В период использования данного прибора можно обезопасить свое оборудование и технологический процесс путем программирования электросчетчика на отключение либо подачу сигнала об изменении показателей качества электроэнергии. Удобство заключается также в возможности дистанционного управления путем включения в систему АСКУЭ, которая позволит управлять и обрабатывать данные не теряя времени на подключение

дополнительных приборов, чтобы узнать, в чем причина сбоя оборудования или несоответствия выходных параметров продукта.

Заключение

В настоящее время разработаны приборы учета и контроля качества энергии с интеграцией в существующие и вновь создаваемые объекты. Данный прибор представляет собой высокочастотное измерительное устройство, основанное на базе современных цифровых технологий. Это позволяет и персоналу энергосистемы, и самому потребителю владеть оперативной информацией о качестве работы сети и быстро и правильно принимать меры по улучшению качества электроэнергии. При использовании этих приборов по всем объектам, мы выведем качество электроэнергии на новый уровень, что позволит экономить большие деньги на ремонте оборудования и уменьшении брака выпускаемой продукции.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
2. Безносова М., Новое в построении АСКУЭ с мониторингом контроля качества электрической энергии – газета «Энергетика Беларуси», 2019.
3. ООО ФЗИП "Энергомера" – Фаниполь [Электронный ресурс]/ ООО ФЗИП "Энергомера" – Фаниполь. – Режим доступа: http://www.energomera.by/documentations/ce318/ce318by_re.pdf /. – Дата доступа: 18.10.2021.

УДК 621.32

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
DETERMINATION OF RELIABILITY INDICATORS OF MODERN
DIGITAL EQUIPMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS**

П.В. Сурович

Научный руководитель – А.Ю. Капустинский, м.т.н., старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Surovich

Supervisor – A. Kapustsinski, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье приведены показатели надёжности основных типов цифровых устройств, приведенные в их паспортных данных и являющиеся статистическими данными, определяемые производителем, а также определены зависимые показатели надёжности на различных промежутках времени: в течение срока эксплуатации, гарантийного срока и межпроверочного интервала.*

***Abstract:** the article provides main types of electric power supply systems digital devices reliability factors, contained in operations manual and determined statistically by manufacturers. Dependent reliability factors during the lifetime, warranty period and during the period between inspections are calculated.*

***Ключевые слова:** показатель надёжности, средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, частота отказов.*

***Keywords:** reliability factor, average time between failures, reliability rate, failure rate, rate of occurrence of failures, failure density function.*

Введение

В связи с упрощением технологии производства и снижением стоимости единицы вычислительной мощности процессоров все больший рост получает цифровизация сетей. В то время, как коммутационные аппараты электрической части энергосистемы высоконадежны, и их наработка на отказ в большей степени характеризуется количеством циклов включения-отключения, которое, в свою очередь, зависит от режима работы устройства, вероятность отказа цифровых устройств напрямую зависит от времени их непрерывной работы.

Основная часть

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени или заданной наработки отказ изделия не произойдет. Эта функция является убывающей. $P(0) = 1$; $P(\infty) = 0$, следовательно $0 \leq P(t) \leq 1$ [1].

В некоторых случаях более удобной характеристикой безотказности выступает вероятность отказа $Q(t)$. Очевидно, что $P(t)$ и $Q(t)$ события противоположные, несовместимые и образуют полную группу событий.

Следовательно, $Q(t) = 1 - P(t); P(t) = 1 - Q(t)$. Использование показателя вероятности безотказной работы имеет ряд достоинств:

- используется для оценки различных систем;
- применим для оценки на стадии проектирования системы;
- является показателем изменения надежности во времени;
- является достаточно полной характеристикой надежности, так как, учитывает большое число условий воздействий.

Наработка на отказ T – это среднее время исправной работы между двумя соседними отказами. Представляет собой отношение наработки восстанавливаемой системы к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки. Данная величина случайная, точное значение которой заранее предсказать невозможно. Поэтому рассчитывается как среднее статистическое значение.

Поскольку отказы сложных систем возникают в произвольные моменты времени, значит, и время работы систем между отказами и до отказа также является непрерывной случайной величиной. Тогда следует, что одной из полных характеристик надежности систем или их элементов (особенно для невосстанавливаемых систем) должен служить закон распределения времени работы до отказа (между отказами) в дифференциальной форме в виде плотности вероятности, либо в интегральной форме в виде функции распределения.

Задача сводится к выявлению и математическому описанию такого закона, который отражал бы с высокой степенью достоверности объективную реальность. Основаниями для использования законов служат: опытные данные испытаний изделий или образцов, сведения об аналогах, эксплуатационные наблюдения, теоретические предпосылки.

Вероятность безотказной работы $P(t)$, вероятность отказа $Q(t)$ и частота отказа $a(t)$ определяются по следующим формулам [1]:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1.1)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1.2)$$

$$a(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1.3)$$

где λ – интенсивность отказа, год^{-1} , определяется статистически; t – любой момент времени, год.

Интенсивность отказа $\lambda(t)$ определяется по следующему выражению:

$$\lambda = \frac{1}{T}, \quad (1.4)$$

где T – средняя наработка на отказ, ч.

Основные типы цифровых устройств, применяемые в электроэнергетике и их параметры, предоставляемые производителем, приведены в таблице 1 [2...6].

Таблица 1 – Параметры цифровых устройств, предоставляемые производителем

Цифровое устройство	Средняя наработка на отказ, ч	Срок службы, лет	Время восстановления, ч	Гарантийный срок, лет
Модуль ввода-вывода (аналог ЭНМВ-1)	100000	20	1	5
Измерительный преобразователь (аналог ЭНИП-2)	100000	20	1	5
Цифровой амперметр (аналог ЦП8501)	150000	15	2	4
Цифровой вольтметр (аналог ЦП8501)	150000	15	2	4
Счетчик электроэнергии (аналог СЭТ 4 ТМ)	220000	30	2	5
Микропроцессорный терминал РЗА (аналог МР5 ПО 50)	100000	20	1	5
Программируемый контроллер (аналог Овен ПЛК110)	100000	8	—*	2
Импульсный блок питания (аналог Овен БП100К-12)	70000	10	—*	2

* – параметр не установлен производителем

Произведем расчет показателей надежности цифровых устройств электроэнергетики. Приведем пример расчета по формулам (1.1) – (1.4) [1] для импульсного блока питания (аналог БП100К-12)[6] на промежутке времени, равномежпроверочному интервалу:

$$\lambda = \frac{8760}{70000} = 0,125 \text{ год}^{-1},$$

$$P(t) = e^{-0,125 \cdot 2} = 0,779 = 77,9\% ,$$

$$Q(t) = 1 - e^{-0,125 \cdot 2} = 0,221 = 22,1\% ,$$

$$a(t) = 0,125 \cdot e^{-0,125 \cdot 2} = 0,097 \text{ год}^{-1} .$$

Расчетные данные для рассматриваемых устройств на различных промежутках времени внесены в таблицы 2...4.

Таблица 2 – Показатели надежности цифровых устройств на протяжении срока службы

Цифровое устройство	λ , год ⁻¹	P(t), %	Q(t), %	a(t), год ⁻¹
Модуль ввода-вывода (аналог ЭНМВ-1)	0,088	17,3	82,7	0,015
Измерительный преобразователь (аналог ЭНИП-2)	0,088	17,3	82,7	0,015
Цифровой амперметр (аналог ЦП8501)	0,058	41,6	58,4	0,024
Цифровой вольтметр (аналог ЦП8501)	0,058	41,6	58,4	0,024
Счетчик электроэнергии (аналог СЭТ 4 ТМ)	0,04	30,3	69,7	0,012
Микропроцессорный терминал РЗА (аналог МР5 ПО 50)	0,088	17,3	82,7	0,015
Программируемый контроллер (аналог Овен ПЛК110)	0,088	49,6	50,4	0,043
Импульсный блок питания (аналог Овен БП100К-12)	0,125	77,9	71,4	0,036

Таблица 3 – Показатели надежности цифровых устройств на протяжении гарантийного срока

Цифровое устройство	λ , год ⁻¹	P(t), %	Q(t), %	a(t), год ⁻¹
Модуль ввода-вывода (аналог ЭНМВ-1)	0,088	64,5	35,5	0,057
Измерительный преобразователь (аналог ЭНИП-2)	0,088	64,	35,5	0,057
Цифровой амперметр (аналог ЦП8501)	0,058	79,2	20,8	0,046
Цифровой вольтметр (аналог ЦП8501)	0,058	79,2	20,8	0,046
Счетчик электроэнергии (аналог СЭТ 4 ТМ)	0,04	81,9	18,1	0,033
Микропроцессорный терминал РЗА (аналог МР5 ПО 50)	0,088	64,5	35,5	0,057
Программируемый контроллер (аналог Овен ПЛК110)	0,088	83,9	16,1	0,074
Импульсный блок питания (аналог Овен БП100К-12)	0,125	28,6	22,1	0,097

Таблица 4 – Показатели надежности цифровых устройств на протяжении межпроверочного интервала

Цифровое устройство	λ , год ⁻¹	P(t), %	Q(t), %	a(t), год ⁻¹
Модуль ввода-вывода (аналог ЭНМВ-1)	0,088	91,61	8,39	0,08
Измерительный преобразователь (аналог ЭНИП-2)	0,088	91,61	8,39	0,08
Цифровой амперметр (аналог ЦП8501)	0,058	94,33	5,67	0,055
Цифровой вольтметр (аналог ЦП8501)	0,058	94,33	5,67	0,055
Счетчик электроэнергии (аналог СЭТ 4 ТМ)	0,04	96,09	3,91	0,038
Микропроцессорный терминал РЗА (аналог МР5 ПО 50)	0,088	91,61	8,39	0,08
Программируемый контроллер (аналог Овен ПЛК110)	0,088	91,61	8,39	0,08
Импульсный блок питания (аналог Овен БП100К-12)	0,125	88,24	11,76	0,11

Графики изменения во времени вероятности безотказной работы и вероятности отказа импульсного блока питания (аналог БП100К-12)[6] на различных промежутках времени приведены на рисунках 1...3.

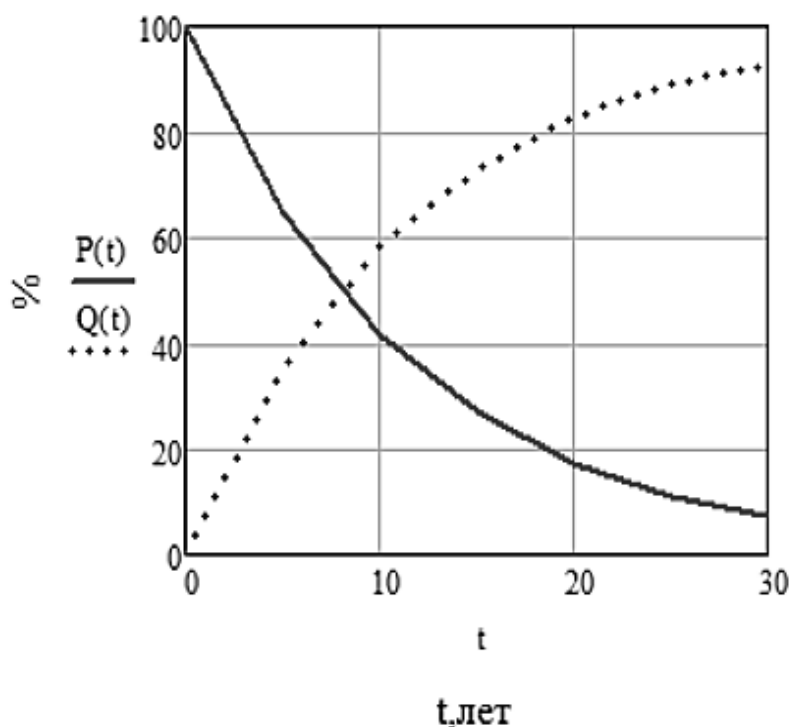


Рисунок 1 – График изменения во времени вероятности безотказной работы и вероятности отказа импульсного блока питания (аналог БП100К-12) [6] на промежутке времени, равном гарантийному сроку

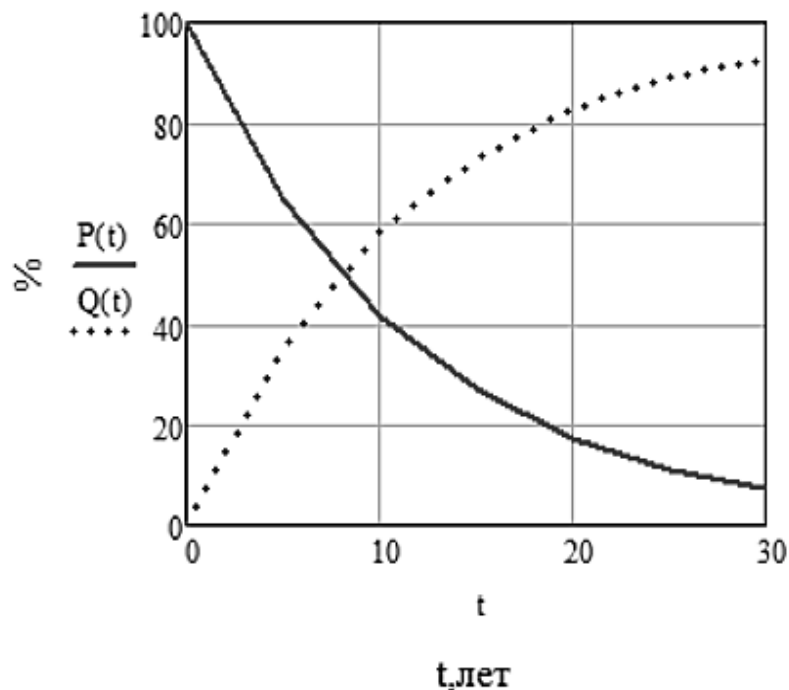


Рисунок 2 – График изменения во времени вероятности безотказной работы и вероятности отказа импульсного блока питания (аналог БП100К-12) [6] на промежутке времени, равном сроку службы

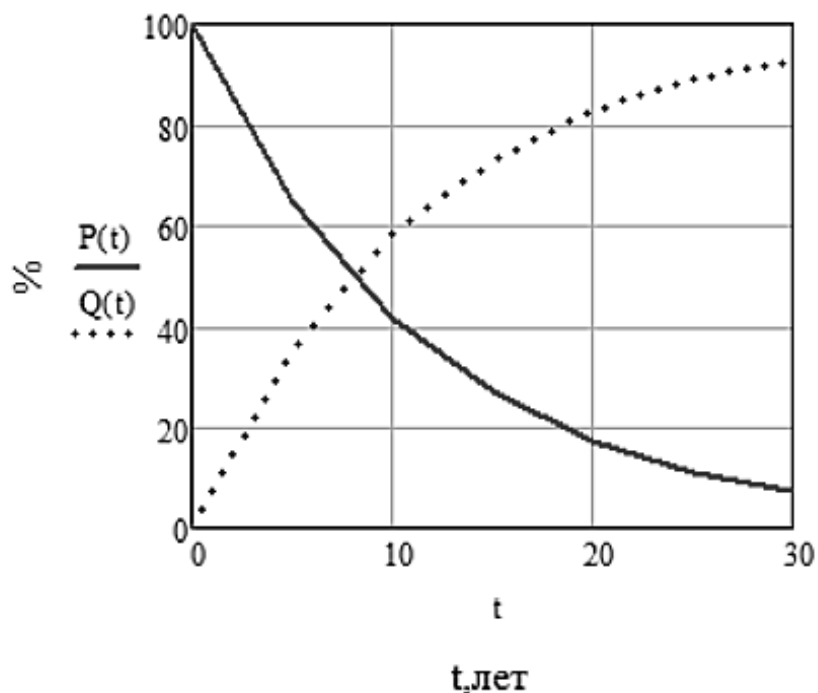


Рисунок 3 – График изменения во времени вероятности безотказной работы и вероятности отказа импульсного блока питания (аналог БП100К-12) [6] на межпроверочном промежутке

Заключение

Согласно таблицам 2...4, а также рисункам 1...3, вероятность безотказной работы на промежутке времени, равном сроку эксплуатации, стремится к нулю. Ввиду этого существуют межпроверочные интервалы, в среднем 1-2 года, необходимые для того, чтобы отследить факторы, вызывающие внезапные

отказы оборудования, а также предотвратить отказы. В то же самое время стоит отметить, что большая часть внезапных отказов оборудования связана не с его повреждением, а с накоплением программных ошибок, и может быть устранена перезагрузкой, то есть время восстановления цифровых устройств минимальное.

Литература

1. Анищенко, В. А. Основы надежности систем электроснабжения: пособие для специальности 1-43 01 03 "Электроснабжение" специализации 1-43 01 03 01 "Электроснабжение промышленных предприятий" / В. А. Анищенко, И. В. Колосова; Белорусский национальный технический университет, кафедра "Электроснабжение". - Минск: БНТУ, 2007. - 151 с.
2. Каталог компании ОАО «Белэлектромонтажналадка» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bemn.by>. – Дата доступа: 10.10.2021.
3. Каталог компании «Энергомера» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energoмера.by>. – Дата доступа: 10.10.2021.
4. Каталог компании «Электроприбор» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.electropribor.by/>. – Дата доступа: 11.10.2021.
5. Каталог инженерного центра «Энергосервис» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://enip2.ru/production/izmereniya/enip-2/>. – Дата доступа: 11.10.2021.
6. Каталог компании «Овентехно» оборудование для автоматизации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://owen.by/>. – Дата доступа: 12.10.2021.

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ
ЛИНИИ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ DIALUX
ANALYSIS OF THE FEATURES OF LIGHTING CALCULATIONS FOR
OUTDOOR LIGHTING LINE WITH USING DIALUX**

Е.Ю. Петровская, В. Д. Бородич

Научный руководитель – В. Н. Калечиц, м.т.н., старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Petrovskaya, V. Borodich

Supervisor – V.N.Kalechyts, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Данная статья посвящена анализу зависимости распределения освещенности от типа КСС, мощности светодиодных светильников, расстояния между опорами.*

***Abstract:** In this article the attention is drawn to analysis of the dependence of the distribution of illumination on the type of light intensity curve, the power of LED luminaires, the distance between the supports.*

***Ключевые слова:** наружное освещение, светодиодные светильники, кривая силы света (КСС), Dialux, освещенность.*

***Keywords:** outdoor lightning, LED luminaires, light intensity curve, Dialux, illumination.*

Введение

В настоящее время светодиодные светильники нашли широкое применение в утилитарном освещении. Разнообразие конструкций, мощностей и оптики дает возможность индивидуально подобрать светодиодные светильники для различных целей, минимизируя затраты и улучшая качество освещения выбранного участка. Также важным является выбор расположения опор и расстояния между ними, при этом распределение освещенности и яркости могут существенно различаться.

Основная часть



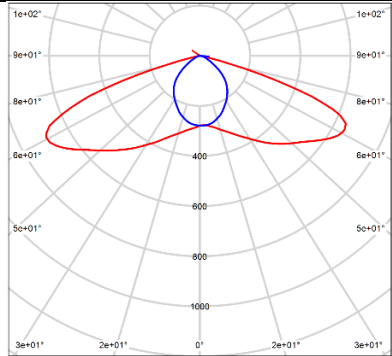
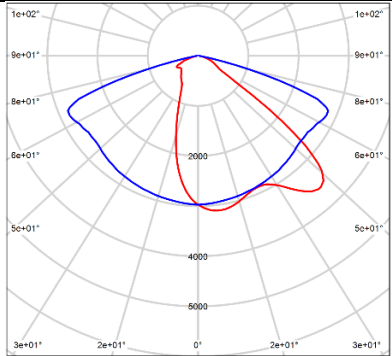
В данной работе представлены три варианта расчёта и соответствующие им результаты, полученные с помощью Dialux:

- зависимость распределения освещенности по поверхности дороги при использовании светодиодных светильников одинаковой мощности с различными типами КСС и с одинаковым расстоянием между опорами;
- зависимость распределения освещенности по поверхности дороги при использовании светодиодных светильников различной мощности с одинаковым расстоянием между опорами;
- зависимость распределения освещенности по поверхности дороги при использовании светодиодных светильников различной мощности с различным расстоянием между опорами.

Исходные данные для расчета: высота световых точек – 6 м; ширина дороги – 7,5 м; наклон консоли светильника – 10 градусов; количество светильников на опоре – 1; вылет световой точки – 0 м.

Для первого варианта расчета были выбраны два светильника фирм GALAD [2] и PHILIPS [3], паспортные данные которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Светотехнические характеристики светильников

	GALAD	PHILIPS
Изображение светильника		
Номинальная мощность, Вт	60	60
Коэффициент мощности, не менее	0,96	0,9
Световой поток, лм	9000	8700
Цветовая температура, К	4000	4000
Тип КСС		
Световая отдача светильника, лм/Вт	150	140
Цветопередача	70	70
Степень защиты	IP66	IP66
Габариты ДхШхВ, мм	572x330x124	492x210x86

Приведенные в таблице 1 светильники незначительно отличаются по техническим характеристикам, однако ключевым фактором распределения освещенности каждого из них является различный тип КСС.

На рисунках 1, 2 показано как распределяется освещенность по поверхности дороги в зависимости от используемого светильника, как меняется освещенность в зависимости от КСС.

В таблице 2 показаны результаты расчёта средней освещенности в зависимости от используемого светильника, а также нормированный параметр по строительным нормам [1].

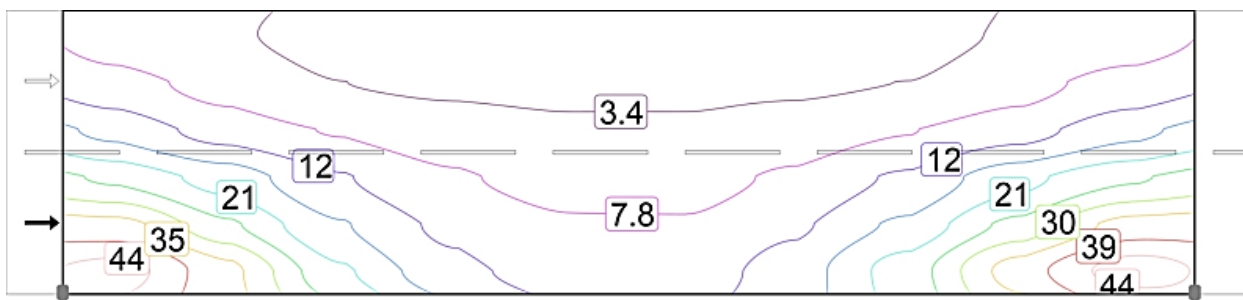


Рисунок 1– Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника GALAD

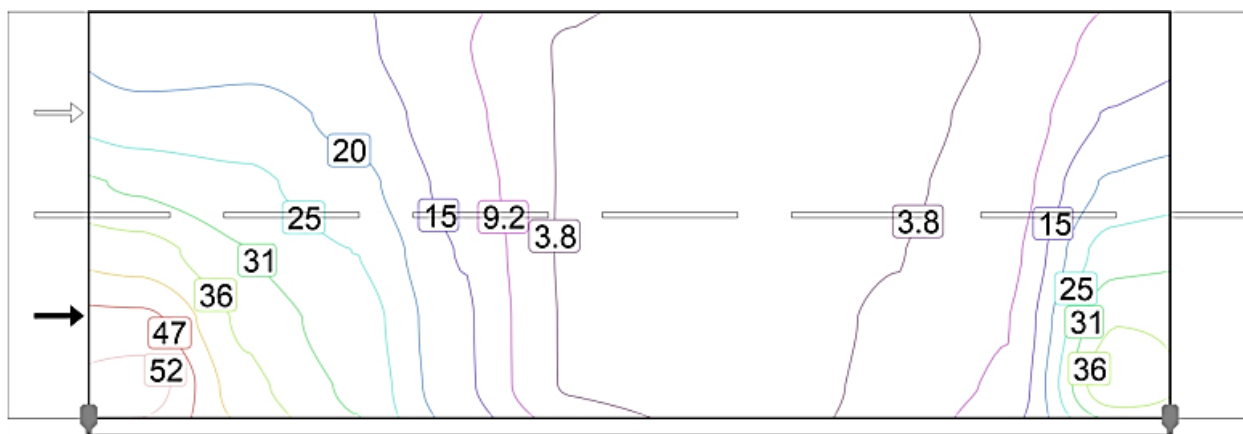


Рисунок 2 – Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника PHILIPS

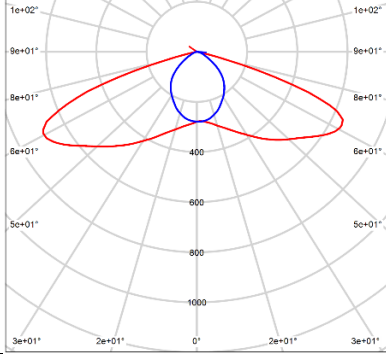
Таблица 2 – Результаты расчёта средней освещённости светильников GALAD и PHILIPS

	GALAD	PHILIPS
Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк	12,8	14,2
Нормируемая средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк	10 - 15	

Расчитанная средняя горизонтальная освещенность покрытия не выходит за пределы нормируемого значения (таблица 2), но распределение освещенности существенно отличается.

Для второго варианта расчёта (распределение освещенности по поверхности дороги при использовании светодиодных светильников различной мощности с одинаковым расстоянием между опорами) при сравнении были выбраны светодиодные светильники фирмы GALAD номинальными мощностями 60 и 160 Вт, паспортные данные которых приведены в таблице 3. На рисунках 3, 4 показаны результаты распределения освещенности по поверхности дороги с использованием выбранных светильников различной мощности. Полученные значения средней освещенности для светильников мощностью 60 и 160 Вт равны 12,8 и 34,0 лк соответственно.

Таблица 3 – Светотехнические характеристики светильников

	GALAD	GALAD
Номинальная мощность, Вт	60	160
Коэффициент мощности, не менее	0,96	0,96
Световой поток, лм	9000	24000
Цветовая температура, К	4000	4000
Тип КСС		
Световая отдача светильника, лм/Вт	150	150
Цветопередача	70	70
Степень защиты	IP66	IP66
Габариты ДхШхВ, мм	572x330x124	675x420x124

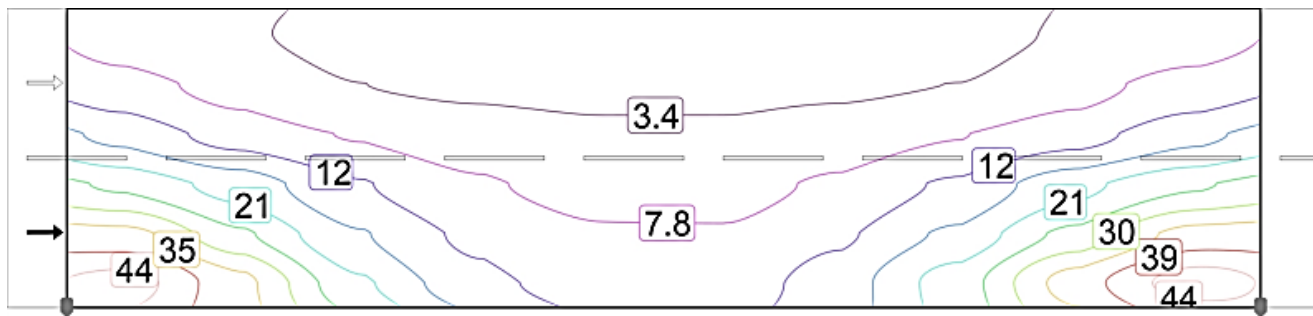


Рисунок 3 – Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника GALAD 60 Вт

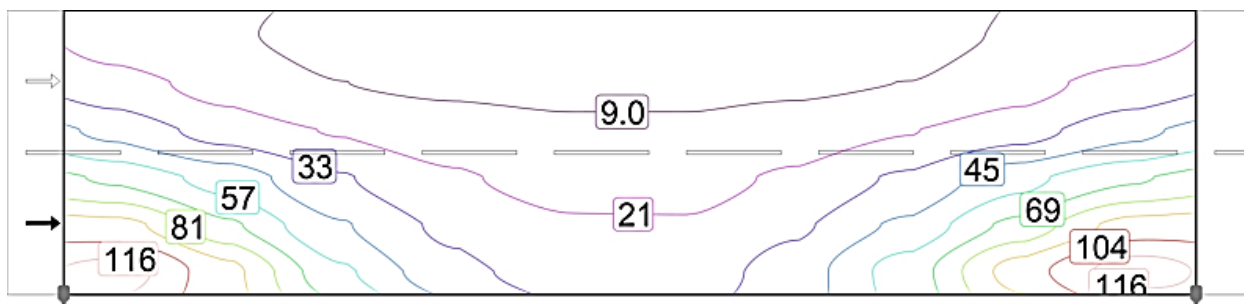


Рисунок 4 – Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника GALAD 160 Вт

Для третьего варианта расчёта (распределение освещенности по поверхности дороги при использовании светодиодных светильников различной мощности с различным расстоянием между опорами) были выбраны светильники номинальной мощностью 60 и 160 Вт с шагом между опорами 30 м и 80 м соответственно. Расстояние между опорами было подобрано таким

образом, чтобы параметр средней освещенности оставался неизменным и равным 12,8 лк.

Результаты данного расчёта представлены на рисунках 5, 6.

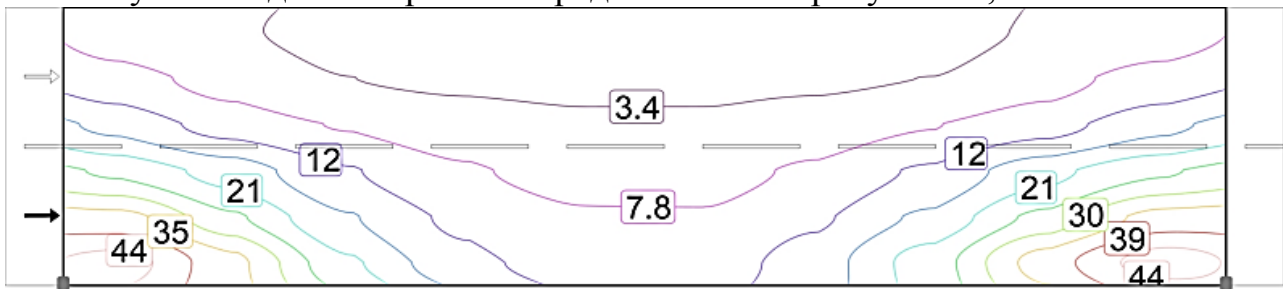


Рисунок 5 – Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника GALAD 60 Вт с расстоянием между опорами 30 м



Рисунок 6 – Распределение освещенности по поверхности дороги с использованием светильника GALAD 160 Вт с расстоянием между опорами 80 м

Проанализировав полученные рисунки 5 и 6, заметно значительное отличие распределения освещенности и наличие затемнения на рисунке 6.

Заключение

На основании полученных данных можно сделать выводы для трех вариантов расчётов:

- распределение освещенности по поверхности при использовании светильника GALAD выглядят лучше, т.к. КСС данного светильника вытянута вдоль дороги. Следствием этого является уменьшение затемненных участков и количества используемых светильников;
- распределение освещенности на дорожном покрытии не существенно изменяется при применении светильников большей мощности;
- затемнение в центральной части покрытия зависит от расстояния между источниками света.

Литература

1. Естественное и искусственное освещение: СН 2.04.03-2020. – Введ. 24.03.2021. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2021. – 86 с
2. Сайт компании «GALAD» [Электронный ресурс]/ Каталог светильников GALAD. – Режим доступа: <https://galad.ru/catalog/outdoor/street/>. – Дата доступа: 12.10.2021.
3. Сайт компании «PHILIPS» [Электронный ресурс]/ Каталог светильников PHILIPS. – Режим доступа: <https://www.lighting.philips.ru/prof.> – Дата доступа: 12.10.2021.

УДК 621.311

**БИОЭНЕРГЕТИКА
BIOENERGY**

В.Д. Тихно

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Tichno

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в данной статье рассмотрены процессы получения топлива и газа из биомассы, а также произведён анализ возможностей их использования для распределённой генерации в Республике Беларусь.

Abstract: this article discusses the processes of obtaining fuel and gas from biomass, and also analyzes the possibilities of their use for distributed generation in the Republic of Belarus.

Ключевые слова: распределённая генерация, альтернативные источники энергии, биомасса, биогаз.

Keywords: distributed generation, alternative energy sources, biomass, biogas.

Введение

Распределённое производство энергии подразумевает строительство источников электроэнергии в непосредственной близости от потребителей. Мощность таких источников выбирается исходя из ожидаемой мощности потребителя с учетом имеющихся ограничений (технологических, правовых, экологических и т.д.). При этом потребитель может работать как автономно, так и параллельно с энергосистемой.

Одним из наиболее перспективных видом источников энергии является биомасса (все органические вещества растительного и животного происхождения) и биогаз. Биомасса делится на первичную (растения, животные, микроорганизмы и т.д.) и вторичную (отходы при переработке первичной биомассы и продукты жизнедеятельности человека и животных).

Основная часть

Биомасса как альтернативный источник энергии имеет огромный потенциал, так как может использоваться без значительных затрат и применяться во многих отраслях хозяйствования.

Можно выделить три основных источника биомассы (рисунок 1).

Большая часть биомассы перерабатывается с помощью термохимических процессов: прямым сжиганием, пиролизом или газификацией.

Газификация — получение газа из твердого и жидкого исходного сырья.

Пиролиз осуществляется при нагревании сырья в отсутствие кислорода с образованием жидкого топлива, газов и древесного угля. Большое распространение получило преобразование биомассы (твердые бытовые отходы, древесная кора и др) в жидкое топливо пиролизом со ступенчатым испарением.

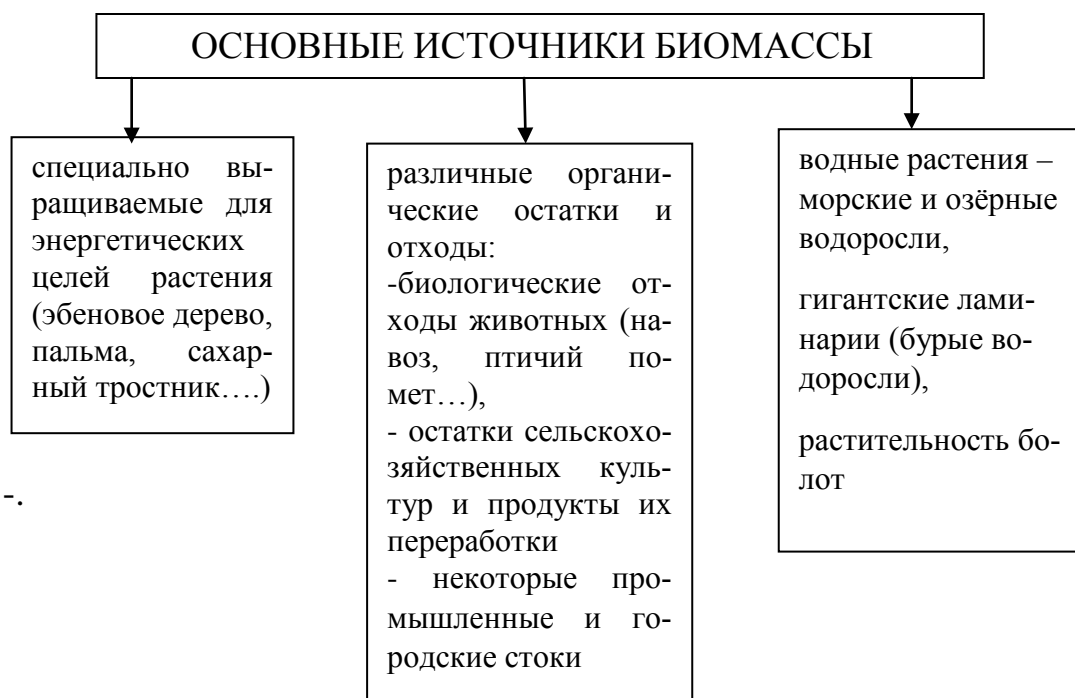


Рисунок 1 Основные источники биомассы

Биогаз вырабатывается в процессе брожения биомассы. Сырьем для данного процесса могут являться отходы сельскохозяйственного производства (навоз, остатки после забоя животных, остатки растительных компонентов), а также промышленные и бытовые стоки. В таблице №1 представлены параметры биогаза из различного сырья.

Таблица 1 – Биогазовая ценность из различного сырья

Наименование сырья	Содержание сухого вещества, %	Содержание органического сухого вещества, %	Биогазовая ценность, м ³ биогаза из тонны	Содержание метана, %	Длительность проведения испытаний, суток
Жир	45,03	93,56	881	62	60
Сахар	99,97	99,96	718	59	64
Отходы производства комбикормов	68,75	93,05	483	54	61
Мясные отходы	32	98,4	425	67	64
Птичий помет	66,38	80,17	334	55	60
Активный ил с очистных	21,84	87,87	124	62	60
Мусор	27,87	95,27	114	56	63
Промстоки	1,21	57,85	7	61	60

Сырьё загружают в реактор, где оно смешивается с живыми микроорганизмами. В процессе разложения участвуют гидролизные, кислотообразующие и метанообразующие бактерии. Они запускают анаэробное брожение, которое происходит в четыре этапа:

Далее биогаз собирается под куполом реактора в газгольдере, а затем поступает в когенерационную установку для получения электрической и тепловой энергии. Однако перед подачей газа в когенерационную установку его необходимо очистить, т.к. неочищенный биогаз содержит примеси, а количество метана варьируется от 45 до 70%.

Необходимо поддерживать определенные параметры влажности и температуры в реакторе для анаэробного брожения. Полная переработка отходов происходит при температуре 35-38 °С. Также необходима постоянная поставка сырья. Для перемешивания используют тихоходные мешалки специальной конструкции.

Получение биогаза из отходов является безотходным процессом и занимает 40-60 дней. После завершения брожения, остается сухой и жидкий продукт без запаха, содержащий большое количество минеральных веществ, которые можно использовать в качестве органических удобрений

Заключение

Таким образом биотопливо является доступным, экологичным способом получения энергии в различных областях промышленности и сельского хозяйства. Наиболее перспективными направлениями получения биотоплива для Беларуси:

- Первичное древесное топливо (лесосечные отходы....);
- Вторичное древесное топливо (гранулы, пеллеты, ...);
- Недревесные биомассы (солома, отходы растениеводства....).
- Биогаз из различной биомассы
- Жидкие виды биотоплива, например, биоэтанол,

Литература

1. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. — СПб.: Наука и Техника, 2014. — 320 с.
2. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина; Отв. ред. Г.С. Голицын. — М.: Наука, 2004. - 159 с. ISBN 5-02-033065-5 (в пер.)
3. Центр экологических решений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecoidea.by/ru/article/2673>. – Дата доступа: 16.01.2020.

УДК 621.311

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СМЕШАННЫХ ТКО
ANALYSIS OF EXISTING TECHNOLOGIES FOR
THE ENERGY USE OF MSW

А.М. Галкин, В.И. Кондратенко

Научный руководитель – В.В. Сталович, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г.Минск

A. Halkin, V. Kondratenko

Supervisor – V. Stalovich, Senior Lecturer

BelarusianNationalTechnicalUniversity, Minsk

Аннотация: В данной научной работе будет рассмотрено использование ТКО и продуктов его переработки в качестве энергетического ресурса. Даны документы, регулирующие сбор и использование ТКО, показывающие перспективы его переработки и использования в Республике Беларусь. Показаны различные варианты использования ТКО.

Abstract: This scientific paper will consider the use of MSW and products of their processing as an energy resource. The documents regulating the collection and use of MSW are given, showing the prospects of its processing and use in the Republic of Belarus. Various options of MSW utilization are shown.

Ключевые слова: ТКО, отходы, переработка, энергетика.

Keywords: MSW, waste, recycling, energy.

Введение

Одним из последствий жизнедеятельности человека является производство огромного количества ТКО - твёрдых коммунальных отходов. В их число входят органические фракции, бумага, картон, полимеры, древесина, садовые отходы, черные и цветные металлы, стекло, кожа, резина и т.д. Из-за роста численности населения и расширения городов проблема утилизации ТКО становится всё более актуальной. Самым простым и наиболее дешёвым решением данной проблемы является использование мусорных полигонов, однако, данное решение является неэкологичным, неэстетичным, а также упускается возможность переработки вторичных материальных ресурсов.

В Республике Беларусь за последние годы был принят ряд нормативных документов, в том числе комплексы мер и концепции по обращению с отходами, а именно:

- Комплекс мер по выполнению поручений Главы государства по обращению с отходами утвержденного Заместителем Премьер-министра Республики Беларусь Сиваком А.А. от 11.03.2021 г. № 04/203-94/96. В нём указаны мероприятия по повышению эффективности действующей системы обращения с ТКО и внедрению новых технологий и методов по сбору и использованию ТКО.
- Концепция создания объектов по сортировке и использованию твёрдых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения, утверждённая

постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.10.2019 г. №715. Цель данной концепции – создание сети экологически безопасных и экономически эффективных объектов по переработке и использованию ТКО[3].

- Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования утверждённая постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22.08.2016 г. № 664. Цель концепции – внедрение технологии и оборудования по производству RDF-топлива и его последующее применение.
- Национальная стратегия по обращению с твёрдыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь утверждённая постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 №567. Её цель – минимизировать вредное воздействие ТКО на здоровье человека и окружающую среду.
- Закон Республики Беларусь об обращении с отходами. В нём отражены государственное регулирование и управление, контроль и надзор в области обращения с отходами, классификация отходов и обращение с ними.

На сегодняшний день также действует Указ Президента Республики Беларусь о некоторых вопросах обращения с отходами потребления от 11.07.2012 №313 изданный в целях сокращения объемов захоронения отходов потребления и повышения уровня вовлечения в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов. Его дополняют постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 21.09.2015 №26 и постановление Совета Министров Республики Беларусь 31.07.2021 №708[2].

На основании анализа действующих нормативных документов можно уверенно говорить о том, что вопросам обращения с ТКО и их использованию уделяется особое внимание, в том числе на уровне Главы государства. Республика Беларусь уже в плотную подошла к реализации комплекса мер по использованию ТКО, в частности к их энергетическому использованию.

Основная часть

Рассмотрим наиболее распространенные варианты технологий по энергетическому использованию смешанных ТКО, а также их основные достоинства и недостатки.

Прямое сжигание ТКО может осуществляться различными способами (сжиганием на колосниковой решетке, сжиганием в печах вихревого кипящего слоя, сжиганием в печах шлакового расплава и др.).

Сжигание на колосниковой решетке осуществляется в топочном устройстве специального котлоагрегата, конструкция которого рассчитана различные свойства мусора. На движущейся решетке отходы сжигаются при температуре примерно 900-1000 °С. ТКО сгорают в присутствии воздуха, подаваемого из нижней части печи. Зола и негорючие отходы сбрасываются с конца решетки и выгружаются поле сжигания (рисунок 1)[5]. Часть золы уходит с дымовыми

газами и оседает на фильтрах. Согласно данным предшествующих лет общемировой практики, такой тип сжигания составляет больше 70 процентов от всех распространенных видов энергетического использования ТКО.

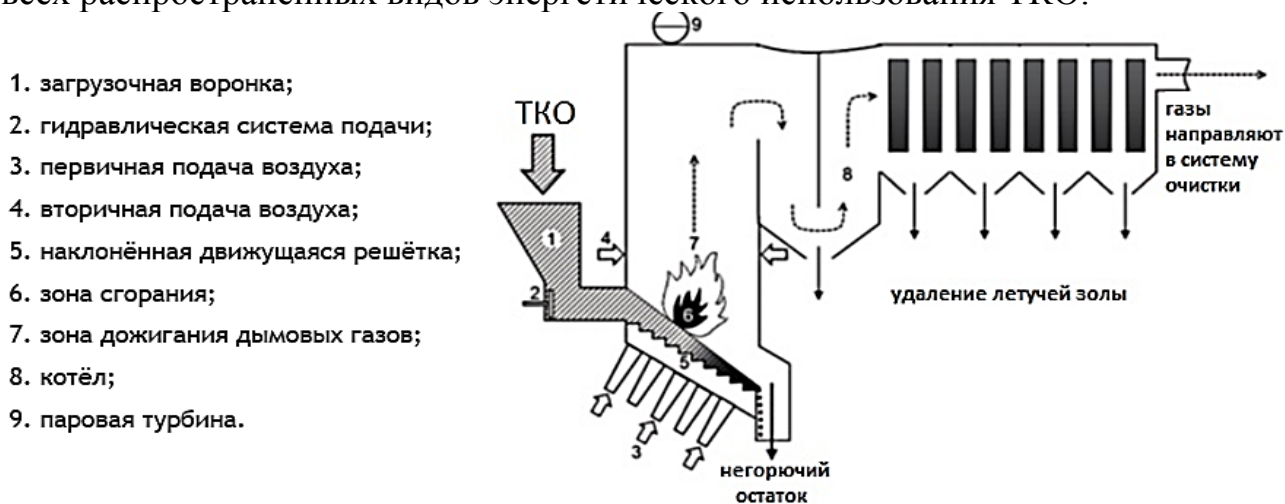


Рисунок 1 – Устройство котла по сжиганию ТКО

Основные достоинства прямого сжигания следующие:

- производительность (уменьшение начальных ТКО на 95-96 %, в зависимости от состава отходов и степени извлечения из них полезных материалов);
- уменьшение объемов отходов, которые образуются в особых отраслях промышленности (медицинские и другие опасные отходы), подлежащих специальному захоронению;
- получаемый шлак может быть переработан для выделения металлических остатков. Этот же остаток может перерабатываться и быть использован в создании безопасных стройматериалов);
- пехнический прогресс в этой области достигнул значительных результатов, вследствие чего отходящие газы имеют экологически допустимое качество.

Основным недостатком прямого сжигания является то, что уходящие газы содержат в себе большое количество высокотоксичных соединений, в связи с чем температура сжигания должна поддерживаться на уровне больше 850 °С, а с увеличением отходов хлорсодержащих материалов, не менее 1150 °С, что увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты.

Газификация – процесс распада органических углеродистых материалов при высокой температуре, образуя при этом топливный газ или по-другому синтез-газ.

Виды газификации:

- пиролиз(600-800 °С);
- газификация с воздушным дутьем (800-1800 °С);
- плазменная газификация (2000-2800 °С).

Пиролиз и плазменная газификация не применяются в больших масштабах по причинам, связанным с низкой экологичностью и эффективностью данных

методов. Поэтому наиболее распространенным методом является газификация с воздушным дутьем.

Типовые установки газификация с воздушным дутьем работают при температурах около 800-1000 °С, используя в качестве реагента воздух, водород, кислород и пар. Наиболее эффективна работа установки на RDF-топливе (подготовленное топливо пониженной влажности и повышенной однородностью). Получаемый синтез-газ в процессе газификации может использоваться в дальнейшем для получения как тепловой, так и электрической энергии, путем его сжигания в котлах.

Основные достоинства газификации ТКО те же, что и при их прямом сжигания, однако получаемые синтез-газ будет иметь большую калорийность, чем сами отходы. Также возможно сжигать хлорсодержащие отходы (достигается температура сжигания, уничтожающая все соединения хлора).

Основными недостатками газификации ТКО является:

- необходимость в повышенном объеме реакционной зоны, что ведет к удорожанию самой установки;
- процесс газификации является экологически опасным из-за возможного окисления токсичных соединений, что требует дорогостоящих процессов очистки;
- затрудненная транспортировка синтез-газа и необходимость его применения по месту получения.

Сортировка ТКО с извлечением вторичных материальных ресурсов и производством RDF-топлива из остатков («хвостов»)

RDF-топливо – топливо, состоящее из отсортированных отходов. При изготовлении RDF-топлива, заранее из отходов извлекаются вторичные материальные ресурсы (бумага, картон, полимеры, черные и цветные металлы, стекло, строительные материалы и т.д.), а также органические отходы. Все, что остается, используется в качестве сырья для топлива. После прессовки в брикеты получается само топливо.

После сортировки отходов, для получения топлива с более высокой калорийностью, необходимо уменьшить его уровень влажности, что достигается путем сушки (как вариант, биосушки), что в итоге улучшает качество переработки отходов и улучшает их теплотворную способность.

Следует отметить, что наиболее эффективным является сжигание RDF-топлива при высоких температурах (более 1100 °С), так как при высоких температурах этот вид топлива наиболее экологичен и способен гореть.

В современных условиях, RDF-топливо выгодно использовать в качестве основного или дополнительного топлива в печах цементных заводов, так как рабочая температура в них поддерживается на уровне 1500 °С. Тем более в этих печах и зола автоматически переходит в состав шлака или цемента. Расходы на топливо и электроэнергию на таких предприятиях около 40% затрат на изготовление самого цемента, поэтому целесообразно использовать альтернативный вид топлива, получаемое из отходов.

Что касается распространения использования альтернативного вида топлива, то ведущими странами в этой области являются Бельгия, Нидерланды, Финляндия.

Из недостатков использования RDF-топлива в качестве основного, следует отметить, что при нарушении технологии сжигания будет нанесен огромный вред экологии. Поэтому контроль от самого начала его производства, а именно сортировки отходов, и до самого конца должен быть строжайшим[4].

Заключение

Энергетическое использование ТКО (как переработанного, так и нет) в конечном счёте является экологически выгодным решением, а при правильном выборе технологии и экономически выгодны. Энергетическое использование ТКО достаточно распространено в мире в том или ином виде, что позволяет выбрать наиболее предпочтительный вариант для Республики Беларусь с учётом всех преимуществ и недостатков существующих технологий. Принятые документы по развитию рационального обращения с отходами и их использования влекут за собой смещение экономики страны в сторону циркулярной экономики[1].

Литература

1. Михаленко. Циркулярная экономика как модель будущего [Текст] / Михаленко, Климова, Маньковский // Банкаўскі вестнік. – 2020. - № 12. – С. 42-51.
2. Указ Президента Республики Беларусь о некоторых вопросах обращения с отходами потребления от 11.07.2012 №313 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.mjkk.gov.by/vtorichnye-mat-resursy/item/476-ukaz-313>
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.10.2019 г. №715 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C21900715_1572037200.pdf
4. Сам себе бензовар: чем опасно топливо из мусора? [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://этна-регионы.рф/problems/rdf-toplivo-2.html>
5. Сталинский, Д.В. Стратегия рациональной утилизации ТКО [Текст] / Д. В. Сталинский, А. З. Рыжавский, А. С. Рудюк, А. В. Зимогляд // Твёрдые бытовые отходы. – 2017. - № 8. – С. 44-47.

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ В БЕЛАРУСИ**
APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN BELARUS

Е.Д. Самутичева

Научный руководитель – Д.М. Смоловская, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Samuticheva

Supervisor – D. Smolovskaya, assistant
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Описание применения альтернативных способов получения электроэнергии на примере самой крупной и инновационной для Беларуси фотоэлектрической станции для производства электрической энергии в Чериковском районе Могилевской области мощностью 109 Мвт.*

***Annotation:** Description of the use of alternative methods of generating electricity on the example of the largest and most innovative for Belarus photovoltaic station for the production of electrical energy in the Cherikovskiy district of the Mogilev region with a capacity of 109 MW.*

***Ключевые слова:** инверторы, солнечные панели, фотоэлементы, ФЭС*

***Keywords:** inverters, solar panels, photocells, photovoltaic power plants*

Введение

Вследствие технологического прогресса наш мир столкнулся с проблемой нехватки ресурсов. Солнце – неисчерпаемый источник энергии, который начали активно использовать для получения энергии еще в начале 20-го века. Фотоэлектротехника (далее ФЭС) является достаточно простым способом получения солнечной энергии. ФЭ устройства можно назвать уникальными, в том плане, что преобразование падающего солнечного излучения в электроэнергию происходит напрямую, без шума, загрязнений, использования движущихся частей, что делает их надежным и долговечным источником энергии. Именно поэтому применение солнечных автономных электростанций стало очень популярно в ряде экономически развитых стран с подходящими для этого погодными условиями.

Основная часть

Солнечная энергетика сегодня является одной из самых перспективных отраслей возобновляемой энергетики. Выработка энергии происходит с помощью специальных элементов, преобразующих солнечную энергию в энергию тепловую либо электрическую. Преобразование в электричество происходит с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах (р-п переходах) при воздействии на них солнечного излучения. Солнечные элементы (СЭ) изготавливаются из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Большая часть из коммерчески выпускаемых

СЭ изготавливается из кремния (химический символ Si). Кремний это полупроводник. Он широко распространен на земле в виде песка, который является диоксидом кремния (SiO_2), также известного под именем "кварцит". СЭ может быть следующих типов: монокристаллический, поликристаллический и аморфный (тонкопленочный). Солнечный элемент производит электричество, когда он освещается светом. В зависимости от интенсивности света (измеряемой в $\text{Вт}/\text{м}^2$) солнечный элемент производит больше или меньше электричества

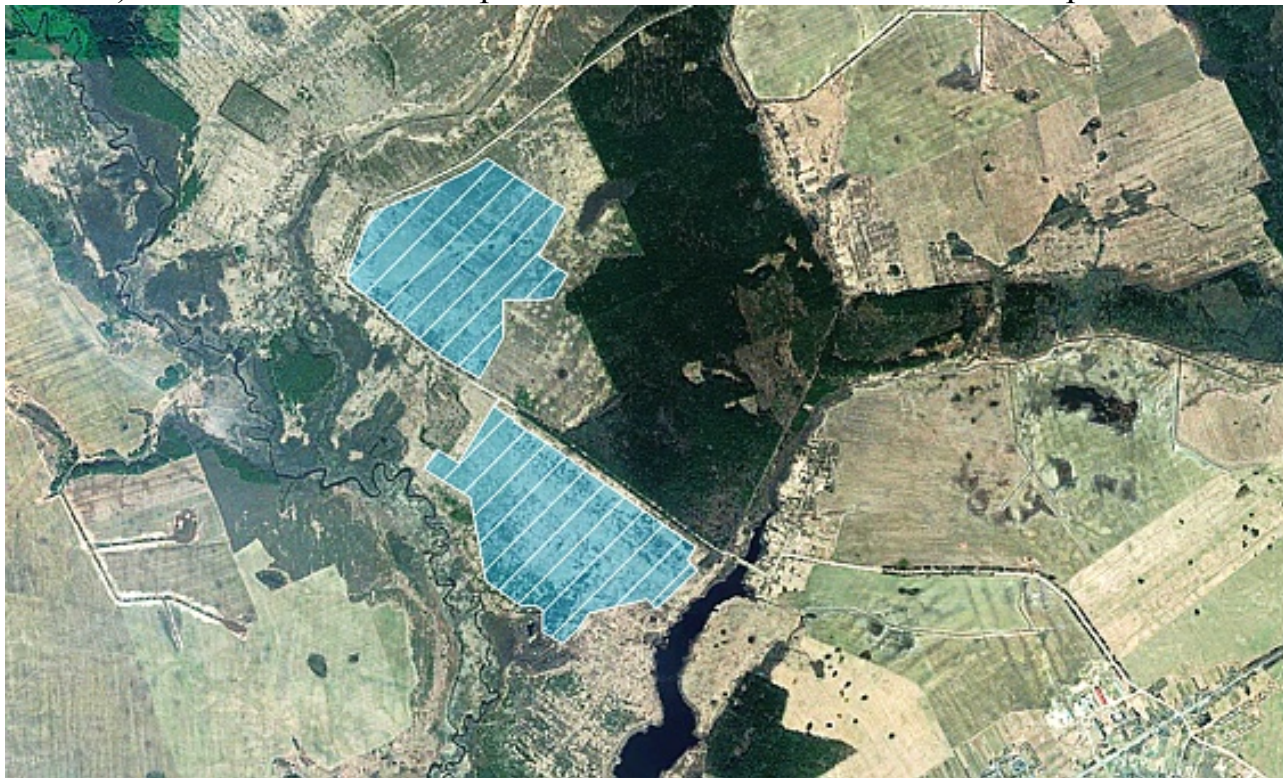


Рисунок 1 – Чериковская ФЭС

Фотоэлектрическая станция (ФЭС) предназначена для выработки электрической энергии за счет естественного солнечного излучения. Максимальная установленная мощность ФЭС составляет 109 МВт.

Принцип работы солнечного парка основан на преобразовании солнечной энергии в постоянный ток в фотоэлектрических модулях. Далее постоянный ток преобразуется в инверторах в переменный, трансформируется на напряжении 20 кВ, передается по КЛ-20 кВ на ПС-110 кВ «Речица». На ПС-110 кВ «Речица» преобразуется на напряжение 110 кВ и выдается в сеть РУП «Могилевэнерго».

При выборе уставок срабатывания проектируемых устройств РЗА учтено два основополагающих определения:

- Фотоэлектрический элемент ФЭС не является источниками тока короткого замыкания, так как не имеет запасенной энергии, а кратковременно подпитывает место короткого замыкания величиной не более 110% собственного вырабатываемого тока в данный момент времени.
- Работа ФЭС возможна только параллельно с энергосистемой, при исчезновении напряжения в сети происходит автоматическое отключение инверторной станции

Инверторы ФЭС оснащены встроенной делительной защитой, защитой от перегрузки, защитой от перенапряжений по цепям переменного и постоянного тока. Имеют защиту по отклонению напряжения и частоты в питающей сети.

Отключения сети выявляются, как правило, двумя алгоритмами слежения, реализованными в инверторах:

- «Пассивное» слежение обнаруживает кратковременные изменения частоты и использует эту информацию для того, чтобы решить имеется ли сеть.
- При этом, в случае, если оставшаяся нагрузка потребителей, выделенных на питание от солнечного парка, окажется равна в генерируемой мощности в момент после выделения, «пассивное» слежение может не выявить отключение сети. Для выявления этого режима используется дополнительно второй алгоритм.

Для проверки наличия сети используется контроль колебания реактивной мощности (RPV). В режиме RPV в сеть вводится слабый сигнал импульсного типа и используется пассивный метод для контроля изменений скорости увеличения или уменьшения частоты.

Таким образом, для ФЭС в отличие от других генерирующих источников, не требуется применения специальных дополнительных устройств делительной автоматики, так как подпитка места короткого замыкания в течении времени более секунды невозможна по принципу действия преобразования постоянного напряжения в переменное частотой 50Гц инверторной станцией.

В качестве аналога, в проекте были выбраны стринговые инверторы производства компании Huawei, типа SUN2000-33KTL с единичной полной мощностью на стороне переменного тока 33 кВт. Инверторы относятся к безтрансформаторному типу и являются ведомыми сетью.

Инверторы оснащены встроенной делительной защитой, защитой от перенапряжений по цепям переменного, постоянного тока и интерфейсным цепям. Имеют защиту от обратной полярности, защиту от превышения/снижения напряжения и частоты. Оснащены системой мониторинга состояния фотоэлектрических модулей, включая контроль изоляции, техническим учетом выработанной электроэнергии, групповым/индивидуальным регулятором активной и реактивной мощности. Имеют светодиодные индикаторы режимов работы и различные телекоммуникационные интерфейсы для возможности их интеграции в систему мониторинга и управления ФЭС. Для удобства обслуживания и безопасности предусмотрена возможность создания видимого разрыва на стороне постоянного и переменного тока, а также оперативной его замены на заведомо исправный инвертор. Тип охлаждения инвертора – естественное.

В качестве фотоэлементов используются модули типа JAP72S01 335W/SC (335W), которые собираются последовательно-параллельно для обеспечения номинального напряжения и мощности инвертора.

Ряды солнечных модулей занимают практически всю территорию площадки ФЭС. Закрепление солнечных модулей предусматривается на монтажных столах (крепёжная конструкция с погружаемыми основаниями) в наклонном положении

с двухрядной портретной компоновкой. Поставка монтажных столов осуществляется комплектно с солнечными модулями.

Известно, что фотоэлементы не являются источником тока короткого замыкания в классическом понимании, например, как синхронные генераторы. Это же подтверждено изготовителем солнечных батарей. В электрических параметрах при номинальном токе модуля (335W), равном 8,87 А, указано, что ток короткого замыкания составляет 9,35 А, что на 5,0% больше номинальных электрических параметров модуля.

Заключение

Конечно, в Беларуси подобные технологии, (на данный момент успешно использующиеся в других странах с более подходящими погодными условиями), ещё не получили широкого распространения. Однако энергетика стремительно развивается, сменяются подходы к строительству объектов, прибегая к новым, усовершенствованным технологиям. Именно поэтому сегодня мы можем говорить не только о единичных солнечных батареях, используемых в частных целях, но и о ФЭС на территории Беларуси.

Литература

1. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aes.by/catalog/solar/>. – Дата доступа: 18.10.2021.
2. Powertechnology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.power-technology.com/products/montrano/> – Дата доступа: 19.10.2021.
3. Энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forca.ru/stati/podstancii/vyklyuchatel-razedinitel-dcb.html> – Дата доступа: 19.10.2021.
4. Энергетические технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energoeffekt.gov.by/news/news-2017/20171102_new0 Дата доступа: 19.10.2021.

УДК 628.931

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОФИСНОГО ПОМЕЩЕНИЯ
LIGHTING CALCULATION OF OFFICE PREMISES**

А.В. Голубев

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Golubev

Supervisor – M. Pratasenia, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Цель исследования – рассмотреть возможности программного комплекса DIALux, нацеленного на максимальное упрощение светотехнических расчетов. В статье показан пример расчета освещения офисного помещения.

Abstract: The purpose of the study is to examine the capabilities of the DIALux software package, aimed at maximizing the simplification of lighting calculations. The article shows an example of calculating the lighting of an office space.

Ключевые слова: DIALux, программный комплекс, расчет, освещение, проектирование.

Keywords: DIALux, software package, calculation, lighting, design.

Введение

По трудоемкости светотехнические расчеты являются одними из самых трудоемких в проектировочных расчетах электроснабжения. Одновременно они и одни из наиболее массовых в строительстве.

Программный комплекс DIALux («Диалюкс») направлен на максимальное упрощение светотехнических расчетов и повышение функциональности для всех производителей светотехнической продукции. Эта программа разработана DIAL GmbH - Немецким Институтом Прикладной Светотехники для планирования и дизайна освещения, она распространяется бесплатно и может использовать данные светильников любых изготовителей.

При светотехническом расчете требуется определить число и мощность светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности.

Программа обучена при расчете учитывать световой поток, приходящийся на рабочую поверхность от источника света, а также световой поток преломляющийся и отражающийся, который попадает на рабочую поверхность от стен, потолка, расстановки мебели в помещении. Также она учитывает отражающие свойства всех этих поверхностей.

Основная часть

По заданию исследования в нашей работе требовалось выполнить светотехнический расчет и выбор светильников для офисного помещения, план которого представлен на рисунке 1.

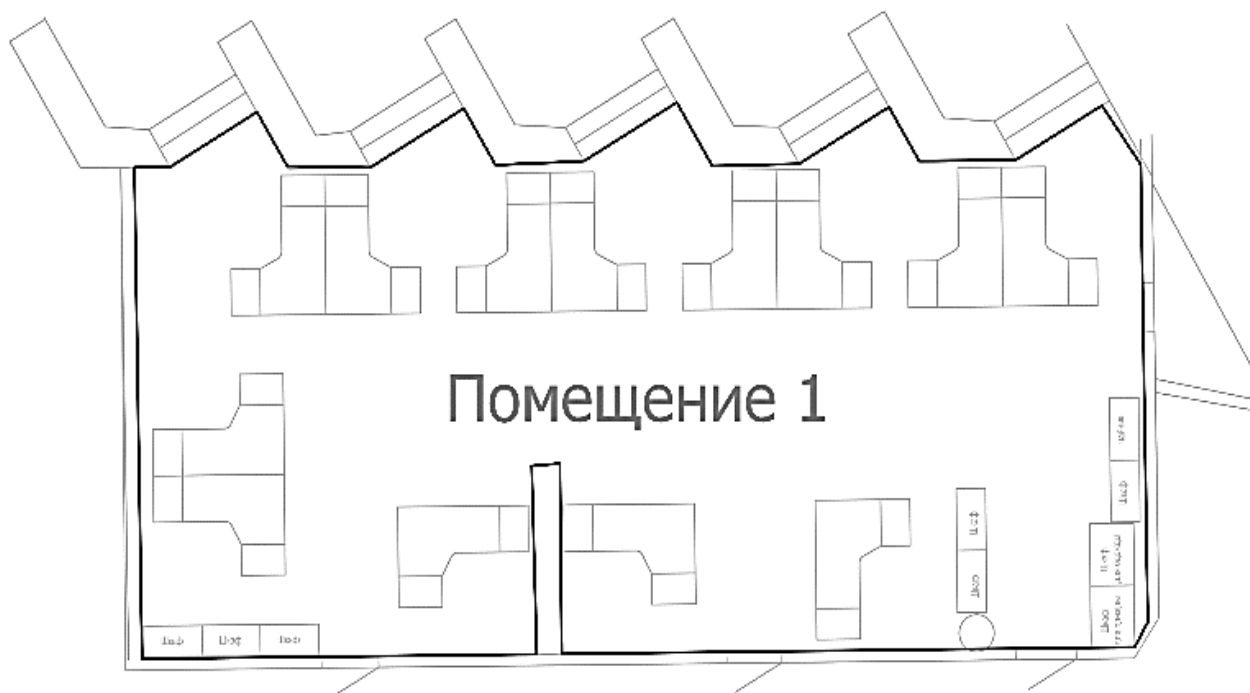


Рисунок 1 – План помещения

Для проектирования освещения была использована программа Dialuxevo. Расчет проводился по следующему плану:

- Определение нормированной освещенности согласно СН 2.04.03-2020 $E_n=300$ лк на высоте 0.8 м от пола;
- Определение степень защиты светильников по ПУЭ не менее IP-20;
- Нахождение коэффициента запаса для заданного помещения. Исходя из эксплуатационных групп светильников, по СН 2.04.03-2020 $K_3=1,4$;

Вывод: По данным требованиям из каталога продукции Belintegra 2020 были выбраны светильники. Перечень светильников представлен на рисунке 2.

шт.	Производитель	№ изделия	Название артикула	P	Ф	Светоотдача
15	Belintegra		ДПО 12-17-111.04 on. (418) LITE C	21.0 W	2550 lm	121.4 lm/W
1	Belintegra		ДПО 12-17-111.04 on. (418) LITE C	21.0 W	2000 lm	95.2 lm/W
7	Belintegra		ДПО 12-17-113.04 on. (218) RUBIN B_1	20.0 W	1899 lm	94.9 lm/W

Рисунок 2 – Перечень светильников

Результаты проектирования с использованием программы представлены на рисунке 3. Они представляют план размещения светильников в помещении:

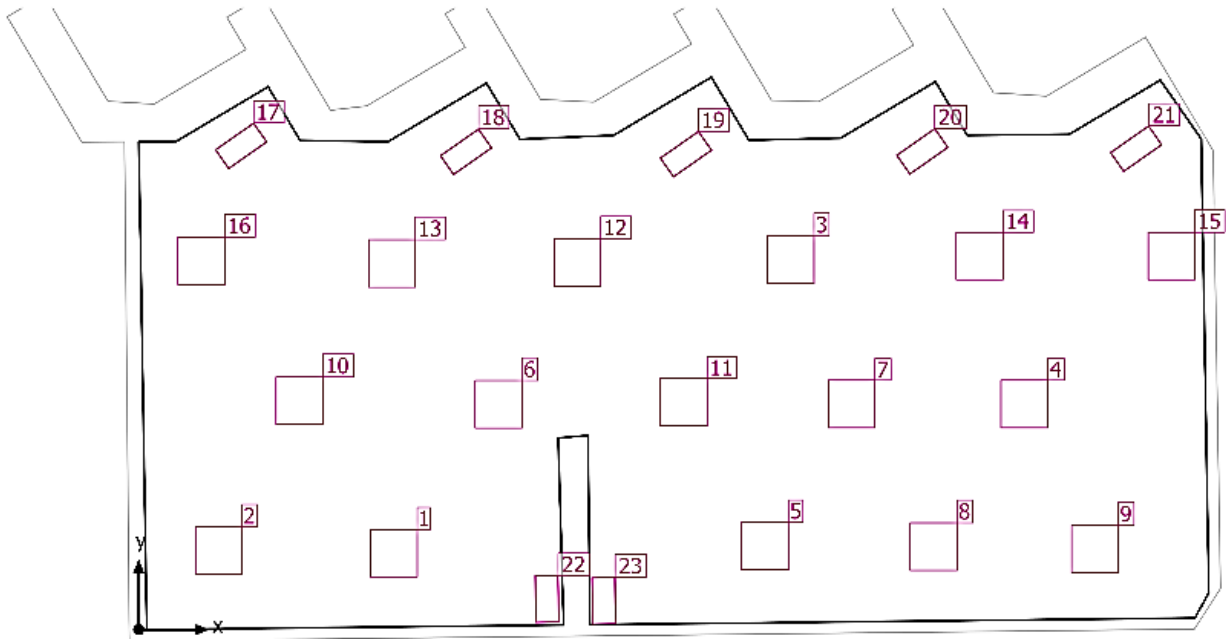


Рисунок 3 – Расположение светильников в помещении

Далее программа позволяет визуализировать уровень освещенности на плане помещения с прорисовкой линий освещенности. План представлен на рисунке 4.

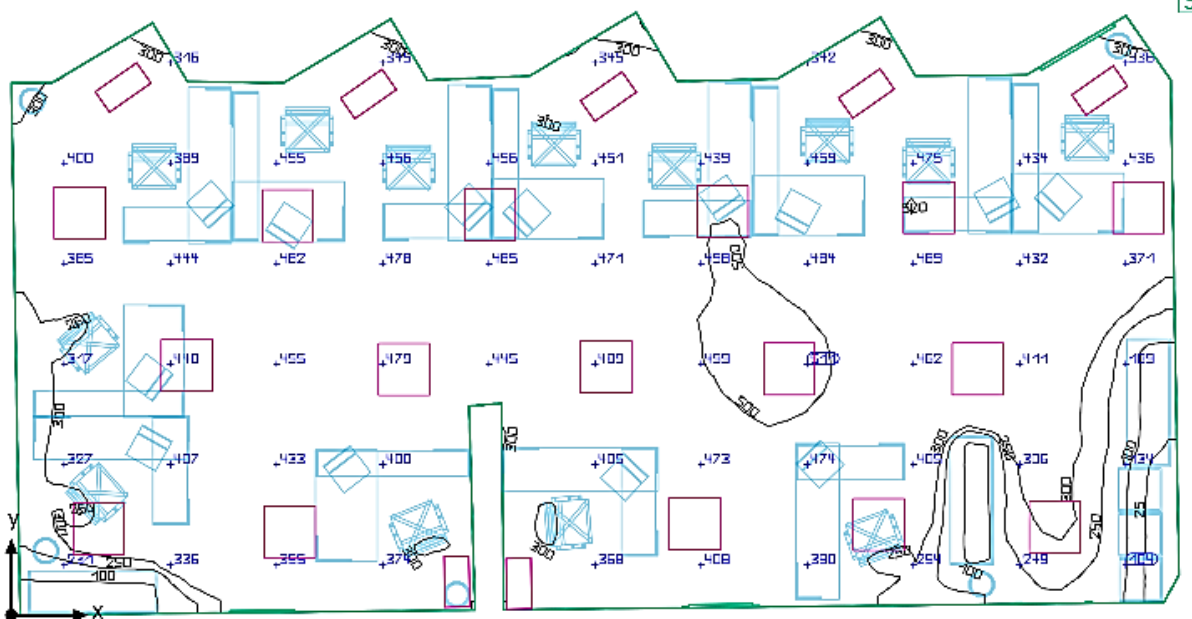


Рисунок 4 – Визуализация освещенности

Кроме этого, программа позволяет выполнить трехмерную визуализацию освещения в цвете. Проект представлен на рисунке 5.

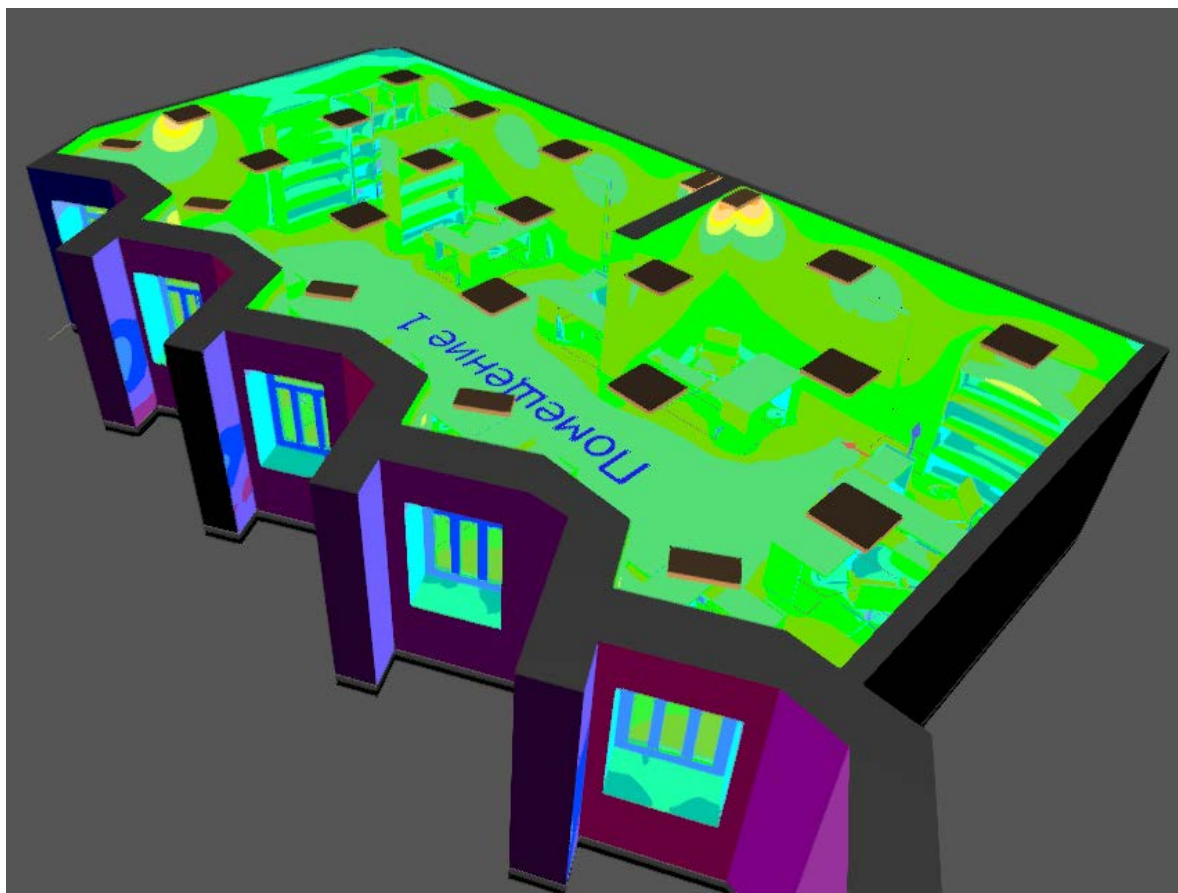


Рисунок 5 – Трехмерная визуализация освещения

Заключение

Для проектировщиков освещения программа «Диалюкс» является незаменимым помощником, инструментом, который помогает решить любую задачу в полном соответствии со стандартами освещения. Ее можно использовать как для внутренних помещений, так и для наружного освещения улиц, а также получить фотореалистичную визуализацию проекта, что делает работу дизайнеров, проектировщиков освещения и электриков легче и намного эффективнее.

Литература

1. СН 2.04.03-2020 Естественное и искусственное освещение
2. Программа DIALux [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://www.mdm-light.ru/>. – Дата доступа: 24.10.2021.

УДК621.3

**ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ: РЕГУЛИРОВКА С
ПОМОЩЬЮ ШИМ, CCR, DALI, DMX, 0-10V
LIGHTING CONTROL TECHNOLOGIES: DIMMING LED LIGHTS WITH
PWM, CCR, DALI, DMX, 0-10V**

Ю.И. Богданов, А.С. Пильник

Научный руководитель – В.Б. Козловская к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Bogdanov, A.Pilnik

Supervisor – V. Kozlovskaya, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: светодиод, драйвер, управление, протокол, регулировка.

Abstract: LED, driver, control, protocol, dimming.

Ключевые слова: регулировка, ШИМ, CCR, DALI, DMX, 0-10V.

Keywords: dimming, PWM, CCR, DALI, DMX, 0-10V.

Введение

Светодиоды — это устройства, которые производят свет, когда через них протекает электрический ток. Поскольку светодиоды не работают от переменного тока, драйверы светодиодов используются для преобразования тока сети в постоянный ток низкого напряжения, необходимый для светодиодов. Также задача драйверов состоит в том, чтобы регулировать ток, протекающий через светодиоды, и позволять соответствующим образом изменять светоотдачу. Процесс регулировки состоит из двух этапов: схема регулировки освещением или управляющее устройство отправляет запрос на регулирование в виде управляющих сигналов драйверу, который затем интерпретирует управляющий сигнал и регулирует нагрузку на светодиоды в соответствии с запросом.

Драйверы светодиодов можно настроить для регулирования светодиодов двумя способами:

- Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)
- Уменьшение постоянного тока (CCR)

Наиболее часто используемые методы инициирования сигнала от диммера к драйверу:

- 2-Проводный (Прямая фаза)
- 2-Проводный (Обратная фаза)
- 3-Проводный
- 4-проводный (0-10 В)
- Цифровой Адресуемый Интерфейс Освещения (DALI)
- Цифровой мультиплексор (DMX)

Основная часть

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)

Широтно-импульсная модуляция переключает ток светодиода на высокой частоте между 0 и номинальным выходным током для регулировки яркости

светодиода. Непрерывный поток импульсов модулируется на частоте, достаточно высокой, чтобы быть незаметной для человеческого глаза или даже для высокоскоростных видеокамер. Регуляция освещения с широтно-импульсной модуляцией может использоваться для светодиодных матриц, которые работают либо с драйверами постоянного напряжения (CV), либо с драйверами постоянного тока (CC).

Драйвер ШИМ будет управлять светодиодами только при номинальном уровне прямого тока или нулевом. Таким образом, цветовая температура светодиодов поддерживается во всем диапазоне регулирования света. Согласованная цветовая температура упрощает процесс смешивания цветов. Таким образом, ШИМ-управление особенно эффективно для задач полноцветной настройки RGB. ШИМ также является энергоэффективным методом модуляции тока, поскольку он периодически переключается между током полной амплитуды и нулевым током, тем самым сокращая время работы светодиодов.

Основным недостатком ШИМ-управления является то, что высокочастотное переключение может создавать электромагнитные помехи (EMI) и слышимый шум. Кроме того, драйверы ШИМ нельзя устанавливать дистанционно, так как изменения емкости и индуктивности из-за увеличения расстояния передачи могут привести к помехам при управлении высокой частотой.

Уменьшение постоянного тока (CCR)

Уменьшение постоянного тока (CCR) или аналоговое затемнение изменяют светоотдачу светодиодов, регулируя непрерывный ток, поступающий на светодиоды. Величина светового потока примерно пропорциональна току, протекающему через светодиод. CCR решает фундаментальные проблемы, связанные с ШИМ регулированием, и может использоваться в задачах со строгими требованиями к электромагнитным помехам. Драйверы CCR невосприимчивы к емкости и индуктивности провода и могут монтироваться удаленно от источника света. Их более высокий предел выходного напряжения (60 В) в отличие от драйверов, использующих ШИМ (24,8 В), позволяет их использовать для сухих и влажных помещений. Без пульсации от быстро поднимающихся и опускающихся границ, как в случае с ШИМ-драйвером, драйверы CCR можно использовать в задачах фотографии, видеосъемки и машинного зрения, где скорость затвора камеры или скорость сканирования видео должны быть синхронизированы с частотой мерцания.

При более высоких токах световой поток светодиодного светильника, работающего на CCR, увеличивается не так быстро и не демонстрирует линейного изменения светового потока, из-за эффекта спада. При регулировании света с помощью CCR светодиоды работают ниже номинального тока. В результате может произойти изменение цвета. Неспособность обеспечить точную светоотдачу и цветовую температуру делает аналоговое регулирование неблагоприятным в задачах для смешивания цветов, где необходимо поддерживать точные уровни для каждого цвета. При очень низких токах (ниже 10%) аналоговое регулирование может работать плохо, и светоотдача может

изменяться. Поэтому обычно светодиодные светильники с драйверами ССR не регулируются до уровня ниже 10%.

Схемой регулирования света ССR можно управлять с помощью различных протоколов, включая 0-10 В, DALI и ZigBee. Однако ССR не работает с драйверами постоянного напряжения.

Методы инициирования сигнала от диммера к драйверу

Основная задача, связанная с регулированием освещения светодиодов, состоит в том, чтобы обеспечить плавную кривую яркости света в широком диапазоне, удовлетворяющую требованиям человеческого глаза и машинного зрения. Существует множество методик для управления освещением. Эти решения имеют соответствующие прикладные требования.

Фазовые регуляторы мощности

Фазовые регуляторы мощности работают, отключая часть сигнала переменного тока, чтобы ограничить величину напряжения и тока, подаваемых на светильник. Поскольку эти светорегуляторы обычно отключают фазу напряжения выше пика тока в соответствии с требованиями нагрузки, их часто называют диммерами с регулированием фазы или фазовым отключением. Этот тип схем управления светом особенно хорошо работает с лампами накаливания и другими осветительными приборами, которые создают резистивную нагрузку на диммер. Стоит отметить, что большинство светодиодных драйверов содержат реактивные компоненты, такие как катушки и конденсаторы, которые создают реактивную нагрузку на диммер. Если драйвер светодиода не предназначен для распознавания и реагирования на сигналы напряжения от схем фазового регулирования светом, регуляция светодиодов с обычными схемами управления, вероятно, приведет к нежелательным эффектам, например мерцанию. Диммеры с фазовым регулированием доступны в следующих категориях:

2-проводные диммеры прямой фазы используют высокоскоростное двунаправленное тиристорное устройство для вырезания части сигнала переменного тока на переднем крае каждой полусинусоидальной волны. Тиристорное устройство обычно представляет собой симистор (триод для переменного тока) или SCR (кремниевый управляемый выпрямитель), который способен переключать и регулировать мощность переменного тока в обоих направлениях синусоидальной формы. Для того чтобы симистор сохранял свое проводящее состояние, диммер должен быть включен с минимальным током удержания в диапазоне 30-50 мА. Светодиодный источник света может потреблять недостаточно тока для срабатывания симистора. В результате при подключении к симисторному диммеру светодиодная лампа может работать непоследовательно, и может возникать искра из-за того, что входная емкость заряжается пусковым током и относительно большим сопротивлением, вносимым светодиодами во входную линию. Поэтому только специально разработанные светодиодные драйверы могут использоваться с таким тиристорным устройством.

2-проводные диммеры обратной фазы первоначально были разработаны для управления электронными трансформаторами низкого напряжения (ELV), которые создают сигналы обратной фазы. Диммер обратной фазы отсекает часть

формы сигнала напряжения на задней кромке каждого полупериода питания входного сигнала. Диммер использует схему MOSFET или IGBT для отключения проводимости через заданное время после естественной нулевой точки световой волны переменного тока. Трансформаторы ELV обычно используются для работы ламп MR16. Для диммеров обратной фазы, работающих на трансформаторах ELV со светодиодной нагрузкой, должна быть предусмотрена достаточно большая резистивная нагрузка, чтобы соответствовать минимальным требованиям к мощности трансформаторов ELV. Входная емкость светодиодной нагрузки должна быть уменьшена до минимума, чтобы предотвратить высокий повторяющийся пиковый ток, протекающий от трансформатора к нагрузке.

3-проводные диммеры прямой фазы имеют отдельный провод линейного напряжения, который передает сигнал затемнения управления фазой. Наличие этого электрического обратного пути делает диммеры менее восприимчивыми к электрическим помехам и позволяет драйверам оставаться синхронизированными с входной формой сигнала переменного тока. Светодиодный драйвер должен быть специально рассчитан для 3-проводной схемы управления.

4-проводное (0-10 В) управление светом

Управление 0-10 В представляет собой 4-проводную схему, которая использует аналоговый сигнал низкого напряжения для регулировки выходной мощности подключенной нагрузки. Существует два типа регуляторов 0-10 В: источник тока и приемник тока. Регулирование света источника тока — это интерфейсный (управляемый пользователем) метод управления освещением, предназначенный для театральных и развлекательных задач. В этом методе светодиодный драйвер является источником тока для сигнала постоянного тока, а диммер является точкой отсчета. Пара проводов низкого напряжения состоит из фиолетового провода (+10 В постоянного тока) и серого провода (общий сигнал). Драйвер связывает входное напряжение, которое регулируется путем изменения напряжения в диапазоне от 1 вольта (сигнал минимального уровня) до 10 вольт (максимальная освещенность), с определенной регулируемой нагрузкой. Когда эти два провода разомкнуты, драйвер получает сигнал регулирования 10 В и выдает 100 % номинальной нагрузки. Когда фиолетовый и серый провода закорочены вместе, драйвер получает сигнал регулирования 0 В, и выход драйвера будет установлен на минимум. Если установлен уровень 60%, диммер снизит напряжение сигнала до 6 В. Этот метод также известен как уменьшение яркости на 1-10 В, так как 1 вольт является сигналом минимального уровня, а 0 В выключает лампу, когда драйвер переходит в спящий режим. Большинство драйверов с регулируемой яркостью 0-10 В тускнеют от 100% до 10% кажущейся мощности.

В отличие от диммеров с фазовым регулированием, которые отключают питание линейного напряжения на приборе, в драйвере происходит регулирование 0-10 В, и, следовательно, в диммере не выделяется тепло и не передается по проводам. Этот атрибут позволяет светодиодным драйверам с регулируемой яркостью 0-10 В управлять большими нагрузками. Провода управления низким напряжением чувствительны к полярности. Длинные

провода могут привести к падению уровня сигнала, что приведет к неравномерному светоотдаче от светильников, которые управляются разными драйверами и управляются одним и тем же устройством управления. Другая проблема, что регулировка сигнала 0-10 В с помощью диммеров разных производителей не обязательно приведет к равномерному затемнению различных светодиодных светильников. Что еще хуже, так это то, что плохая совместимость между диммерами и драйверами может создать новый уровень проблем.

Цифровой адресный интерфейс освещения (DALI)

DALI был создан для обеспечения централизованного управления светильниками по одной паре проводов, которая работает примерно при 16 В постоянного тока и передает цифровой сигнал от контроллера DALI к светодиодному драйверу. Два других провода обеспечивают постоянное линейное напряжение для драйвера. Этот протокол интерфейса для цифровой связи позволяет адресовать, группировать и затемнять до 64 светильников и устройств управления. Его способность взаимодействовать со светильниками индивидуально, коллективно или группами посредством двунаправленного обмена данными обеспечивает большую гибкость в управлении освещением. Система DALI может в цифровом виде назначать датчики присутствия, фотоэлементы, часы времени и другие устройства управления одному или нескольким устройствам без сложной проводки. DALI решает проблему многослойного управления освещением, для которого требуется, чтобы светильники реагировали на более чем один контроллер и были назначены нескольким зонам управления одновременно.

Протокол использует логарифмическое регулирование светом с кривой, соответствующей чувствительности глаза. Технология затемнения DALI использует 8-битное разрешение для 254 отдельных шагов, позволяя пользователям получать очень точное управление выходом с диапазоном затемнения от 0,1% до 100%. Теперь поддерживается как смешивание цветов RGB, так и настройка цветовой температуры. Надежное управление цветом и автоматическое затемнение позволяют вызывать несколько световых сцен для помещения и динамически представлять их поэтапно с переменной длительностью.

Линии управления DALI не имеют полярности, что обеспечивает простоту установки. Система DALI использует сбалансированную пару проводов в качестве управляющей шины и манчестерское кодирование для модуляции данных. Поэтому цифровой сигнал невосприимчив к внешним помехам, все светильники в системе освещения DALI могут быть равномерно затемнены.

DMX

DMX или DMX512, первоначально разработанные для приложений развлекательного и сценического освещения, в настоящее время широко используются для придания драматизма и волнения театральному освещению во внутренних и внешних архитектурных пространствах. DMX использует дифференциальную сигнализацию EIA-485 (RS-485) на своем двухпроводном физическом уровне. Этот протокол связи на основе пакетов переменного размера

имеет скорость передачи 250 Кбит/с. Однонаправленный протокол на основе каналов непрерывно передает данные в последовательности до 512 кадров данных (слотов) для до 512 каналов. Каждый канал затемнения DMX512 управляет одним получателем и передает данные в 8 битах, обеспечивая 256 шагов глубины цвета. DMX обычно используется для управления светодиодами RGB, которые занимают три канала из потока DMX512 для управления одним триплетом. Данные передаются по экранированному кабелю cat5 или 3-жильному кабелю, который зависит от полярности. Удаленное управление устройствами (RDM) - это усовершенствование протокола DMX, которое обеспечивает двунаправленную связь между регулятором освещения и светильниками с поддержкой RDM.

Заключение

Превосходная управляемость светодиодов и их способность интегрироваться с датчиками, процессорами и сетевым интерфейсом обеспечивают функциональное, гибкое, адаптивное и интеллектуальное освещение. Также благодаря регулированию решаются такие вопросы как экономия энергии, настройка световых сцен, ориентированность освещения на человека, продление срока службы и др.

Литература

1. [Электронный ресурс]/ светодиодные источники света. -Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface. – Дата доступа: 25.03.2021.
2. [Электронный ресурс]/ светодиодные источники света. -Режим доступа: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-pwm-leds-pulse-width-modulation-for-dimming-systems-and-other-applications/>. – Дата доступа: 25.03.2021.
3. [Электронный ресурс]/ светодиодные источники света. -Режим доступа:<https://www.manufacturer.lighting/info/190/>. – Дата доступа: 25.03.2021.
4. [Электронный ресурс]/ светодиодные источники света. -Режим доступа: <https://www.instyleled.co.uk/all-about-0-10v-control/>. – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 621.3

**СПОСОБЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫТУ
WAYS TO SAVE ELECTRICITY IN HOUSEHOLD**

В.О. Михайлов

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г.Минск

V. Mikhailov

Supervisor – T. Yaroshevich, senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk,

Аннотация: Рассматриваются различные способы экономии электроэнергии в жилых помещениях.

Abstract: Various ways of saving electricity in residential premises are considered.

Ключевые слова: эксплуатация электрооборудования, экономичность, снижение потребления электроэнергии.

Keywords: operation of electrical equipment, efficiency, reduction of electricity consumption.

Введение

Жизнь в современном мире в значительной степени основана на эксплуатации электрооборудования различных типов. Освещение помещений, развлечения, приготовление и хранение еды – лишь малая доля того, на что расходуется электроэнергия.

Самыми крупными потребителями электроэнергии в коммунально-бытовом хозяйстве являются жилые дома. В них ежегодно расходуется в среднем 400 кВт*ч на человека, из которых примерно 280 кВт*ч потребляется внутри квартиры на освещение и бытовые приборы различного назначения и 120 кВт*ч – в установках инженерного оборудования и освещения общедомовых помещений. Внутриквартирное потребление электроэнергии составляет примерно 900 кВт*ч в год в расчёте на усреднённую городскую квартиру с газовой плитой и 2000 кВт*ч – с электрической плитой.

Основная часть

Для снижения электропотребления следует обратить внимание на способы эксплуатации оборудования в квартире. Старые и поврежденные устройства потребляют гораздо больше электроэнергии, чем их современные, исправные аналоги. Некоторые аппаратные средства нуждаются в большем потреблении энергии, например, электрические бойлеры и индукционные плиты, холодильники, духовки и посудомоечные машины.

При покупке бытовой техники, необходимо проверить ее энергетический класс. Например, холодильник Samsung RL-44 QEUS класса “А+” с объемом 326 л в течение года потребляет 315 кВт/ч. В то время как модель Бирюса 22 с объемом 250 л, относящаяся к классу С, потребляет в год 548 кВт/ч.

Не менее важным является грамотная эксплуатация оборудования – посудомоечных, стиральных машин, электрических бойлеров.

Грамотное освещение, также позволяет сократить потребление электроэнергии. Для больших люстр и местного освещения стоит обратить внимание на энергосберегающие модели лампочек. На рынке представлен широкий выбор интеллектуального освещения, включающегося только при обнаружении движения. Благодаря небольшому количеству потребляемой энергии, уникальному характеру и простому монтажу, освещение светодиодными полосами вызывает все больший интерес.

Не менее интересным решением для снижения потребления электроэнергии является также специализированное устройство Saver (центральный блок, или мост). Saver-это оборудование, полностью адаптированное для домашнего использования. Интеллектуальные системы, используемые в нем, позволяют не только контролировать потребление энергии, но и управлять процессами через специальное приложение.

Заключение

Экономия электроэнергии является актуальной проблемой. Цены на электроэнергию во многих странах изменяются в течение суток, особенно в часы наиболее загруженного режима работы электростанций - утренних и вечерних часов максимума нагрузки энергосистем.

Литература

1. Энергосбережения и энергетический менеджмент: учеб. пособие / А.А. Андрижиевский, В.И. Володин. - 2-е изд., испр. - Мн.: Высшая Школа, 2005. - 294 с.
2. Самойлов М.В. Основы энергосбережения: Учеб. пособие / М.В.Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н.Ковалев,- Мн.:БГЭУ.2002.-198С.

УДК 621.311

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИИ
ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC NETWORKS
IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF THE ELECTRIC POWER
INDUSTRY**

А.С. Линкевич, М.В. Кишкель, Д.А. Козловская
Научный руководитель – Д.М. Смолдовская, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Linkevich, M. Kishkel, D. Kozlovskaya
Supervisor – D. Smolovskaya, assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье затрагивается тема развития электрических сетей. В статье изложены основные проекты цифровизации электроэнергетики.

Annotation: The article touches upon the topic of the development of electric networks. The article outlines the main projects of digitalization of the electric power industry.

Ключевые слова: электрические сети, износ, автоматизация, эффективность.

Keywords: electrical networks, wear, automation, efficiency.

Введение

Развитие и модернизация электрических сетей относятся к одним из основных направлений, предусмотренных [1] «Концепцией развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года».

Это определено:

- необходимостью снижения износа электрических сетей, повышения надёжности электроснабжения и увеличения их пропускной способности;
- формированием выдачи мощности действующих электростанций при их реконструкции, вводе новых блоков;
- требованием для отдельных крупных энергоузлов повышать надёжность электроснабжения;
- образованием сети 330 – 750 кВ, которая объединена в систему на основании поставленных актуальных задач;
- постепенным выводом из эксплуатации сети напряжением 220 кВ с переходом на напряжение 330 кВ и 110 кВ.

Основная часть

В настоящее время в Белорусской энергосистеме [2] находятся в использовании около 280,61 тыс. км линий электропередачи напряжением 0,4-750 кВ (рисунок 1).

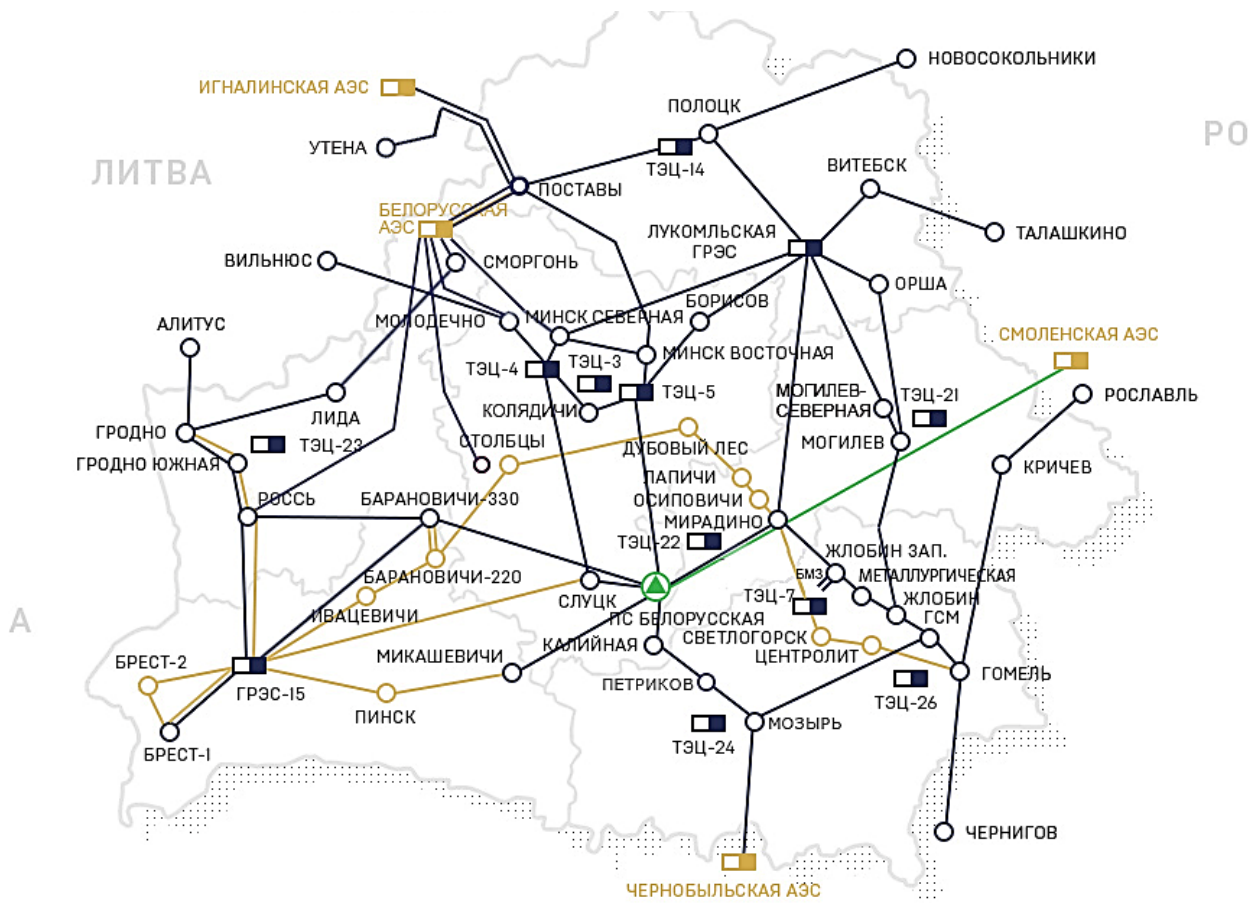


Рисунок 1 – Основная сеть объединенной энергосистемы Беларуси представлена линиями электропередачи 220-330 кВ, подстанциями 220-330 кВ и распределительными устройствами электростанций высокого давления.

Протяженность воздушных ЛЭП 220-750кВ - 7,67 тыс.км., 110кВ – 17,32 тыс.км., 35кВ – 11,80 тыс.км. (рисунок 2), 0,4-10кВ – 201,78 тыс.км (рисунок 3).

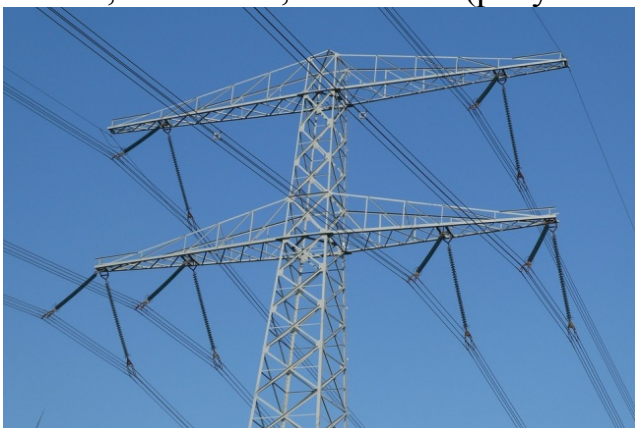


Рисунок 2 – Воздушные ЛЭП 35-750 кВ



Рисунок 3 – Воздушные ЛЭП 0,4-10 кВ



Общее количество эксплуатируемых электрических подстанций напряжением 35-750 кВ составляет 1358, из них ПС 750кВ – 1, ПС 330 кВ – 35 (рисунок 4), ПС 220кВ – 10, 110кВ – 734, ПС 35 кВ – 578. Суммарная установленная трансформаторная мощность составляет почти 53 тыс. МВА.



Рисунок 4 – ПС 330/110/10 кВ «Минск-Северная» [3]

В настоящее время линии электропередачи напряжением 0,4-10 кВ длиной 51,4% от их общей протяжённости отработали свой нормативный срок службы. Благодаря ежегодному строительству (реконструкции) в среднем 2 700 км электрических сетей 0,4-10 кВ сокращается износ сети и создаются условия по увеличению использования электрической энергии потребителями.

Для развития электрических сетей в условиях цифровизации электроэнергетики разрабатываются новые проекты.

Одним из значимых проектов является создание системы автоматического регулирования частоты и потоков мощности (САРЧМ). Назначение данного проекта - обеспечение автоматического поддержания в определенных пределах потоков активной мощности по межгосударственным линиям электропередачи и по важным внутренним сечениям, а также автоматическая регулировка частотой при работе энергосистемы в изолированном режиме. Координирующая системы в режиме реального времени будет рассчитывать требуемую мощность генерирующего оборудования и выдавать на станции, подключенные к системе, необходимые задания по выдаче мощности (рисунок 5). САРЧМ позволит повысить эффективность ведения планового режима работы энергосистемы, и в результате – надежность и устойчивость всей энергосистемы.

Еще одним из перспективных проектов является создание цифровой платформы технологического управления объектами энергосистемы (АСТУ).

Разрабатываются требования к единой информационной модели (Common Information Model, CIM) электрической сети на основе стандартов Международной электротехнической комиссии. Для обмена информацией, использования общей базы данных оборудования и решения различных технологических задач в электроэнергетике будут введены требования к вводимому программному обеспечению по его взаимодействию и объединению в единое информационное пространство.



Рисунок 5 – Внешний контур регулирования системы

Для обеспечения повышения эффективности управления энергосистемой посредством объединения актуальной картографической, схематической, паспортной и иной информации об электрических сетях разрабатывается проект по внедрению единой автоматизированной географической информационной системы (ЕАГИС).

Заключение

Рассмотренные проекты в условии цифровизации энергетики позволят модернизировать, реконструировать и ввести проектируемые объекты системообразующей сети.

Литература

1. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года [Электронный ресурс]/ Приложение к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 № 7. –Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/press/novosti/o-kontseptsii->

razvitiya-elektrogeneriruyushchikh-moshchnostey-i-elektricheskikh-setey-na-period-do-2030-goda/?sphrase_id=16972 /. – Дата доступа: 16.10.2021.

2. Основные показатели [Электронный ресурс]/ основные показатели. –Режим доступа: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/> /. – Дата доступа: 16.10.2021.

3. ПС 330/110/10 кВ «Минск-Северная» [Электронный ресурс]/ ПС 330/110/10 кВ «Минск-Северная». –Режим доступа: Основные показатели [Электронный ресурс]/ основные показатели. –Режим доступа: <https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/> /. – Дата доступа: 17.10.2021.

УДК 628.971.9

**ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ
ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
FEATURES OF PLACEMENT AND CONTROL OF LIGHTING OF OPEN
SWITCHGEAR**

Е.А. Рогацевич

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Rahatsevich

Supervisor – V. Kozlovskaya, C.T.S., docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Освещение территории открытого распределительного устройства. Выбор источников света при проектировании ОРУ. Места расположения прожекторов на освещаемой территории. Особенности управления освещением. Увеличение надёжности, безопасности, энергоэффективности и качества освещения.

Abstract: Lighting of the territory of an open switchgear. The choice of light sources when designing the OPM. The location of the spotlights on the illuminated area. Features of lighting control. Increased reliability, safety, energy efficiency and quality of lighting.

Ключевые слова: освещение, источники света, прожектор, оборудование, управление, энергоэффективность.

Keywords: lighting, light sources, spotlight, equipment, management, energy efficiency.

Введение

На современных высоковольтных трансформаторных подстанциях управление основными аппаратами открытого электрического распределительного устройства (ОРУ) осуществляется из помещения оперативного пункта управления. Постоянно происходят проверки состояния отдельных частей оборудования. При этом существует необходимость определения положения разъемных частей разъединителей, показания указателей уровня масла трансформаторов, манометров, термометров и т. п. На открытом распределительном устройстве персонал находится на значительном расстоянии от указанных элементов оборудования и должен различать детали, расположенные на большой высоте. Все это необходимо учитывать при выборе типа и мест установки прожекторов и светильников, их мощности и уровня освещенности.

Основная часть

При проектировании освещения подстанций, прожекторы располагают небольшими группами на ближайших к открытым распределительным устройствам крышах зданий, верхних площадках обслуживания распределительных устройств, площадках молниеотводов и на специальных прожекторных

мачтах. Установки специальных осветительных мачт следует избегать, используя по возможности существующие здания и мачты молниеотводов.

Места расположения прожекторов выбирают в целях сохранности основного оборудования открытого распределительного устройства так, чтобы они не находились над аппаратурой и оборудованием, а располагались над свободной территорией. При установке прожекторов на металлических или железобетонных мачтах, а также на площадках молниеотводов питание необходимо осуществлять кабельной линией. Ввиду наличия на территории открытого распределительного устройства громоздкого оборудования (силовых трансформаторов, выключателей, разъединителей, шинопроводов, высоких опор и порталов для крепления шин), в целях сокращения резких теней и обеспечения нормированной освещенности на рабочих местах, освещение следует производить группами прожекторов с нескольких противоположных сторон распределительного устройства. Группы прожекторов размещают с учетом расположения основного оборудования и отходящих воздушных линий электропередачи высокого напряжения. Расстояние между группами прожекторов или одиночно стоящими прожекторами в большинстве случаев диктуются размещением существующих зданий, мачт молниеотводов и подобных сооружений, которые используются в качестве опор для установки прожекторов.

При выборе мест расположения прожекторных мачт необходимо соблюдать минимальные с точки зрения безопасности расстояния до неогражденных открытых токоведущих частей распределительного устройства и воздушных линий электропередачи высокого напряжения, регламентируемые нормативной документацией. В некоторых случаях возможно расположение прожекторов на конструкциях (порталах) самого распределительного устройства; при этом необходимо обеспечить безопасный доступ к прожекторной установке без снятия напряжения на оборудовании открытого распределительного устройства, для возможности обслуживания и ремонта осветительной установки. Минимальные расстояния от прожекторных установок до неогражденных токоведущих частей следует принимать, исходя из рекомендаций, приведенных в нормативной документации. Высота установки прожекторов часто зависит от высоты используемых существующих зданий и опор и выбирается в пределах 5-20 м.

Размещение и количество прожекторов определяют путем подбора наиболее рационального варианта расположения на плане освещаемой поверхности кривых одинаковой освещенности, соответствующих принятому типу прожектора, углу наклона оптической оси и высоте его установки, мощности и напряжению питания, при этом должны быть обеспечены требуемые нормами уровни освещенности открытого распределительного устройства.

Управление наружным освещением должно выполняться независимо от управления внутренним освещением. Централизованное управление наружным освещением рекомендуется производить из оперативного пункта управления подстанции. При автоматическом управлении наружным освещением, например, в зависимости от освещенности, создаваемой естественным светом, должна

предусматриваться возможность ручного управления освещением без использования средств автоматики, что в свою очередь значительно повышает надёжность и функциональность схемы питания осветительных установок. При централизованном управлении наружным освещением должен предусматриваться контроль положения коммутационных аппаратов (включено, отключено), установленных в цепи питания освещения.

Затраты на освещение занимают значительную часть расхода электроэнергии на собственные нужды подстанции. В целях снижения данных расходов не стоит исключать возможность использования светодиодных источников света, потребляющих в разы меньше электроэнергии. При этом качество освещения при верном выборе светильников значительно лучше, а срок их эксплуатации значительно больше. Помимо экономии расходов на электроэнергию светодиодные светильники проще списывать и утилизировать. Для этого не установлены специальные требования. В LED светильниках отсутствуют вредные и опасные вещества (ртуть и т.п.), в результате они не несут непосредственной опасности для человека и окружающей среды. Их экологическая эффективность гораздо выше. В настоящее время все больше организаций и предприятий выбирает в качестве источников освещения производства промышленные светодиодные светильники и прожекторы. К данному типу светильников применяются повышенные требования по качеству освещения, надежности конструкции и защищенности от агрессивного воздействия окружающей среды. Преимущества промышленных светодиодных светильников по отношению к светильникам с люминесцентными и газоразрядными лампами:

- снижение потребления мощности и электроэнергии;
- более высокая светоотдача;
- отсутствие возникновения эффекта пульсации света при работе;
- широкий диапазон рабочих температур (от -40 до +45);
- надёжность и более продолжительный срок работы;
- экологическая безопасность (отсутствие ртути и источников света).

Современные производители светотехнического оборудования предлагают широкий ассортимент светодиодных светильников и прожекторов предназначенных для освещения зданий, навесов, автомобильных и железнодорожных тоннелей, открытых территорий различного назначения, для установки на подвес или монтажную поверхность. Ресурс работы светильников без замены светодиодов достигает 100 тыс. часов. Примеры светодиодных прожекторов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Светодиодные прожекторы, используемые для наружного освещения.

Заключение

Освещение территории открытого распределительного устройства играет значительную роль в её эксплуатации. При проектировании и строительстве ОРУ, верно подобранные источники света и их правильное расположение на территории, позволяет увеличить надёжность, безопасность, энергоэффективность и качество освещения, что может значительно влиять на действие персонала.

Литература

1. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н.Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. Коц, А.Я. Освещение электрических станций и подстанций/ А.Я. Коц – М.: Энергоидат, 1981.–168с.
3. [Электронный ресурс] URL: <https://liderm.by/svetodiodnoeosveschenie/svetodiodnye-prozhektory.html> (Дата обращения: 12.10.2021)

УДК 620.97

**ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ
НА ВЕНТИЛЯЦИЮ
OPTIMIZATION OF EXISTING ENERGY COSTS FOR VENTILATION**

Т.В. Сафонов

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Safonov

Supervisor – M. Pratasenia, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассмотрен опыт использования технологического оборудования с рекуперацией воздуха для оптимизации энергозатрат в здании с торговыми и складскими помещениями.

Abstract: The experience of using technological equipment with air recuperation to optimize energy consumption in a building with trade and storage facilities is considered.

Ключевые слова: рекуперация, естественная вентиляция, принудительная вентиляция, приточная, вытяжная, приточно-вытяжная вентиляция

Keywords: recuperation, natural ventilation, forced ventilation, supply, exhaust, supply and exhaust ventilation

Введение

В современных зданиях, которые строятся по существующим нормативам, на воздухообмен приходится до 60% теплопотерь [2, 3]. Эта проблема носит системный характер и не может быть решена в рамках существующих технических и проектных решений, где предусматривается естественная вентиляция. Прослеживается необходимость проектирования зданий с механической, контролируемой системой приточно-вытяжной вентиляции рекуперационного типа.

Основная часть

Неорганизованная система естественной вентиляции предполагает поступление воздуха в помещение и его вывод наружу самым что ни на есть естественным образом. В этом случае воздухообмен осуществляется за счёт разницы температур (в помещении и за окном), скорости ветра и вообще – его наличия, повышения/понижения атмосферного давления. Таким образом, неорганизованная вентиляция создаётся при помощи окон (или форточек) и дверей, периодически открываемых жильцами для проветривания.

Организованная система естественной вентиляции представлена специальными отверстиями, которые создаются в стенах, под потолком и над полом. Через эти отверстия осуществляется приток и вывод воздуха. Система отверстий называется «организованной», потому что для создания такой вентиляции необходимо произвести точный расчёт, учитывающий размеры помещения и технические параметры вентиляции, а также правильно

спроектировать систему вентиляционных каналов и безошибочно реализовать её при строительстве дома.

Приточная вентиляция призвана обеспечить приток свежего воздуха с улицы, вытяжная – отток отработанного воздуха из помещения наружу. В зависимости от поставленных задач, акцент может быть сделан либо на приточную вентиляцию, либо на вытяжную. Важно правильно реализовать естественную вентиляцию, особенно, если никакого дополнительного климатического оборудования устанавливать не планируется.

Определенные помещения требуют принудительной вентиляции. Принудительная вентиляция подразумевает установку специального оборудования, обеспечивающего приток воздуха (приточная вентиляция), вывод его из помещения (вытяжная вентиляция), либо и то, и другое (приточно-вытяжная вентиляция).

Для оптимизации потерь на отопление и вентиляцию «Объект торговли и общественного питания с сопутствующими помещениями общественного и обслуживающего назначения в Минском районе» (а/г Сеница Минского р-на Минской обл., ул. Мирутко, 68), собственником и арендодателем которого является ООО «БизнесПотронатПлюс», использует на своей территории приточно-вытяжную установку с водяным нагревом и рециркуляцией воздуха.



Рисунок 1 – Приточно-вытяжная установка с водяным нагревом и рециркуляцией воздуха

Установка содержит теплообменное устройство, называемое рекуператором. В период межсезонья, когда разница температур составляет около 20-25 градусов, система рекуперации может покрыть подогрев воздуха. В зимний период разница может составлять 50 градусов, и чтобы покрыть такую разницу система оборудована дополнительным водяным подогревателем.

Для управления параметрами работы установки на входе забора воздуха установлен датчик температуры наружного воздуха NTC (TE3). Далее воздух, проходящий через жалюзи, на которых установлен электрический привод, проходит через фильтр. На фильтре установлен датчик перепада давления (Pd1). Датчик-реле перепада давления применяется в системах вентиляции и кондиционирования воздуха для измерения перепада давления при контроле работы вентиляторов, загрязненности фильтров, обмерзании теплообменников, контроля давления в воздуховодах. Два электродвигателя, работающие параллельно, приводят в действие принудительные вентиляционные установки, которые в свою очередь создают давление и тем самым выталкивают поток воздуха в направлении помещения.

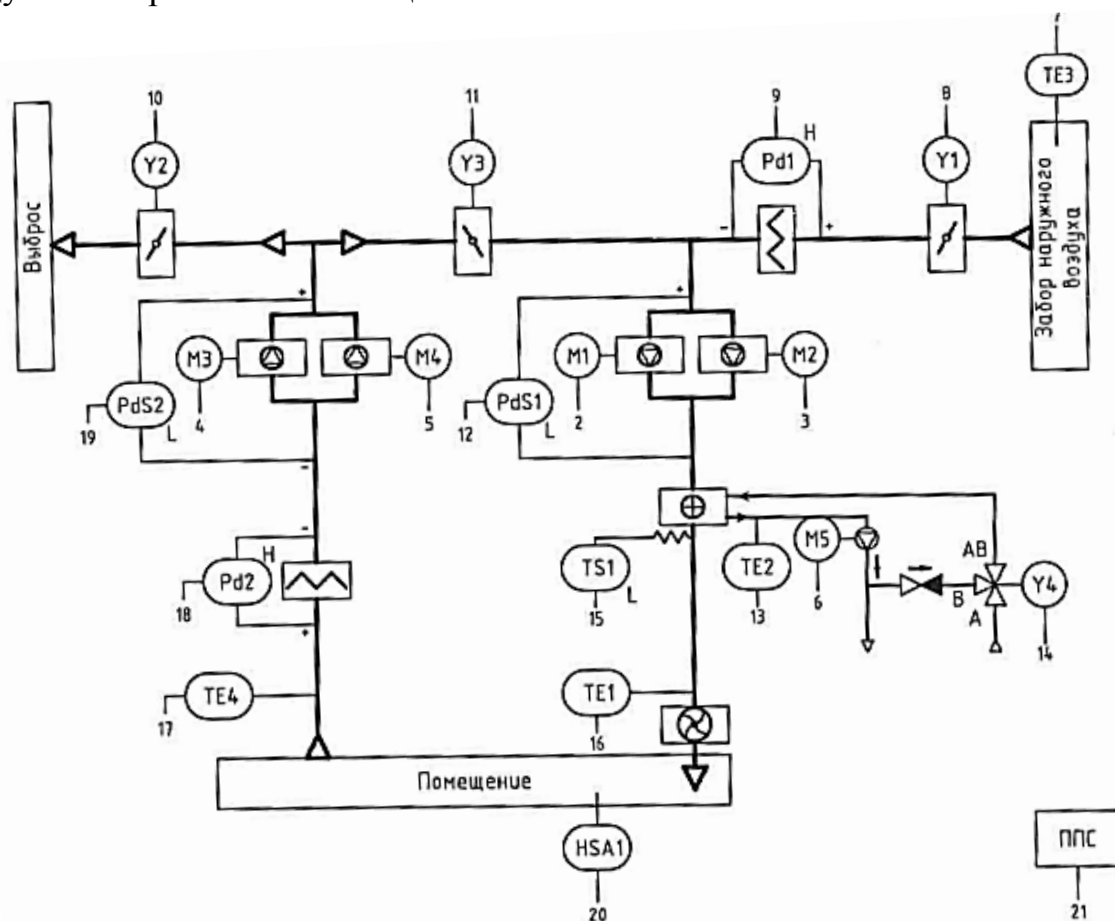


Рисунок 2 – Приточно-вытяжная установка -схема автоматизированного управления

На принудительных вентиляционных установках стоит реле перепада давления (PdS1), принцип работы которого отличается от реле перепада давления (Pd1). Реле Pd1 срабатывает в случае, когда разности давлений входящей и выходящей трубки датчика присутствует. В отличие от него PdS1

срабатывает, когда нет разницы давлений входящий и выходящей трубки. Данное явление обусловлено тем, что приточные вентиляторы увеличивают давление выходящих воздушных масс. Следовательно, отсутствие градиента давлений говорит о неисправности работы приточных вентиляторов.

Далее воздушные массы проходят через теплообменник с водяным нагревом. К теплообменнику подключены две линии: прямая и обратная. На прямой линии установлен трёхходовой клапан, который открывает и закрывает подачу воды в теплообменник, а также при необходимости подмешивает воду из обратной линии теплообменника. На обратной линии установлен датчик температуры накладной (TE2), который срабатывает при слишком высокой температуре теплообменника. С датчика подаётся сигнал на обратный клапан и трёхходовой клапан. Под действием приводных механизмов открывается обратный клапан и меняет свое положение трёхходовой клапан. В результате этого в подачу поступает вода из обратки, и происходит понижение температуры теплообменника. Для поддержания достаточного давления в системе теплообменника, на обратной линии установлен электронасос. При достижении заданной температуры датчик отключается, обратный клапан закрывается, а трёхходовой кран пропускает только горячую воду, поступающую от тепловыделителя. Нагретые воздушные массы поступают в помещения, откуда воздух уходит в воздухопровод, предназначенный для выброса. Воздушные массы проходят через фильтр, на котором установлено реле перепада давления (Pd2). Принцип реле Pd2 такой же, как и у Pd1. Далее стоят две вытяжные установки, подключенные к реле перепада давления PdS2. На выходе воздух проходит через жалюзи, управляемые приводом Y2.

Запитана система автоматизированного управления посредством коммутации трёхполюсного выключателя нагрузки от шкафа силового управления. К линиям L4, L5, L6 подключены два 3х-полюсных выключателя нагрузки, установленных на вводе преобразователей частоты, 1-полюсный автоматический выключатель для питания электронасоса и 1-полюсный автоматический выключатель для питания электрического обогревателя шкафа, которые служат для автоматизированного отключения электрической цепи при перегрузках, КЗ, чрезмерном понижении напряжения питания, изменении направления мощности и т.п.

Заключение

Применение подобного оборудования делает реальной теоретическую возможность создать независимую энергосистему, с использованием альтернативных источников энергии, рекуперативного принципа подогрева воздуха, а также технологические особенности помещения.

Литература

1. Соловьёв, С.С.; Ковтун, Г.К. Применение рекуперационных принципов в рамках создания энергоэффективного жилья, Актуальные проблемы энергетики. СНТК - 75 (БНТУ, 2019)
2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования ТКП 45-2.04-43-2006. Минск, 2006 г.

3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочное пособие. Москва, Пантори, 2003 г.

4. Данилевский, Л.Н. Системы принудительной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии удаляемого воздуха для жилых зданий. Теория и практика/ — Минск, 2014 - 18 стр.

УДК 621.311

**УПРАВЛЯЕМЫЙ ШУНТИРУЮЩИЙ РЕАКТОР (УШР) ТИПА РТДУ
330/180000-У1, ЕГО ФУНКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ****CONTROLLED SHUNT REACTOR (USR) TYPE RTDU 330/180000-U1,
ITS FUNCTIONS AND APPLICATION**

А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Ogievich, A. Rubanosova, V. Skakalova

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной научной работе мы рассмотрим, что такое управляемый шунтирующий реактор, а также его функции и применение УШР на примере управляемого шунтирующего реактора типа РТДУ 330/180000-У1.*

***Abstract:** in this scientific paper, we will consider what a controlled shunt reactor is, as well as its functions and the use of USR on the example of a controlled shunt reactor of the RTDU 330/180000-U1 type.*

***Ключевые слова:** управляемый шунтирующий реактор, регулятор, автоматическое управление, магнитная система, обмотки.*

***Keywords:** controlled shunt reactor, regulator, automatic control, magnetic system, windings.*

Введение

Для повышения надежности работы энергосистемы, для снижения потерь и повышения пропускной способности линий электропередач применяют устройства для компенсации реактивной мощности, такие как батареи статических конденсаторов (БСК), синхронные компенсаторы (СК) и шунтирующие реакторы.

Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) – это электромагнитные реакторы, с плавно регулируемой индуктивностью за счет системы автоматического управления. УШР представляет собой магнитный усилитель, принцип действия которого был известен более 100 лет назад, но ранее не было возможности его технической реализации для использования в силовой технике. Изменение индуктивности реактора осуществляется за счет изменения насыщения магнитной системы. Современные УШР—это результат многолетних исследований и улучшений, в результате которых были достигнуты достаточно высокие функциональные показатели без потерь качества электроэнергии. [1].

Основная часть

УШР типа РТДУ 330/180000-У1 - это уникальное оборудование (рисунок 1). В Беларуси установлены всего 6 таких реакторов, один из них находится в Гродненской области на ПС 330кВ «Россь».



Рисунок 1 – Управляемый шунтирующий реактор типа РТДУ 330/180000-У1

Главной особенностью УШР является регулятор, который за счёт выпрямленного тока обеспечивает управление мощностью. Данная установка является небольшой и надежной системой подмагничивания мощностью около 1% от номинальной УШР. [1]

Магнитная система одной фазы УШР содержит два стержня, на каждом из которых размещены обмотки управления и сетевые обмотки. На рисунке 2 показана магнитная группа УШР трёхфазного исполнения



Рисунок 2 – Магнитная группа УШР трёхфазного исполнения

При подключении к обмоткам управления регулируемого источника постоянного тока (на ПС «Россь» установлено два тиристорно-преобразовательных блока) происходит нарастание потока подмагничивания, который в соседних стержнях направлен в разные стороны и вызывает насыщение стержней магнитопровода УШР в соответствующие полупериоды напряжения. Насыщение стержней приводит к возрастанию тока в сетевой обмотке за счёт уменьшения индуктивного сопротивления реактора. При этом обеспечивается изменение величины потребляемой реактором реактивной мощности в диапазоне от 3% до 100% номинальной мощности УШР и плавного изменения уровней напряжения в точке подключения. Система управления УШР позволяет как в автоматическом, так и ручном режиме нагрузить и разгрузить на полную мощность реактор менее чем за одну секунду.[2].

В таблице 1 приведен сравнительный анализ преимущества рассматриваемого типа УШР по отношению к УШР трансформаторного типа
Таблица 1 – Сравнительный анализ УШР и УШРТ

Экономичность	1.Ценовое преимущество перед УШРТ (УШР трансформаторного типа) 2.Затраты на обслуживание практически отсутствуют 3.Ниже потери активной мощности.
Простота и надежность	1. Высокая надежность. 2. Не требуется наличие специально обученного дополнительного персонала на подстанции. 3. Успешная эксплуатации более 120 УШР, внедренных за последние 17 лет.
Технические преимущества	1.Допустимая кратность перенапряжения составляет 2,3 (у УШРТ – около 1,8). 2.Допускаемая перегрузка на 50% в течение 20 мин, 100% в течение 20 сек. 3.Выше точность стабилизации напряжения. 4.Плавное регулирование мощности (у УШРТ – дискретное). 5.Гармоническое искажение тока не более 3% (у обычного УШРТ – порядка 5-6%). 6. Обеспечивает непрерывный режим работы (в отличие от УШРТ не требует периодических профилактических остановок). 7.Может подключаться непосредственно к ВЛ.
Полная проектная стоимость	1.Занимаемая площадь в 1,5 – 2 раза ниже, чем у аналогичного по мощности УШРТ того же класса напряжения. 2.Часто УШР можно расположить на существующих площадях подстанции. 3.Сроки реализации проектов меньше. 4.Меньший объем СМР (фундаменты, дополнительные здания и сооружения водоснабжение / водоподготовка и т.п.).

Основные преимущества использования УШР представлены на схеме (рисунок 3)



Рисунок 3 – Основные преимущества использования УШР

Заключение

Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) используются для плавной автоматической стабилизации напряжения и регулируемого потребления реактивной мощности в точке подключения к электрическим сетям. Благодаря данным устройствам может достигаться точность регулирования напряжения до 0,2% от заданной установки, принимая во внимание особенности оборудования выдерживать перегрузки, достигать существенного сокращения численности коммутаций РПН силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

Литература

1. Фарамакс. Специализированные производители силовых трансформаторов и управляемые шунтирующие реакторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.faramax.com/>. – Дата доступа: 20.10.2021
2. Курилович, И.Ф, Первый в Гродненской области / И.Ф, Курилович // Энергетик Принеманья. – 2021. – № 6. – С. 3 - 5

УДК 628.931

**ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОРОННЕГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
BENEFITS OF USING THIRD PARTY SOFTWARE IN DESIGN**

Е.А. Шуляковский

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Shuliakouski

Supervisor – I. Kolosova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье рассмотрен способ упрощения светотехнического расчета помещений с помощью стороннего программного обеспечения, а именно таких программ как Revit и DIALux. Описана последовательность действий и основные преимущества данного метода.

Abstract: the article discusses a way to simplify the lighting design of rooms using third-party software such as Revit and DIALux. The sequence of actions and the main advantages of this method are described.

Ключевые слова: проектирование, программное обеспечение, освещение, светотехнический расчет, освещенность, яркость.

Keywords: design, software, lighting, lighting calculation, illumination, brightness.

Введение

В настоящее время существует огромное количество стороннего программного обеспечения, облегчающих работу проектировщиков при решении спорных инженерных решений, а также ускоряющих процесс оформления документации. Среди них можно выделить AutoCad, DIALux, Revit, ArchiCad, Renga, FreeCAD, EPLAN Electric и др.

Основная часть

Рассмотрим преимущества использования программы DIALux при расчете освещенности внутри промышленного помещения. Для размещения световых приборов создадим 3D модель проектируемого здания и помещений, располагающихся в нем. На рисунках 1 и 2 представлены соответственно общая модель производственного здания и аппаратного участка.

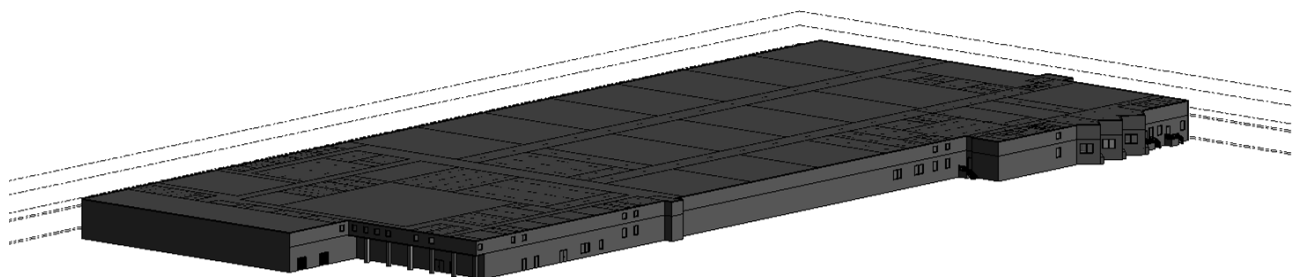


Рисунок 1 — 3D модель производственного здания

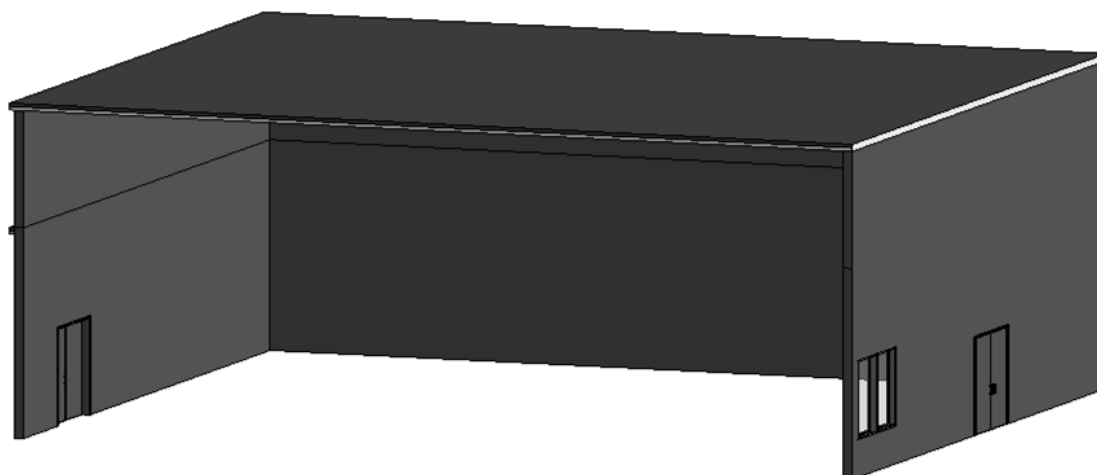


Рисунок 2 — 3D модель аппаратного участка

Используем полученную 3D модель и переконвертируем её из формата .rtv в формат .xml, который необходим для хранения габаритов наших созданных помещений. Далее с помощью программы DIALux переконвертируем габариты помещений в формат .dlx [2]. Данные действия необходимы для создания 3D модели помещения внутри программы DIALux, так как данная программа способна автоматически рассчитывать освещенность помещений при задании всех необходимых параметров. Используя, различные электронные каталоги брендов, изготавливающих светотехнические приборы выберем подходящие осветительные приборы и загрузим их фотометрическую модель, хранящуюся в формате .ies. Освещенность и высоту рабочей поверхности относительно пола выберем с помощью СН 2.04.03-2020 Естественное и искусственное освещение, которые соответственно равны 200 лк и 0,8 м. Выбираем светодиодные светильники VOLGA-EU/38/IP40/110-diffus со световым потоком светильника 4800 лм [1].

Зная высоту рабочей поверхности и необходимую освещенность, и задавшись высотой подвеса светильников, произведем светотехнический расчет. Благодаря данному расчету мы можем получить не только сам светотехнический расчет, а также и подробную 3D модель с освещенностью каждой точки помещения, что позволяет произвести проверку его результатов на высоком уровне без дополнительных затрат по времени. На рисунке 3 представлен результат распределения значений освещенности аппаратного участка.

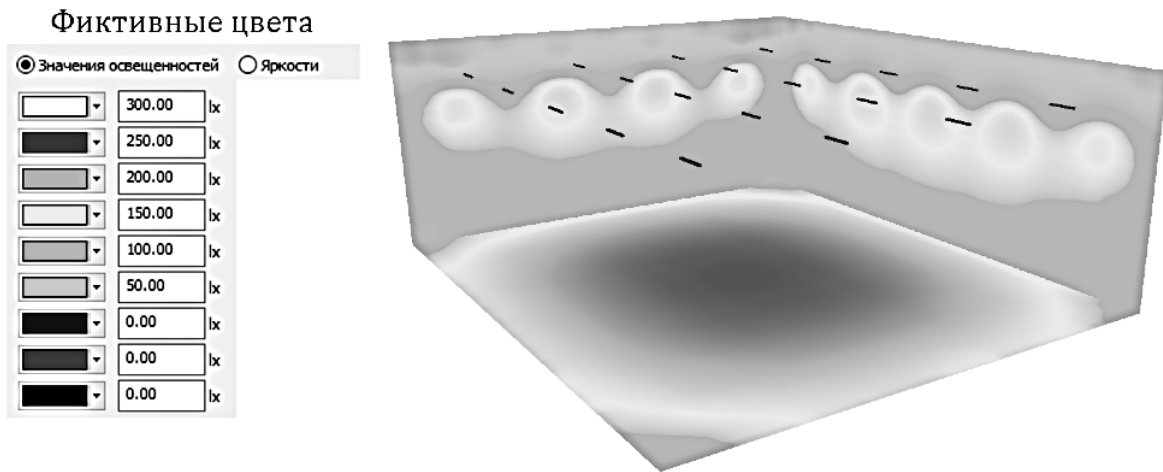
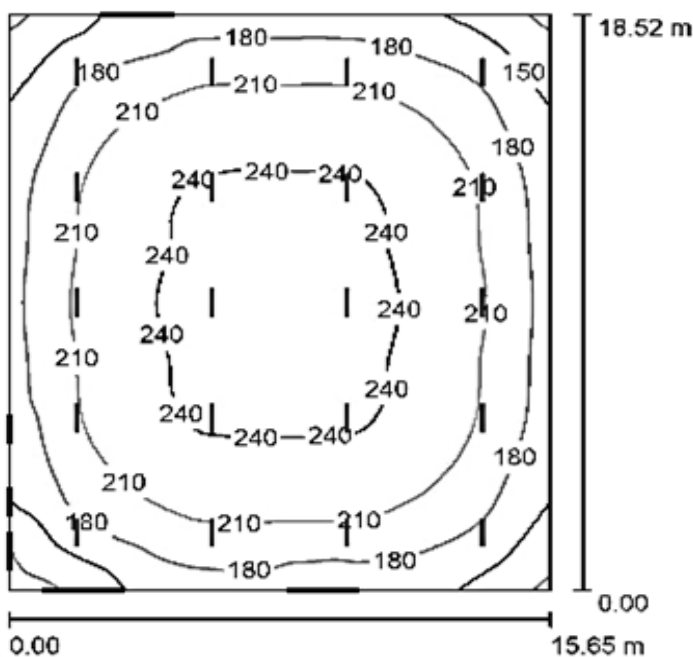


Рисунок 3 – Распределение значений освещенности аппаратного участка

Также мы автоматически можем получить распределение освещенности на рабочей поверхности и значения средних, минимальных и максимальных освещенностей, представленных на рисунке 4.

1 Аппаратный участок / Резюме



Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб
1:238

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	206	113	251	0.548
Полы	20	192	110	237	0.574
Потолок	70	47	34	51	0.719
Стенки (4)	50	112	41	177	/

Рисунок 4 – Распределение освещенности на рабочей плоскости

Следующее преимущество использование данной программы – это получение значений распределения яркостей внутри помещения, которые представлены на рисунке 5.

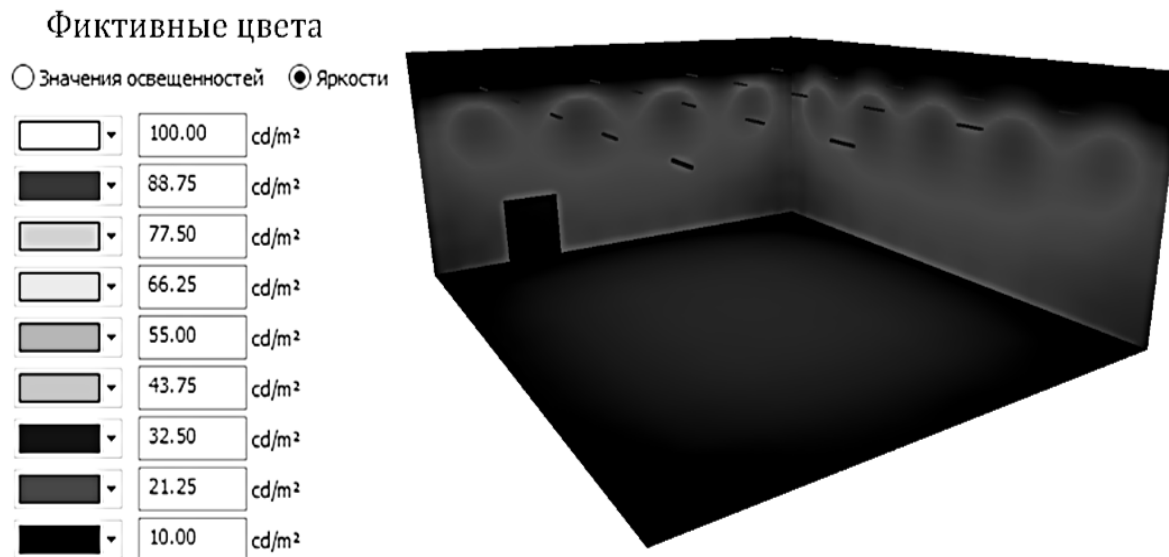


Рисунок 5 — Распределение значений яркости аппаратного участка

Можно сделать вывод, что выбранные ранее светодиодные светильники VOLGA-EU/38/IP40/110-diffus со световым потоком светильника 4800 лм, можно использовать для освещения аппаратного участка с освещенностью рабочей поверхности в 200 лк. Для обеспечения необходимой освещенности необходимо 20 шт. светильников.

Заключение

Благодаря выше перечисленной последовательности действий с использованием упомянутых программ можно довольно быстро подобрать осветительные приборы и произвести проверку обеспечения требуемой освещенности. Данные расчеты наиболее эффективны, если проектируемые помещения имеют необычное конструкторское решение, а наиболее часто используемые виды расчетов сложно применимы.

Литература

1. CSVT [Электронный ресурс]/ светотехническая аппаратура, комплектующие для светотехники, системы подвесных потолков. Режим доступа: <https://csvt.ru/> – Дата доступа: 15.10.2021.
2. Vysotskiy consulting [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bim.vc/edu/> – Дата доступа: 15.10.2021.

УДК 621.3

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДОВ И НАТРИЕВЫХ
ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ
COMPARISON OF EFFICIENCY OF LED AND HIGH PRESSURE SODIUM
LAMPS FOR PLANT LIGHTING**

Е.А. Чумаченко

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Chumachenko

Supervisor – T. Yaroshevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** Рассматриваются два вида освещения для теплиц. Дано описание преимуществ и недостатков каждого типа ламп, а также сравнивается их эффективность.*

***Abstract:** Two types of lighting for greenhouses are being considered. A description of the advantages and disadvantages of each type of lamps is given, and their effectiveness is compared.*

***Ключевые слова:** освещение, энергоэффективность, экономичность, снижение потребления электроэнергии.*

***Keywords:** lighting, energy efficiency, economy, reduction of electricity consumption.*

Введение

В настоящее время, для освещения растений, в том числе сельскохозяйственных культур рассматривается возможность замены натриевых ламп высокого давления на светодиодные лампы (Light Emitting Diode)

Основная часть

Обеспечение стабильного климата в теплице.

Светодиодное освещение выделяет намного меньше тепла (классические лампы HPS нагреваются почти до 450⁰С, а светодиодные - до 45⁰С), что позволяет лучше контролировать тепловой режим в теплице, оптимально использовать энергосберегающие завесы и поддерживать желаемый уровень CO₂ в помещении. Светодиодные лампы также можно подвешивать ближе к растениям, например, в виде светодиодных модулей Philips Green Power, что обеспечивает более высокую урожайность благодаря лучшему освещению нижних частей растений.

При освещении натриевыми лампами высокого давления (HPS) значительное количество тепла излучается в верхних частях здания через патроны и теряется. Во избежание чрезмерного повышения температуры, теплицу необходимо интенсивно проветривать, что затрудняет поддержку стабильных климатических условий и уровня CO₂, и ограничивает возможности оптимизации производства .

Оптимальный световой спектр.

Соответствие требованиям растений - важное преимущество светодиодных модулей. Лампы могут быть сконструированы так, чтобы излучать

монохроматический свет, стимулирующий определенные жизненные процессы растений. Чаще всего лампы состоят из светодиодов, которые излучают красный и синий свет в пропорциях, определенных для данного вида растений (например, LowBlue, MidBlue, HighBlue). Также используется белый свет, который кроме обеспечения оптимального излучения, позволяет изменять процентное соотношение компонентов светлых тонов. Благодаря такому решению поглощение растениями светодиодного излучения находится на уровне 85–90%. Для сравнения, в случае ламп HPS это 15-20%. Это связано с тем, что у натриевых ламп максимум испускания желтого цвета, который меньше всего используется растениями. Известно, что фотосинтез возможен благодаря фотосинтетическому пигменту – хлорофиллу, помимо хлорофиллов а и b (они в основном поглощают синий и красный свет), в процессе фотосинтеза также участвуют каротины и ксантофиллы (желтый и зеленый свет), использующие свет разных длин волн. Светодиодная технология позволяет изменять процентное соотношение отдельных световых спектров, выбирая метод экспонирования для конкретной культуры. Узнав о процессах фотосинтеза и имея технические возможности, ученые уже успешно выращивают исключаяющие солнечный свет культуры, переведенные на искусственное светодиодное освещение. Соответствующий спектр света выбирается для отдельных культур, и разрабатываются индивидуальные программы освещения.

Эффективность диодов.

Еще одним преимуществом светодиодных ламп является возможность плавной регулировки интенсивности света, что позволяет использовать столько энергии, сколько необходимо в данный момент, благодаря чему можно обеспечить растениям оптимальное количество света. Особенно это важно в начале производства, когда растения небольшие и нуждаются в слабом освещении. При использовании освещения HPS такая возможность отсутствует, так как эти лампы работают в режиме включения / выключения.

В светодиодной технологии энергоэффективность значительно выше, что является одной из важнейших характеристик этих ламп. В настоящее время в садоводческой практике она составляет от 3,5 до 3,6 мкмоль/Дж/с (максимальный лабораторный выход составляет 4,6 мкмоль/Дж/с, но в тепличном производстве это очень дорого). Для ламп HPS этот параметр составляет 1,8–1,9 мкмоль/Дж/с. Использование светодиодного освещения позволяет снизить потребление энергии на 40%, в сравнении с установками с натриевыми лампами высокого давления. В случае установок, рассчитанных на несколько лет работы, экономия может достигать 50-60%, что позволяет снизить как энергопотребление, так и затраты на подключение и обслуживание установки.

Прочность, экономия в обслуживании.

Традиционные натриевые лампы высокого давления могут работать порядка 10-12 тысяч часов, срок службы светодиодных ламп достигает 35-36 тысяч часов - что означает от 10 до 12 производственных сезонов при выращивании светлых томатов (срок окупаемости инвестиций оценивается в 3-5 лет). При такой длительной эксплуатации светодиодного освещения

практически нет необходимости обслуживать систему, в то время как в лампах HPS есть необходимость часто менять источник света. По сравнению с натриевыми лампами, светодиоды начинают эффективно работать при включении, им не нужен пятиминутный прогрев. Дополнительным недостатком технологии HPS является относительно быстрая потеря света. Потери через 2000 часов составляют 40%, светодиоды теряют около 1% после того же периода использования.

Рентабельность.

На данный момент светодиодное освещение в теплицах стоит на 20-25% дороже, чем HPS, за каждые 1000 м² теплицы. Предполагается, что на освещение теплицы площадью 1000 м² на 12 часов в течение 30 дней необходимо около 16-18 кВт·ч, в случае светодиодов - 3900 кВт·ч.

Однако, можно с уверенностью сказать, что вложенные затраты быстро окупятся, так как энергопотребление светодиодов на 50% ниже.

Заключение

Светодиодное освещение является альтернативой классическому освещению, которое ранее использовалось в садоводстве. Светодиоды являются более экологичными, отличаются необычайной прочностью и экономичностью, что позволяет растениям расти на 40% эффективнее при более низком потреблении энергии, а также настраивать свет под конкретную культуру.

Литература

1. Влияние света на растения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.floralworld.ru/care/light.html>. - Дата доступа: 27 октября 2021.
2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> .- Дата доступа: 22 октября 2021.
3. Коновалова, И.О. Обоснование оптимальных режимов освещения растений для космической оранжереи «Витацикл-Т». Авиакосмическая и экологическая медицина. / Коновалова И.О. Беркович Ю.А., Ерохин А.Н. [и др.]. // 2016. Т. 50. № 4.
4. Lin K.H., Huang M.Y., Huang W.D. et al. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata) // *Scientia Horticulturae*. – 2013. – V. 150. – P. 86–91.
5. Киселева, И.С. Физиология растений : учеб.-метод. пособие / И.С. Киселева, М.Г. Малева, Г.Г. Борисова, и др. // под общ. ред. И. С. Киселевой / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 120 с.

УДК 621.317.31

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА В
УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
USE OF DIFFERENT CURRENT MEASUREMENT METHODS IN THE
CONDITIONS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Д.П. Бортник

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Bortnik

Supervisor – M. Pratasenia, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Описаны методы и инструменты для контроля параметров тока, проведен анализ областей применения конкретных методов измерения тока в производственных условиях.*

***Abstract:** Methods and tools for monitoring current parameters are described, an analysis of the areas of application of specific methods for measuring current in industrial conditions is carried out.*

***Ключевые слова:** измерение, эффект Холла, датчик потока, катушка Роговского, трансформатор тока*

***Keywords:** measurement, Hall effect, flow sensor, Rogowski coil, current transformer*

Введение

Измерение тока должно производиться в цепях всех напряжений, где оно необходимо для систематического контроля технологического процесса или оборудования. Амперметры постоянного тока должны иметь двусторонние шкалы, если возможно изменение направления тока. В цепях переменного трехфазного тока обычно измеряется ток фазы.

Основная часть

В токоизмерительных клещах, и часто при измерении тока в промышленных и автомобильных системах используются датчики с эффектом Холла.

Эффект был открыт американским физиком Эдвином Гербертом Холлом. Его используют для обнаружения магнитного поля и применяют во многих приборах и приспособлениях, таких как спидометры, дверная сигнализация, бесколлекторные двигатели и т.п.

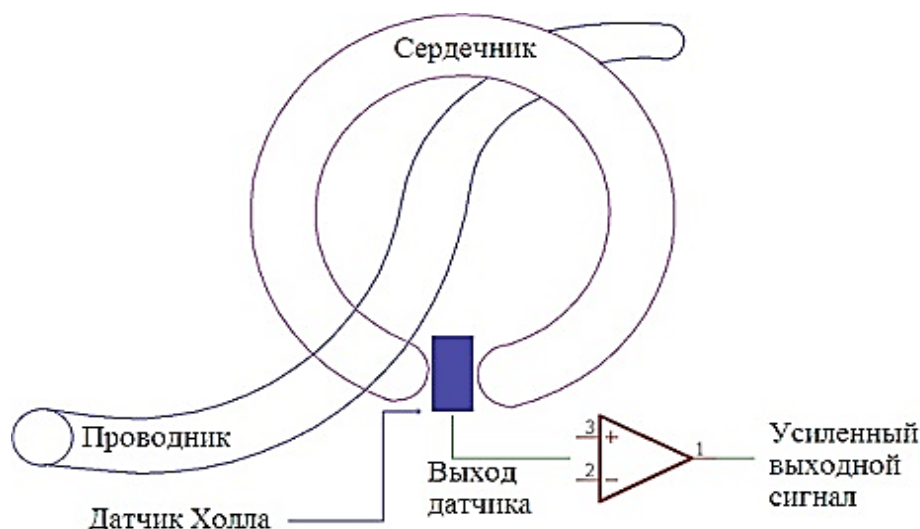


Рисунок 1 – Эффект Холла

Датчик Холла построен на использовании этого эффекта, он выдает величину выходного напряжения от изменения магнитного поля, по которому определяется ток. Величина выходного напряжения, пропорциональная магнитному полю, очень мала, и ее увеличивают до полезного значения усилителем с низким уровнем шума. Так как это линейный преобразователь, то помимо схемы усилителя требуются дополнительные схемы. Такие датчики измеряют ток от нескольких миллиампер до тысяч ампер.

Основной частью инструмента для метода определения тока с помощью датчика потока является насыщаемый индуктор. Из-за этого такой датчик называется датчиком тока насыщаемой индуктивности.

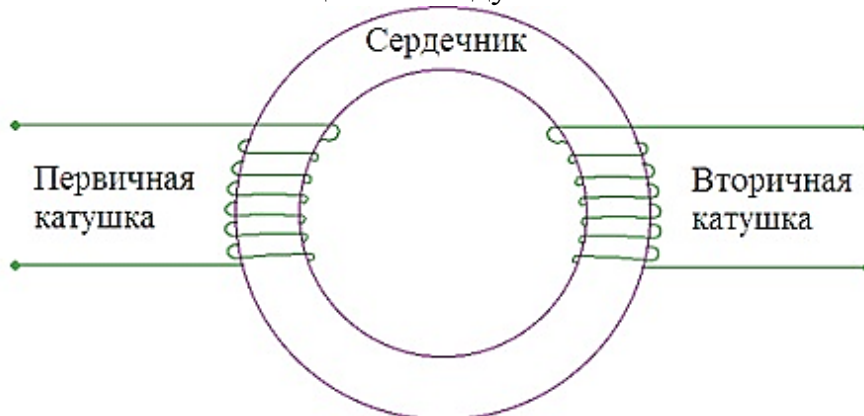


Рисунок 2 – Датчик потока

На Рисунке 2 показана базовая конструкция датчика потока. В нем есть две катушки первичной и вторичной обмотки вокруг насыщаемого сердечника индуктора. Изменения в потоке тока изменяют проницаемость сердечника, это приводит к изменению индуктивности в другой катушке.

Датчик Холла работает аналогично датчику потока, но между ними есть различие в основном материале. Датчик потока использует насыщаемый индуктор, а датчик эффекта Холла использует воздушный сердечник.

Сферы использования таких датчиков от измерения тока в инверторах солнечной энергии и измерения переменного и постоянного тока с обратной связью до измерения тока утечки и перегрузки по току.

Широкий спектр применения имеет также катушка Роговского. Это измерение тока в больших силовых модулях, таких как полевые МОП-транзисторы или мощные транзисторы IGBT. Этот прибор назван в честь немецкого физика Вальтера Роговского. Он выполнен с использованием спиральной катушки с воздушным сердечником, которая намотана на целевой проводник для измерения тока. Катушка Роговского измеряет выходное напряжение в зависимости от скорости изменения тока в проводнике, а дополнительная схема интегратора создает выходное напряжение пропорциональное току.

На Рисунке 3 показана катушка Роговского с интегральной цепью.

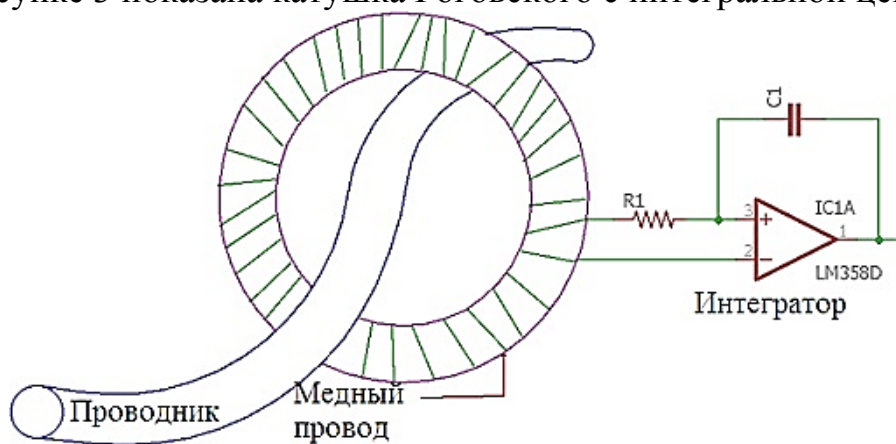


Рисунок 3 –Катушка Роговского

При исследованиях переходных процессов или высокочастотных синусоидальных волн катушка Роговского имеет очень быстрый отклик и обеспечивает гибкость измерения, поэтому она удобна для измерений высокочастотных переходных процессов в линиях электропередачи, а также в приложениях распределения мощности или в интеллектуальной электросети.

Для измерения тока по вторичному напряжению может использоваться трансформатор тока (ТТ). На Рисунке 4 показана конструкция такого трансформатора.

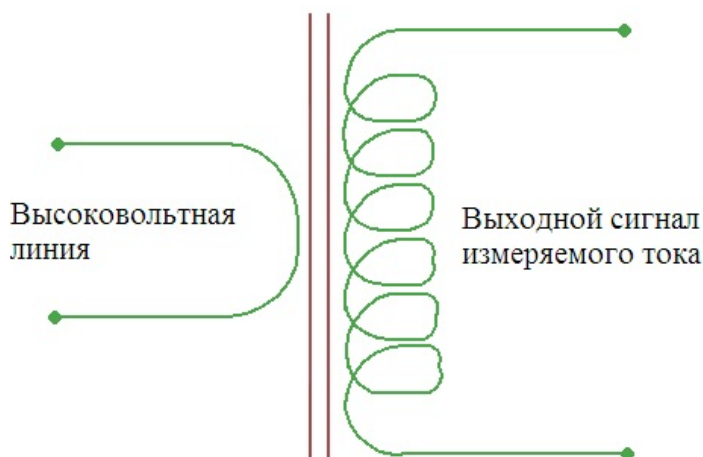


Рисунок 4 –Конструкция трансформатора тока

Измерение постоянного тока должно производиться в цепях: 1) генераторов постоянного тока и силовых преобразователей; 2) аккумуляторных батарей, зарядных, подзарядных и разрядных устройств; 3) возбуждения синхронных генераторов, компенсаторов, а также электродвигателей с регулируемым возбуждением. В цепях переменного трехфазного тока следует измерять ток каждой фазы: 1) для синхронных турбогенераторов мощностью 12 МВт и более; 2) для линий электропередачи с пофазным управлением, линий с продольной компенсацией и линий, для которых предусматривается возможность длительной работы в неполнофазном режиме; в обоснованных случаях может быть предусмотрено измерение тока каждой фазы линий электропередачи 330 кВ и выше с трехфазным управлением; 3) для дуговых электропечей.

Заключение

В работе рассмотрены методы измерения величины тока и типы измерительных приборов, применяемых в условиях промышленных предприятий, проведен анализ областей применения конкретных методов.

Литература

1. Вольдек А. И., Попов В. В. «Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы» 2008.
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения.

УДК 621.311

**КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ
ELECTRICAL POWER QUALITY, WAYS TO INCREASE VOLTAGE**

П.С. Рудик

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Rudik

Supervisor – I. Kolosova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье отражены показатели качества электрической энергии, рассмотрен один из показателей: отклонение напряжения, на примере представлены способы повышения напряжения на зажимах наиболее удалённого электроприёмника, использование РПН, ПБВ трансформаторов и поперечной компенсации.*

***Abstract:** the article reflects the indicators of electrical energy, considers one of the indicators: voltage deviation, by example presents ways to increase the voltage at the terminals of the most remote electrical receiver: the use of RPN, PBV transformers and t of transverse compensation.*

***Ключевые слова:** показатели, качество, напряжение.*

***Keywords:** indicators, quality, voltage.*

Введение

Проблема качества электрической энергии (ЭЭ) становится всё более актуальной с ростом мощностей групп электрических приёмников (ЭП), имеющих разнопеременный характер нагрузки, появление ЭП с нелинейной вольтамперной характеристикой, а также приёмников чувствительных к изменениям параметров сети. С 1.02. 2016 г. вступил в силу ГОСТ32144-2013, который определил нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения (СЭС) общего назначения, заменив ГОСТ13109-97.

Под качеством электроэнергии (КЭ) понимается степень соответствия параметров электрической энергии установленным значениям. Настоящий стандарт нормирует не все показатели, описанные в нём в виду непредсказуемости ряда явлений, оказывающих влияние на напряжение, на данный момент установлено 11 основных [2]:

- установившееся отклонение напряжения;
- размах изменения напряжения (доза колебаний напряжений);
- доза фликера (мерцания);
- коэффициент несинусоидальности кривой напряжения;
- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка;
- коэффициент обратной последовательности напряжений;
- коэффициент нулевой последовательности напряжений;
- длительность провала напряжения;

- импульсное напряжение;
- коэффициент временного перенапряжения;
- отклонение частоты.

Из-за некачественной ЭЭ наблюдается такое явление, как ущерб, который влечёт дополнительные затраты на эксплуатацию оборудования, преждевременное старение изоляции, ложное срабатывание устройств релейной защиты, недоотпуск продукции и т.д.

Рассмотрим более подробно установившееся отклонение напряжения и способы его регулирования в рамках промышленных предприятий.

Основная часть

Одним из значимых показателей характеризующих надёжную работу СЭС является установившееся отклонение напряжения. ГОСТ 32144-2013 определил данную проблему, как медленное изменение напряжения (продолжительностью более 1 мин), которое обусловлено обычно изменением нагрузки электрической сети. Показателями КЭ относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное отклонение $\delta U_{(+)}$ в точке передачи электрической энергии от номинального(согласованного значения) [3]

$$\delta U_{(-)} = \frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \cdot 100; \quad (0.1)$$

$$\delta U_{(+)} = \frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \cdot 100, \quad (0.2)$$

где $U_{m(-)}, U_{m(+)}$ - значения напряжения электропитания, меньшие и большие соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30.

Отрицательное отклонение напряжения (underdeviation) -это абсолютное значение разности между измеренными и номинальными величинами напряжения в случае, когда измеренное меньше номинального значения, %.

Положительное отклонение напряжения (overdeviation) -это разность между измеренным и номинальным значениями напряжения в случае, когда измеренное больше номинального значения [3].

В качестве действительного напряжения принимают напряжение прямой последовательности основной частоты, нормально допустимые значения отклонения напряжения составляют $\pm 5\%$, а предельно допустимые $\pm 10\%$. На практике обычно решается задача определения отклонения напряжения на границе балансовой принадлежности. На промышленном предприятии производят определение значения напряжения на самом удалённом электроприёмнике и, если необходимо, разрабатывают мероприятия по регулированию напряжения на этом ЭП до величины близкой к $U_{\text{ном}}$. Рассмотрим пример электроснабжения удалённого электроприёмника и на нём покажем какие существуют методы по регулированию напряжения.

Схема питания самого удалённого ЭП представлена на рисунке 1.

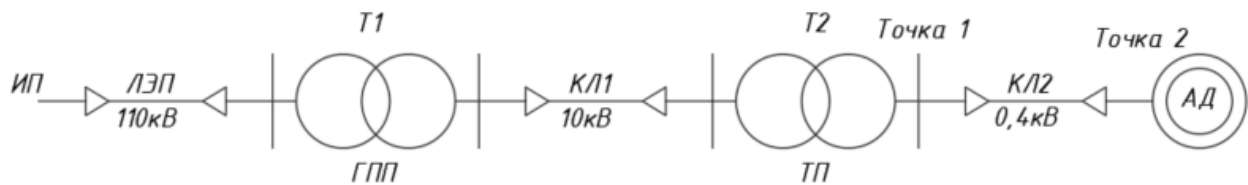


Рисунок 1- схема питания самого удалённого электроприёмника: ЛЭП 110кВ: А1-150, l=25км; Т1(ГПП): ТРДН40000/110; Т2: ТМГ32-1600/10; КЛ1 10кВ: АПвПу 3×120-10, l=0,6км; КЛ2 0,4кВ: АВВГ 5×50-1, l=0,3км; АД: АИР225М4, P_н=55 кВт.

Расчёт показал следующие потери напряжения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта

Параметр	ЛЭП	ГПП	КЛ1	ТП	КЛ2	Сумма
Падение напряжения (режим максимума нагрузки), $\Delta U'$ %	1,74	3,5	0,52	2,41	7,44	15,61
Падение напряжения (режим минимума нагрузки), $\Delta U''$ %	1,35	3,64	0,31	2,21	7,44	14,95
Потери напряжения в точке 1, $\delta U'_{(-)}$ %				3,7		
Потери напряжения в точке 2, $\delta U'_{(-)}$ %					11	

Режиму максимума и минимума нагрузок соответствуют значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры расчёта

Параметр	Максимальное значение	Минимальное значение
$U_{ип}, \text{кВ}$	115	110
$\beta_{Т1,Т2}$	0,8	0,5
$\cos f_{Т1,Т2}$	0,94	0,8

Из полученных результатов видно, что самый удалённый электроприёмник не попадает в промежуток $\pm 10\%$, следовательно, нужно предпринять меры по повышению напряжения на его зажимах, которые можно условно разделить на две группы [1]:

- Не требующих установки специальных регулирующих устройств.
- Связанные с установкой регулирующих устройств.

К первой группе относятся:

- рациональное построение систем электроснабжения, например, с оптимальной загрузкой трансформаторов, применением токопроводов и т.п.;
- установка на ГПП трансформаторов, имеющих устройство регулирования под нагрузкой (РПН). В приведенной схеме используется трансформатор ТРДН40000/110, с устройством РПН;

- правильный выбор ответвлений обмоток трансформатора, имеющих устройства ПБВ (переключение без возбуждения), что и применяется в трансформаторах ТМГ32-1600/10.

Ко второй группе относят:

- устройства поперечного и продольной компенсации;
- специальные регуляторы напряжения.

По [1] наиболее эффективным способом регулирования напряжения в цеховых электрических сетях напряжением до 1кВ – изменение коэффициента трансформации цеховых трансформаторов с помощью ПБВ, однако следует уточнить, что рассмотренный метод требует отключения трансформатора от сети, регулирование таким способом осуществляется редко (в лучшем случае 2 раза в год). Рассмотрим этот способ в режиме максимума нагрузок.

Стандартные значения добавок напряжения с шагом 2,5% в цеховых трансформаторах напряжением 6-10кВ с ПБВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – стандартное значение добавок напряжения

Номер добавки	Количество дополнительных витков <i>w, %</i>	Значения добавки напряжения <i>E_T, %</i>
1	5	0
2	2,5	2,5
3	0	5
4	-2,5	7,5
5	-5	10

Выберем регулировочное ответвление по формуле

$$E_T = U_{2ж} + \sum_{i=1}^n \Delta U_{ли} + \sum_{i=1}^m \Delta U_{Ti} - U_{ИП} \quad (1.3)$$

где $U_{2ж}$ -желаемое напряжение на шинах до 1кВ подстанции, %;

$U_{ИП}$ - напряжение на шинах источника питания (ИП), %;

$\Delta U_{ли}$ -потери напряжения в i -ой линии на пути от ИП до рассматриваемой точки.

ΔU_{Ti} -потеря напряжения в трансформаторах до рассматриваемой точки.

n - число линий на пути к наиболее удалённому электроприёмнику;

m - число трансформаторов на пути к наиболее удалённому ЭП.

В нашем случае:

$$E_T = 105 + 1,74 + 3,5 + 0,52 + 2,41 + 7,44 - 104 = 16,61 \%$$

Ближайшее стандартное значение $E_T=10\%$. После выбора стандартной величины определим фактическое значение вторичного напряжения в % :

$$U_2 = U_{ИП} + E_T - \sum_{i=1}^n \Delta U_{ли} - \sum_{i=1}^m \Delta U_{Ti} \quad (1.4)$$

$$U_2 = 105 + 10 - 1,74 - 0,52 - 7,44 - 3,5 - 2,41 = 99,39 \%$$

Найдём напряжение на шинах до 1кВ:

$$U_2 = \frac{99,39 \cdot 400}{100} = 397,56 \text{ В} .$$

Можно сделать вывод, что использование данного метода будет более целесообразно в том случае, если ИП будет ГПП, а не удалённый источник питания (подстанция системы 110/10кВ) с продолжительной питающей линией.

В свою очередь на ГПП на трансформаторе Т1 существует свое регулирование РПН, которое происходит в автоматическом режиме. Необходимо определить новый коэффициент трансформации, т.е. найти ту ступень регулирования, которая сможет обеспечить желаемое напряжение электроприёмника. Трансформатор ТРДН40000/110 имеет диапазон регулирования $-9 \times 1,78 \div +9 \times 1,78$, тогда известно, что

$$K_{\text{тр}}^{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}} , \tag{1.5}$$

где $U_{\text{ВН}}$ - номинальное напряжение высшей стороны трансформатора;

$U_{\text{НН}}$ - номинальное напряжение низшей стороны.

Определим новый коэффициент трансформации по формуле:

$$K_{\text{тр}}^{\text{НОВ}} = K_{\text{тр}}^{\text{НОМ}} \cdot \left(1 + \frac{m \cdot 1,78}{100}\right) , \tag{1.6}$$

где m - ступени регулирования трансформатора.

Для режима наибольших нагрузок ($\delta U_{(-)}' = 11\%$) можно составить отношение:

$$\frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}} \cdot K_{\text{тр}}^{\text{НОВ}}} = 1,11; \quad \frac{K_{\text{тр}}^{\text{НОМ}}}{K_{\text{тр}}^{\text{НОВ}}} = 1,11 .$$

Подставив (1.5) и (1.6) получим:

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{m \cdot 1,78}{100}\right)} = 1,11 . \tag{1.7}$$

Выразив m из (1.7): $m = -5,67\%$, что соответствует стандартному значению $m = -6\%$. Можно сделать вывод, что при ступени РПН равной $-6 \times 1,78$ мы сможем отрегулировать напряжение низшей стороны трансформатора ТРДН40000/110, на 11%.

Ещё один способ регулирования напряжения на зажимах электроприёмника является использование компенсирующих устройств, которые могут быть подключены, как параллельно, так и последовательно. На практике чаще встречается параллельное подключение (поперечная компенсация).

Рассмотрим влияние мощности компенсирующего устройства на потери напряжения в питающей линии. Падение напряжения находится по выражению [1]:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{\text{ном}}} \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Тогда, величина, на которую снизится падение напряжения, а это в свою очередь приведёт к увеличению напряжения на зажимах АД, при использовании компенсирующего устройства мощностью Q_k вычисляется как:

$$\delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 \quad (1.9)$$

где ΔU_1 и ΔU_2 - потери напряжения до и после компенсации соответственно.

Тогда с учётом выражения (1.8) получим $\delta U\%$:

$$\delta U\% = \frac{Q_k X}{10U_{\text{ном}}^2} 10^{-3} \quad (1.10)$$

Из выражения (1.10) определим значение мощности компенсирующего устройства:

$$Q_k = \frac{10U_{\text{ном}}^2 \delta U\%}{X} \quad (1.11)$$

При $\delta U\% = 11\%$, $Q_k = 678$ квар.

Заключение

Проблема регулирования напряжения актуальна на сегодняшний день, использование того или иного метода, приведенного выше носит индивидуальный характер и требует более тщательной проработки вопроса, в том числе экономического обоснования.

Литература

1. Радкевич В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие/ В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – 2-е изд., исправленное.- Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 589 с.
2. Показатели качества электроэнергии в электрических сетях [Электронный ресурс]/. Показатели качества электроэнергии в электрических сетях. -Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1474-pokazateli-kachestva-jelektroenergii-v.html/>. – Дата доступа: 25.10.2021.
3. ГОСТ32144-2013 [Электронный ресурс]/межгосударственный стандарт. -Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301/>. – Дата доступа: 25.10.2021.

УДК 621.3

**МАЛАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
SMALL NUCLEAR ENERGY**

А.Г. Гончаревич

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Goncharevich

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk*Аннотация: преимущества использования реакторов малой мощности.**Abstract: advantages of using small power reactors.**Ключевые слова: атомная энергетика, модульные реактор, возобновляемые источники энергии**Keywords: nuclear energetics, modular reactor, renewable sources.***Введение**

Реакторы малой и средней мощности обеспечивают потребности в динамичном производстве электроэнергии для самых различных потребителей и применений. Реакторы представляют способы сочетания ядерных с альтернативными источниками энергии, в том числе возобновляемые источники.

Основная часть

Глобализация, развитие городов, увеличение населения, устаревающая инфраструктура и усложнение природоохранного законодательства угрожает сегодняшней электрогенерирующей мощности. Мировой спрос на электроэнергию через 10 лет возрастет, согласно прогнозам, на 33%. Возрастание потребления мощности делает необходимым поиск доступных экологически чистых энергоносителей.

В этом аспекте внимание привлекает также ядерная энергетика.

В настоящее время ведется разработка малых ядерных установок, которые могут быть построены независимо, или собраны в виде модулей в крупный комплекс (модульная конструкция с использованием небольших блоков реактора). Создаются отдельные реакторные установки малых размеров для эксплуатации в районах, удаленных от централизованной энергосистемы. Один из таких проектов компактной модульной АЭС компании NuScale представлен на рисунок 1.

Малые модульные реакторы определяются как ядерные реакторы, до 300 МВт

Основными преимуществами малых модульных реакторов можно считать:

- Обеспечение электроэнергией малых потребителей;
- Обеспечение электроэнергией удаленных и труднодоступных потребителей;
- Удобство компоновки, набора необходимой мощности и возможность ее изменения в зависимости от требований потребителей;
- Полная или высокая степень заводской готовности к эксплуатации;

- Транспортабельность отдельных модулей или блоков.
- Минимизация объемов и стоимости строительно-монтажных работ;
- Эксплуатация в автономном режиме;
- Минимизация обслуживающего персонала;
- Упрощение процедур снятия с эксплуатации;
- Снижение экологических последствий для окружающей среды;
- Возможность работы в режиме когенерации, опреснения воды, выработки водорода.



Рисунок 1 – Проект компактной модульной АЭС компании NuScale

Заключение

В мире возрастает интерес к модульным реакторам вследствие их возможности возмещать потребность в динамичном производстве электроэнергии для самых разных потребителей, улучшенным показателям безопасности, пригодностью для когенерации, применения для отдаленных регионов с мало развитой инфраструктурой. Это дает возможность создания синергетических гибридных энергетических систем, которые включают ядерные и альтернативные источники энергии, в том числе возобновляемые источники.

Литература

1. Малые модульные реакторы[электронный ресурс]/ малые модульные реакторы. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/temy/malye-modulnye-reaktory>. – Дата доступа: 24.10.2021.
2. Атомные станции малой мощности[электронный ресурс]/ атомные станции малой мощности. – Режим доступа: <https://rosatom.ru/production/atomnye-stantsii-maloy-moshchnosti/>. – Дата доступа: 24.10.2021.

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ПРОИЗВОДСТВО СОЛИ НА ОАО «МОЗЫРЬСОЛЬ»

В.А. Борбовский

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

СТРУКТУРА ФИЛИАЛА РУП «МИНСКЭНЕРГО» МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

И.В. Зинович

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

РЕКОНСТРУКЦИЯ МИНСКОЙ ТЭЦ-3 С ЗАМЕНОЙ ВЫБЫВАЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ ОЧЕРЕДИ 14 МПА

К.А. Михолап, А.В. Чешкин, О.С. Болтуцкий

Научный руководитель – М.И. Позднякова, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.И. Савицкая

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

СРАВНЕНИЕ НАСТЕННЫХ И НАПОЛЬНЫХ ДОМАШНИХ КОТЛОВ

И.Д. Пашкевич

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

ОАО «БЕЛЭНЕРГОРЕМНАЛАДКА», КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РАБОТОДАТЕЛЬ

Д.С. Савич

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМПЛОЩАДКИ РУП «ГРАНИТ»

Е.А. Шепко, К.А. Войтик

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРАВИЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТРУБ

А.Ю. Апанасевич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ НА МТЭЦ-3

А.Г. Щекало, Н.Д. Козинцов, А.В. Лось

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

И.О. Лагунёнок

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛА ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ТЕПЛОФИКАЦИОННЫМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ, ОДНИМ РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ОТБОРОМ И ДВУМЯ РЕГУЛИРУЕМЫМИ ОТБОРАМИ ПАРА НА ЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

К.О. Клименков

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА АТОМНЫХ СТАНЦИЯХ

К.А. Мордас

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНСКОЙ ТЭЦ-4 ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ТУРБОАГРЕГАТА

А.П. Севостьян, Т.В. Бегункович

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.А. Судак, А.Н. Санько

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АСКУЭ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ

А.В. Кравченко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

АБСОРБЦИОННАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА

К.И. Пеньковский

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МОЗЫРСКАЯ ТЭЦ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Д.В. Манзуля

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНСКОЙ ТЭЦ-2

Е.А. Сырица

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ВНЕДРЕНИЕ КОТЕЛЬНЫХ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.В. Кулыгин

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМУФТ НА ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСАХ

К.А. Рум

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Ю.С. Кохан

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В.М. Рыктер, Д.А. Войтович, Д.Э. Ильюченко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д.А. Янов

Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажёр

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЗАО «АТЛАНТ»

М.Б. Макеева, Е.В. Полуянова

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ПЕРВИЧНОГО ТОПЛИВА

Н.С. Мысливец

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.С. Дудинец

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НА КОТЛАХ ТИПА Е-500-13,8-560 ГМ

Д.В. Марусич, П.А. Перехвал, А.А. Стельмах

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М.П. Кузьмич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

В.А. Вирко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

М.С. Карака

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

И.В. Василевский, Я.С. Яцухно

Научный руководитель – А.А. Бобич, к. т. н., доцент

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭНЕРГОПЕРЕХОД. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.С. Шенец

Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор

УСТАНОВКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ПИНСКОЙ ТЭЦ

А.В. Рапута

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СВЕТЛОГОРСКОЙ ТЭЦ

Т. А. Сиваков, Н. С. Покровский

Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель

ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД И ПРОБЛЕМЫ

А. В. Казейка

Научный руководитель – В.Н. Романюк, доктор технических наук, профессор

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ВИЛЕЙСКОЙ МИНИ-ТЭЦ

В.В. Ефименко, А.А. Сотникова

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

РАСЧЁТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

М.Б. Макеева, П.А. Перехвал

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПИ ТРУБ

Е.В. Буча

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ АП-12-35 НА ЛЕТНИХ И ЗИМНИХ РЕЖИМАХ

А.И. Побережнюк, Д.О. Черненко, И.В. Шатило

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель

ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

К.О. Клименков, Д.В. Глинкин

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ

П.А. Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СХЕМ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ЕЁ ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Д.В. Глинкин

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель

УДК 664.41

**ПРОИЗВОДСТВО СОЛИ НА ОАО «МОЗЫРЬСОЛЬ»
SALT PRODUCTION AT OJSC «MOZYRSOL»**

В.А. Борбовский

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

V. Borbovsky

Supervisor – T. Petrovskaya, senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Производство соли на ОАО «Мозырьсоль», краткая история предприятия, а также статистика потребления и сферы ее применения. Экономические показатели. Возможные перспективы развития.

Abstract: Salt production at OJSC «Mozyrsalt», a brief history of the enterprise, as well as consumption statistics and the scope of its application. Economic indicators. Possible development prospects.

Ключевые слова: предприятие, производство и потребление соли, перспективы развития.

Keywords: enterprise, roduction and consumption of salt, development prospects.

Введение

Предприятие ОАО «Мозырьсоль» спроектировано научно-исследовательским институтом города Санкт-Петербург. Введено в эксплуатацию в декабре 1982 года для разработки пластов каменной соли Мозырского месторождения и является одним из крупнейших в странах СНГ производителем пищевой соли экстра «Полесье».

ОАО «Мозырьсоль» является правопреемником государственного предприятия «Мозырский солевыварочный комбинат», которое было создано в соответствии с приказом Минпищепрома СССР от 20.01.1983 года и приказом Минпищепрома БССР от 31.01.1983 года № 16. В 1997 году предприятие преобразовано в открытое акционерное общество «Мозырьсоль». С 24 августа 2000 года в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь № 460 ОАО «Мозырьсоль» вошло в состав Белорусского государственного концерна пищевой промышленности «Белгоспищепром».[1]

Основная часть

Предприятие построено на базе Мозырского месторождения каменной соли, разведанные запасы которой исчисляются сотнями миллионов тонн. Проектная мощность предприятия – 360000 тонн соли в год. Выпускает соль пищевую, соль для водоподготовки, соль посолочно-нитритную, сухие приправы. [2]

Основной задачей которую ставит перед собой предприятие – это непрерывный поиск и применение новых, более совершенных, технологий в сфере производства, сбыта и маркетинга. Улучшение качества выпускаемой продукции, а также расширение доли рынка.

Добыча соли происходит бесшахтным способом. Процесс постоянно модернизируется и в текущий момент представляет собой постепенное растворение соленосного слоя, залегающего на глубине от 550 до 1200 метров, водой питьевого назначения. В связи с высоким качеством очистки и применением особых подходов в технологическом процессе на выходе получается продукт с содержанием хлорида натрия не менее 99,7 %.

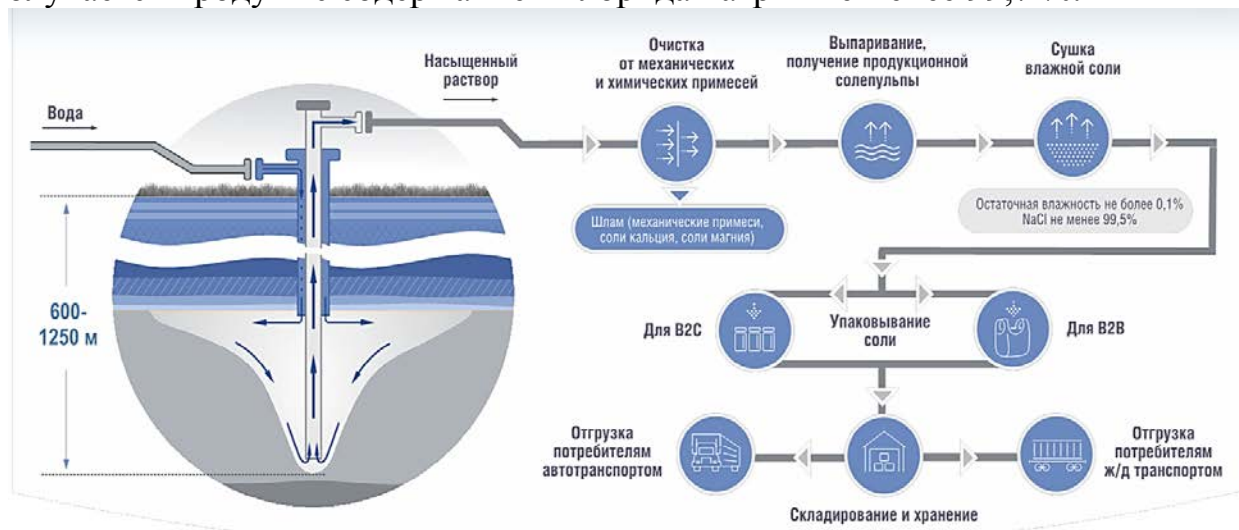


Рисунок 1 – Основной способ добычи и производства

Темпы производства с каждым годом наращиваются. В 2016 года был внедрен проект «Реконструкция существующих мощностей ОАО «Мозырьсоль» с увеличением производительности до 480 тыс. тонн соли в год».

Заключение

ОАО «Мозырьсоль» – крупнейший производитель вакуум-выварочной пищевой соли сорта «Экстра» на территории СНГ и Западной Европы. Продукция поставляется в 18 стран по всему миру.

Литература

1. ОАО «Мозырьсоль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mozyrsalt.by>. – Дата доступа: 24.06.2021.
2. ОАО «Мозырьсоль» [Электронный ресурс]/ Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мозырьсоль> / – Дата доступа: 10.09.2021.

УДК 620.9

**СТРУКТУРА ФИЛИАЛА РУП «МИНСКЭНЕРГО»
МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ
STRUCTURE OF THE BRANCH OF RUE "MINSKENERGO" MINSK
HEATING NETWORKS**

И.В. Зинович

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Zinovich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Филиал “Минские тепловые сети” обеспечивает центральным теплоснабжением более 13,9 тыс. потребителей с суммарной тепловой нагрузкой 9656 Гкал/ч, выработку тепла и его транспорт от ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4. Рассредоточенное по городу тепловое хозяйство обслуживается 8 сетевыми районами, суммарная протяженность сетей по которым составляет 1296 км (в двухтрубном исчислении. Совместно с ТЭЦ-4 эксплуатируют уникальный комплекс теплоснабжения юго-западного района города Минска. По величине и степени сложности схемы теплоснабжения предприятие занимает второе (после Москвы) место среди стран СНГ и Балтии. Одним из основных структурных подразделений Минских тепловых сетей является Минская ТЭЦ-2.*

***Abstract:** The Minsk Thermal Networks branch provides central heat supply to more than 13,9 thousand consumers with a total heat load of 9656 Gcal/h, heat generation and its transport from HPP-3 and HPP-4. The thermal economy dispersed throughout the city is served by 8 network districts, the total length of the networks for which is 1296 km (in two-pipe terms. Together with HPP-4, they operate a unique heat supply complex in the south-western district of the city of Minsk. In terms of the size and complexity of the heat supply scheme, the enterprise occupies the second (after Moscow) place among the CIS and Baltic countries. One of the main structural divisions of the Minsk thermal networks is the Minsk HPP-2.*

***Ключевые слова:** “Минские тепловые сети”, централизованное теплоснабжение, ТЭЦ-2, тепловая мощность, ПГУ, энергоэффективность, топливо.*

***Keywords:** "Minsk thermal networks", centralized heat supply, CHPP-2, thermal power, CCGT, energy efficiency, fuel.*

Введение

Электроэнергетическая отрасль – важнейшая часть экономики Республики Беларусь, обеспечивающая производство электрической и тепловой энергии, поэтому установка нового и обновление действующего основного энергетического оборудования электростанций должны осуществляться с применением самых современных и эффективных энерготехнологий, которыми на сегодняшний день являются парогазовые установки (ПГУ).

Учитывая, что основным топливом в энергетике Беларуси является импортируемый природный газ, внедрение ПГУ особенно актуально, т.к. позволяет значительно снизить расход газа в энергосистеме, а также уменьшить затраты и сроки строительства новых источников энергоснабжения, снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Основная часть

Филиал «Минские тепловые сети» обеспечивает централизованное теплоснабжение более 13,9 тыс. потребителей столицы с присоединенной суммарной тепловой нагрузкой 9656 Гкал/ч, выработку тепла, а также его транспорт от Минских ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4.

В состав филиала «Минские тепловые сети» входят Минская ТЭЦ-2, 7 районных котельных, 12 понизительных насосных станций, установленных на тепловых сетях, 5 теплофикационных насосных на пиковых водогрейных котельных, 219 центральных тепловых пунктов, десятки тысяч единиц различного оборудования и вспомогательных средств.

Все это рассредоточенное по городу тепловое хозяйство обслуживается 8 сетевыми районами, суммарная протяженность сетей по которым составляет 1296 км (в двухтрубном исчислении).

Общая установленная тепловая мощность энергоисточников (котельные, ТЭЦ-2) - 3327 Гкал/ч, мощность ТЭЦ-2 - 80 МВт.

Минские тепловые сети совместно с ТЭЦ-4 эксплуатируют уникальный комплекс теплоснабжения юго-западного района города Минска. По величине и степени сложности схемы теплоснабжения предприятие занимает второе (после Москвы) место среди стран СНГ и Балтии.

Основные функции работы с потребителями

Выдача (продление) технических условий на присоединение теплоустановок потребителей к тепловым сетям.

Выдача технических условий на установку средства расчетного учета и (или) системы автоматического регулирования тепловой энергии.

Согласование в проектной документации на внешнее и внутреннее теплоснабжение отступлений от требований технических условий, технических нормативных правовых актов.

Выдача разрешения на право производства работ в охранной зоне тепловых сетей

Выдача «Акта разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон» и «Разрешения на присоединение к тепловым сетям объекта теплоснабжения» для заключения договора на теплоснабжение с филиалом «Энергосбыт».

Опломбировка приборов учета тепловой энергии.

Подключение теплоустановок (по наряду-допуску филиала «Энергонадзор»).

Приемка показаний приборов учета потребленной тепловой энергии.

В настоящее время на балансе Минских тепловых сетей находится:

- 1151,5 км (в двухтрубном исчислении) тепловых сетей, в том числе:
- магистральных – 248,1 км;

- распределительных и внутриквартальных – 903,4 км;
- Минская ТЭЦ-2;
- 7 районных котельных :Орловская (200 Гкал/ч), Харьковская (350 Гкал/ч), Кедышко (400 Гкал/ч), Степянка (13,5 Гкал/ч), Масюковщина (200 Гкал/ч), Курасовщина (300 Гкал/ч), Западная (260 Гкал/ч; 200 тонн пара/ч), Шабаны (840 Гкал/ч; 200 тонн пара/ч);
- 16 насосных станций;
- более 200 центральных тепловых пунктов;
- десятки тысяч единиц различного оборудования.

Одним из основных структурных подразделений Минских тепловых сетей является Минская ТЭЦ-2. Минская ТЭЦ-2 расположена в центральной части г.Минска и предназначена для теплоснабжения:

- Отопительной нагрузки тепловых потребителей.
- Отопительно-вентиляционной нагрузки промпредприятий, магазинов, учреждений и метро.
- Снабжение технологическим паром близрасположенных фабрик и заводов (велозавод, фабрика "Коммунарка).
- Выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

После реализации проекта «Реконструкция Минской ТЭЦ-2. I пусковой комплекс» 30.06.2011г. введены в эксплуатацию оборудования двух энергоблоков ПГУ электрической мощностью 65 МВт в составе каждого: газовая турбина типа SGT-600 (SIEMENS), паровая турбина типа СВ 7,5-3,43/0,83/0,12 (Китай), котел-утилизатор компании АЕЕНJ (Китай).

Основным топливом для блоков ПГУ является природный газ, в качестве аварийного топлива для газовых турбин предусмотрено дизельное топливо.

Энергоэффективность установленного оборудования характеризуется следующими показателями:

Проектные удельные расходы условного топлива:

- На отпуск электроэнергии - 161,6 г/кВт·ч.
- На отпуск тепла – 166.9 кг/Гкал

На текущий момент номинальная электрическая мощность ТЭЦ-2 составляет – 94 МВт («старая очередь» - 29 МВт, ПГУ – 65 МВт), номинальная тепловая – 665 Гкал («старая очередь» - 175 Гкал, ПГУ – 90 Гкал, ПВК – 400 Гкал).

Состав основного оборудования:

«старая очередь»:

Паровые турбины:

- ТГ-1, Nэ=4 МВт, Q=24 Гкал, Шкода, год изготовления – 1927,
- ТГ-2, Nэ=10 МВт, Q=90 Гкал, Сименс-Шуккерт, год изготовления – 1930,
- ТГ-3, Nэ=15 МВт, Q=61 Гкал, Вумаг, год изготовления – 1940,

Паровые котлы, с естественной циркуляцией, P=3,9 МПа (введены в эксплуатацию в 1940-50-х гг.):

- К-5, Gпара=90 т/ч, НЗЛ (Невский завод им. Ленина),
- К-6, Gпара=110 т/ч, Бабкок-Верке,

- К-7, Гпара=110 т/ч, Бабкок-Верке,
- К-8, Гпара=105 т/ч, БКЗ,

Пиковая водогрейная котельная (заводы-изготовители котлов – Дорогобужский, Бийский котельные заводы):

- К-1, ПТВМ-100, Q=100 Гкал,
- К-2, ПТВМ-100, Q=100 Гкал,
- К-3, ПТВМ-100, Q=100 Гкал,
- К-4, КВГМ-100, Q=100 Гкал,

ПГУ-32,5 МВт (1 КУ + 1 ГТУ + 1 ПТУ), 2 энергоблока, (ввод в эксплуатацию – 2011г):

Газовые турбины SGT-600, Nэ=25 МВт, Сименс,

Паровые турбины СВ-7,5, Nэ=7,5 МВт, Q=30 Гкал, КНР,

Котлы-утилизаторы Q-235/541, Гпара=32,5 т/ч, Q=15 Гкал, КНР.

Основным видом топлива на ТЭЦ является газ, в качестве резервного используется мазут. Газотурбинное дизельное топливо планируется использовать в качестве аварийного для газовых турбин. Для этого предусмотрено хозяйство дизельного топлива, куда входит насосная (9х30 м) и склад топлива с двумя наземными металлическими резервуарами объемом по 1000 м³. Максимальный расход дизельного топлива для двух турбин составит 18,34 т/ч, а с учетом рециркуляции – 20,2 т/ч. Для обеспечения смазочным маслом газовых и паровых турбин, а также дожимных компрессоров топливного газа построен склад для хранения масла в таре общей емкостью 3 тонны. Система управления электростанции Webfield ECS-100 выполнена на элементной базе Siemens. Управление всем оборудованием ПГУ осуществляется с блочного щита управления.

Заключение

В настоящее время ТЭЦ-2 является источником теплоэнергоснабжения центральной части белорусской столицы и теплоснабжения потребителей микрорайона Серебрянка, а также улиц Чкалова, Маяковского, Аэродромная, Могилевская и других. Станция обеспечивает тепло- и энергоснабжение таких важных городских и республиканских объектов, как резиденция Президента Республики Беларусь, Дом правительства, Мингорисполком, студенческий городок БГУ, педагогический университет, а также ряд крупных предприятий – кондитерская фабрика “Коммунарка”, заводы медпрепаратов, имени Кирова и других. К ТЭЦ-2 присоединено около 300 километров трубопроводов тепловых сетей. Основным топливом для ТЭЦ служит природный газ, резервным – мазут.

Литература

1. Филиал “Минские тепловые сети” [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/minskie-teplovye-seti-s-nami-teplo-i-svetlo.html/> - Дата доступа 21.09.2021.
2. Филиал “Минские тепловые сети” [Электронный ресурс]/ РУП “МИНСКЭНЕРГО”. - Режим доступа: <https://minskenergo.by/filialy/minskie-teplovye-seti/>. – Дата доступа: 21.09.2021

УДК 621.165

**РЕКОНСТРУКЦИЯ МИНСКОЙ ТЭЦ-3 С ЗАМЕНОЙ ВЫБЫВАЮЩИХ
МОЩНОСТЕЙ ОЧЕРЕДИ 14 МПА****RECONSTRUCTION OF MINSK CHP-3 WITH REPLACEMENT OF
OUTPUT CAPACITIES OF 14 MPA QUEUE**

К.А. Михолап, А.В. Чешкин, О.С. Болтуцкий
Научный руководитель – М.И. Позднякова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
K. Mikhalap, A. Cheshkin, O. Boltutskiy
Supervisor – M. Pozdnyakova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** сделан обзор проекта модернизации Минской ТЭЦ-3, в ходе которого были произведены монтажные работы по замене старого оборудования и установке нового энергоэффективного котла.*

***Abstract:** the modernisation project of Minsk CHP-3 has been reviewed during which the renewal of old equipment and the installation of modern energy-efficient boiler have been established*

***Ключевые слова:** Турбина, котел, Минская ТЭЦ-3, модернизация, реконструкция.*

***Keywords:** Turbine, boiler, Minsk CHP-3, modernization, reconstruction.*

Введение

Минская ТЭЦ-3 введена в эксплуатацию и активно развивается с 1951 года. Постоянные процессы модернизации и реконструкции позволяют станции поддерживать установленную электрическую и тепловую мощности с их последующим ростом, которые на данный момент составляют 542 МВт и 1632 Гкал/ч соответственно [4].

Основная часть

С целью реализации 1 очереди строительства по объекту «Реконструкция Минской ТЭЦ-3 с заменой выбывающих мощностей очереди 14 МПа» РУП «Минскэнерго» заключен договор с РУП «Белэнергострой». Предметом договора являются: выполнение проектно-изыскательских работ, строительномонтажных работ, шеф-монтаж оборудования, выполнение пусконаладочных работ и испытаний, обучение персонала.

Первая очередь строительства предусматривает [4]:

- установку энергетического котла ст. № 10 Е-500-13,8-560 ГМ с расширением котельного отделения в новых габаритах и конструкциях в осях 52-57 и В-Е, с подключением котла ст. № 10 к реконструируемой дымовой трубе № 3 высотой 100 м;
- установку паровой турбины типа ТП-115/130-12,8 производства АО «Уральский турбинный завод» на месте демонтированной паровой турбины Т-100-130 ст. № 7;

Турбина ТП-115/130-12,8 является одним из таких проектов и должна заменить одну из самых массовых турбин Т-100, созданных на базе Уральского

завода (УТЗ). При разработке новой турбины были использованы инновационные инструменты расчета, а также современные и практичные материалы. В структурном плане ТП-115/130-12,8 претерпела значительные изменения: полностью переработаны конструкции всех цилиндров, их опор, роторов, узлов парораспределения и лопаточного аппарата. Благодаря запатентованной разработке УТЗ, замены регулирующей ступени на регулирующий отсек, удалось добиться повышения внутреннего КПД проточной части турбины и, как следствие, получить прирост максимальной мощности, улучшения общих показателей надежности и экономичности, пониженной стоимости [1, 2].

Технические характеристики и устройство представлены ниже в виде схем и таблицы:

Таблица 1 – Технические характеристики ТП-115/130-12,8 [3]

Основной тип турбины	Теплофикационная/конденсационная
Основной конструктивный признак	Трехцилиндровая, ЦВД и ЦСД с оппозитной схемой движения пара в цилиндрах, ЦНД двухпоточный симметричный
Тип парораспределения	Дроссельный/сопловой
Диапазон электрической мощности, МВт	100-240
Диапазон параметров свежего пара:	
- давление, МПа	8,8-15,7
- температура, °С	500-570
Возможность промежуточного перегрева пара	Имеется
Возможность организации теплофикационного отбора пара:	
- схема	Регулируемый отбор; Одноступенчатый/двухступенчатый подогрев сетевой воды
- максимальная тепловая нагрузка, Гкал/ч	100-190
- расход пара в отбор, т/ч	190-370
Возможность организации производственного отбора пара:	
- расход, т/ч	до 150 т/ч
- схема	Нерегулируемый/регулируемый отбор
- обеспечиваемое давление, МПа	0,8-2,1
Характеристики основного применяемого в турбоустановке конденсатора:	
- расход охлаждающей воды, м ³ /ч	16000-28000
- площадь поверхности теплообмена, м ²	6200-14000

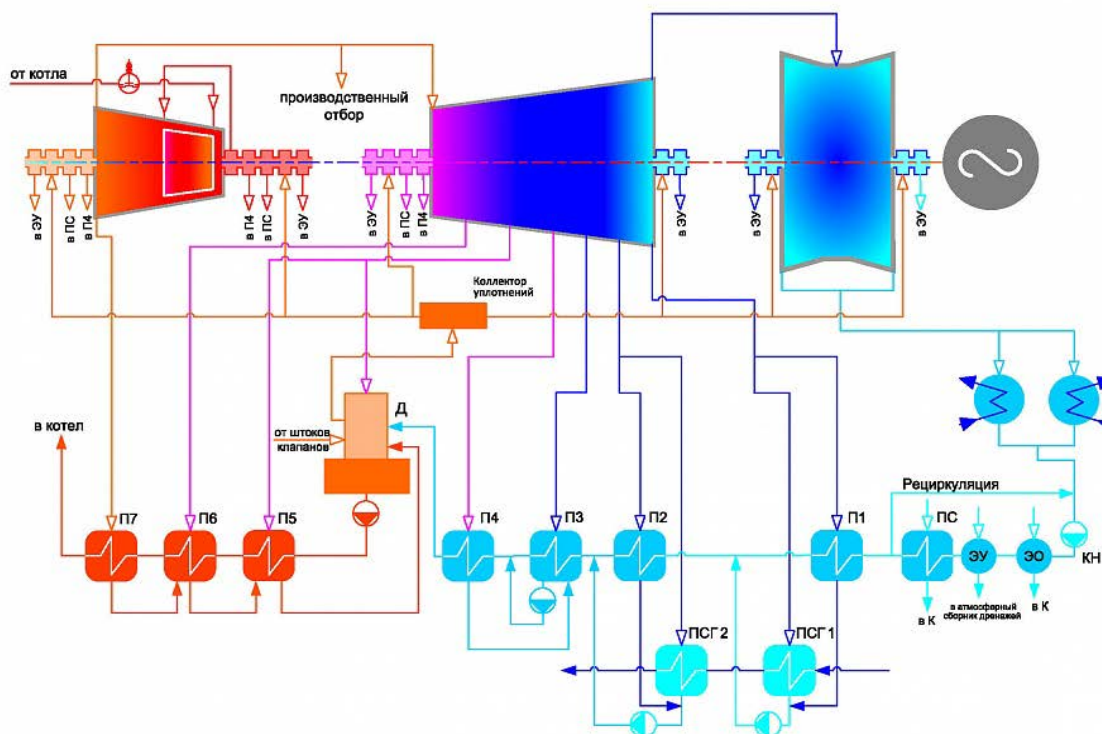


Рисунок 1 – Тепловая схема ТП-115/130-12,8 [3]

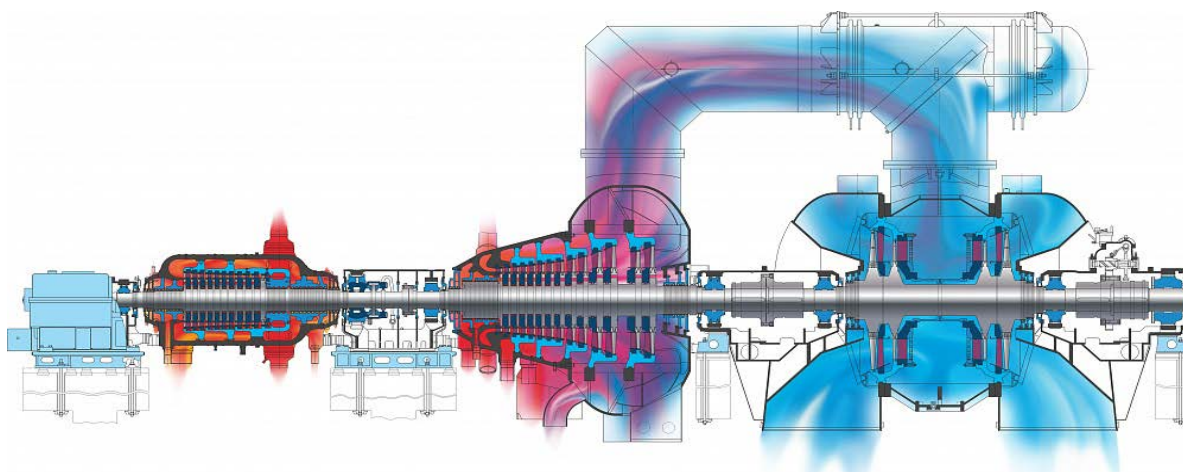


Рисунок 2 – Продольный разрез ТП-115/130-12,8 [3]

Котел серии Е-500-13,8-560 ГМ предназначен для получения перегретого пара высокого давления посредством сжигания высокосернистого мазута или природного газа. Работает в блоке с Т-100-110-130 и другими турбинами того же типа [5].

Структурно представлен как однобарабанный, с естественной циркуляцией и П-образной компоновкой поверхностей нагрева (сомкнутой). Газоплотный с уравновешенной тягой, рассчитан на высокие параметры пара, работает под наддувом с низким коэффициентом избытка воздуха [5].

Топочная камера, а также конвективные газоходы (подъемный и опускной) экранированы специальными газоплотными панелями, состоящими из труб с вваренной полосой между ними [5].

Для полной работоспособности котлоагрегата предусмотрены ступени ширмовых, конвективных пароперегревателей и водяного экономайзера, регенеративные воздухоподогреватели [5].

Котел предусматривает системы автоматизации для питания, горения, регулирования температуры перегрева пара [5].

Сводная таблица характеристик котлоагрегата, продольный и поперечный разрезы представлены ниже:

Таблица 2 – Технические характеристики Е-500-13,8-560 ГМ [5]

Тип котла	Е-500-13,8-560 ГМ (модель ТГМЕ-436)
Производительность, кг/с (т/ч)	138,9 (500)
Давление на выходе, МПа	13,8
Температура пара, °С	560
Габаритные размеры:	
- ширина в осях колонн	14,6
- глубина в осях колонн	17,9
- отметка на верхней точке котла	41,6
Основной вид топлива	Природный газ (Мазут)
Общий вес Ме, т	2100
КПД котла (брутто), %	94,5 (90,5)

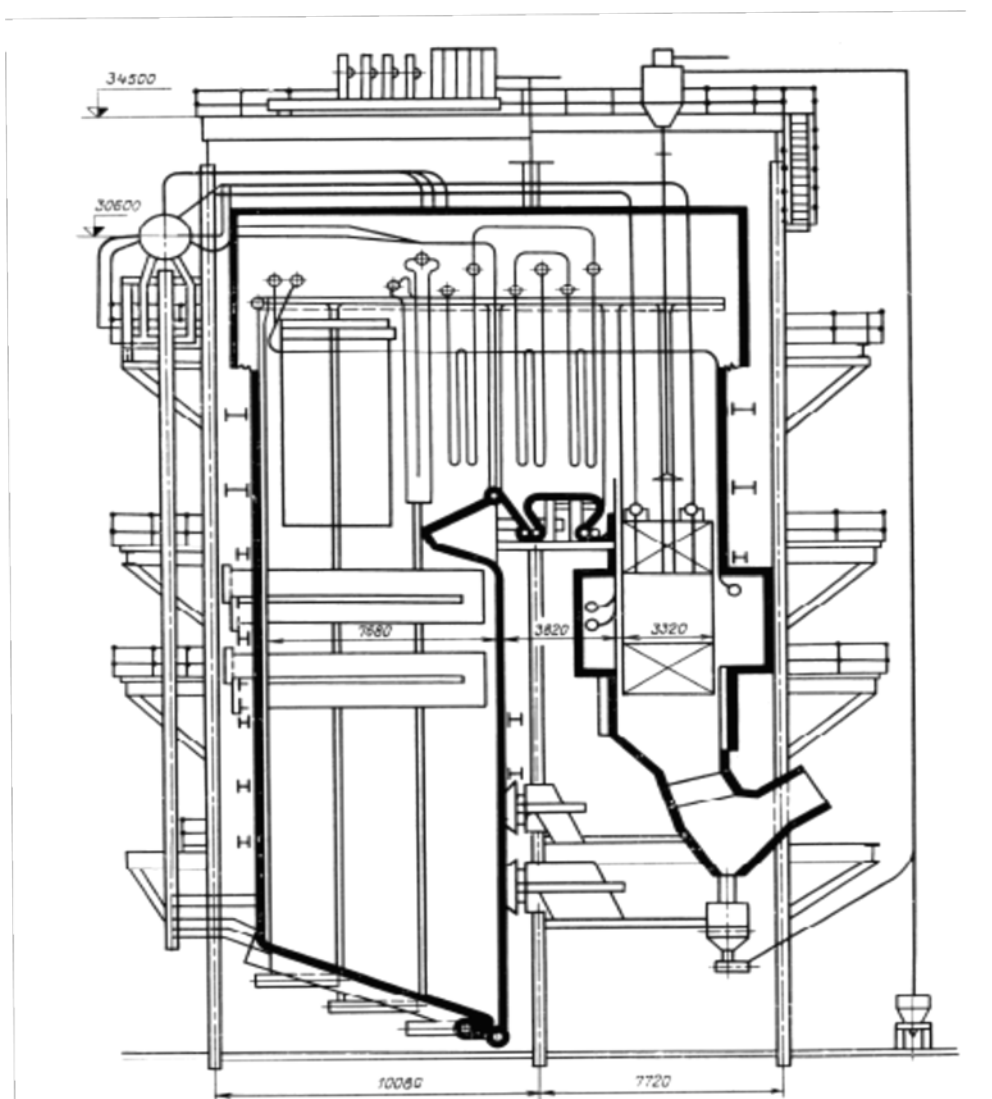


Рисунок 3 – Продольный разрез Е-500-13,8-560 ГМ [5]

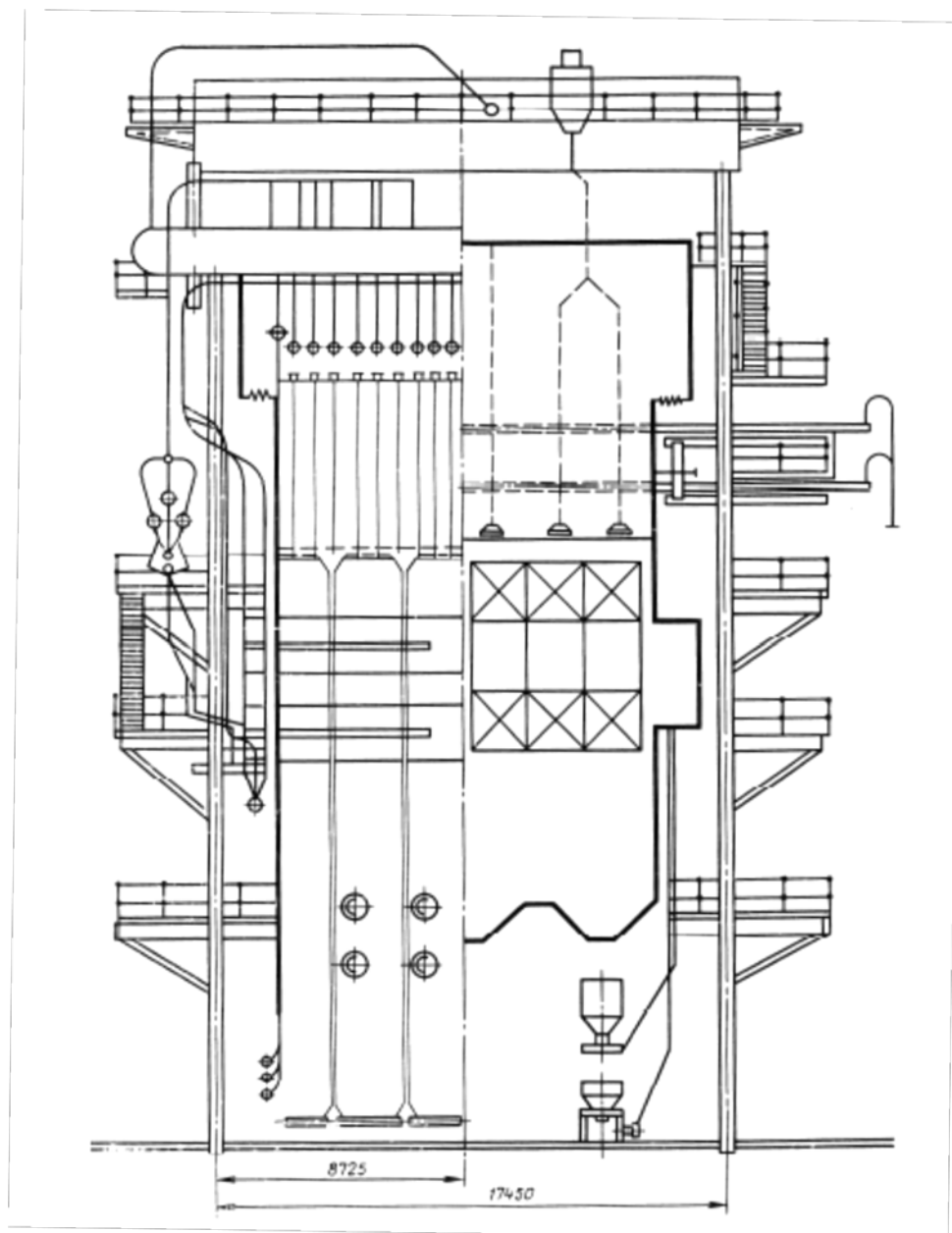


Рисунок 4 – Поперечный разрез Е-500-13,8-560 ГМ [5]

Заключение

Как видно из проведенного выше анализа работ по модернизации ТЭЦ-3 на базе выбывающих мощностей очереди 14 МПа, предприятие проводит успешную интеграционную политику для нового оборудования, улучшая общую эффективность работы электростанции, посредством замены устройств утративших и отработавших свой ресурс.

Литература

1. Реконструкция Минской ТЭЦ-3 с заменой выбывающих мощностей очереди 14 МПа. – Минск : БЕЛНИПИЭНЕРГОПРОМ, 2013. – 50 с.
2. Паровая турбина ТП-115/130-12,8 для реконструкции Минской ТЭЦ-3 (Республика Беларусь) [Электронный ресурс] / Паровая турбина ТП-115/130-12,8 для реконструкции Минской ТЭЦ-3 (Республика Беларусь). –

Режим доступа: <https://made-in-ural.ru/produkt/parovaya-turbina-tp-115130-128-dlya-rekonstruktsii-minskoy-tets-3-respublika-belarus/>. – Дата доступа: 15.09.2021.

3. Классификация паровых турбин УТЗ для ТЭЦ [Электронный ресурс] / Классификация паровых турбин УТЗ для ТЭЦ. – Режим доступа: <http://www.utz.ru/customer/catalog/parovye-turbiny/turbiny-dlya-tets/klass-v1/>. – Дата доступа: 15.09.2021.

4. Минская ТЭЦ-3 [Электронный ресурс] / Минская ТЭЦ-3. – Режим доступа: <https://minskenergo.by/filialy/minskaya-tets-3/>. – Дата доступа: 15.09.2021.

5. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов): справочное пособие для курсового и дипломного проектирования студентов специальностей 1005 – "Тепловые электрические станции", 1007 – "Промышленная теплоэнергетика" / Красн. гос. техн. ун-т: сост.: Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. – Красноярск : КГТУ, 2003. – 223 с.

УДК 697.7

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ
APPLICATION OF DECENTRALIZED VENTILATION SYSTEMS**

В.И. Савицкая

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Savitskaya

Supervisor – Yu.S. Zelenina, Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** актуальность децентрализованной системы вентиляции и анализ децентрализованных вентиляционных устройств.*

***Abstract:** the relevance of a decentralized ventilation system and the analysis of decentralized ventilation devices.*

***Ключевые слова:** вентиляция, рекуператор пластинчатый, установка приточно-вытяжная, утилизация тепла, энергосбережение, воздухообмен, децентрализованная вентиляционная система.*

***Keywords:** ventilation, plate heat exchanger, supply and exhaust system, heat recovery, energy saving, air exchange, decentralized ventilation system.*

Введение

На текущий момент в вентиляции промышленных и жилых зданий присутствуют проблемы, вызванные большим расходом тепловой энергии на вентиляцию и нарушением необходимого воздухообмена. Теплота расходуется во время выброса вытяжного воздуха в атмосферу, а так же при нагреве приточного воздуха в холодный период года. К тому же становится недостаточным воздухообмен при использовании герметичных окон и неустойчивой работе естественной приточно-вытяжной вентиляции, что приводит к снижению естественного притока воздуха. С точки зрения энергосбережения проблема эффективной вентиляции является актуальной.

Децентрализованная система вентиляции – решение, при котором в каждом помещении на объекте предусматривается своя система воздухопроводов и вентиляционные установки, работающие независимо друг от друга.

Основная часть

Жилые помещения нуждаются в качественной вентиляции, так как в них происходит длительное пребывание людей. Для таких помещений проектируется централизованная вентиляция, преимуществами которой являются экономичная компоновка систем для обслуживания помещения, возможность забора и выброса воздуха сконцентрировано в одном месте.

Не смотря на все достоинства централизованных систем вентиляции, они так же имеют ряд недочётов, к которым относятся:

- высокие финансовые и энергетические затраты на проектирование, монтаж и эксплуатацию;
- некорректная работа систем, которая приводит к возникновению

застойных воздушных зон и недостаточному воздухообмену, что может быть вызвано ошибками при проектировании, монтаже и наладке системы.

Указанные выше проблемы характерны для жилых помещений, где система вентиляции часто неудовлетворительно обеспечивает воздухообмен, а жильцы лишь ухудшают ситуацию, устанавливая герметичные окна, которые полностью прекращают приток воздуха в помещение.

На текущий момент к зданиям предъявляются высокие требования по энергетической эффективности и энергосбережению в условиях постоянно развивающихся и совершенствующихся технологий и материалов в строительстве. Если рассмотреть здания, возведенные в прошлом столетии, то вопрос о воздухообмене решался за счет высокой воздухопроницаемости наружных ограждений. То есть еще на этапе проектирования закладывалась и учитывалась инфильтрация свежего воздуха, как вид приточной вентиляции в зданиях. Современные же здания располагают высокой герметичностью, которая с одной стороны снижает тепловые потери, повышая тем самым энергоэффективность здания, а с другой стороны вызывает накопление в воздухе помещений различных вредных примесей, биологических загрязнений, плесени.

Помимо этого, встречаются такие помещения, где вентиляционные системы устарели до полной недееспособности или полностью отсутствуют.

Одним из мероприятий по энергосбережению как альтернатива дорогостоящим во всех отношениях централизованным системам вентиляции, может рассматриваться децентрализованная система вентиляции. Такая вентиляция базируется на децентрализованных вентиляционных устройствах, к которым предъявляются требования высокой энергоэффективности и обеспечения качественного воздухообмена, направленного на обеспечение требуемых параметров микроклимата помещений.

Основным преимуществом децентрализованных вентиляционных устройств является компактность. Как правило, они монтируются в наружное ограждение здания и при этом их расположения не требует специальных площадей.

Частым примером децентрализованной вентиляции являются инфильтрационные клапаны, представляющие собой отверстия в стене или в оконной конструкции для притока наружного воздуха. На рисунках 1 и 2 в качестве примера приведены клапан KIV Quadro, устанавливаемый в наружную стену, и клапан Airvent, устанавливаемый в конструкцию окна.

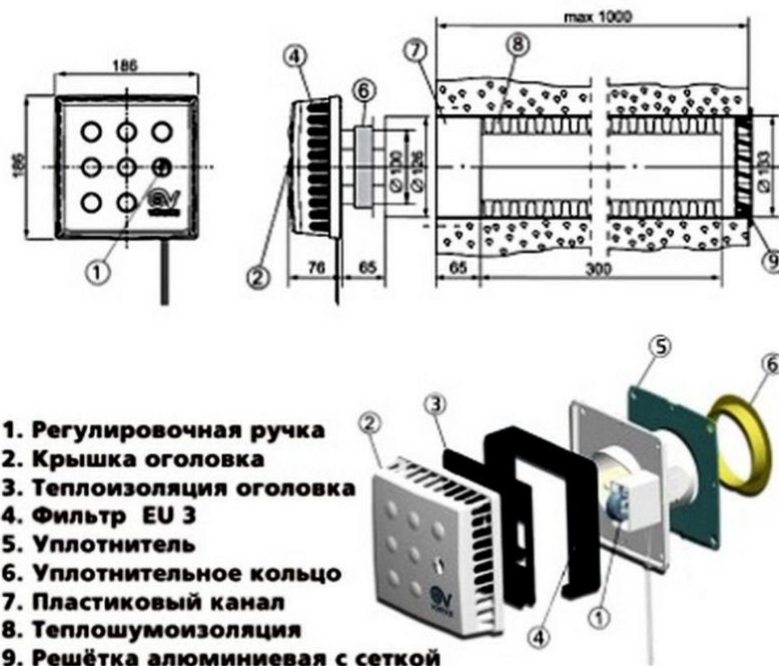


Рисунок 1 – Принципиальная схема и внешний вид инфильтрационного клапана KIV Quadro

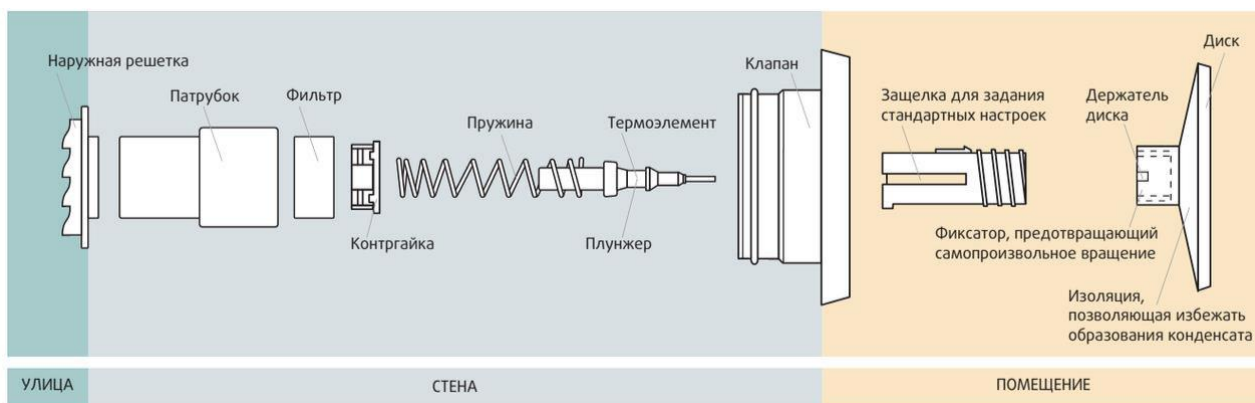


Рисунок 2 – Принципиальная схема инфильтрационного клапана Airvent

Производительность таких клапанов напрямую зависит от величины тяги, создаваемой вытяжными системами. В холодный период года существенным недостатком инфильтрационных клапанов является холодное дутье, так как наружный воздух без подогрева поступает в помещение.

Таким образом, инфильтрационные клапана не могут обеспечить все требуемые параметры микроклимата помещения в холодный период года, следовательно, они не являются полноценным децентрализованными вентиляционными устройствами.

Учитывая вышеперечисленные особенности инфильтрационных клапанов для оптимизации их работы, предлагается нагрев приточного воздуха в холодный период года за счет использования теплообменных аппаратов. Для повышения энергетической эффективности рационально применять утилизацию теплоты вытяжного воздуха.

Среди применяемых в вентиляции устройств утилизации теплоты наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные теплообменные аппараты 80-95 %, а рекуперативные 65-75 %.[1, 2]

Компактные децентрализованные устройства с функцией энергосбережения весьма популярны и называются - вентиляционными установками с рекуперацией теплоты. Рассмотрим некоторые из них.

Приточно-вытяжная установка с вентилятором на рисунке 3, состоящая из утепленного корпуса 5, каналов для приточного 6 и вытяжного 8 воздуха, в каждом из которых размещены фильтры очистки воздуха 4, вентилятора 3, камеры 10 с вращающимся регенеративным теплоутилизатором 9 при этом камера устанавливается на кровле здания на железобетонном стакане 1, стенки которого выполнены из утепленных панелей, соединяющихся между собой быстродействующими замками, а основанием корпуса служит металлическая рама 11, в верхней части камеры расположен горизонтальный вращающийся регенеративный теплоутилизатор 9, представляющий собой выдвижной каркас, разделенный на две полости перегородкой, в которой закреплены опоры сердечника барабана, образованного лентами из гофрированной алюминиевой фольги, плотно навитой на сердечник 12. На сердечнике барабана закреплен шкив привода клиноременной передачи, а перегородка каркаса с закрепленным на ней барабаном образует каналы для приточного и вытяжного воздуха, в каждом из которых размещены фильтры очистки воздуха 4.

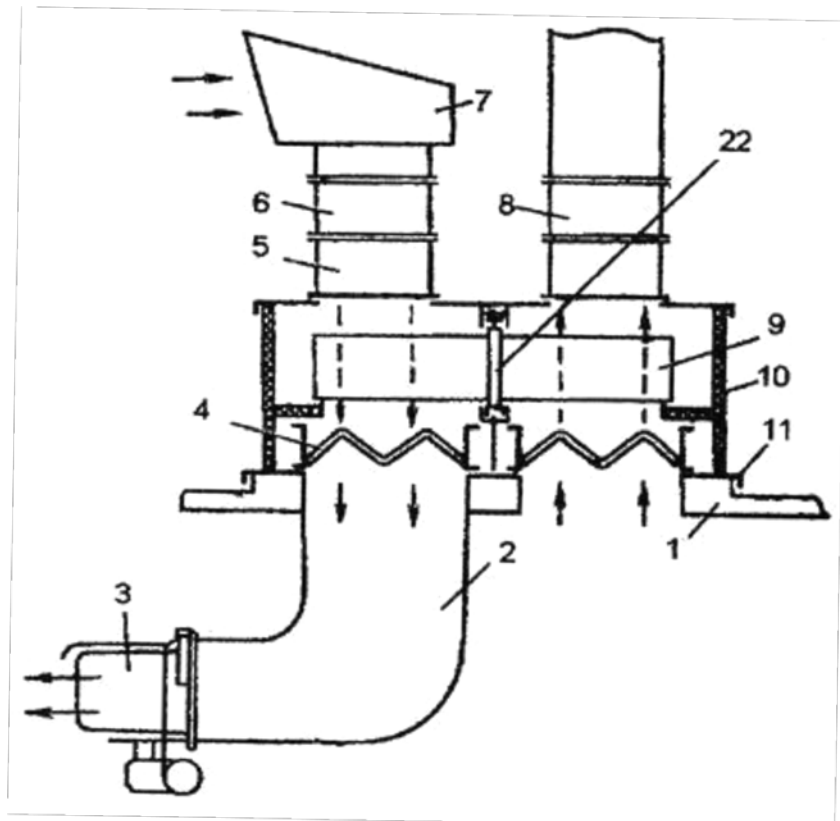


Рисунок 3 – Приточно-вытяжная установка с вентилятором

Приточно-вытяжная установка с пластинчатым рекуперативным теплоутилизатором представленная на рисунке 4, имеющая в корпусе входные и выходные отверстия, как для приточного воздуха, так и для вытяжного воздуха.

Также установлены фильтрующий элемент входного приточного воздуха, нагревательный элемент выходящего приточного воздуха, поддон для слива конденсата из пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора, байпасный (резервный) клапан, приточный и вытяжной вентиляторы. Особенностью установки является то, что байпасный клапан расположен между зоной выхода вытяжного воздуха из установки и зоной входа вытяжного воздуха в установку с возможностью циркуляции вытяжного воздуха через пластинчатый рекуперативный теплоутилизатор по замкнутому контуру при открытом положении байпасного клапана в режиме оттаивания пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора, причем блок управления соединен с приточным вентилятором с возможностью его отключения в указанном режиме. Блок управления, представляющий собой микропроцессор, соединен с приточным вентилятором через средство коммутации, а в корпусе установлен нагревательный элемент для вытяжного воздуха.

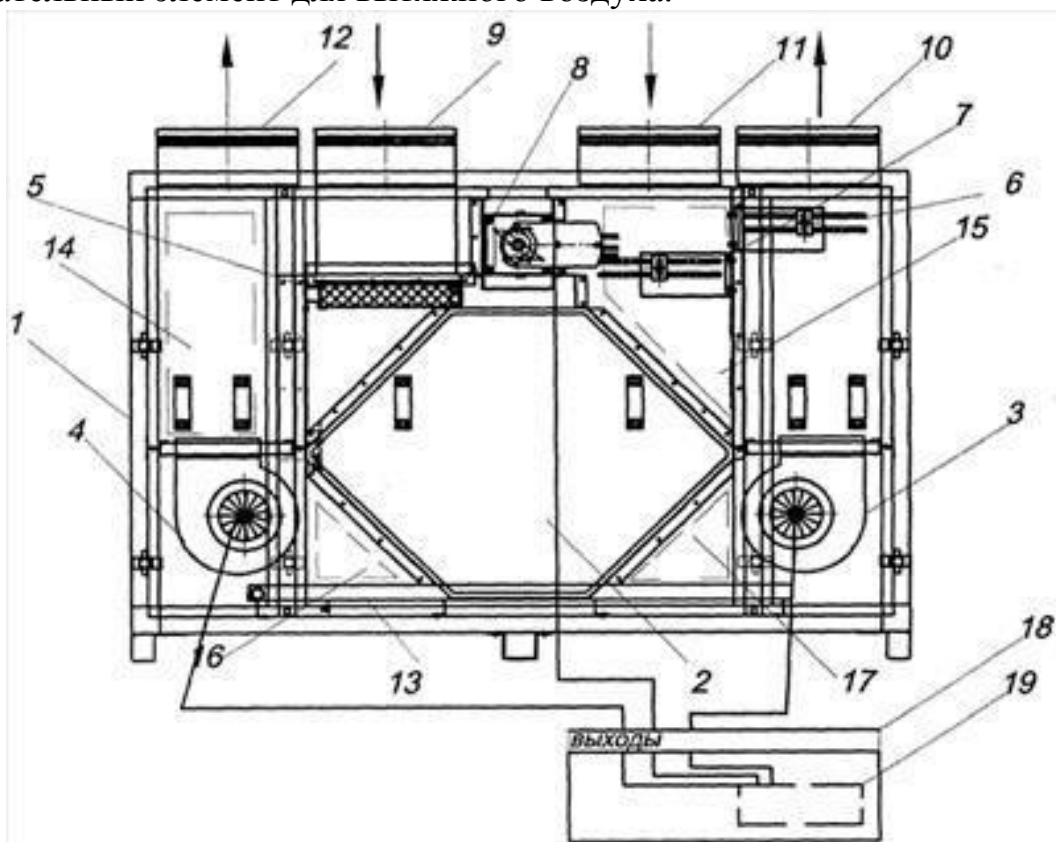


Рисунок 4 – Приточно-вытяжная установка с пластинчатым рекуперативным теплоутилизатором

- 1 - корпус; 2 - пластинчатый рекуперативный теплоутилизатор; 3 - приточный вентилятор; 4 - вытяжной вентилятор; 5 - фильтрующий элемент (входного приточного воздуха); 6 - нагревательный элемент выходящего приточного воздуха; 7 - нагревательный элемент для вытяжного воздуха; 8 - байпасный клапан; 9 - входное отверстие для приточного воздуха; 10 - выходное отверстие для приточного воздуха; 11 - входное отверстие для вытяжного воздуха; 12 - выходное отверстие для вытяжного воздуха; 13 - поддон для слива конденсата (из пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора); 14 - зона выхода вытяжного воздуха из установки; 15 - зона входа вытяжного воздуха в установку; 16 - зона выхода вытяжного воздуха из пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора; 17 - зона выхода приточного воздуха из пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора; 18 - блок управления; 19 - средство коммутации.

Заключение

В настоящее время промышленность предлагает широкий спектр приточно-вытяжных установок, решающих актуальные проблемы централизованной вентиляции. На практике широко применяют установки с пластинчатыми рекуператорами, так как они не содержат подвижных частей, легки в монтаже и обслуживании, а так же обеспечивают необходимые параметры микроклимата в помещении. Они не смешивают потоки входящего и выходящего воздуха, в отличие от смешивающих теплообменных аппаратов. Как альтернатива установкам с пластинчатыми рекуператорами могут выступать инфильтрационные клапана, так как они значительно дешевле и компактнее, но имеют существенный недостаток, снижение температуры в помещении.

Литература

1. Барон, В.Г. Рекуператор тепла вентиляционного воздуха - эффективное энергосбережение или неоправданное расточительство? [Электронный ресурс] / В.Г. Барон // Журнал СОК. Рубрика: Кондиционирование, вентиляция. - 2006. - №12. - Режим доступа: <http://www.s-o-k.ru/artides/rekuperator-tepla-ventilyationnogo-vozdruha-effektivme-energo-sberezhenie-ili-neopravdannoe-rastochitel-stvo>.
2. Калашников, М.П. Эффективность утилизации теплоты удаляемого воздуха из зданий и сооружений // Вестник ВСГУТУ. - 2018. - № 3(70). - С. 75-81.
3. Патент на полезную модель № 2282794. Приточно-вытяжная установка с теплоутилизатором / О. С. Кочетов, М. О. Кочетова, Т. Д. Ходакова, А. В. Шестернинов, М. Е. Стареев, Г. В. Львов, А. В. Куличенко (РФ). 1с: ил.1. Оpubл. 27.08.2006. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2282794C1/ru>.
4. Патент на полезную модель № 134619. Приточно-вытяжная установка с пластинчатым рекуперативным теплоутилизатором А. А. Кавыгин, С. А. Колыдяжный (РФ). 1с: ил.1. Оpubл. 20.11.2013. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU134619U1/ru>.

УДК 697.2

**СРАВНЕНИЕ НАСТЕННЫХ И НАПОЛЬНЫХ ДОМАШНИХ КОТЛОВ
COMPARISON OF WALL AND FLOOR HOME BOILERS**

И.Д. Пашкевич

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,

I. Pashkevich

Supervisor – Y. Zelenina, Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация: Сравнение настенных и напольных котлов**Abstract: comparison of wall and floor boilers**Ключевые слова: котёл, теплообменник, мощность, газ**Keywords: boiler, heat exchanger, power, gas***Введение**

Назначение бытовых котлов - обогрев помещений: частных домов или квартир, а также получение горячей воды для собственных нужд.

Все бытовые котлы являются водогрейными, низкотемпературными (температура меньше 100 °С) и относятся к классу котлов малой мощности (теплопроизводительность от 4 кВт до 65 кВт).

Основная часть

Где нет сети центрального отопления или оно слишком дорогое, там используются бытовые котлы. Большим спросом пользуются бытовые котлы, поэтому существует много предложений. Производством котлов этого класса занимается большое число крупных фирм.

В комплектации настенного газового котла есть расширительный бак, циркуляционный насос, элементы системы управления. Все это скрыто в корпусе котла.

Покупая настенный котел, вы получаете котельную в миниатюре, т. е. минимальный набор, подключая который к системе способен начать полноценную работу.

Напольный котел – это обычно только котел. Сопутствующее оборудование в комплект поставки не.

Размеры – одно из самых больших различий между напольными и настенными котлами. Вес и габариты настенных моделей гораздо меньше, иначе их было бы невозможно закрепить на стене.

У настенных котлов теплообменник делается только из стали, напольные могут делать теплообменники из чугуна, которые обладает большим весом

В небольшом по размеру корпусе у настенного котла размещается горелка, теплообменник, система управления, циркуляционный насос, расширительный бак и прочие элементы. Компактность настенного котла – главное преимущество. Такому устройству не нужно отдельное помещение.



Рисунок 1 – Настенный газовый котел с коаксиальным дымоходом, размещенный в кухонном помещении

Настенный котёл в плане монтажа легче, т.к в случае напольного котла вам нужно будет выделить отдельное помещение и оборудовать там котельную. Кроме котла нужно будет установить расширительный бак под бойлер и котёл, насосы

Жизнь котла обусловлена его теплообменником. Нет чёткого мнение какой материал для теплообменника лучше, у всех свои плюсы и минусы.

В напольной версии можно установить чугунный теплообменник, который меньше подвержен коррозии, но он плохо переносит резкие перепады температуры

Для настенных котлов не подходят чугунные теплообменники, т.к они слишком тяжёлые. Хорошим вариантом будет сталь, она не боится механических ударов, но не переносит коррозию

Из этого можно сделать вывод, что чугунные теплообменник более предпочтителен, т.к котёл часто не будут перевозить.

Также есть фактор износа других узлов: насоса, электроники, газового клапана. Срок службы котла 15-20 лет

Важным параметром котла может быть его энергопотребление. Автономность заключается в упрощении системы управления котла или по-другому отсутствие электроники. Система, в которой работает такой котёл, должна быть с естественной циркуляцией.

Можно использовать электрогенератор, который полученное при сжигании газа тепло преобразует в электроэнергию, необходимую для работы автоматики

котла. Этот вариант для большинства пользователей предпочтительнее, поскольку создает меньше ограничений.

Настенный котел можно размещать в любом помещении согласно ряду требований: закрытая камера сгорания, подсоединение к дымоходу, нагнетание воздуха для поддержки горения

Вариантов размещения напольного газового котла не так уж и много. Его можно разместить только в специальном отдельном для него помещении

Мощность настенных газовых котлов, как правило, 10-40 кВт. Этого достаточно для обогрева жилища площадью 100-400 кв. м. Но если часть тепла пойдет для подогрева воды для собственных нужд, то этой мощности может хватить только для небольших домов

Мощность напольных котлов 80-100 кВт, а если она оснащена не атмосферной, а наддувной горелкой, то и того больше. Для отопления огромной площади, напольный вариант отлично подходит

Заключение

Подводя итоги из выше сказанного можно выделить. Для домов общей площадью до 100м², при отсутствии специального помещения для оборудования котельной, лучше отдать предпочтение устройствам, монтируемым на стену. Во всех других случаях напольный котёл, пусть даже цена его намного выше.

УДК 658.58

**ОАО «БЕЛЭНЕРГОРЕМНАЛАДКА», КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ
РАБОТОДАТЕЛЬ
PUBLIC CORPORATION «BELENERGOREMNALADKA» AS A
POTENTIAL EMPLOYER**

Д.С. Савич

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Savich

Supervisor – Yu. Zelenina, Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** статья посвящена ОАО «Белэнергоремналадка» и будет интересна студентам энергетических специальностей и лицам, желающим трудоустроиться в данную организацию.*

***Abstract:** the article is devoted to public corporation "Belenergoremnaladka" and will be interesting for students of power engineering specialties and persons wishing to find a job in this organization.*

***Ключевые слова:** ремонт, монтаж, наладка, разработка, вакансия, работа.*

***Keywords:** repair, installation, adjustment, development, vacancy, work.*

Введение

Предприятие ОАО «Белэнергоремналадка» зарекомендовало себя как многопрофильную компанию, выполняющую полный комплекс строительно-монтажных, ремонтных, пусконаладочных работ на установленном и вновь вводимом в эксплуатацию энергетическом оборудовании, вдобавок является крупнейшей специализированной организацией в данной сфере в Республике Беларуси.

Основная часть

История организации насчитывает более 60-ти лет и несколько этапов формирования. Так, в 1957 году на базе предприятия «Мосэнергоремонт» было образовано предприятие «Белорусэнергоремонт», на котором провели первый капитальный ремонт турбогенератора в Беларуси. В 1964 году создано производственное наладочное предприятие «Белорусэнергоналадка», в процессе слияния которого с «Белорусэнергоремонт» в 1973 году возникло производственное ремонтно-наладочное предприятие «Белэнергоремналадка». Преобразовавшись в 1996 году в открытое акционерное общество, организация приобрела современный вид.

На протяжении всей своей истории неизменной остаётся цель предприятия: занимать лидирующие позиции в области ремонта и наладки энергетического оборудования и оказании комплексных услуг при строительстве энергообъектов, выполняя комплекс проектных, конструкторских, строительно-монтажных, ремонтных и наладочных работ, изготовление оборудования, металлических изделий и запасных частей для надежной и экономичной работы объектов энергетики и других отраслей промышленности.

Среди своих ценностей компания отмечает индивидуальный, комплексный подход к каждому клиенту, оказывая оперативную, компетентную помощь, а также обеспечивая полное и профессиональное выполнение поставленных задач.

Данное предприятие предоставляет широкий список услуг: ремонт котельного, турбинного и электромеханического оборудования, наладка тепломеханического оборудования, разработка и внедрение АСУ ТП, диагностика металла и сварки, разработка проектно-сметной документации и другие актуальные услуги.

ОАО «Белэнергоремналадка» имеет 14 филиалов в Республике Беларусь. Каждый из них предлагает вакансии для соискателей. Перечень вакансии достаточно обширен: от рабочего персонала до руководящего. Например, в данный момент открыты вакансии начальника технического бюро, мастера, директора филиала, инженера-технолога, инженера-программиста, электросварщика, огнеупорщика, каменщик, слесаря по ремонту оборудования котельных и пылеприготовительных цехов, столяра, маляра, токаря, то есть двери предприятия открыты для работников технического профиля.

Отзывы клиентов предприятия, среди которых Череповецкая ГРЭС, ОАО «Светлогорский ЦКК», РУП «Гродноэнерго», Entegro Ltd, ПАО «Северсталь», подтверждают компетентность и профессионализм коллектива организации ОАО «Белэнергоремналадка», их способность и готовность выполнять работу с использованием передовых технологий.

Заключение

По итогам рассмотрения можно утверждать, что ОАО «Белэнергоремналадка» уверенно занимает ведущие позиции в энергетической отрасли Республики Беларусь. Предприятие имеет успешную и богатую историю, имеет выход на зарубежные рынки, предоставляет качественное предоставление услуг, обеспечивает более тысячи рабочих мест и предлагает хорошо оплачиваемые вакансии. Совокупность этих факторов делает привлекательным как прохождение практики студентами и возможное последующее трудоустройство на данном предприятии, так и трудоустройство опытных специалистов.

Литература

1. Открытое акционерное общество Белэнергоремналадка [Электронный ресурс]/О предприятии. -Режим доступа: <https://bern.by/about/>. – Дата доступа: 27.08.2021.
2. Белэнергоремналадка вакансии [Электронный ресурс]/ОАО Белэнергоремналадка. –Режим доступа: <https://rabota.by/employer/1136440/>. – Дата доступа: 27.08.2021.

УДК 658.26

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМПЛОЩАДКИ РУПП «ГРАНИТ»
MODERNIZATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM OF THE
INDUSTRIAL SITE RUPE «GRANIT»**

Е.А. Шепко, К.А. Войтик

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Shepko, K. Voytik

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Science, Assistant professor

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в данной работе рассматривается целесообразность модернизации системы теплоснабжения предприятия.

Abstract: this article discusses expediency of modernization of the heat supply system of the enterprise.

Ключевые слова: модернизация, котельная, паровые котлы, водогрейные котлы.

Keywords: modernization, boiler room, steam boilers, hot water boilers.

Введение

Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит» (РУПП «Гранит») является крупнейшим предприятием в Европе по добыче и переработке плотных горных пород. Основная деятельность предприятия направлена на обеспечение строительной индустрии строительными материалами. Источниками тепловой энергии предприятия РУПП «Гранит» являются собственные котельные:

- котельная промплощадки (цех ПСХ);
- котельная ДСЦ (дробильно-сортировочного цеха);
- котельная санатория «Свитанок»;
- блочно-модульная котельная АТП (автотранспортного предприятия).

Потребность предприятия в электроэнергии обеспечиваются от сетей энергосистемы РУП "Брестэнерго".

Основная часть

С целью повышения эффективности использования топлива и снижения энергетической составляющей в себестоимости выпускаемой продукции предусматривается усовершенствование системы теплоснабжения предприятия путем реконструкции котельной промплощадки (цех ПСХ), так как ее вес составляет более 90 % от общего потребления тепловой энергии. Следовательно, в дальнейшем будет анализироваться теплоэнергетическое оборудование и система теплоснабжения предприятия РУПП «Гранит» только для котельной промплощадки (цех ПСХ).

Перечень основного оборудования установленного в котельной промплощадки (цех ПСХ) приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень основного оборудования установленного в котельной

Наименование оборудования	Тип	Кол-во	Характеристика
Котел паровой	ДКВР-20/13	2	D=20 т/ч, Q=10,8 Гкал/ч
Котел паровой	ДЕ-4-14	1	D=4,0 т/ч, Q=2,16 Гкал/ч
Котел водогрейный	КВГМ-20-150	1	Q=20 Гкал/ч

В отопительный период в работе находится один паровой котел ДКВР-20/13 или водогрейный котел КВГМ-20-150, в межотопительный период один паровой котел ДЕ-4/14. Давление сетевой воды в трубопроводах прямой/обратной сетевой воды в отопительный период при работе водогрейного котла КВГМ-20-150 составляет 0,65/0,25 МПа, в остальное время соответственно 0,45/0,25 МПа.

Годовой отпуск тепловой энергии от котельной промплощадки (цех ПСХ) по месяцам за 2015-2018 годы приведен на рисунке 1.

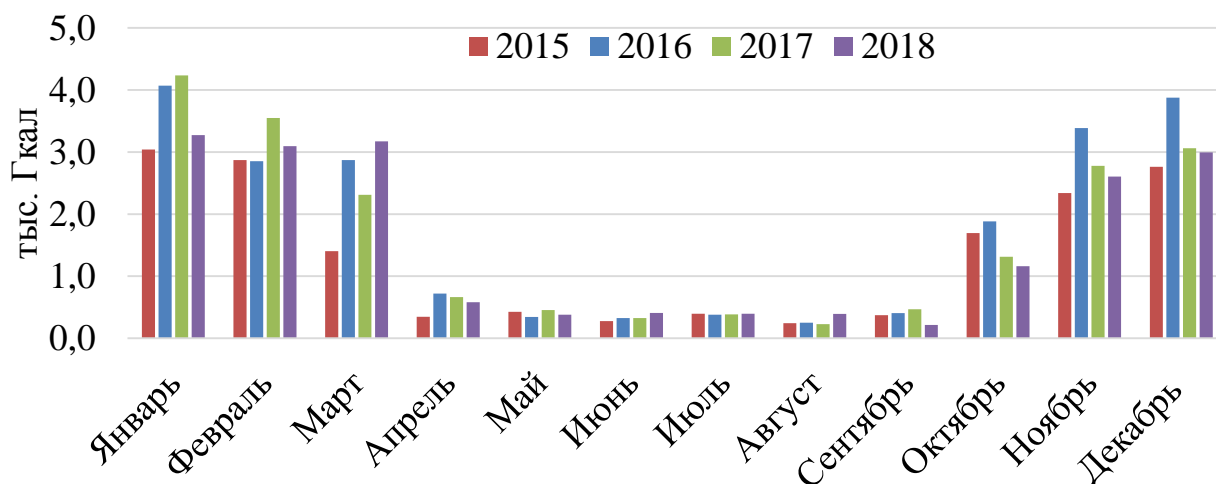


Рисунок 1 – Годовой отпуск тепловой энергии от котельной промплощадки по месяцам за 2015–2018 годы

Анализ данных говорит об ожидаемой характерной сезонности потребления тепловой энергии системой теплоснабжения: невысокая тепловая нагрузка в летний период (нагрузка ГВС), и возрастание нагрузки примерно в 4-10 раз в отопительный период. Годовые колебания отпуска тепловой энергии от котельной связаны с колебаниями температур наружного воздуха и продолжительностями их стояния в отопительный период.

Отпуск тепловой энергии с паром составляет лишь 3-6 % от общего потребления тепловой энергии на предприятии и имеет тенденцию к уменьшению, что обусловлено снижением потребления пара промышленными абонентами. В ближайшее время будет полностью прекращено потребление пара от котельной промплощадки.

Для достижения поставленной цели предусматривается установка 3-х водогрейных котлов меньшей мощности (2 Гкал/ч) вместо существующих паровых котлов ДЕ-4-14 и ДКВР-20/13, а также установка абсорбционного теплового насоса мощностью 0,7 Гкал/ч для утилизации теплоты глубокого охлаждения дымовых газов устанавливаемых водогрейных котлов. Мощность

проектируемых водогрейных котлов определяется в соответствии с тепловыми нагрузками для различных режимов работы котельной.

Предполагаемые экономические показатели до и после реализации проекта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Плановый расчет себестоимости генерируемой энергии до и после проекта

Наименование показателя	Ед. изм.	До проекта	По проекту
Топливо на котельной (ПРИРОДНЫЙ ГАЗ)	тыс руб.	2175	1 561
Электроэнергия на котельной	тыс руб.	238	92
Фонд оплаты труда	тыс руб.	556	461
Общепроизводственные расходы	тыс руб.	882	196
Налог на недвижимость	тыс руб.	-	55
Амортизационные отчисления	тыс руб.	-	406
Управленческие расходы	тыс руб.	83	83
Итого затраты на генерацию энергии	тыс руб.	3 934	2 854
Себестоимость тепловой энергии (по доле затрат топлива)	руб/Гкал	96	70
Себестоимость тепловой энергии	руб/Гкал	174	141
	\$/Гкал	67,1	54,4

Из полученных данных следует, что удельная себестоимость единицы вырабатываемой тепловой энергии ниже, чем существующая себестоимость тепловой энергии на котельной, что является подтверждением эффективности принятых по проекту решений.

Заключение

Реализация проекта обеспечивает значительную экономию органического топлива и повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на предприятии, что признано одним из приоритетных направлений развития экономики Республики Беларусь на ближайшую перспективу. Снижение расхода топлива приводит к улучшению экологической обстановки в стране за счет снижения величины вредных выбросов в атмосферу.

Литература

1. История предприятия [Электронный ресурс]/ РУПП «Гранит». – Режим доступа: <https://granit.by/about/history/> - Дата доступа: 17.08.2021.

УДК 621.644.07

**ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРАВИЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКОЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТРУБ
ADVANTAGES AND RULES FOR USE OF LIQUID HEAT INSULATION
FOR PIPES**

А.Ю. Апанасевич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Apanasevich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В работе рассматриваются преимущества и возможности использования жидкой теплоизоляции для труб*

***Abstract:** The paper discusses the advantages and possibilities of using liquid thermal insulation for pipes.*

***Ключевые слова:** теплоизоляция, трубопровод, теплопотери.*

***Keywords:** thermal insulation, pipeline, heat loss.*

Введение

Новые материалы дают возможность совершать ремонтные и строительные работы на должном уровне. Жидкая теплоизоляционная краска для труб-это инновационный утеплитель, которым сегодня проводят мероприятия с трубопроводами, отопительными и водными системами, а также приборами с высокой температурой. Краска предназначена для уменьшения теплоотдачи поверхности.

В связи с более высокими экономическими показателями данной теплоизоляционной краски, она приносит предприятиям благоприятный экономический эффект, несмотря на высокую стоимость.

Основная часть

Теплоизоляционная краска для трубопроводов представляет собой материал в виде мастичной субстанции. Используется для обработки сооружений, емкостей и систем, рассчитывающих на прокладку труб. Изначально, эта краска предназначалась для космической промышленности.

Теплоотражающие возможности данного покрытия таковы, что при толщине всего лишь в 1,2 миллиметра, она сводит до минимума теплопотери. Ее можно наносить на такие поверхности как: перемычи, трубы и прочие конструкции. После нанесения краска полимеризуясь, превращается в эластичное массовое покрытие, выполняя роль температурного барьера. [1]

Снижение теплопотерь происходит за счет следующих факторов:

- В составе содержится около 20 процентов веществ обладающих теплопроводящими свойствами.
- Потери на конвекцию также сведены до минимума.
- Теплосбережение обеспечивается за счет того, что покрытие действует по принципу классического термоса.

Также кроме теплосберегающих свойств краска выполняет роль защиты от коррозии и прочим нежелательным процессам. Такая изоляция достойная замена классической минеральной вате и другим теплоизоляторам.[1]

Сравнение изоляций представлено на рисунке 1

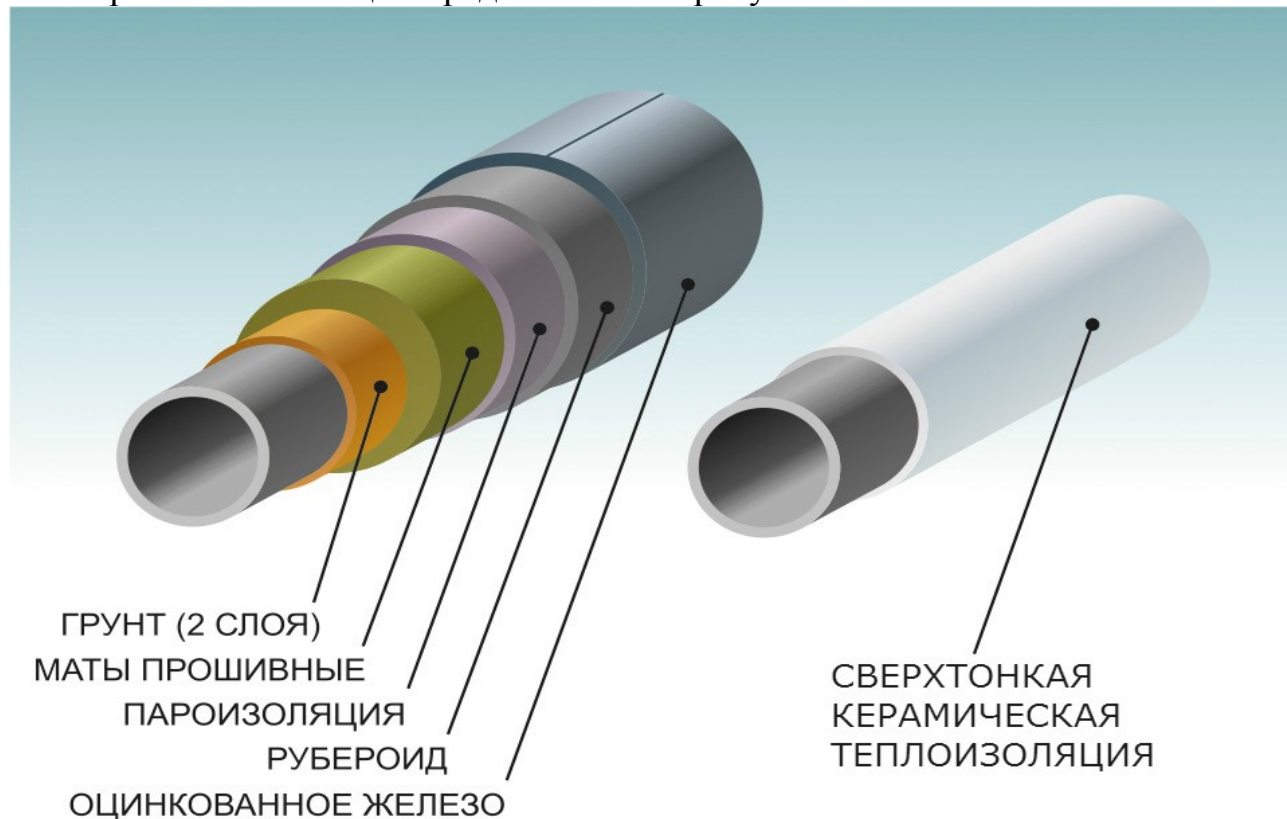


Рисунок 1 – Сравнение изоляций

Основа - это смесь акрила и воды. Смесь содействует равномерному распределению по поверхности и усиливает способности прилипания поверхностей.

В качестве наполнителя выступают керамические комочки микроскопических размеров, которые заполняются газом, благодаря их наличию теплоизоляционные свойства увеличивается в разы.

Также утепление этой изоляционной поверхности в комбинации с другими разновидностями, увеличивает способность сохранять тепло. После нанесения и полимеризации, удельный вес составляет 70-85 %.

Состав краски представлен на рисунке 2

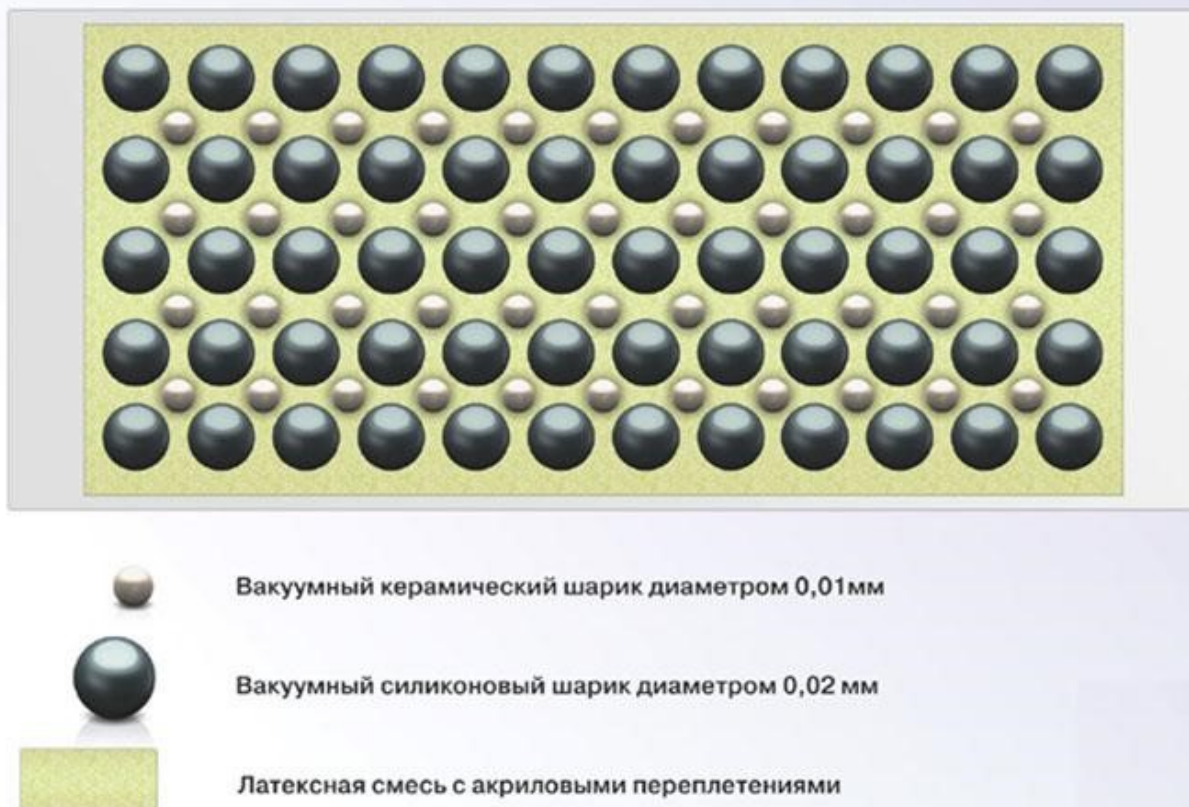


Рисунок 2 – Состав краски

Разновидности и особенности:

- Керамическая
- Пеноизол (пенополистирольная)

Из общих достоинств можно выделить положительные теплоизоляционные свойства, быстрота и удобство нанесения. Наблюдаются отличия в области применения, составе и специфических свойствах.

Керамическая теплокраска:

- Связующее вещество-раствор водно-акриловый.
- Вдобавок составляющие - силиконовая смола, каучук или другие вещества с аналогичными свойствами.
- Керамические гранулы (комочки) шарообразной структуры.[2]

Пенополистирольные составы:

- Пенообразующая субстанция.
- Вода.
- Ортофосфорной кислоты. H_3PO_4

Разница до нанесения и после нанесения рисунок 3



Рисунок 3 – Разница до нанесения и после нанесения

Покрытие не имеет швов, что дает возможность эффективно применять его в тех местах, где показатели герметичности, прочности и надежности очень важны и высоки.

Заключение

Да данный момент выделяется несколько позиций определяющие достоинства данной краски:

- Хорошее нанесение на изгибы, впадины.
- Надежное удерживание на поверхностях, за счет отличных показателей адгезии.
- Безопасна для здоровья человека.
- Увеличивает срок службы конструкции.
- Устойчива при механических повреждениях.[2]

Литература

1. Преимущества и правила использования жидкой теплоизоляции и труб [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://znatoktepla.ru/truby/preimushhestva-i-pravila-ispolzovaniya-zhidkoj-teploizolyatsii-dlya-trub.html> - Дата доступа: 09.09.2021.

2. Жидкое тепло-новинка среди теплоизоляторов [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://teplores.ru/montazh-i-remont/teploizolyaciya-kraska.html> -Дата доступа: 12.09.21

УДК 622.692

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ
СТАНЦИИ НА МТЭЦ-3
MODERNIZATION OF THE BOOSTER COMPRESSOR STATION AT MTEC-3

А.Г. Щекало, Н.Д. Козинцов, А.В. Лось

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shchekalo, N. Kozintsov, A. Los

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Дожимная компрессорная станция (ДКС) - это комплекс сооружений и оборудования для закачки газа в подземное хранилище газа (ПХГ) в летний период, либо отбора газа в зимний период. Дожимные компрессорные станции монтируются на ПХГ.

Abstract: A booster compressor station (DCS) is a complex of structures and equipment for pumping gas into an underground gas storage facility (UGS) in summer, or gas extraction in winter. Booster compressor stations are mounted on UGS.

Ключевые слова: ДКС, надежность, топливо.

Key words: DCS, reliability, fuel.

Введение

Российская компания ЭНЕРГАЗ модернизировала систему газоподготовки и схему топливоснабжения парогазового энергоблока ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3. В рамках проекта ЭНЕРГАЗ поставил и ввел в эксплуатацию дожимную компрессорную станцию топливного газа, воздушную компрессорную станцию и двухуровневую систему автоматизированного управления и регулирования.

Снабжение ПГУ топливным газом с установленными параметрами по чистоте, давлению, температуре и расходу обеспечивает система газоподготовки, основу которой до недавнего времени составляла дожимная компрессорная станция производства VPT Kompressoren GmbH (ДКС-1).

Основная часть

Проблема заключалась в работе ДКС-1 без резервирования, что вынуждало совмещать периоды обслуживания и ремонта генерирующего и технологического оборудования, а главное — создавало риск незапланированных остановов парогазового энергоблока. Поэтому на МТЭЦ-3 было принято решение модернизировать (расширить) систему газоподготовки. [1]

22 марта этого года на площадке ПГУ введена в эксплуатацию дожимная компрессорная станция, поставленная компанией ЭНЕРГАЗ.

Новая ДКС-2 выполнена на базе винтового маслозаполненного компрессора с электродвигателем в качестве привода и представляет собой блочно-модульную технологическую установку с максимальной интеграцией элементов на единой раме.

Станция размещается в собственном шумопоглощающем укрытии, которое оснащено системами жизнеобеспечения (обогрев, вентиляция, освещение). Согласно требованиям по безопасности модуль оборудован системами пожарообнаружения, газодетекции, сигнализации, пожаротушения.

Установка номинальной производительностью 38 160 кг/ч компримирует топливо до необходимых расчетных значений (2,75 МПа) и подаёт его в газовую турбину ПГУ. Расход газа зависит от динамики изменения нагрузки турбины и контролируется при помощи специальной двухконтурной системы регулирования.

В состав нового оборудования также входит воздушная компрессорная станция. Модульная ВКС собственных нужд, расположенная в отдельном блок-боксе, обеспечивает сжатым, сухим и чистым воздухом пневматические компоненты ДКС-2. [2]

Сравнительные характеристики до модернизации и после приведены в таблице 1[3].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики.

Сравнительные характеристики		
	ДКС-1	ДКС-2
Расход газа, кг/с	13,4	10,6
Номинальное давление нагнетания, МПа	2,61	2,75
Температура газового топлива на выходе ДКС, оС	До +50	До +50
Диапазон регулирования объемной производительности	0...100%	0...100%
Уровень звукового давления на расстоянии 1 м от ДКС	не более 100 дБА	не более 80 дБА

Заключение

Особенность эксплуатации ДКС-1 и ДКС-2 состоит в том, что функционируют они попеременно, равномерно распределяя эксплуатационную нагрузку. При включении в работу одной установки вторая переходит в режим горячего резерва.

Реализация проекта на основе современных газокomppressorных технологий повышает надежность топливоснабжения высокоэффективного парогазового энергоблока и обеспечивает бесперебойную эксплуатацию ПГУ-230 на всех режимах и при любых климатических условиях.

Литература

1. Дожимная компрессорная станция [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/transportirovka-i-khranenie/514863-dozhimnaya-kompressornaya-stantsiya-dks/> . – Дата доступа: 17.09.2021
2. Направления повышения эффективности работы МТЭЦ-3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/334/74604/> – Дата доступа: 17.09.2021
3. Сравнительные характеристики за 12.2018

УДК 504.05

МЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»
MEASURES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION
AT OJSC "BELARUSKALIY"

И.О. Лагунёнок

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Lagunyonak

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: основные источники загрязнения атмосферного воздуха, меры по минимизации вреда окружающей среде, отходы, получаемые в результате работы, меры по реабилитации и оздоровлению сотрудников.

Abstract: main sources of air pollution, measures to minimize environmental harm, waste resulting from work, measures to rehabilitate and rehabilitate employees.

Ключевые слова: факторы воздействия на окружающую среду, отходы производства, засоление подземных вод.

Keywords: factors of impact on the environment, industrial waste, salinization of groundwater.

Введение

Отходы калийного производства нельзя изолировать от окружающего мира. Они состоят из легкорастворимых в воде солей, которые легко проникают в подземные воды и травят здоровье местных жителей. При воздействии на терриконы атмосферных осадков, ветровой и водной эрозии они служат источниками загрязнения окружающей среды. В нее выбрасывается огромное количество газов и пылеаэрозолей.



Рисунок 1 – Солеотвалы.

Оседая на почве, выбросы загрязняют солями и тяжелыми металлами верхний плодородный пахотный слой почвы. Максимальное загрязнение наблюдается весной, когда нет сплошного растительного покрова, а количество осадков минимальное. По этой причине оседающая из дымовых отходов солевая пыль и тяжелые металлы накапливаются на поверхности почвы. Осенью выпадающие на поверхность почвы соли растворяются под действием осадков и мигрируют из верхних слоев в более глубокие.

Основная часть

Главными источниками загрязнения предприятия являются: сушильно-обогащительные комбинаты, дымовые газы, терриконы из переработанной руды, погрузочные станции.

Пылегазовые отходы калийного производства состоят из выбросов дымовых газов сушильных отделений, вредными компонентами которых является пыль концентратов (KCL), хлористый водород, образованный при гидролизе хлористого магния в процессе сушки, пары антислеживателей, оксидом углерода и оксидами азота, образованными при горении природного газа или мазута.

При переработке сильвинитовой руды на 1т 95%-го концентрата приходится 3-4т галитовых отходов. Состав галитовых отходов: KCL-3%, NaCl-93,8%, нерастворимый остаток-3%.

Галитовые отходы, обезвоженные до массовой доли воды 8%, складироваться на поверхности земли в солеотвалы. Периметр солеотвалов (рисунок 1) ограничивается рассолосборной канавой, служащей для сборов отжимных рассолов и атмосферных осадков. Для того, чтобы эти рассолы не проникали в землю, поверхность канавы и площадь под солеотвалы покрывается рассолом и водонепроницаемым экраном. По мере накопления рассола в канаве они перекачиваются в шламохранилище, откуда после отстаивания возвращается на фабрику.



Рисунок 2 – Постройка, оказавшаяся в зоне работ.

Большой проблемой такого производства является проседание земли в результате так называемых «проходок» под земной поверхностью. Именно так называют сами шахтеры рудодобывающую деятельность. В результате таких работ уровень земли в отдельных участках Солигорского района может проседать от нескольких десятков сантиметров до полуметра. В некоторых домах постройки 20-го века (рисунок 2) доходит до трещин фундамента. Руководство предприятия выделяет средства на их ремонт и реконструкцию.

Сотрудники предприятия каждый год проходят медицинское обследование, в результате которого определяется способность дальнейшего прохождения работы в установленных условиях труда. Так же каждому сотруднику предлагается пройти лечебно-оздоровительный курс в санатории.

Заключение

В результате комплексного воздействия всех перечисленных элементов на биосферу существенно ухудшаются условия произрастания растений, обитания животных, жизни человека. Недра, являясь объектом и операционным базисом горного производства, подвергаются наибольшему воздействию. Так как недра относятся к элементам биосферы, не обладающим способностью к естественному возобновлению в обозримом будущем, охрана их должна

предусматривать обеспечение научно обоснованной и экономически оправданной полноты и комплексности использования.

Литература

1. Информационный портал г. Солигорска [Электронный ресурс] . - 2021 - Режим доступа: http://soligorsk.city/kali/fourth_rudoupravlenie/. - Дата доступа: 17.09.2021.
2. Экологические проблемы [Электронный ресурс] . - 2021 - Режим доступа: https://health.ej.by/ecology/2013/09/19/v_soligorske_rastut_gory_ekologicheskikh_problem.html/. - Дата доступа: 17.09.2021.

УДК 621.44

**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛА ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С
ТЕПЛОФИКАЦИОННЫМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ, ОДНИМ
РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ОТБОРОМ И ДВУМЯ РЕГУЛИРУЕМЫМИ
ОТБОРАМИ ПАРА НА ЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ**

**THE INFLUENCE OF THE CYCLE OF A HEATING PLANT WITH A
HEATING BACK PRESSURE, ONE REGENERATIVE SELECTION AND
TWO ADJUSTABLE STEAM SELECTIONS ON THE VALUES OF THE
OPTIMAL FEED WATER TEMPERATURE**

К.О. Клименков

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Klimenkov

Supervisor – Z. Aidarova, Senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Влияние цикла теплофикационной установки.

Abstract: Influence of the heating plant cycle.

Ключевые слова: теплофикационная паротурбинная установка, питательная вода, отбор пара.

Keywords: heating steam turbine plant, feed water, steam selection.

Введение

Значительный парк теплофикационной паротурбинной установки (ТПТУ) составляют машины с двумя регулируемыми отборами пара (рисунок 1).

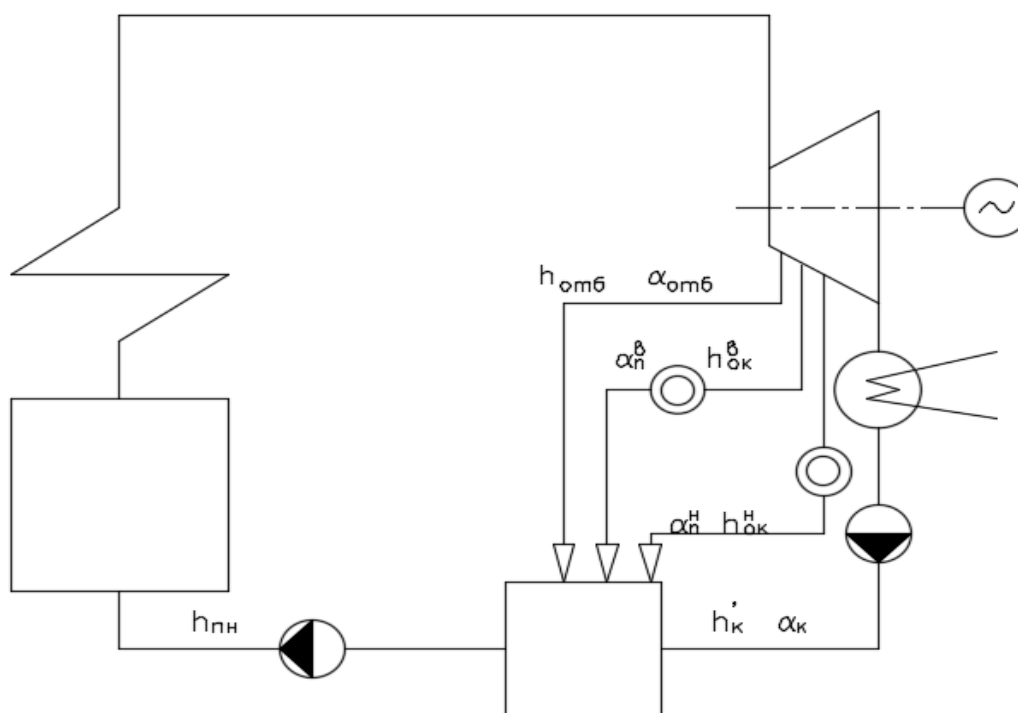


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТПТУ с теплофикационным противодействием, одним регенеративным и двумя регулируемыми отборами пара

Основная часть

Решение задачи по оптимизации температуры питательной воды турбоустановки с двумя регулируемым отборами и условным регенеративным обобщено в заключительном выражении:

$$h_{пв}^{опт} = \sqrt{(h_0 - h'_к) \cdot [q_r + \alpha_{п}^в \cdot (h_{ок}^в - h'_к) + \alpha_{п}^н \cdot (h_{ок}^н - h'_к)]} - (q_r - h'_к) \quad (1)$$

где $\alpha_{п}^в$ и $\alpha_{п}^н$ - соответственно, относительные величины расходов пара в верхний и нижний регулируемые отборы;

$h_{ок}^в$ и $h_{ок}^н$ - соответственно, теплосодержание возвращаемого в цикл ТПТУ конденсата пара верхнего и нижнего регулируемых отборов.

Результаты исследований влияния на $h_{пв}^{опт}$ всех режимных параметров такой турбоустановки с использованием уравнения (1.1) обобщены на рис.2.

Заключение

Анализ рис.2 показывает на основное влияние на $h_{пв}^{опт}$ режимных параметров верхнего отбора, что согласуется с ранее полученным выводами. С другой стороны, $h_{пв}^{опт}$ для сложной ТПТУ является многофакторной зависимостью по определяющим её параметрам и учёт этих факторов обязателен. Не учёт отдельных из них может привести к ошибке в определении $h_{пв}^{опт}$ порядка 9%. Проверка выражения (1.1) детальными расчётами тепловой схемы ТПТУ даёт те же значения $t_{пв}^{опт}$, что подтверждает возможность использования уравнения 1 в практической работе.

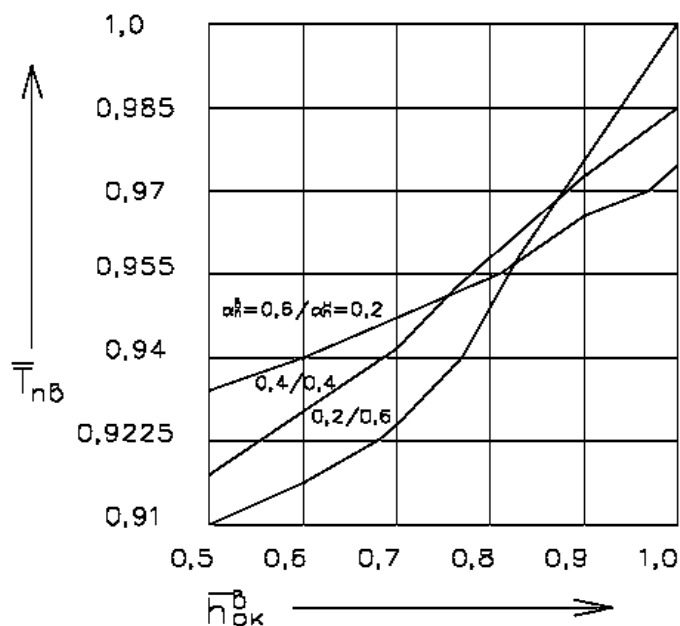


Рисунок 2 – Зависимость относительной оптимальной температуры питательной воды ТПТУ от удельного теплосодержания обратного конденсата нижнего регулируемого отбора при разных величинах регулируемых отборов

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их техперевооружения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.

2. Качан А.Д. Разработка методов анализа показателей топливоиспользования, оптимизация режимов и технологических схем ТЭЦ с целью повышения их системной эффективности. Автореф. Диссер. д.т.н., М.,1992 г., с.40.

3. Неумин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкопотенциальной части теплофикационного оборудования. Автореф. дисс. к.т.н., Мн.,1995г., с.20.

УДК 621.039

**ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ
НА АТОМНЫХ СТАНЦИЯХ
RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AT NUCLEAR PLANTS**

К.А. Мордас

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г.Минск

K. Mordas

Supervisor – J. Zelenina, Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** организация хранения и контроля состояния радиоактивных отходов на атомной станции.*

***Abstract:** organization of storage and control of the state of radioactive waste at a nuclear power plant*

***Ключевые слова:** радиоактивные отходы, хранилище, дозиметр.*

***Keywords:** radioactive waste, repository, dosimeter.*

Введение

Технологический процесс на атомной станции сопровождается образованием жидких и твердых радиоактивных веществ и материалов. Во время работы ядерного реактора становится радиоактивной часть оборудования первого контура, а в теплоносителе первого контура накапливаются радиоактивными элементы – продукты деления ядерного топлива, а также активированные в нейтронном потоке примеси и продукты коррозии конструкционных материалов.

Основная часть

Переработка и хранение радиоактивных отходов АЭС производится в здании спецкорпуса. К числу твердых радиоактивных отходов относятся элементы оборудования первого контура с наведенной радиоактивностью, заменяемые при ремонте, например, датчики нейтронного потока, а также загрязненные спецодежда и ветошь, фильтры систем газоочистки. К жидким радиоактивным отходам относятся отработанные смолы ионообменных фильтров и концентрированные солевые растворы спецводоочистки.

Твердые радиоактивные отходы (ТРО) собираются в специальные контейнеры в местах их образования. Одновременно с загрузкой в контейнеры производится сортировка ТРО по уровню активности. Для уменьшения объема горючие ТРО сжигают в специальных печах, оборудованных фильтрами, не допускающими выбросов радионуклидов в окружающую среду вместе с дымовыми газами. Негорючие ТРО подвергают дроблению и прессованию. После такой переработки ТРО помещают в стальные емкости и заливают цементным раствором. В таком связанном виде ТРО поступают в ячейки хранилища ТРО, которое также находится в спецкорпусе.

Ячейки хранилищ выполнены из железобетона, дно ячеек находится выше уровня грунтовых вод, имеет гидроизоляцию снаружи строительных

конструкций и поддон из нержавеющей стали. Хранилище находится под строгим дозиметрическим контролем. Основную долю общего объема ТРО – около 98% составляют низкоактивные отходы. ТРО высокой и низкой активности хранятся отдельно.

Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются в результате очистки теплоносителя первого контура и других жидкостей, которые содержат радионуклиды. Для снижения активности и поддержания постоянного химического состава теплоносителя часть его постоянно отводится на фильтры внутриконтурной очистки в блок спецводоочистки. После выдержки в течение определенного времени, чтобы успели распасться короткоживущие радионуклиды, эти ЖРО из состояния полужидкого шлама переводят в твердую фазу – смешивают с цементом и заливают в стальные бочки. Далее поступают также, как и с твердыми.

Заключение

Технология обращения с ТРО абсолютно исключает их контакт с окружающей средой и влияние на человека, обеспечивая защиту окружающей среды и населения. А организация переработки, хранения и контроля состояния ЖРО на АЭС позволяет полностью исключить попадание этих отходов в поверхностные и грунтовые воды. Атомную станцию по отношению к окружающей среде считают безопасным производством.

Литература

1. Атомная энергетика [Электронный ресурс]/ DocPlayer. – Режим доступа: <http://docplayer.com/29904562-Seriya-atomnaya-energetika.html> – Дата доступа: 10.09.2021.

УДК 621.165

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНСКОЙ ТЭЦ-4 ПУТЕМ
ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ТУРБОАГРЕГАТА
INCREASING THE EFFICIENCY OF MINSK CHP-4 BY INTRODUCING
A NEW TURBO UNIT**

А.П. Севостьян, Т.В. Бегункович

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A.Sevostian, T. Begunkovich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk*Аннотация: модернизация тэц-4**Abstract: modernization of CHP-4**Ключевые слова: турбина, мощность, пар, давление**Keywords: turbine, power, steam, pressure***Введение**

Работает ТЭЦ-4 уже более 40 лет. Это крупнейшая в Беларуси электростанция, одна из наиболее современных в стране. Расположенная в Западном промышленном узле города, она является основным источником для покрытия тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение западной, юго-западной, частично северной и центральной частей Минска (рисунок 1).



Рисунок 1 – Главный вход в Минская ТЭЦ-4

Основная часть

Краткая характеристика турбинного оборудования

Паровая турбина типа ПТ-60-130/13 конденсационная с двумя регулируемы отборами пара номинальной мощностью 60000 кВт. Номинальное давление производственного отбора пара 13 кгс/см², теплофикационного отбора пара - 1,2 кгс/см². Допустимые пределы регулирования производственного отбора 10-16 кгс/см², теплофикационного отбора 0,7-2,5 кгс/см².

Турбина рассчитана на работу свежим паром при давлении 130 кгс/см² и температуре 555 °С, измеренными перед стопорным клапаном. Количество охлаждающей воды, проходящей через конденсатор, составляет 8000 м³/час при расчетной ее температуре на входе в конденсатор 20 °С, номинальное давление в конденсаторе - 0,04 кгс/см².

Максимальный расход пара на турбину при номинальных параметрах составляет 387 т/час.

Минимальный пропуск пара в часть низкого давления (за 27 ступенью) при закрытой поворотной диафрагме при давлении в камере отбора 1,2 кгс/см², составляет 10 т/час.

Допускается работа турбины при повышении давления в камере производственного отбора до 18 кгс/см² и понижении его до 8 кгс/см².

Подогрев питательной воды осуществляется в подогревателях низкого давления, деаэраторе 7 кгс/см² и подогревателях высокого давления паром из отборов турбины (регулируемых и нерегулируемых). Питательная вода, поступающая из деаэратора в регенеративную систему турбоустановки, имеет температуру 164 °С.

В состав турбоагрегата наряду с турбиной входит следующее оборудование:

- Турбогенератор ТВФ-63-2 с водородным охлаждением;
- Четыре подогревателя низкого давления: ПНД-1 встроен в конденсатор, ПНД-2 типа ПН-100-16-4-1; ПНД-3,4 типа ПН-130-16-9-1, материал трубок латунь Л-68, диаметр трубок 16x1;;
- Три ПВД; ПВД-5 типа ПВ-350-230-21М, ПВД-6 типа ПВ-350-230-36М, ПВД-7 типа ПВ-350-230-50М;
- Два подогревателя сетевой воды типа ПСВ-500-3-23;
- Два конденсатных насоса бойлеров типа КСД-125-140 с электродвигателем мощностью 100 кВт;
- Поверхностный, двухходовой конденсатор 60 КСЦ-1

Заключение

Основные причины, препятствующие повышению уровня эффективности работы турбинной установки и предложения по их устранению:

- Физическое старение оборудования КИПиА, его изношенность.
- Неготовность и нерентабельность основного и вспомогательного оборудования к работе при минимальных и стабильных нагрузках.

В качестве решения данных проблем, следует произвести модернизацию оборудования на более новые и усовершенствованные модели. Также следует установить электрические котлы, для преобразования энергии в часы

минимальных нагрузок в тепловую, чтобы не держать турбины в нижних порогах нагрузки, при которых существенно понижается КПД.

Литература

1. ТЭЦ-4: Как работает электростанция, обогревающую почти половину Минска [Электронный ресурс]/ ТЭЦ-4: Как работает электростанция, обогревающую почти половину Минска. -Режим доступа: <https://minsknews.by/tecz-4-kak-rabotaet-elektrostancziya-obogrevayushhaya-pochti-polovinu-minska/>/. – Дата доступа: 12.09.2021.

2. А.П. Севостьян Минская ТЭЦ-4 [Электронный ресурс]/ А. П. Севостьян, Т.В. Бегункович. – Минск, 2021 – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM)

УДК 658.26

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
POWER SUPPLY MODERNIZATION INDUSTRIAL ENTERPRISE**

А.А. Судак, А.Н. Санько

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Sudak, A. Sanko

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Science, Assistant professor
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** создание оптимальной системы теплоснабжения для повышения эффективности производства тепловой энергии на предприятии и снижения энергетической составляющей в себестоимости выпускаемой продукции.*

***Abstract:** creation of an optimal heat supply system to increase the efficiency of heat production at the enterprise and reduce the energy component in the cost of products.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, топливо, котлоагрегаты, тепловая нагрузка, насос.*

***Keywords:** heat supply, fuel, boilers, heat load, pump.*

Введение

Была исследована система теплоснабжения предприятия и определены необходимые для обеспечения тепловые нагрузки, были рассмотрены варианты комплексной модернизации существующей центральной котельной с заменой основного оборудования и выбором наилучшего варианта по размещению источника или нескольких источников теплоснабжения с учетом тепловых нагрузок отопительного и межотопительного периодов. Были рассмотрены альтернативные варианты, позволяющие повысить эффективность использования природного газа на котельной, предусматривающие установку парокомпрессионного теплового насоса (ПКТН) для утилизации низкотемпературных тепловых потоков – вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) предприятия (водоотлив из карьера), работающего круглые сутки и баков-аккумуляторов вместе с ПКТН, работающим в ночной период с 23.00 до 06.00 при сниженном тарифе на электроэнергию, установку абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса для утилизации теплоты глубокого охлаждения дымовых газов проектируемых котлов котельной, а также варианты с различным сочетанием указанного оборудования.

Основная часть

В качестве базового варианта принят существующий вариант (рисунок 1). Следует отметить, что существующие паровые котлоагрегаты требуют замены из-за технического состояния, дымовая труба требует значительного капитального ремонта. Кроме того, потребители пара переводят паровой теплоноситель на водогрейный, т.е. паровые нагрузки постепенно исключаются. Снижение паровых нагрузок приводит к эксплуатации паровых котлов в режимах близких к техническому минимуму котлов и даже меньше, что

приводит к вынужденной остановке котлов. Следовательно, эксплуатация котлов в таких режимах проблематична.

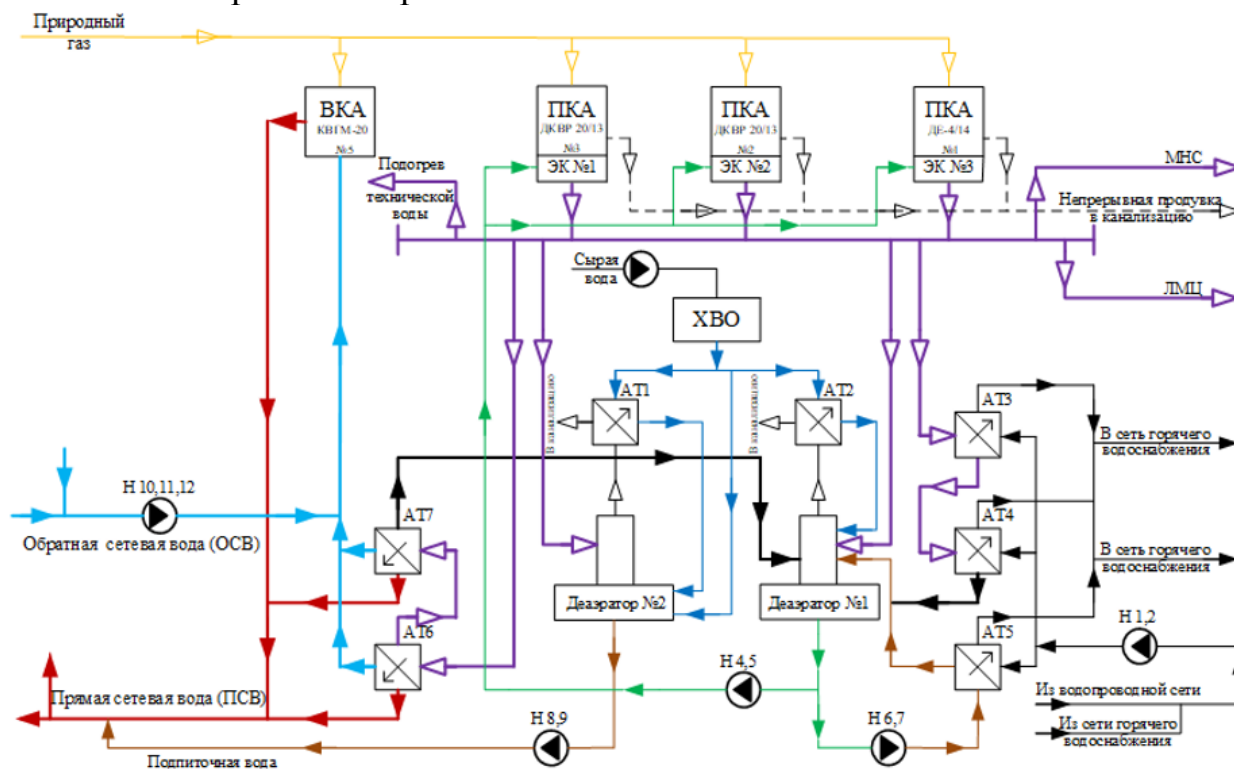


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема по варианту 0 (базовый)

Вариант 1 предусматривает теплоснабжение от центральной котельной с двумя водогрейными котлами марки Vitomax 200-LW единичной мощностью 3,5 МВт каждый и одного водогрейного котла Vitoplex 200 единичной мощностью 1,65 МВт производства Viessmann (Германия) на природном газе, установленными в здании существующей котельной на месте демонтируемых паровых котлоагрегатов и баками-аккумуляторами горячей воды по 25 м³ каждый для обеспечения нужд ГВС, установленными рядом со зданием котельной (рисунок 2).

Вариант 2 предусматривает теплоснабжение от центральной котельной с тремя газовыми водогрейными котлами марки Vitomax 200-LW единичной мощностью 2,3 МВт каждый, двумя баками-аккумуляторами по 25 м³ каждый для обеспечения нужд ГВС и дополнительно устанавливается парокомпрессионный тепловой насос (ПКТН) модели С 120 единичной мощностью 2,5 МВт производства BROAD (Китай) с электроприводом для утилизации низкотемпературных тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) водоотлива из карьера и нагрева сетевой воды на нужды ГВС, работающим только в межотопительный период (лето) и абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса (АБТН) единичной мощностью 0,85 МВт с приводом от природного газа для утилизации теплоты глубокого охлаждения дымовых газов и нагрева сетевой воды на нужды отопления, вентиляции и ГВС, работающего только в отопительный период. ПКТН потребляет электроэнергию на протяжении всех суток. Оборудование котельной, ПКТН, АБТН устанавливается в здании существующей котельной (рисунок 3).

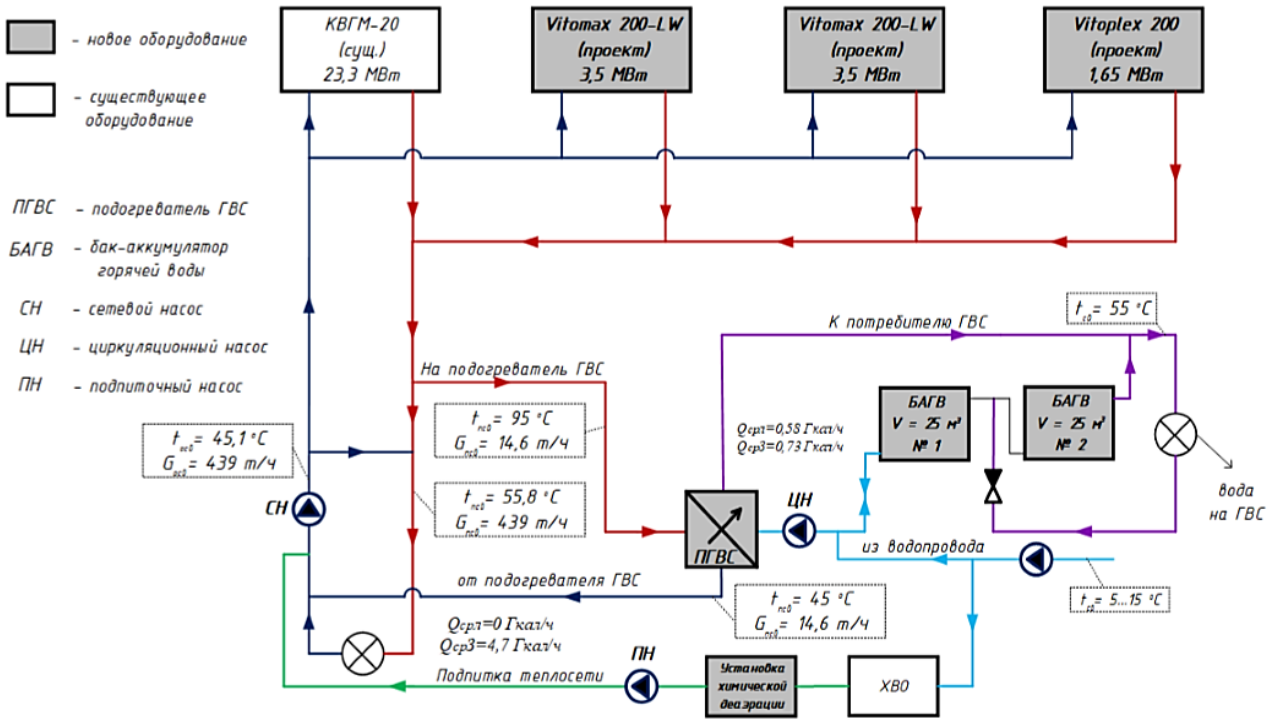


Рисунок 2 – Принципиальная тепловая схема для варианта 1

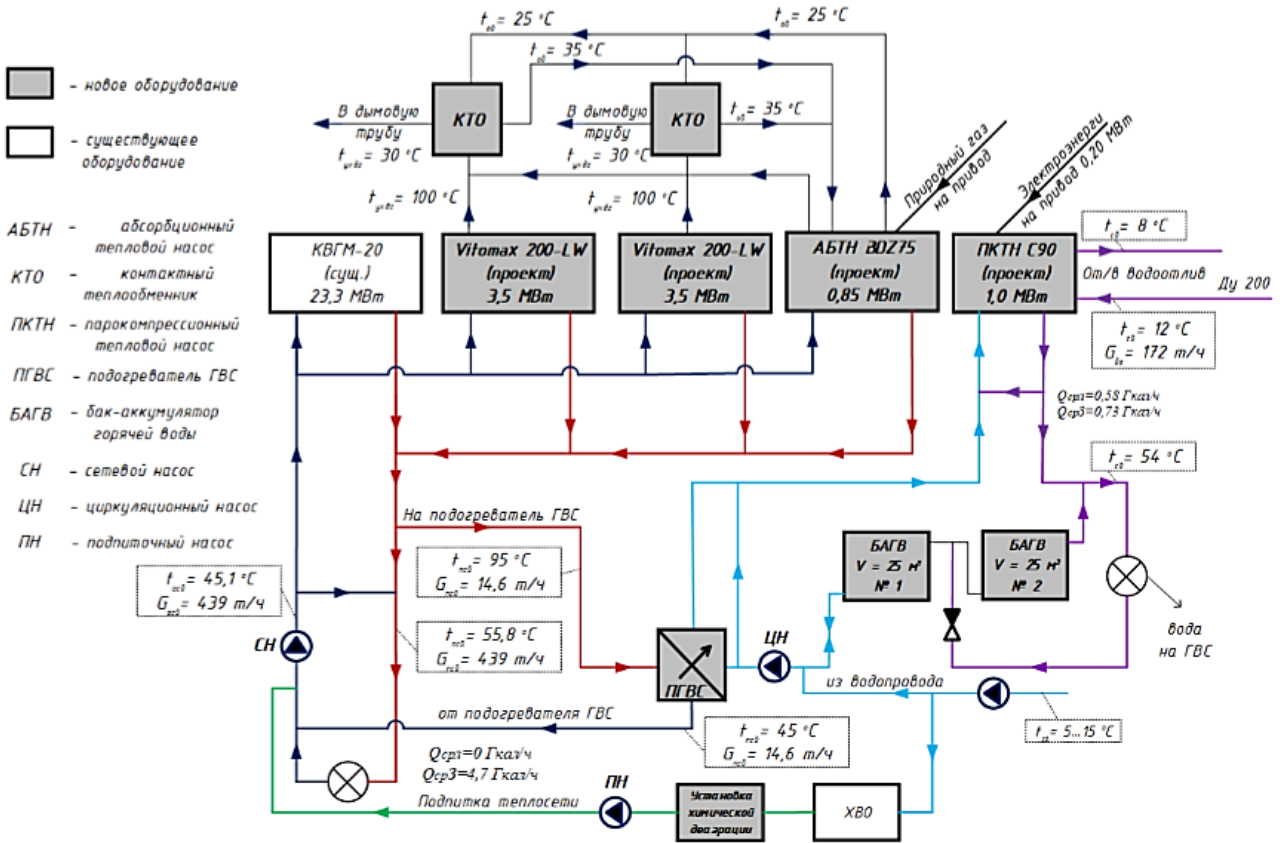


Рисунок 3 – Принципиальная тепловая схема для варианта 2

Заключение

Таблица 1 – Сравнительная характеристика показателей по вариантам

Наименование показателя	Ед. измерения	Вариант 1	Вариант 2
Экономия условного топлива на котельной	тыс. т у.т.	0,12	0,65
Прибыль за вычетом налогов и платежей из прибыли	млн руб	0,50	0,53
Чистая прибыль (с учетом амортизационных отчислений)	млн руб	0,53	0,66
Потребность в финансировании	млн руб	1,03	3,70
Внутренняя норма доходности (ВНД)	%	62,1	21,6
Срок окупаемости простой	лет	1,61	4,64
При ставке дисконтирования 10%			
Чистый дисконтированный доход	млн руб	4,2	3,3
Индекс доходности инвестиционных затрат	руб./руб.	5,88	2,06
Срок окупаемости динамический	лет	1,85	6,54

На основании экономических показателей наиболее предпочтителен вариант 1, с меньшими капвложениями и самой быстрой их окупаемостью.

На основании энергетических показателей наиболее предпочтителен вариант 2 с наибольшей экономией природного газа.

Реализация проекта обеспечивает экономию органического топлива (до 0,65 тыс. т условного топлива) и повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, что признано одним из приоритетных направлений развития экономики Республики Беларусь. На основании анализа экономических и энергетических показателей, тепловых нагрузок, а также прочих условий на наш взгляд наилучшим является вариант 2, предполагающий установку 3-х водогрейных котлов на природном газе единичной мощностью по 2,3 МВт каждый, 2-х баков-аккумуляторов горячей воды единичным объемом по 25 м³, одного парокомпрессионного теплового насоса тепловой мощностью 1,0 МВт для утилизации низкотемпературных тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) водоотлива из карьера и 1-го абсорбционного теплового насоса тепловой мощностью 0,85 МВт для утилизации теплоты глубокого охлаждения дымовых газов водогрейных котлов.

Литература

1. РУП "БЕЛТЭИ" Модернизация системы теплоснабжения промплощадки РУПП «Гранит»: предпроектная документация. / РУП "БЕЛТЭИ". – Минск: / ГПО «БЕЛЭНЕРГО», 2019 – 286 с.
2. РУПП «Гранит» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://granit.by/>. – Дата доступа: 15.09.2021.

УДК 620.9:658.011.56

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АСКУЭ В МНОГОКВАРТИРНЫХ
ЖИЛЫХ ДОМАХ
APPLICATION OF ASCUE SYSTEMS IN MULTI-APARTMENT
RESIDENTIAL BUILDINGS

А.В. Кравченко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kravchenko

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматривается одно из главных мероприятий по контролю электроэнергии в жилых домах – применение систем АСКУЭ. Их основные преимущества и изменения в энергосистеме, к которым приведёт их внедрение.*

***Abstract:** This article discusses one of the main measures for the control of electricity in multi-apartment residential buildings – the use of ASCUE systems. Their main advantages and the changes in the power system that their implementation will lead to.*

***Ключевые слова:** электроэнергия, система АСКУЭ, контроль, учет, экономия.*

***Keywords:** electricity, ASKUE system, control, accounting, economy.*

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь внедрено и успешно эксплуатируется АСКУЭ более чем на 900-х предприятиях различной формы собственности, а также более чем в 2500-х многоквартирных жилых домах. Постоянно идет процесс ввода в постоянную эксплуатацию новых объектов, увеличение точек учета в существующих АСКУЭ, модернизация на эксплуатируемых объектах, улучшение программного обеспечения, повышение надежности АСКУЭ. В связи с этим применяется ряд мероприятий, направленных на повышение качества потребления электроэнергии в стране и ее экономии.

Основная часть

Одно из основных мероприятий – автоматизация учета электрической энергии.

Применение систем автоматизированного контроля за отпуском и потреблением электроэнергии обеспечивает достоверный учёт, который одновременно выгоден ресурсоснабжающим организациям, хозяйствующим субъектам, собственникам жилья и государству. Совершенствование технологий обмена данными позволило существенно упростить коммерческий учёт энергоресурсов, снизить стоимость его внедрения.

По назначению АСКУЭ можно разделить на два типа: системы коммерческого учета и системы технического учета.

Коммерческий учет - это учет потребляемой электроэнергии для денежного расчета за нее с поставщиком. Для такого учета требуется установка приборов повышенной точности.

Технический учет нужен для контроля процессов энергопотребления внутри предприятия, по всем его корпусам, цехам, энергоустановкам. Анализ показаний системы технического учета дает предприятиям ряд возможностей по сокращению потребления электроэнергии и мощности, не оказывая при этом влияния на объемы производства.

Конфигурация АСКУЭ может изменяться в зависимости от особенностей отдельных объектов и пожеланий пользователей. Внедрение АСКУЭ на предприятии и жилых домах сводит к минимуму участие человека и позволяет полностью контролировать весь процесс энергопотребления.

Заключение

Применение автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии позволяют сократить энергетические потери, перераспределить энергетическую мощность, перевести наиболее энергоёмкие производственные операции на время действия более выгодных тарифов. На основании этих данных разрабатываются мероприятия по энергосбережению, внедрение которых является важным шагом на пути повышения эффективности энергетического потенциала страны.

Литература

1. РУП «Минскэнерго» Филиал «Энергосбыт» [Электронный ресурс]/ Перспективы использования систем АСКУЭ на предприятиях промышленности и в жилых домах.-Режим доступа:[https:// www.energosbyt.by/ru/info-potrebitelyam/fiz-l/schetchiki/askue-v-zhil-dom/](https://www.energosbyt.by/ru/info-potrebitelyam/fiz-l/schetchiki/askue-v-zhil-dom/). – Дата доступа: 17.09.2021.
2. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс. -Режим доступа: <https://gkx.by/kalkulyator/>. – Дата доступа: 17.09.2021.
3. АСКУЭ [Электронный ресурс]/ Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизированная_система_контроля_и_учёта_энергоресурсов/ – Дата доступа: 17.09.2021.

УДК 620.9

**МОЗЫРСКАЯ ТЭЦ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
MOZYR CHP. GENERAL INFORMATION**

Д.В. Манзуля

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Manzulia

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Теплоэлектроцентральный — разновидность тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов)*

Abstract: *A combined heat and power plant is a type of thermal power plant that not only produces electricity, but is also a source of thermal energy in centralized heat supply systems (in the form of steam and hot water, including for providing hot water supply and heating of residential and industrial facilities).*

Ключевые слова: *ТЭЦ, предприятие, проект, организация производства.*

Keywords: *CHP, company, project, organization of production.*

Введение

Мозырская ТЭЦ (ТЭЦ-24) — теплоэлектроцентральный, расположенная в Мозырском районе Гомельской области, снабжающая электрической и тепловой энергией Мозырский нефтеперерабатывающий завод и город Мозырь. Потребителями тепловой энергии, отпускаемой ТЭЦ, также являются ГП «Мозырская овощная фабрика», поселок Криничный и детский оздоровительный центр.

Основная часть

Мозырская теплоэлектроцентральный входит в состав производственного объединения энергетики и электрификации «Гомельэнерго» и включена в единую энергосистему Республики Беларусь.

Строительство теплоэлектроцентрали в Мозыре предусматривалось для обеспечения тепловой и электрической энергией строящегося НПЗ и других предприятий промышленного узла.

В 1971 году начато строительство Мозырской ТЭЦ. К концу 1973 года заканчивались работы по подготовке ТЭЦ к пуску.

Общая производительность котлов составляет 2100 т/ч на параметры острого пара 14 МПа и 560 °С. Отпуск тепла на горячее водоснабжение осуществляется по закрытой схеме. Установленная электрическая мощность турбоагрегатов 195 МВт. Компоновка главного корпуса – правая, пролёт машинного зала – 39м. Состав основного оборудования и его характеристики:

- 4 котлоагрегата ТГМ-84Б производительностью 420 т/ч;
- 1 котлоагрегат БКЗ-420ГМ производительностью 420 т/ч;

- 1 турбоагрегат ПТ-70-130/40/13 номинальной электрической мощностью 70 МВт;
- 1 турбоагрегат ПТ-135/165-130/15 номинальной электрической мощностью 135 МВт;

Основным сжигаемым топливом для трёх котлов (ст. № 1,2,3) является природный газ. Резервное топливо – мазут, поставляемый, как по трубопроводу от НПЗ, так и по железной дороге. Для котлов ст. № 4,5 мазут является основным видом топлива.

Схема циркуляционного водоснабжения на ТЭЦ обратная с градирнями.

Пар котлов поступает на турбины. Часть отработанного пара из отборов турбин поступает на МНПЗ и стройбазу, а также для подогрева сетевой воды в бойлерах и в регенеративном цикле турбин для подогрева воды в подогревателях низкого и высокого давления. Остаток пара конденсируется в конденсаторах турбин.

Котлотурбинный цех (КТЦ) является самостоятельным структурным подразделением электростанции.

В ведении КТЦ находятся котельные и турбинные агрегаты со вспомогательным оборудованием и трубопроводами; деаэраторы, подогреватели химобессоленной, сырой и химочищенной воды, мазутные баки, баки турбинного и трансформаторного масла, дренажные баки, расширители непрерывной продувки котлов, редуционно-охладительные устройства, градирни, мазутные фильтры, насосы питательные, дымососы, главный паропровод, питательный трубопровод и т.д.

Основной задачей КТЦ является:

- Выполнение диспетчерского графика нагрузок коэффициента эффективности использования рабочей мощности и государственного плана по выработке электрической и тепловой энергии;
- Обеспечение надёжности, безаварийной и экономичной работы всего закреплённого за цехом оборудования;
- Выполнение производственно-хозяйственных циклов цеха.

Для осуществления поставленных задач КТЦ выполняет следующие основные функции:

- Контролирует работу и внешнее состояние оборудования;
- Обеспечивает ведение заданного режима работы оборудования КТЦ, производит его оперативное переключение;
- Производит оперативное обслуживание закреплённого за цехом оборудования;
- Принимает меры по ликвидации повреждений и устранению аварийного состояния оборудования;
- Участвует в расследовании причин аварий и отказов в работе тепломеханического оборудования;
- Контролирует сроки, объёмы и качество ремонтов оборудования цеха;
- Организует и участвует в приёмке, наладке и испытаниях оборудования цеха, в разработке режимов его работы.

Заключение

В 2020 году Мозырская ТЭЦ обеспечила бесперебойное снабжение потребителей электрической и тепловой энергией, добилась дальнейшего повышения надежности и экономичности работы оборудования, обеспечила заданную эффективность использования установленной мощности, отработала год с хорошими технико-экономическими показателями.

Литература

1. Мозырская ТЭЦ [Электронный ресурс]/Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мозырская_ТЭЦ. – Дата доступа: 17.09.2021.
2. Теплоэлектроцентраль [Электронный ресурс]/ Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплоэлектроцентраль>. – Дата доступа: 17.09.2021.

УДК 621.311.22

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНСКОЙ ТЭЦ-2
MODERNIZATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF MINSK CHP-2**

Е.А. Сырица

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Syrytsa

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В работе приводится структура Минской ТЭЦ-2 ф-ла «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго», её техническое оснащение, что было модернизировано и что предстоит сделать, описан процесс пуска и остановки котла, процесс работы теплоустановки и её планово-предупредительный ремонт, затронуты вопросы техники безопасности и экологии, предложен вариант замены устаревших паровых котлов и указаны проблемные вопросы, на которые стоит обратить больше внимания.

Abstract: The report on the practical training in the “Minsk Thermal Networks” branch of RUE “Minskenergo” describes the structure of the enterprise, the technical equipment of the Minsk TPP-2, as one of the important structural divisions of the enterprise, what has been modernized and what needs to be done, describes the process of starting and stopping the boiler, the process of operation of the heat installation and its scheduled preventive repair, safety and environmental issues are raised, an option for replacing outdated steam boilers is proposed and problematic issues that should be paid more attention to are indicated.

Ключевые слова: Паровой котел, газотурбинная установка, электрокотел, питательная вода.

Keywords: Steam boiler, gas turbine unit, electric boiler, feed water.

Введение

Электроэнергетическая отрасль является важнейшей частью экономики Республики Беларусь, которая обеспечивает производство электрической и тепловой энергии. Таким образом, установка нового и обновление действующего основного энергетического оборудования электростанций должны осуществляться путем применения самых современных и эффективных технологий, одними из которых на сегодняшний день являются парогазовые установки (ПГУ).

Используя в качестве основного топлива природный газ, такие установки на ТЭЦ, обладая высоким КПД, наряду с электроэнергией производят выработку тепловой энергии, которая используется как в паровых турбинах, так и непосредственно обеспечивая потребителей горячей водой и паром.

В настоящее время широко применяются паровые и водяные котлы, работающие на газомазутном топливе. Каждый из них имеет свое предназначение и своих потребителей. Однако ограниченные запасы природных ресурсов, в том числе природного газа и перспективное развитие атомной

энергетики, неизбежно подталкивает электроэнергетическую отрасль на замещение газовых аналогов электрическим отопительным оборудованием. Такое оборудование уже внедрено на многих объектах Белэнерго. Эти проекты, как в прочем любая новая разработка, имеют свои плюсы и минусы, но в любом случае, они повышают энергетическую надежность в тепловом хозяйстве.

Основная часть

РУП «Минские тепловые сети» является филиалом РУП «Минскэнерго». Основная задача предприятия – обеспечить надежное, бесперебойное снабжение потребителей тепловой и электрической энергией. Одним из основных структурных подразделений Минских тепловых сетей является Минская ТЭЦ-2, которая расположена в центральной части г. Минска и предназначена для теплоснабжения жилых и общественных зданий, предприятий, снабжения технологическим паром фабрик и заводов, выработки электроэнергии. Минская ТЭЦ-2 включает в себя 9 районных котельных, 12 понизительных насосных станций, 5 теплофикационных насосных на пиковых водогрейных котельных, 219 центральных тепловых пунктов, десятки тысяч единиц различного оборудования.

Свою историю ТЭЦ-2 начинает с 1934 года. Производительность станции начиналась с 20 тонн пара в час и выработки электроэнергии 4 тыс. кВт/ч. Не смотря на то, что в настоящее время еще эксплуатируется отопительное оборудование 40-х и 50-х годов выпуска, проведенные реконструкции и внедряемые проекты позволяют характеризовать Минскую ТЭЦ-2 как мощное, надежное и стабильное объединение, обеспечивающее около 14 % потребностей Минска в тепловой энергии, в том числе таких важных республиканских объектов как, резиденция Президента Республики Беларусь, Дом правительства, Мингорисполком. Сегодня установленная электрическая мощность генерирующего оборудования станции составляет 94 МВт, тепловая 665 Гкал/ч.

Основным топливом для ТЭЦ служит природный газ, резервным — мазут. В общем балансе отпуска теплоты отопительно-вентиляционная нагрузка составляет 80%, из которых 25% составляет нагрузка горячего водоснабжения, включенная круглосуточно.

Мазутное хозяйство расположено на территории ТЭЦ-2 на расстоянии 600 м от главного корпуса. На мазутном хозяйстве имеются два резервуара по 5000 м³ каждый. Мазут прибывает в железнодорожных цистернах емкостью 50-70 м³. Одновременно под слив ставится 16 цистерн мазута. Основные мазутные насосы подают мазут к паровым и водогрейным котлам с давлением 25 кгс/см². Мазутные форсунки с механическим распыливанием. Рециркуляционные насосы мазутного хозяйства обеспечивают поддержание его в постоянном горячем резерве. Пар на мазутное хозяйство подается из отбора т.а.ст. N2 с давлением 7 атм. Для приема мазута имеются перекачивающие насосы и эстакады слива мазута.

Сейчас в главном корпусе ТЭЦ-2 установлены два энергоблока ПГУ электрической мощностью 65 МВт в составе каждого: газовая турбина типа SGT-600 (SIEMENS), паровая турбина типа СВ 7,5-3,43/0,83/0,12 (Китай), котел-утилизатор компании AEENJ (Китай), котлы-утилизаторы, типа Q-

0,235/541-32-3,6/435, паровые котлы: Е-90/38 ГМ, НЗЛ (введен в эксплуатацию в 1947 г.), Е-105-39/440 ГМ, (введен в эксплуатацию в 1955 г.) и два котла Е-110/38 ГМ «Бабкок-Верке» (введены в эксплуатацию в 1949 г. и в 1950 г.).

В отдельно стоящем здании установлены четыре водогрейных котла: два ПТВМ-100, ДКЗ (первый введен в эксплуатацию в 1968 г. за № 1, второй - в 1969 г. за № 2), ПТВМ-100, БелКЗ (введен в эксплуатацию в 1974 г. за № 3,) и КВГМ-100, ДКЗ (введен в эксплуатацию в 1982 г. за № 4). В межотопительный период водогрейная котельная остановлена.

На ПГУ Минской ТЭЦ-2 установлена дожимная газовая компрессорная станция RQ-2000, изготовленная на Сычуанском заводе компрессорного оборудования, расположенном в г.Ченду, и включающая в себя три газовых компрессора, а также системы подготовки и очистки газа.

В настоящее время проводится вторая реконструкция Миской ТЭЦ-2. Она включает три очереди. На сегодняшний день ведутся работы по первой. Были демонтированы одни из старейших паровых турбин энергосистемы Беларуси от производителей Škoda и Siemens. Их заменили на два водогрейных электрических котла мощностью по 20 МВт каждый производства шведской фирмы Elpannetekhnik АВ. Установленные электродкотлы обладают высоким коэффициентом полезного действия из-за особенностей конструкции и передовых технологий в производстве. Они оборудованы современными системами автоматического управления для удобства работы операторов. Их основная цель, это повышения надежности работы основного оборудования Минской ТЭЦ-2 в период похолодания. Также установили подогреватели сетевой воды, насосы замкнутого контура. Кроме того, обновлена система электроснабжения станции. Реконструкция на первом пусковом комплексе проводится в рамках комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции.

Система управления электростанции Webfield ECS-100 (разработки и производства Surcon Technologies) выполнена на элементной базе Siemens. Управление всем оборудованием ПГУ осуществляется с блочного щита управления.

Утечки воды, имеющие место у потребителя, компенсируются химочищенной деаэрированной подпиточной водой, подаваемой в обратную линию теплосети. Питательная вода, подаваемая в паровые котлы, является смесью конденсатов турбин, бойлеров, возврата конденсата от потребителей технологического пара и химочищенной воды. Деаэрация воды осуществляется в деаэраторах атмосферного типа. Группа питательных насосов обеспечивают подачу питательной воды к водяным экономайзерам паровых котлов при необходимом давлении.

В перспективе планируется произвести замену устаревших паровых агрегатов на новые. Для этих целей по своим техническим характеристикам подойдет котел Е-50-3,9-440ГМ, водотрубный, барабанный, с камерным сжиганием топлива.

Заключение

Надежность и стабильность электроэнергетической отрасли возможна только при условии постоянной кропотливой работы инженеров по изучению ресурса работы оборудования и его доскональной диагностики, качественного проведения планово-предупредительного ремонта, контролю соблюдения регламента по эксплуатации оборудования, планированию работ по модернизации объектов энергетического хозяйства и четкого соблюдения сроков её проведения. Такая работа в ф-ле «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго» проводится.

Наряду с перспективной программой реконструкции Минской ТЭЦ-2, считаю необходимым больше уделить внимание по разработке мероприятий по снижению утечек сетевой воды и тепловых потерь на магистральных сетях.

Литература

1. Минскэнерго [Электронный ресурс]/ Минские тепловые сети. - Режим доступа: <https://minskenergo.by/filialy/minskie-teplovye-seti/>. – Дата доступа: 21.09.2021.
2. Репозиторий БНТУ [Электронный ресурс] / РУП «МИНСКЭНЕРГО» филиал «МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ» - Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/42143/RUP_MINSKENERGO_filial_MINSKIE_TEPLOVYE_SETI.pdf?sequence=1&isAllowed=y – Дата доступа: 21.09.2021.

УДК 620.97

**ВНЕДРЕНИЕ КОТЕЛЬНЫХ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
INTEGRATION OF LOCAL FUEL BOILER ROOMS IN THE POWER
INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

А.В. Кулыгин

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kulyhin

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматривается одно из актуальных мероприятий для Республики Беларусь по внедрению котельных на местных видах топлива. Их основные преимущества перед уже существующими и изменения в энергосистеме, к которым приведёт их внедрение.*

***Abstract:** This article discusses one of the relevant measures for the Republic of Belarus to introduce boiler rooms using local fuels. Their main advantages over the existing ones and the changes in the energy system, which will result from their introduction.*

***Ключевые слова:** котельные, внедрение, эксплуатация, топливно-энергетические ресурсы.*

***Keywords:** boiler rooms, integration, exploitation, fuel and energy resources.*

Введение

С 2019 года в Республике Беларусь началось активное внедрение котельных на местных видах топлива. Такие котельные устанавливаются и на крупных предприятиях. Примером является ОАО «Кричевцементношифер», где ввод в строй котельной на местных видах топлива позволит отказаться от дорогого природного газа и сделать еще один шаг на пути по снижению себестоимости продукции[1].

Основная часть

Внедрение твердотопливных котельных на местных видах топлива, для теплоснабжения административных и промышленных зданий, является одним из эффективных решений для энергетической системы Республики Беларусь. Такие котельные обладают множеством преимуществ перед уже существующими, однако имеют некоторые особенности, которые необходимо учитывать при монтаже.

Твердотопливные котельные на местных видах топлива имеют ряд преимуществ. В первую очередь необходимо отметить дешевизну получаемой энергии. Для выработки теплоты на таких котельных сжигают не только кокс, торф, дрова, уголь, но и опилки, различную стружку, щепу. Не менее важным является то, что данные котельные зачастую более экологичны – в результате горения природных видов топлива образуется значительно меньшее количество вредных выбросов, в сравнении с углеводородами.

Существенным преимуществом является замещение импортного топлива – увеличение доли использования МВТ в энергетической отрасли региона и даже страны, что не только положительно сказывается на экономии финансов, но и позволяет обрести частичную независимость от зарубежных поставщиков[2]. В сравнении с котельными на газу, где необходимо получить множество разрешений и котельными на электричестве, где необходимы сложные расчёты мощности, весомым преимуществом является простота монтажа котельных на местных видах топлива.

Так же существует способ упростить монтаж котельных на МВТ. В настоящее время активно применяется блочно-модульная система – котельные установки собирают на заводе в готовые модули, которые далее транспортируют и производят их установку. Блочно-модульные конструкции имеют ряд достоинств: компактность, быстрый ввод в эксплуатацию, высокое качество сборки.

Доказательствами эффективности внедрения котельных на МВТ, является уже построенные в Республике Беларусь объекты такого типа на ОАО «Кричевцементношифер», котельная в Боровлянах, работающая на древесной щепе. В будущем планируется соорудить ещё несколько, в Юбилейном и Самохваловичах – посёлки Минского района[3].

Заключение

Установка твердотопливных котельных на местных видах топлива позволит частично отказаться от зарубежных поставок энергоносителей, что соответственно положительно скажется на финансовой составляющей некоторых предприятий и районов. Использование их предполагает сжигание более экологичного топлива и тем самым улучшает экологическую обстановку страны. Уменьшит использование импортного природного газа, являющегося в Республике Беларусь основным топливно-энергетическим ресурсом.

Ввод котельных такого типа – это не просто инфраструктурный проект, направленный на экономию финансов и повышение экологичности энергетического производства, а ещё и надёжный партнер в деле повышения маневренности эксплуатации белорусской энергосистемы.

Литература

1. Кричевская жизнь [Электронный ресурс]/ На пути энергосбережения.-Режимдоступа:<https://k-j.by/novosti/5206-na-puti-energoberezeniya>. – Дата доступа: 05.09.2021.
2. ЭнергоБеларусь [Электронный ресурс]/ Альтернативные виды топлива в производстве строительных материалов. Каковы приоритеты импортозамещения.Режимдоступа:https://energobelarus.by/articles/energoberezeniye/alternativnye_vidy_topliva_v_proizvodstve_stroitelnykh_materialov_kakovy_prioritety_importozameshche/. – Дата доступа: 9.09.2021.
3. ОНТ [Электронный ресурс]/ В Беларуси станет больше котельных на местных видах топлива.-Режимдоступа:<https://ont.by/news/v-belarusi-stanet-bolshe-kotelnyh-na-mestnyh-vidah-topliva> . – Дата доступа: 15.09.2021.

УДК 621.226

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМУФТ НА
ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСАХ
ON THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF HYDRAULIC COUPLINGS
ON FEEDING PUMPS**

К.А. Рум

Научный руководитель – И.Н Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Rum

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** мероприятия проводимые для экономии потребляемой электроэнергии на предприятии за счёт гидромуфты.*

***Abstract:** measures carried out to save the consumed electricity at the enterprise due to the hydraulic coupling.*

***Ключевые слова:** повышение экономичности потребляемой электроэнергии.*

***Keywords:** increasing the efficiency of electricity consumed.*

Введение

Гидромуфта являются самым простым и надежным устройством регулирования частоты вращения электроприводных центробежных нагнетателей (насосов, вентиляторов, компрессоров и др.) В состав гидромуфты входит: собственно гидромуфта, рычажно-кулачковая передача и исполнительный механизм. В промышленности она обеспечивает защиту при пусках двигателя и редуктора от чрезмерных нагрузок, обеспечение плавного пуска и другие достоинства гидромуфт делают их очень востребованными в различных видах промышленного оборудования.

Основная часть

В рамках выполнения мероприятий государственной программы «Энергосбережение» специалистами филиала РУП «Витебскэнерго» Новополоцкой ТЭЦ была поставлена задача ОДО «Акваэкология» реализовать проект по установке гидромуфты на питательный насос типа ПЭ-500-180-2 ст. № 2. Эффективность данного проекта достигается путём повышения экономичности работы насосного агрегата за счёт изменения частоты вращения питательного насоса при переменных нагрузках и, как следствие, снижения потребления электроэнергии на собственные нужды станции.

Сравнительный анализ двух вариантов регулирования частоты вращения, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение гидромуфты с частотным преобразователем

Гидромуфта	Частотный преобразователь
Компактная установка, возможность разместить как в помещении, так и на улице	Требуется в 4-6 раз большую площадь за счёт маслостанции, преобразователя частоты, трансформатора, гармонического фильтра и кондиционера
Установка на любой электродвигатель	Требуется электродвигатель специального исполнения, который необходимо подбирать с запасом установленной мощности
Встроенная маслосистема	Отдельная маслосистема
Межсервисный интервал: в среднем 8 лет	Межсервисный интервал: в среднем 4 года
Наработка на отказ: в среднем 150 000 ч	Наработка на отказ: в среднем 30 000 ч
Простота обслуживания	Обслуживание только сторонними сервисными службами, для эксплуатации необходима соответствующая техническая квалификация персонала
Обеспеченность запчастями на весь срок службы	Физическое старение большого числа компонентов, быстрое моральное старение электроники (частая смена элементной базы).

Для небольших мощностей до 1,5 МВт экономически более выгодным решением в большинстве случаев окажется применения частотного преобразователя, свыше 1,5 МВт – гидромуфты. Мощность электродвигателя насосного агрегата ПЭ-500-180-2 Новополоцкой ТЭЦ – 3,8 МВт. В результате реализации проекта были достигнуты фактические показатели энергоэффективности в 35-40 т.у.т в месяц.

Заключение

Таким образом, ст. №2 Новополоцкой ТЭЦ филиала РУП «Витебскэнерго» получила следующие преимущества использования гидромуфты D21KSL-HS:

- экономия электроэнергии;
- демпфирование и гашение крутильных колебаний крутящего момента широкого спектра амплитуд и частот;
- снижение пульсирующих и пиковых нагрузок, действующих в рабочем режиме, как в элементах передачи, так и в приводном двигателе, что позволяет существенно продлить срок службы работы как самого электронасосного агрегата, так и регулирующей арматуры.

Литература

1. ГОСТ 19587-74. Передачи гидродинамические. Термины и определения. — Москва: ИПК Издательство стандартов, 1974. – 33 с.
2. Лепешкин А.В., Михайлин А. А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. / под ред. А. А. Шейпака. - М.: МГИУ, 2003. – 352 с.

УДК 66.047

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
MODERNIZATION OF DRYING PLANTS**

Ю.С. Кохан

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Kokhan

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Science, Assistant professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: данная работа посвящена способам использования модернизации сушильных установок с целью улучшения качества оборудования и производимой продукции.

Abstract: this work is devoted to ways of using the modernization of drying plants in order to improve the quality of equipment and products.

Ключевые слова: модернизация, сушильная установка, сушилка, оснащение, изменение.

Keywords: modernization, drying plant, dryer, equipment, change.

Введение

Модернизация сушильных установок представляет собой комплексное или частичное внесение изменений и усовершенствований в оборудование с целью повышения производительности, безопасности работы, легкости обслуживания. Также модернизацию производят для устранения морального износа оборудования. Под моральным износом понимается обесценивание оборудования под влиянием технического процесса, в результате удешевления производства аналогичного оборудования, создания принципиально новых более экономичных и производительных машин.

Основная часть

Модернизацию сушильных установок на ОАО «Мозырьсоль» проводят с целью существенного снижения топливно-энергетических ресурсов, улучшения качества продукта, увеличения количества и качества выпускаемой продукции.

Комплекс мероприятий по модернизации сушильных установок включает в себя:

- оснащением сушилок дополнительными фильтрами для очистки отработанного воздуха;
- реконструкция системы подготовки горячего воздуха;
- замена паровых калориферов на калориферы на газовом топливе;
- оснащение сушилок системой бункерного хранения готового продукта, современной линией расфасовки и упаковки;
- оснащение сушилок дополнительным оборудованием для приготовления многокомпонентных сухих смесей;
- системами очистки стенок сушилки от налипшего продукта[2].

Замена паровых калориферов на калориферы на газовом топливе дает существенные изменения в работе оборудования. Основными преимуществами

газовых калориферов перед паровыми являются высокий КПД, значительно меньшие затраты на транспортировку пара от котельной к сушилке, обеспечивают стабильную температуру в течение всего процесса сушки. Благодаря газовым калориферам отпадает потребность в паре с высокими параметрами[1].

Заключение

Модернизация сушильных установок помогает существенно снизить затраты на топливно-энергетические ресурсы, также способствует улучшению качества выпускаемой продукции и увеличению ее объемов.

Литература

1. Технологии сушки [Электронный ресурс]/ Газовые калориферы. - Режим доступа: <http://www.vztm.su/produkty/gazovye-kalorifery/>. – Дата доступа: 18.09.2021.
2. Технологии сушки [Электронный ресурс]/ Модернизация сушилок. - Режим доступа: <http://www.vztm.su/uslugi/modernizacia-susilok/modernisation-zt-nema/> – Дата доступа: 18.09.2021.

УДК 66.047

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
INCREASING THE EFFICIENCY OF DRYING PLANTS**

В.М. Рыктер, Д.А. Войтович, Д.Э. Ильюченко
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Rykter, D. Voitovich, D. Ilyuchenko
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: мероприятия проводимые для повышения КПД сушильной камеры после окраски изделий.

Abstract: measures taken to improve the efficiency of the drying chamber after painting products.

Ключевые слова: повышение КПД сушильной камеры.

Keywords: increasing the efficiency of the drying chamber.

Введение

Сушка лакокрасочного покрытия – это процесс, в результате которого лакокрасочный материал переходит из жидкого состояния в стеклообразное и приобретает определенные физико-химические, эксплуатационные и защитные свойства. Существует несколько видов сушки лакокрасочных покрытий (окрашенных деталей и установок): естественная сушка, холодная сушка лакокрасочных покрытий, горячая сушка лакокрасочных покрытий. Горячая сушка лакокрасочного покрытия нашла широкое применение в промышленности, т.к. покрытие получается высокого качества.

Основная часть

Сушильная камера установленная в механическом цехе 2 на "МТЗ" служит для сушки окрашенных трансмиссий. Благодаря использованию сушки повышается и производительность процесса, т.к. увеличивается скорость высыхания окрашенных изделий. Технические характеристики камеры представлены в таблице 1.

Установка имеет низкий КПД, у современных сушильных установок КПД может достигать 40-45%. Сушильная камера имеет большие потери теплоты через ограждающие конструкции, потери связанные с недожогом топлива, также большая часть теплоты расходуется на нагрев транспортных средств и воздуха поступающего в камеру. Так как установка была введена в эксплуатацию более 25 лет назад, она имеет большие габариты в сравнение с современными агрегатами.

Таблица 1 – Технические характеристики сушильной камеры

№№ п/п	Параметры работы сушила	Размерность	Значение величины
1	Производительность сушила по массе высушиваемых изделий	кг/ч	17292
2	Количество работающих горелок	шт.	4
3	Давление газа перед счётчиком	МПа	0,055
4	Давление газа перед горелкой	МПа	0,004
5	Давление воздуха перед горелкой	МПа	0,0038
6	Температура в камере	°С	90-100
7	Температура уходящих газов	°С	70
8	Разрежение	Па	600
9	Состав дымовых газов, взятых в топке:		
	- углекислый газ, CO ₂	%	10,4
	- кислород O ₂	%	1,9
	- окись углерода, CO	ppm	13
10	Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах		1,08
11	Расход газа по счётчику	м ³ /ч	101,5
12	Полезное используемое тепло	ккал/ч	162101
13	Потери тепла	ккал/ч	588986
14	КПД	%	21,5
15	Удельных расход условного топлива на 1т материала	кг у.т./т	6,7

Заключение

Для снижения потерь теплоты в сушилке можно использовать теплоизоляционные материалы, у которых коэффициент теплопроводности меньше чем у материалов ранее используемых для изоляции, также они позволят осуществлять сушку при более высоких температурах. Новые горелочные устройства позволят уменьшить недожог топлива, уменьшить вредные выбросы в окружающую среду. Улучшение вентиляционного оборудования и правильная организация потоков по сушильной камере позволит более полно использовать полученную теплоту.

Литература

1. Сушка лакокрасочных изделий [Электронный ресурс]/ сушка лакокрасочных изделий. -Режим доступа: <https://www.okorrozii.com/sushka-lkr.html/>. – Дата доступа: 19.09.2021.
2. Сушильные установки [Электронный ресурс]/ сушильные установки. -Режим доступа: https://ozlib.com/962919/tehnika/sushilnye_ustanovki/. – Дата доступа: 19.09.2021.

УДК 662.767.2

**ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ
ГАЗИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
PROSPECTS OF APPLICATION OF BIOGAS PLANTS FOR
GASIFICATION OF RURAL PREMISES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Д.А. Янов

Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажёр
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Yanov

Supervisor – V. Yanchuk, Teacher-trainee
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: газификация сельской местности. Применение биогазовых установок для когенерации и газоснабжения. Получение биогаза. Принцип работы биогазовых установок. Недостатки использования сжиженного газа.

Abstract: gasification of rural areas. Application of biogas plants for co-generation and gas supply. Biogas production. The principle of operation of biogas plants. Disadvantages of using liquefied gas.

Ключевые слова: биогаз, биогазовые установки, газификация, недостаточная газификация сельской местности, применение биогазовых установок для получения газа, применение биогазовых установок для когенерации и газоснабжения.

Keywords: biogas, biogas plants, gasification, insufficient gasification of rural areas, the use of biogas plants for gas production, the use of biogas plants for cogeneration and gas supply.

Введение

Основы и начало газификации Республики Беларусь были заложены в ноябре 1958 года с подписания постановления ЦК КПБ и Совета Министров БССР № 738 «О плане газификации городов и других населенных пунктов Белорусской ССР в 1959- 1965 годах».

По состоянию на 2019 общий уровень газификации природным и сжиженным газом в Республике Беларусь составил порядка 97%, общая протяженность газотранспортной системы - около 62 тыс. км. Все районные центры и города обеспечены централизованным снабжением природным газом. Потребителями являются 3,7 млн бытовых абонентов и примерно 15 тыс. организаций реального сектора экономики. [1]

В то же время газификация сельской местности, по информации 2018 года, составляет около 40%. Большинство из которых снабжаются сжиженным газом. Из которых 98,4% газифицировано от газобаллонных установок, остальные - от групповых емкостных установок.[2] К минусам использования газовых баллонов можно отнести:

- склонность к искрообразованию при перевозке;
- подверженность коррозии — ржавчина появляется под воздействием влаги во время хранения, перевозки, а также из-за примесей с

- содержанием молекулы воды в газе;
- невозможность контролировать уровень сжиженного газа в баллоне;
- большой вес стального баллона (от 4 до 30 кг в зависимости от величины);
- пониженная ударопрочность, особенно у пораженных ржавчиной баллонов;
- отсутствие клапана, страхующего от повышенного давления в баллоне, возникающего при нагреве или ошибке при заправке;

Решением данной ситуации может быть внедрение различных установок, использующих в качестве топлива биогаз.

Биогазовые установки позволяют получать тепловую и электрическую энергию, высококачественные удобрения, а также помогают решить проблему утилизации навоза с ферм по выращиванию скота.

Основная часть

Потенциал для использования биотходов в целях получения энергии определяется наличием крупных ресурсов в сельском хозяйстве. В настоящее время становятся экономически приемлемыми технологии получения газа и моторного масла из биомассы. исходное сырье: — навоз, рапс, отходы, растениеводства, лесные отходы, торф. Шлам, получаемый после сбраживания биомассы представляет собой ценное органическое удобрение. Благодаря сбраживанию навоза снижается его запах, гибнут семена сорняков, яйца гельминтов и другая патогенная микрофлора, в результате чего уменьшается заражение почвы, грунтовых вод. [3,стр.5]

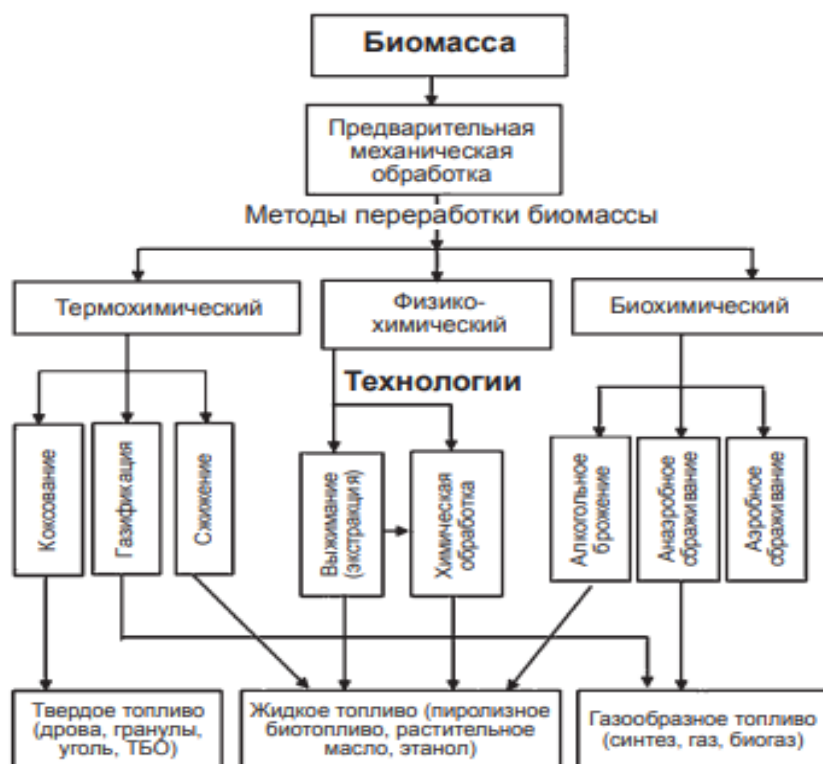


Рисунок 1 – Схема преобразования биомассы [3]

Принцип работы биогазовой построен на основе анаэробного брожения. Получение биогаза происходит в процессе переработки органического субстрата

бактериями при отсутствии или ограниченном доступе кислорода. В процессе анаэробного брожения сложные молекулы разлагаются на более простые жирные кислоты, аминокислоты, а также моносахариды. Из которых при окислении образуются спирты, и другие низшие соединения, затем преобразуясь в уксусную кислоту. На финальной стадии биохимической реакции происходит образование метана и диоксида углерода, которые являются основными компонентами биогаза.



Рисунок 2 – Преобразования при анаэробном разложении

Принцип работы биогазовой установки. Сухой субстрат загружается в модуль взвешивания и подачи сухих видов субстрата. Жидкий субстрат соответственно загружается в модуль загрузки жидкого субстрата. Далее субстраты смешиваются и гомогенизируются (приводятся в наиболее однородное состояние) для подачи непосредственно в ферментатор.

В ферментаторе предварительно нагретый субстрат выдерживается в анаэробных условиях в течение 20-35 дней (это зависит от конкретного субстрата). Выработанный биогаз накапливается в газгольдере, смонтированном на крыше дображивателя. Дображиватель необходим для повышения выхода биогаза из биомассы путем продления выдержки субстрата до 50-80 дней. Далее

отработанный субстрат с помощью сепаратора разделяется на жидкую и твердую фракцию и может быть использован как органические удобрения. [4]

Для подтверждения эффективности подтверждения перспективы использования биогаза для газификации сельской местности проведем расчет.

Зададимся исходными данными:

- Семья состоит из 3 человек;
- Стоимость одного баллона сжиженного газа (21 кг) – 19,5 бел. рубля
- Теплота сгорания сгорания сжиженного газа 10800, биогаза – 4462 ккал/кг
- Характеристики субстрата для загрузки в биогазовый комплекс:

Источник отходов	КРС	Свинья	Куры	Человек
Минимальный выход биогаза, м куб/кг	0,25	0,34	0,31	0,25
Экскременты, кг/голову	40	3,86	0,18	0,2
Влажность, %	88,4	75	73	75

Рисунок 3 – Характеристики субстрата для загрузки в биогазовый комплекс [5]

На основании этих данных для обеспечения потребности в газу на приготовление пищи необходимо иметь в хозяйстве, например, 2 коровы (или 5 свиней), 5 кур. Для этого потребуется биогазовый комплекс объемом около 6 м куб (стоимостью 900 долларов США). Срок окупаемости установки составляет около 9 лет. [5]

Так же мы можем использовать модель при которой будут использоваться установки большей мощности, в качестве сырья использующие навоз с ферм. Это позволит поднять эффективности использования, даст возможность получения тепловой и электрической энергии, решит вопрос с утилизацией отходов.

В данном случае биогаз из газгольдера подается через систему очистки от сероводорода и осушки, в когенерационную установку на базе ГТУ или ГПА. Полученную электроэнергию отпускают в электросеть, а тепловую для отопления жилого фонда или производства.

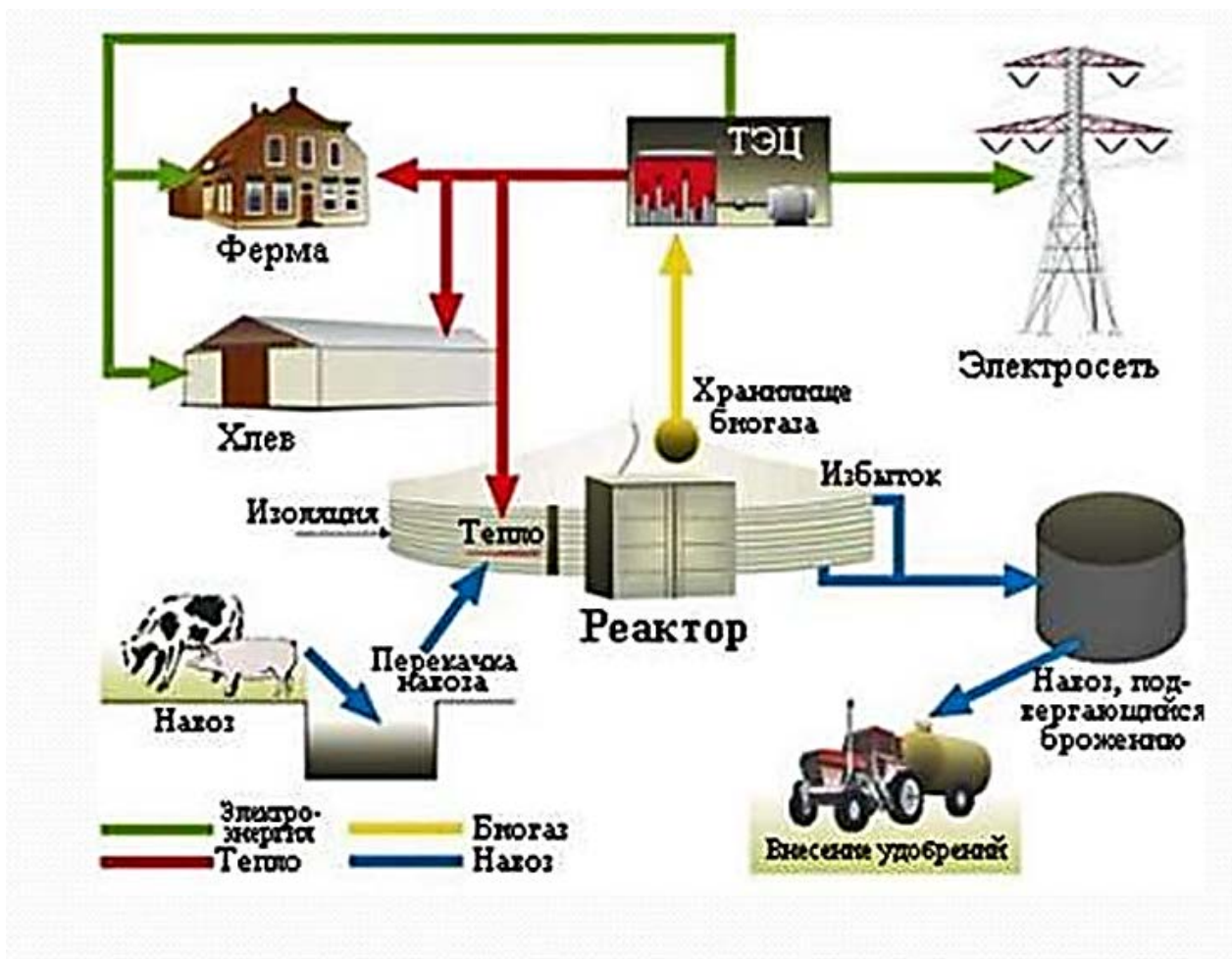


Рисунок 3 – Схема использования и преобразования биогаза [6]

Заключение

В конце данного исследования, полагаясь на интенсивное развитие изучения биогазовых установок, можно уверенно говорить о наличии перспектив использования данных разработок, как и в газификации, так и в энергетике. При должном рассмотрении данную технологию можно использовать как для частного применения, так и для центрального. Что не мало важно использование биогаза позволяет решить сразу несколько проблем, таких как: проблем загрязнения отходами сельскохозяйственного производства, нехватку кадров, работающих в сфере агропромышленного комплекса, малую газификацию сельской местности, отопление жилого фонда и что не мало важность престиж жизни в сельской местности. Доказательство перспективы использования биогаза в газоснабжении, может послужить пример Китая. Они добились широкого распространения технологий и установок, использующих биогаз.

Литература

1. Уровень газификации в Беларуси достиг 97% [Электронный ресурс] // www.belta.by/ [2019]. URL: <https://www.belta.by/economics/view/uroven-gazifikatsii-v-belarusi-dostig-97-360020-2019/>
2. Уровень газификации населения сельской местности Беларуси достиг почти 40% [Электронный ресурс] // www.belta.by/ [2018]. URL:

<https://www.belta.by/economics/view/uroven-gazifikatsii-naselenija-selskoj-mestnosti-belarusi-dostig-pochti-40-288463-2018/>

3. Земсков, В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению “Агроинженерия” / В. И. Земсков; рец. Г. М. Харченко. – Санкт-Петербург: Лань; Москва; Краснодар, 2014

4. Принципы работы биогазовой установки [Электронный ресурс] // <https://ecodevelop.ua/> [2019]. URL: <https://ecodevelop.ua/ru/russkij-printsip-raboty-biogazovoj-ustanovki/>

5. Биогаз как возможный путь развития сельской местности [Электронный ресурс] // <https://eneca.by/> [2020]. URL: <https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/biogaz-kak-vozmozhnyy-put-razvitiya-selskoj-mestnosti>

6. Биогаз как возможный путь развития сельской местности [Электронный ресурс] // <https://eneca.by/> [2020]. URL: <https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/biogaz-kak-vozmozhnyy-put-razvitiya-selskoj-mestnosti>

7. Проектирование зданий с использованием нетрадиционных источников энергии (биогаза) [Электронный ресурс] // <https://en.ppt-online.org> [2016]. URL: <https://en.ppt-online.org/510310>

УДК 658.26

**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЗАО «АТЛАНТ»
POWER SUPPLY COMPANY JSC "ATLANT"**

М.Б. Макеева, Е.В. Полуянова

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Makeeva, A. Poluyanova

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Предприятие ЗАО «Атлант» имеет сложное энергетическое хозяйство, которое является одним из важнейших участков производства и должно обеспечить прием, преобразование, распределение заводским потребителям энергетических ресурсов.*

Abstract: *The company ATLANT Inc. has a complex energy economy, which is one of the most important areas of production and must ensure the reception, transformation, distribution of energy resources to factory consumers.*

Ключевые слова: *энергетическое хозяйство, энергоснабжение, предприятие, энергетические ресурсы.*

Keywords: *energy economy, energy supply, enterprise, energy resources.*

Введение

Предприятие ЗАО «Атлант» имеет сложное энергетическое хозяйство, которое является одним из важнейших участков производства и должно обеспечить прием, преобразование, распределение заводским потребителям энергетических ресурсов, с целью бесперебойного качественного снабжения предприятия всеми необходимыми ему видами энергии: электроэнергией, паром, водой, топливом, сжатым воздухом [2].

Основная часть

Электроснабжение основной площадки предприятия осуществляется от подстанции «Западная» по 8 кабельным линиям на 5 распределительных устройств 10 кВ. Электроснабжение энергосилового и технологического оборудования, установленного на основной площадке (площадка №2) осуществляется по 8 кабельным линиям напряжением 3×10 кВ от подстанции «Западная» [1].

Для надежного электроснабжения и возможности резервирования на основной площадке установлено 5 распределительных устройств 10 кВ, от которых напряжение распределяется на 33 трансформаторные подстанции общей мощностью 53000 кВА. Трансформаторные подстанции понижают напряжение 10 кВ до 380 В. Это напряжение является основным для электроприемников технологического оборудования.

В главном производственном корпусе, где организовано изготовление шкафов холодильников, окраска, сборка и испытание холодильников установлено центральное распределительное устройство РП-118, которое имеет

2 ввода 10 кВ (фидера №№ 108, 304), где каждый ввод подключен от подстанции «Западная» двумя кабелями ААБ – 10 – 2 (3×185) в параллель.

Электроснабжение котельной №2 осуществляется от РУ – 10 кВ ТП – 3117, которое запитано от подстанции «Западная» кабельной линией АСБ – 10 (3×120) (фидер №507).

РУ – 10 кВ ТП – 3117 является транзитным распределительным устройством и имеет 1 высоковольтный ввод.

По надежности электроснабжения энергосиловое и технологическое оборудование относится ко 2-ой категории, что требует в большинстве случаев иметь 2 высоковольтных ввода.

Электроснабжение и электрооборудование котельной №2, химводоподготовки, артезианской скважины обеспечивается от ТП – 3117, в которой установлены 2 силовых трансформатора ТМГ – 630 – 10/04 мощностью по 630 кВА, понижающее напряжение с 10 кВ до 0,4 кВ. Группа соединения обмоток трансформаторов звезда/звезда-0, что дает возможность параллельной работы 2-ух трансформаторов под нагрузкой.

Все электроприемники работают от 3-хфазной сети с глухозаземленной нейтралью трансформатора (3×380).

Для обеспечения второй категории электроснабжения котельной от ТП-787 проложены 2 низковольтных кабеля АСБ (3×120+1×35) 0,4 кВ через коммутационные аппараты станций второго подъема.

Электроэнергия в технологическом цикле используется на нагрев (электролиз, электросварка, электросушило, калориферы, формовочные машины, термические печи) – 28% от общего электропотребления, для привода электродвигателей технологического оборудования – 34%, для производства энергоносителей и сжатого воздуха – 15%, а также для освещения, привода двигателей вентустановок, водоснабжения – 21%.

Расчет за употребленную электроэнергию предприятие осуществляет с энергонадзором по приборам коммерческого учета. Коммерческий учет выполнен с применением счетчиков «GHSi» с импульсным выходом, которые установлены в 4-х РУ-10 кВ на 7 вводах двумя счетчиками на стороне 0,4 кВ от трансформаторов ТП-3117. Сигналы от этих счетчиков по кабельным линиям подаются на суммирующее устройство типа «ETS-M», которое измеряет потребление электрической энергии по фидерам и суммирует потребление по зонам суточного графика нагрузки, отслеживает уровень заявленной мощности в часы пика нагрузок. Обработанная информация через модем подается на монитор компьютера. Для учета электроэнергии, отпускаемой на сторону, установлены 2 прибора на высокой стороне и 1 прибор на низкой стороне. Отдельно организован учет электроэнергии, потребляемой 3-мя столовыми и прачечной для расчета по одноставочному тарифу. Для нормирования и распределения электроэнергии по цехам основного производства организован технический учет электроэнергии в 67 точках согласно схеме электроснабжения [1].

Снабжение природным газом осуществляется от двух городских вводов:

- от газопровода среднего давления;

- от газопровода с пр. Победителей.

На территории ГРП на газопроводах от двух вводов устанавливается отключающая арматура для переключения работы ГРП от одного из источников.

В ГРП производится коммерческий учет общего расхода природного газа и контроль параметров. Давление природного газа на вводе в ГРП 0,2МПа. Учет природного газа осуществляется по летнему и зимнему режиму работы завода.

Минимальный расход природного газа при работе на летнем режиме – 82 м³/ч (счетчик газа PROWIRL Ø50).

Максимальный расход природного газа при работе в зимнем режиме – 6466м³/ч (счетчик газа PROWIRLØ150).

В ГРП производится очистка газа от механических примесей фильтрами ФГ-1,1-25-12 Ø25 и ФГ-18-100-12 Ø100.

Работа ГРП предусматривается в автоматическом режиме без постоянно обслуживающего персонала.

Прокладка газопроводов на территории площадки потребителя – надземная на опорах и частично – подземная и по кровле корпусов.

Для обеспечения технологически требуемого давления газа перед каждым видом потребителя установлена газорегуляторная установка (ГРУ). Для доставки мазута используется автомобильный транспорт [1].

Водоснабжение осуществляется водопользование:

- на промплощадке №2 водоснабжение на хозяйственные нужды осуществляется из городского водопровода по трем вводам Д=200 мм;
- производственная вода на промплощадку №2 подается централизованно из водозабора «Дрозды»;
- на промплощадке №2 расположена артезианская скважина №50199/93, насос ЭЦВ 8-16-140;
- на промплощадке №2 имеются системы обратного водоснабжения, предназначенные для охлаждения оборудования, которые включают в себя напорные и самотечные сети, насосные станции, холодильные машины, регулирующие резервуары, градирни [1].

Заключение

ЗАО «Атлант» является крупным и энергозатратным производством, включающим огромное многообразие энергетического оборудования, которое модернизируют и совершенствуют для бесперебойной и эффективной работы всего завода в целом.

Литература

1. ЗАО «Атлант» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://atlant.by/>. – Дата доступа: 09.09.2021.
2. ЗАО «Атлант» [Электронный ресурс]/ Википедия – свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 09.09.2021.

УДК УУДК 620.9:662.6

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ С
ЦЕЛЮ ЭКОНОМИИ ПЕРВИЧНОГО ТОПЛИВА
MODERNIZATION OF ENERGY GENERATING SOURCES TO SAVE
PRIMARY FUELS**

Н.С. Мысливец

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Myslivets

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: модернизация котельной с целью экономии первичного топлива.

Abstract: modernization of the boiler room in order to save primary fuel.

Ключевые слова: горелка, регенерация, оптимизация.

Keywords: burner, regeneration, optimization.

Введение

Энергогенерирующий источник – это источник который производит, передает, распределяет и преобразует энергию. Их особенность – одновременное потребление и производство энергии.

В Республике Беларусь главным энергогенерирующим источником на любом предприятии (заводе) является котельная установка. Котел потребляет химическую энергию топлива и преобразует ее в тепловую энергию. Чем более рационально будет проходить процесс сгорания в котле, тем меньше будут затраты на первичное топливо.

Основная часть

Главные способы модернизации котельных установок:

Оптимизация процесса горения:

Внедрение в систему автоматической системы управления, которая уменьшает время работы человека с котельным оборудованием и влияние человеческого фактора. Автоматизация процессов горения (поддержание оптимально соотношения топливо-воздух (1:10)) приведет к снижению: предельно допустимого выброса (ПДВ), расхода топлива.

Беспламенное сжигание:

Однородное распределение температуры пламени (технология - HiTAC). В традиционных горелках при высокой температуре пламени происходит интенсивный выброс NOx. Горелки HiTAC обеспечивают увеличенный объем зоны горения и отсутствие резких пиков температуры, при этом геометрия данных горелок и камер сгорания в сочетании с высокими скоростями газов приводят к интенсивной циркуляции в камере и к притоку продуктов сгорания к горелкам. Это приводит к снижению локальных концентраций кислорода и пиковых температур пламени (двух главных факторов образования NOx).

Данное нововведение повысит производительность печи, сократит выбросы оксидов азота и уменьшит расход топлива.

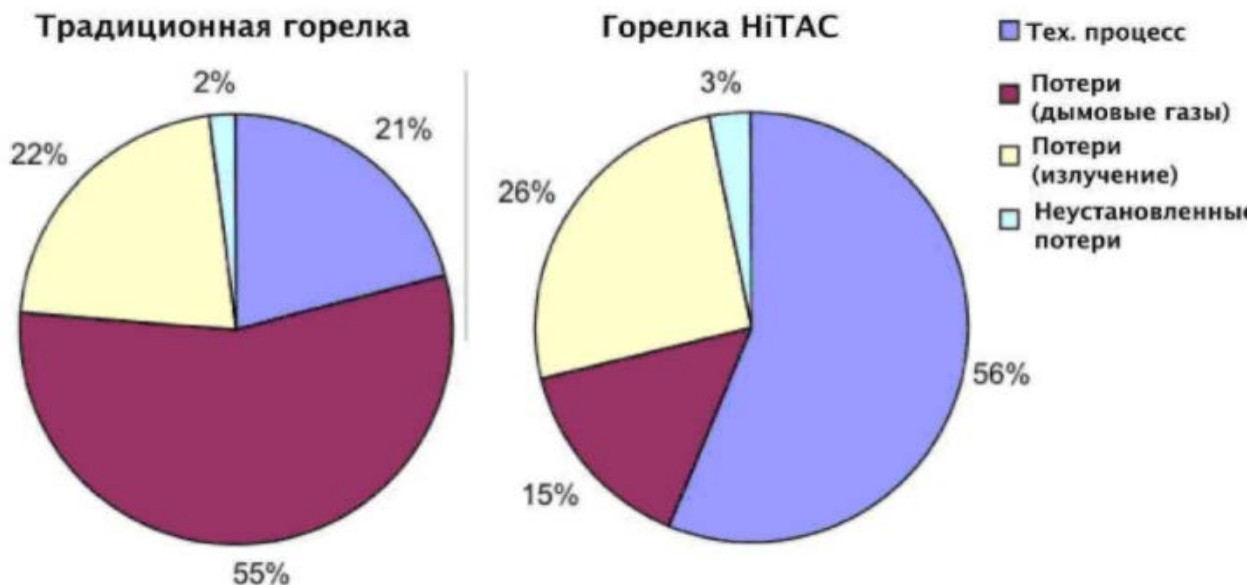


Рисунок 1 – Распределение производимой энергии для традиционной горелки и горелки HiTAC

Использование отработанных масел для сжигания в котлах:

Во многих сервисных организациях и станциях технического обслуживания в достатке отработанное масло. Утилизация нефтяных отходов – большая проблема для всех предприятий. Котлы на отработанном масле довольно дорогие, но отопление и производство электроэнергии на них в разы дешевле чем на природном газе. Для модернизации требуется поменять горелки и систему подачи топлива.

Использование регенеративных горелок:

Регенеративные горелки устанавливаются парами и работают по принципу краткосрочной аккумуляции энергии дымовых газов в генераторах тепла. Такие горелки утилизируют 85-90% тепла отходящих газов печи, обеспечивая подогрев до очень высоких температур поступающего в печь воздуха. При этом расход топлива снижается на 40%.

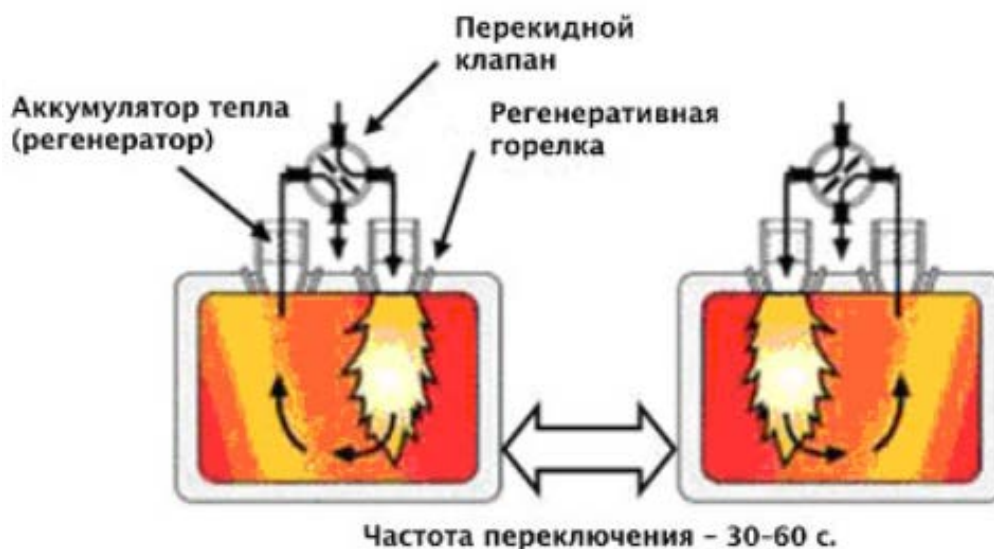


Рисунок 1 – Регенеративные горелки

Литература

1. Экономия топлива при производстве тепловой энергии [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://www.energsovet.ru/entech.php?id=19&poz_f=0 – Дата доступа: 09.09.2021.

УДК 621.317.78

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
AUTOMATED POWER CONTROL AND METERING SYSTEM FOR
ELECTRICITY**

А.С. Дудинец

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Dudinets

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)

Abstract: automated control and metering system for electricity (ACMSE)

Ключевые слова: АСКУЭ, модемы, концентратор

Keywords: ACMSE, modems, hub

Введение

Автоматизированная концепция контролирования и учета электричества (АСКУЭ) - это своего рода инструмент, предоставляющий каждому современному предприятию не только получить детальную картину энергопотребления, но также добиться рационального расхода каждого из энергоносителей - электроэнергии, горячей воды, пара и газа.

Основная часть

Главное предназначение системы АСКУЭ:

- В разумных промежутках времени собрать в центрах управления все без исключения сведения об потоках электричества в абсолютно всех уровнях напряжения.
- Подвергнуть обработке приобретенные сведения подобным способом, для того чтобы обеспечить формирование сведений за потребленную либо отпущенную электрическую энергию (мощность).
- Изучить и создать прогнозы согласно потреблению (генерации).
- Выполнить анализ стоимостных характеристик, и в конечном итоге, наиболее важное, оперативно обнаруживать дисбалансы во системе энергоснабжения.

Имеется большое количество видов систем автоматизации контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), но они объединяются в основном к 3 принципам передачи сведений с устройств учета электричества вплоть до центров контроля и учета:

- Передача данных посредством вспомогательных двухпроводных линии, объединяющие интерфейсы счетчиков электроэнергии (RS485 либо CAN)
- Передача данных посредством внутренних радиомодемов, определенные во счетчиках электроэнергии (применяются в

- отдаленных и сложно эксплуатируемых регионах)
- Передача данных посредством силовых линий с поддержкой внутренних модемов PLC

Таблица 1 – Сравнительная характеристика АСКУЭ на основе PLC и проводной связи

№ п/п	Характеристика	Передача информации по проводной основе	Передача информации по электропроводке на основе PLC
1	Необходимо создание проекта кроссовых соединений и установка информационных линий тайным способом либо в специализированных коробах	Необходимо создание проекта кроссовых соединений и установка информационных линий тайным способом либо в специализированных коробах	Счетчики включают в систему сразу же после включения их к проводке
2	Эксплуатация системы	Необходимо создание службы контроля и поддержки тех. состояния информационных линий	Плановые работы по эксплуатации электросетей
3	Возможность наращивания существующей системы	Необходима прокладка дополнительных линий связи, установка вспомогательного оборудования, временное выключение функционирующих частей системы	Легким увеличением числа счетчиков (абонентов)
4	Защита информации от несанкционированного доступа	С целью предотвращения преднамеренного повреждения информационных каналов необходимо прокладывание информационных линий в защитных коробах. Невысокая степень надежной передачи информации с счетчиков	Закодированные данные передается по силовой проводке в цифровом виде, защищенном от неразрешенного допуска
5	Возможность автоматизации учета в частном секторе	Нерентабельна по экономическим показателям и по показателям надежности.	Независимая передача данных в дистанция 1000 метров в отсутствие установки доп проводов и оборудования

Таким способом, автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), функционирующая путем передачи данных по силовым линиям, посредством встроенных в счетчики модемы, собственными технико-экономическими признаками считается наиболее эффективной системой.

Состав оборудования АСКУЭ (на PLC основе):

- Счетчики электрической энергии. Однофазные и трёхфазные счетчики с встроенным модемом передачи данных по силовой сети (PLC-модем) и обеспечивающие накапливание и хранение данных согласно энергопотреблению нарастающим результатом в многотарифном режиме
- Концентратор.

Концентратор обеспечивает:

- прием, обрабатывание и хранение сведений по энергопотреблению абонентов;
- передачу личных и групповых команд счётчикам;
- синхронизацию внутренних часов многотарифных счетчиков;
- ретрансляцию сведений с целью повышения области охвата;
- формирование сведений о аварийно-техническом состоянии системы;
- подключение GSM и радиомодемов, адаптеров сети ethernet с целью последующей передачи данных в диспетчерский пункт

Коммуникационное оборудование. В системе АСКУЭ, GSM шлюз применяются с целью передачи данных с территориально распределённых концентраторов в диспетчерский пункт энергоучёта в GSM модем, подсоединенный к ЭВМ диспетчера.

Программное обеспечение необходимо для:

- выполнения дистанционного съёма данных со территориально распределённых концентраторов;
- передачи концентраторам групповые и индивидуальные команды по управлению электросчётчиками;
- применения как источника данных с целью ведения баланса и выписки счётов потребителям электричества.

Заключение

Подобным способом, введение системы автоматизированной контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) считается важной задачей, сконцентрированной для улучшения работы энергосистемы.

Литература

1. Что нужно знать об АСКУЭ? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.csm.brest.by/chto-nuzhno-znat-ob-askue> – Дата доступа: 11.09.21
2. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии [Электронный ресурс]:- Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/491962/>. – Дата доступа: 11.09.21

УДК 621.184.5

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НА
КОТЛАХ ТИПА Е-500-13,8-560 ГМ
APPLICATION OF REGENERATIVE AIR HEATERS ON BOILERS TYPE
E-500-13,8-560 ГМ**

Д.В. Марусич, П.А. Перехвал, А.А. Стельмах
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Marusich, P. Perekhval, A. Stelmach
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Принцип регенеративных нагревателей. Регенеративные нагреватели работают за счет отвода теплоты от дымовых газов и используют эту рекуперированную энергию для подогрева воздуха, идущего на горение. Это значительно увеличивает энергоэффективность процесса, предотвращает потерю теплоты в атмосферу и снижает воздействие на окружающую среду за счет снижения выбросов CO₂. Тот же принцип работает при использовании в качестве газового обогревателя, работающем на теплоте дымовых газов.*

***Abstract:** The principle of regenerative heaters Regenerative heaters work by removing heat from flue gases and using this recovered energy to preheat air going into combustion process. This significantly increases the energy efficiency of the process, avoids heat lost to the atmosphere and reduces environmental impact by lowering CO₂ emissions. The same principle is at work when used as a gas/gas heater.*

***Ключевые слова:** регенеративный воздухоподогреватель, РВП, увеличение эффективности процесса горения.*

***Key words:** regenerative air heater, RAH, increasing the efficiency of the combustion process.*

Введение

По принципу работы воздухоподогреватели делятся на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных передача теплоты от потока продуктов сгорания к нагреваемому воздуху происходит непрерывно через разделяющие эти потоки металлические стенки поверхностей нагрева (труб или пластин). В регенеративных воздухоподогревателях имеющаяся металлическая набивка (пластины, шары и т. п.) попеременно то нагревается в потоке дымовых газов, то охлаждается в воздушном потоке, отдавая ему полученную аккумулированную теплоту. В последние годы в котлах большой производительности получили широкое распространение регенеративные воздухоподогреватели[1].

Основная часть

Регенеративные воздухоподогреватели обеспечивают экономию благодаря снижению расхода топлива и уменьшению мощности вентилятора, особенно против рекуперативных технологий. В результате также имеются более низкие выбросы CO₂, что способствует более экологическому производству энергии, а

также минимизация экологических налогов. В целом подогреватели обеспечивают высокую рентабельность инвестиций. На регенеративные нагреватели не влияют появление загрязнений на поверхностях теплообмена, которое представляет особый интерес, при использовании «грязного» топлива, такого как уголь, отходящие газы или нефтяной кокс. Кроме того, имеется встроенная очистка для удаления загрязнений. Это означает, что обогреватель может поддерживать тепловую эффективность и производительность, не смотря на возможное возникновение налёта.[2]

Потери давления в регенеративном подогревателе ниже, чем у оборудования, предназначенного для таких же целей. Это способствует экономии энергии и отсутствию необходимости увеличивать размеры вентиляторов.

Роторные воздухоподогреватели оптимизированы и надежны, они специально разрабатываются в зависимости от расположения, применяемого топлива и конструкции системы. Они представляют собой очень компактное и экономичное решение. Степень рекуперации теплоты составляет до 15% при капитальных вложениях только около 2%.

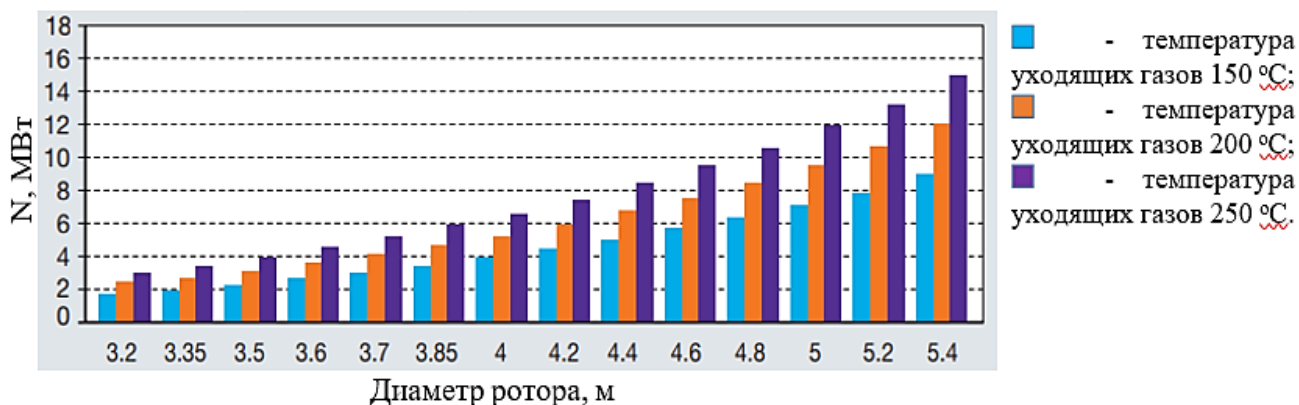


Рисунок 1 – График зависимости рекуперированной энергии от диаметра ротора[3]

Заключение

Несмотря на то, что это вращающееся оборудование, оно требует небольших эксплуатационных затрат из-за очень низких частот вращения около 1-2 об / мин. Срок эксплуатации данного оборудования может превышать 40 лет.

Литература

1. Воздухоподогреватели [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://engineeringsystems.ru/teplogeneriruyuschiye-ustanovki/vozduhopodogrevateli.php>. – Дата доступа: 15.09.2021
2. Pre-engineered Air Preheaters & Gas Heaters [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://howden.chorus.thirdlight.com/link/PreengHeaterBrochure/@/preview/1>. – Дата доступа: 15.09.2021
3. Rotary Heater Technology [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.howden.com/Howden/media/Howden/brochures/Air-20Pre-20Heater-20Brochure.pdf>. – Дата доступа: 15.09.2021

УДК 621.181.25

**ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
INTRODUCTION OF ELECTRIC BOILERS IN THE POWER INDUSTRY
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

М.П. Кузьмич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Kuzmich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматривается одно из главных мероприятий по внедрению Белорусской АЭС – внедрение электрокотлов. Их основные преимущества и изменения в энергосистеме, к которым приведёт их внедрение.*

***Abstract:** This article discusses one of the main measures for the introduction of the Belarusian NPP - the introduction of electric boilers. Their main advantages and changes in the power system, which will result from their implementation.*

***Ключевые слова:** электрокотлы, Белорусская АЭС, внедрение, эксплуатация, топливно-энергетические ресурсы.*

***Keywords:** electric boilers, Belarusian NPP, introduction, exploitation, fuel and energy resources.*

Введение

В 2022 году в Республике Беларусь планируется ввести в эксплуатацию Белорусскую АЭС, которая будет вырабатывать 18 миллиард кВт·ч электроэнергии. Её ввод приведёт к нарушению баланса производства и потребления электроэнергии внутри страны. В связи с этим применяется ряд мероприятий направленных на повышение потребления электроэнергии в стране.

Основная часть

Одно из основных мероприятий – строительство электрокотлов – направлено на повышение надежности работы оборудования и выравнивание суточного графика нагрузки. На крупных электростанциях электрокотлы позволяют разгрузить основное генерирующее оборудование, переведя часть тепловых нагрузок на электрокотел [1].

Электрокотлы имеют ряд преимуществ, таких как: низкие затраты на монтаж и обслуживание, пожаробезопасность (нет открытого пламени), высокий КПД, нет эксплуатационных расходов на доставку, хранение и перевалку топлива и т. д. [3].

В целом в Беларуси планируют ввести в эксплуатацию электрокотлы установленной мощностью 1116 МВт, из них 916 МВт приходится на объекты энергосистемы – 760 МВт на электрических станциях и 156 МВт на котельных [1].

В течение 2019 – 2020 годов электродкотлы суммарной мощностью 836 МВт введены в эксплуатацию на 19 энергообъектах страны. На 1 января 2021 года установленная мощность электродкотлов составила 916 МВт с учетом реализации ранее такого проекта на Гомельской ТЭЦ-2 [2].

Кроме мягкого прохождения ночных провалов электрической нагрузки, строительство электродкотлов резко повысит техническую маневренность оборудования. Расчеты специалистов по режимам показывают, что наличие электродкотлов резко снизит количество пусков и остановов оборудования, сократив расход топливно-энергетических ресурсов на пусковые операции. К тому же, появление электродкотлов на крупных энергоисточниках улучшит экологическую обстановку в городах [1].

Заключение

Установка электродкотлов позволит увеличить потребление электроэнергии в стране, как в промышленности, так и на нужды населения. Использование их не предусматривает сжигания топлива и тем самым повышает экологическую обстановку страны. Уменьшит использование импортного природного газа, который у нас в стране является основным топливно-энергетическим ресурсом.

Ввод электродкотлов – это не просто инфраструктурный проект, направленный на экономию топлива и повышение экологичности энергетического производства. Электродкотлы – это еще и надежный партнер в деле повышения маневренности и безопасности эксплуатации белорусской энергосистемы [1].

Литература

1. ГПО «Белэнерго» [Электронный ресурс]/ Перспективы использования электроэнергии.-Режимдоступа:https://www.belenergo.by/content/infocenter/news/perspektivy-ispolzovaniya-elektroenergii-stali-temoy-press-konferentsii-v-dome-pressy__11620/. – Дата доступа: 14.09.2021.
2. Министерство энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]/ Виктор Каранкевич провел встречу с трудовым коллективом филиала «ТЭЦ-5» РУП «Минскэнерго».-Режимдоступа:https://minenergo.gov.by/press/glavnye-novosti/viktor-karankevich-provel-vstrechu-s-trudovym-kollektivom-filiala-tets-5-rup-minskenergo/?sphrase_id=15366. – Дата доступа: 14.09.2021.
3. Википедия [Электронный ресурс]/ Электрический котёл.-Режимдоступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8-%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D1%82%D1%91%D0%BB. – Дата доступа: 15.09.2021.

УДК 662.998

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ
METHODS FOR DETERMINING HEAT**

В.А. Вирко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Virko

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk**Аннотация:** расчёт тепловых потерь.**Abstract:** calculation of heat losses.**Ключевые слова:** тепловая энергия, потери, расчет, методы, причины, формула, коэффициент, эффективность, характеристики, нормативные потери.**Keywords:** thermal energy, losses, calculation, methods, causes, formula, coefficient, efficiency, characteristics, standard losses.**Введение**

Для начала, дадим определение тепловым потерям – это часть тепловой энергии установки или системы, уходящая в окружающую среду за счет неравномерности распределения энергии по объекту, различного вида её утечек, недокомплектовкой оборудования и др.

Основной причиной определения тепловых потерь является решение задач энергосбережения, а именно, повышения коэффициента полезного действия любой энергетической системы за счет снижения величины непроизводительных потерь.

Данный расчет – важный этап в проектировании систем теплоснабжения. Именно для этого в течении долгих лет и разрабатываются различные методики по расчету тепловых потерь.

Основная часть

В абсолютном и относительном виде тепловые потери в теплоснабжении тепловые потери индивидуальны. Основная техническая база расчета потерь – это нормы плотности потока, проходящего через изоляцию сетевых трубопроводов. Тепловые потери определяются ходом испытаний сетей, именно они являются основным критерием оценки характеристик изоляционных конструкций, в результате находится коэффициент K – отношение фактических тепловых потерь к нормативным значениям.

Порядок выполнения испытательных работ:

- изучение актуальной тепловой схемы;
- изучение параметров тепловой сети по участкам;
- уточнение технического состояния сети;
- расчеты нормативных тепловых потерь;
- подготовка технического отчета.

При условии, когда измеренные тепловые потери не имеют значение выше нормативных потерь ($K \leq 1,1$), то за основу нормирования принимаются тепловые потери, полученные в ходе измерений. В обратном случае ($K > 1,1$), в основу нормирования они принимаются только на время выполнения работ до нормативных.

Исходные положения нормирования:

- участки, не подвергшиеся испытаниям, с наличием прокладок, конструкций изоляции и эксплуатацию аналогичную испытанным участкам, принимают нормативы среднегодовых тепловых потерь с введением поправочного коэффициента K ;
- участки, не подвергшиеся испытаниям, с наличием прокладок, конструкций изоляции и эксплуатацию отличающиеся от испытанных участков, принимают нормативы среднегодовых тепловых потерь без поправочных коэффициентов;
- общее нормированное значение потерь – сумма тепловых потерь по указанным выше группам;
- для дальнейших расчетов среднюю величину $K_{ср}$ определяют по всей теплосети:

$$K_{ср} = \sum_{i=1}^m \frac{K_i \cdot Q_{Hi}}{\sum_{i=1}^m Q_{Hi}}, \quad (1)$$

где K_i , Q_{Hi} – коэффициент K и величина нормативных потерь на i -ом участке (кДж/ч).

Теплотехнический расчет выполняется по исполнительной документации изготовителя конструкции устройства.

Так же расчет тепловых потерь на трубопроводе можно осуществлять по табличным данным методических пособий в расчетах на один метр. Данный расчет выполняется по формуле:

$$Q = q \cdot L \cdot K \cdot B, \quad (2)$$

где q – удельная нормативная потеря тепловой энергии на 1 метр трубы, Вт/м;

K – коэффициент дополнительных потерь с опорных частей;

B – коэффициент изменения плотности потоков;

L – суммарная длина трубопровода, м

Потерянную тепловую энергию можно отнести к производственным расходам в случае, если потери связаны с:

- подключением новых сетей и систем;
- ошибками в средствах автоматического регулирования и защиты;
- затратами тепла на организацию эксплуатационных работ;
- пуском системы после планового ремонта.

Основными способами снижения тепловых потерь являются:

- периодические осмотры и оценка состояния трубопровода;
- своевременная замена поврежденных или устаревших участков;
- постоянная очистка дренажей;
- обработка антикоррозионными и изоляционными средствами;

- обеспечение качественной водоподготовки;
- своевременно выполнять ремонтные работы.

Заключение

Для обеспечения эффективного отопления жилых и коммерческих зданий необходимо учитывать потери тепла, а для выполнения данной задачи регулярно проводить расчеты данных потерь.

Расчет нормируемых тепловых потерь в сетях имеет большую значимость для каждого предприятия при отпуске тепловой энергии потребителю для формирования себестоимости данной энергии. Так же, это имеет необходимость при оценке изменения теплотехнических характеристик системы и теплоизоляционных конструкций при учете износа, сроков и условий эксплуатации

Литература

1. Постановление комитета по энергоэффективности при Совете Министров РБ «Об утверждении Методики по определению потерь тепловой энергии в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energodoc.by/>. – Дата доступа: 01.09.2021.
2. Расчет нормируемых теплопотерь в тепловых сетях и паропроводах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mavitek.by/uslugi/analitics/>. – Дата доступа: 01.09.2021.
3. Расчет тепловых потерь трубопровода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/id/5ed78090589ce712947df2fa/raschet-teplovyyh-poter-truboprovoda-5f058fd282e8d0314cc6ba49>. – Дата доступа: 01.09.2021.

УДК 658.26

**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»
ENERGY SUPPLY OJSC "BELARUSKALI"**

М.С. Карака

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Karaka

Supervisor – Y. Zelenina, Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: краткое описание технологического процесса работы тепловой электростанции ОАО «Беларуськалий», описание и принцип действия установленного оборудования, технико-экономические показатели предприятия, экологический паспорт объекта и политика предприятия в области охраны труда.

Abstract: a brief description of the technological process of operation of the thermal power plant of JSC "Belaruskali", a description and principle of operation of the installed equipment, technical and economic indicators of the enterprise, the environmental passport of the object and the policy of the enterprise in the field of labor protection are presented.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, ОАО «Беларуськалий», основное и вспомогательное оборудование, экология, экономика.

Keywords: thermal power plant, JSC "Belaruskali", main and auxiliary equipment, ecology, economics.

Введение

Тепловая электрическая станция (ТЭС) ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ» эксплуатируется с 1962 года и предназначена для обеспечения паром (0,5 МПа) технологического процесса обогатительной фабрики (СОФ-1), а также для отопления и горячего водоснабжения промплощадки ОАО «Беларуськалий» и г. Солигорска [1].

ОАО «Беларуськалий» является энергоемким предприятием. Его питают 13 воздушных линий 110 кВ. На предприятии 8 главных понизительных подстанций ГПП -110/6(10) кВ. Количество трансформаторов 6-10/0,4 кВ - более 1000 шт, а высоковольтных ячеек - более 2000 ед. Эксплуатируются две теплоэлектростанции, и пять котельных. Годовое потребление предприятия составляет: электрической энергии - более 1млрд. кВт.час; природного газа - более 300 млн. куб.м.

Основная часть

На ТЭС установлено 5 паровых котлов ГМ-50-1, два водогрейных ПТВМ-100 и один водогрейный КВГМ-100, две паровых турбины ПР-6-35/5/1,2 и одна паровая турбина типа ПР-6-35/10/5, имеющие теплофикационные и производственные отборы [2].

Паровой котел ГМ-50-1 паропроизводительностью 50 т/ч предназначен для покрытия теплофикационных нагрузок паровых турбин, для отпуска пара на

технологические нужды РУ-1 комбината, для отпуска пара на собственные нужды ТЭС.

Котел оборудован двумя выносными циклонами. Наличие их создает 2-ух ступенчатое испарение: барабан котла - чистый отсек, циклоны - солевой отсек. Вся питательная вода из водяного экономайзера по 6 трубам поступает в барабан котла, где поступает на промывку насыщенного пара 1-ой ступени испарения. Из нижней части барабана котла питательная вода по водоотпускным трубам поступает на нижние коллекторы фронтального, заднего, передних боковых экранов, а также коллекторы боковых экранов.

Для регулирования температуры перегретого пара установлен поверхностный пароохладитель. Пароохладитель представляет собой горизонтальный паровой коллектор с размещенным внутри «U» - образными змеевиками. Охлаждающая вода проходит по трубам. Регулирование температура осуществляется путем изменения расхода воды через пароохладитель.

Водяной экономайзер рассчитан на подогрев всей питательной воды. Экономайзер стальной, гладкотрубный, змеевиковый состоит из 2-ух ступеней. Воздухоподогреватель котла гладкотрубный состоит из 3-ёх блоков. Воздух проходит в горизонтальном направлении между трубами. Дымовые газы снизу-вверх по трубам.

Паровые стационарные теплофикационные турбины с противодавлением и с регулируемым производственным отбором пара предназначены для непосредственного привода генератора мощностью 6 МВт и снабжения тепловых потребителей паром из регулируемого отбора и противодавления.

Турбины изготавливаются в соответствии с общими техническими требованиями ГОСТ 28969-91 и поставляются предприятием изготовителем по техническим условиям, согласованных с заказчиком.

Основные технические характеристики:

- номинальная мощность (на клеммах генератора)-6 МВт;
- номинальная частота вращения ротора- 50 с^{-1} (3000 об/мин);
- направление вращения ротора турбины - против часовой стрелки;
- номинальные параметры свежего пара: абсолютное давление 3,4 МПа, температура $435 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

ГТЭС предназначена для производства электрической энергии, тепловой энергии в виде пара и подогрева сетевой воды. В состав ГТЭС входит две газотурбинные установки, два КУ, ДКС состоящей из трех газовых компрессоров и ППГ, четыре ВК, два СЭН, два КЭН, два насоса пожаротушения, трубопроводов и газопроводов.

Котёл-утилизатор паропроизводительностью 14 т/ч предназначен для покрытия теплофикационных нагрузок, для отпуска пара на технологические нужды потребителей (промплощадка 1РУ, ОАО «Домостроительный комбинат», другие потребители), а также для отпуска пара на собственные нужды ТЭС.

Вспомогательным котельным оборудованием являются: деаэраторы, дымососы, дутьевые вентиляторы, воздухоподогреватели, водоподогреватели,

расширители непрерывной продувки, расширители дренажей, компрессор, насосное оборудование, стенд испытания форсунок, вентиляционные системы.

Тягодутьевые машины предназначены для подачи воздуха и удаления газов в котельных установках. К ним относятся дымососы и вентиляторы котлов. Основными параметрами тягодутьевых машин являются их производительность и создаваемый напор. Создаваемый напор (разрежение) представляет собой перепад полных давлений в выходном и входном патрубках машин. Тягодутьевые машины выполняются правого и левого вращения (правое вращение по часовой стрелке, левое - против часовой стрелки, если смотреть на улитку со стороны электродвигателя).

Дымососы и дутьевые вентиляторы на паровых котлах: дымососы типа ДН-19 МГМ - 5 шт., вентиляторы типа БД-13,5 - 5 шт.

На водогрейных котлах ПТВМ-100 установлены дутьевые вентиляторы типа ЭВР № 5 по 16 штук на каждом котле: производительность ЭВР №5 - 10000 м³/час, напор - 130 кг/м², электродвигатель мощностью - 10 кВт, число оборотов - 1450 об/мин., номинальная сила тока - 20,5 А.

На водогрейном котле КВГМ-100 установлены дымосос типа ДН 22x2 и дутьевой вентилятор ВДН-18.

Питательные центробежные насосы типа ПЭ-65-53 предназначены для питания паровых котлов питательной водой с температурой до 165 °С.

Центробежные сетевые насосы типа 14СД-10x2, Д1250-125, СЭУ1250-140, СЭ-1250-140 предназначены для перекачивания воды в теплофикационных сетях. Для создания циркуляции теплоносителя на ТЭС установлено 8 сетевых насосов, из которых 3 установлены в главном корпусе (турбинное отделение) и 5- в водогрейной котельной.

На ТЭС установлено пять термических деаэраторов атмосферного типа ДА-75: 4 деаэратора - питательной воды, 1 деаэратор - подпитки теплосети.

Деаэратор состоит из бака аккумулятора и деаэрационной головки, внутри которой установлен ряд распределительных тарелок. Химочищенная вода и конденсат из основных, пиковых бойлеров и ПВД поступает в верхнюю часть: ХОВ на распределительную тарелку, а конденсат - под тарелку; с тарелки ХОВ отдельными и равномерными струйками распределяется по всей окружности деаэраторной колонки и стекает вниз последовательно через ряд расположенных одна под другой промежуточных тарелок и с мелкими отверстиями, соединяясь с конденсатом.

На ТЭС установлено 5 подогревателей ПСВ-200-7-15. Для увеличения расхода воды ПСВ работают по 2-х ходовой схеме по воде. На ПСВ № 1 и № 2 (основные бойлеры) подается пар 1,2 ата, на ПСВ (пиковые бойлера) - пар 6 ата.

ПСВ № 1 и № 2 по воде работают параллельно, ПСВ № 3 - последовательно с ПСВ № 1 и № 2, ПСВ № 4 и № 5 имеют свой отдельный контур по воде и работают между собой параллельно. Вода на ПСВ № 1, 2, 3 подается сетевыми насосами, установленными в турбинном отделении (летними сетевыми насосами - ЛСЭН); вода на ПСВ № 4, 5 подается сетевыми насосами, установленными на водогрейной котельной (СЭН).

Редукционно-охлаждающая установка служит для снижения давления и температуры пара до пределов, устанавливаемых потребителями пара; РОУ снабжена автоматическими регуляторами давления и температуры. На ТЭС установлено две редукционно-охлаждающих установки и одна редукционная установка.

Градирия предназначена для охлаждения и использования охлаждающей воды после маслоохладителей и воздухоохладителей турбогенераторов.

Одновременно градирия является емкостью, служащей для разбора части воды, которая идет на охлаждение подшипников питательных и сетевых насосов.

Градирия представляет собой бетонный резервуар, заглубленный в грунт, верхняя часть которого открыта. Емкость резервуара 120 м³.

Химводоочистка работает на речной воде. Речная вода подается насосами из цеха ТВСиК через подогреватели сырой воды (установленные в главном корпусе) на осветлители. В трубопроводы подачи сырой воды на осветлители дозируются реагенты: коагулянт (сернокислый алюминий) и флокулянт (полиакриламид). В результате взаимодействия коагулянта с коллоидными частицами загрязнений происходит укрупнение частиц загрязнений, которые выпадают в осветлителе в виде хлопьев в осадок, частично удаляющихся с помощью продувки. Оставшаяся часть хлопьев служит фильтрующим слоем для осветления воды в осветлителе. Осветленная таким образом в осветлителе речная вода из верхней части осветлителя самотеком поступает в баки коагулированной воды. В трубопроводы подачи сырой воды на осветлители насосами подаются из баков оборотной воды, повторно используемые воды. В баки оборотной воды поступает для повторного использования из главного корпуса вода с охлаждения пробоотборных точек котлов, с мазутохозяйства - вода с охлаждения подшипников насосов и конденсат с мазутных подогревателей, с водогрейной котельной - вода с охлаждения подшипников насосов [3].

В политике предприятия содержатся лишь общие принципы, намерения и направления по обеспечению безопасного труда. ООТ и ПБ рассматривает поступившие предложения, проводит их доработку и со своими предложениями и заключениями предоставляет его, после согласования с главным инженером, на рассмотрение генеральному директору. Готовое постановление доводится до сведения всех сотрудников при проведении инструктажа под личную подпись обучаемого, путем ознакомления и разъяснения при проведении обучения (курсы, лекции), размещения Политики на информационных стендах и уголках по ОТ, в средствах массовой информации.

Экологические проблемы Солигорского региона типичны для любого предприятия, связанного с технологией добычи и переработки руды. Опыт эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей выявил ряд отрицательных экологических последствий деятельности 1 РУ ОАО «Беларуськалий», которые типичны для горнорудных предприятий, деятельность которых всегда вызывает существенные изменения в окружающей среде.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в результате обогащения руды являются дымовые трубы и трубы аспирации отделений сушки-грануляции, дробления, погрузки, ТЭС. Кроме того, происходит загрязнение атмосферы вентиляционными и неорганизованными выбросами. Состав отходящих газов, образующихся в топках сушильных барабанов и печах КС-1,0 отделения сушки - грануляции при сжигании топлива обусловлен:

- соблюдением норм технологического режима сушки и параметров работы пылегазоочистного оборудования;
- эффективностью работы пылегазоочистного оборудования.

Существенным фактором воздействия на окружающую среду является оседание земной поверхности в результате проведения горных работ. Учитывая природные особенности Солигорского региона, а именно высокие уровни залегания грунтовых вод и равнинный рельеф местности, в ряде случаев это может приводить к заболачиванию земель. За весь период эксплуатации месторождения на 7,7 тыс. га земель в той или иной мере возникла необходимость и были проведены работы по понижению уровней грунтовых вод (открытые осушительные сети и польдерные системы).

В связи с осушением месторождений и сбросом дренажных и сточных вод (отходов переработки полезных ископаемых) в поверхностные водоемы и водотоки резко изменяются гидрогеологические и гидрологические условия в районе месторождения, ухудшается качество подземных и поверхностных вод.

Заключение

ОАО «Беларуськалий» является крупнейшим в мире производителем калийных удобрений. Деятельность предприятия характеризуется высоким уровнем технико-экономических и финансовых показателей, в наиболее общем виде они представлены ниже [4]:

- уровень использования производственных мощностей по выпуску минеральных удобрений приближается к 90 %;
- удельный вес продукции, соответствующий мировому уровню составляет более 85 %.

Предприятие является экспортоориентированным. В условиях практически неработающего внутреннего рынка экспорт калийных удобрений остается основным источником доходов и средством выживания ОАО «Беларуськалий». Объем поставок на экспорт составляет около 84 % от общего объема поставок объединения.

Динамика фактических показателей производства калийных удобрений на предприятии полностью подтверждает общую тенденцию роста спроса на калийные удобрения в мире в последние годы, поэтому для достижения поставленных задач предприятие намерено продолжать наращивать объемы производства до требований мирового рынка.

Литература

1. ОАО «Беларуськалий» [Электронный ресурс]. - 2021 - Режим доступа: <https://kali.by/>. - Дата доступа: 01.09.2021.

2. Информационный портал г. Солигорска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://soligorsk.city/kali/fourth_rudoupravlenie/. - Дата доступа: 01.09.2021.

3. Департамент по энергоэффективности [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/news/-2014/-2014--sp-25313/>. - Дата доступа: 01.09.2021.

4. Анализ деятельности предприятия ОАО «Беларуськалий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://otherreferats.allbest.ru/economy/00195020_0.html#text/. - Дата доступа: 01.09.2021.

УДК 620.97

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ И
ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ**

**IMPROVEMENT OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS DUE TO
THE USE OF LOW POTENTIAL HEAT FLOWS OF ENTERPRISES AND
ENERGY SOURCES**

И.В. Василевский, Я.С. Яцухно

Научный руководитель – А.А. Бобич, к. т. н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Vasilevsky, Ya. Yatsukhno

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Science, Assistant professor

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данном докладе рассматриваются варианты повышения эффективности использования первичного топлива.

Abstract: This report examines options for improving the efficiency of using primary fuel.

Ключевые слова: Энергетика, энергоэффективность, сокращение энергоёмкости производства.

Keywords: Energy, energy efficiency, reduction of energy intensity of production.

Введение

Централизованное теплоснабжение является одним из преимуществ и достояний топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь. В тоже время, так как оно создавалось на протяжении десятилетий, начиная в основном с пятидесятых годов прошлого столетия, то требуется тщательное исследование в части поиска оптимальных решений сохранения его эффективности в тренде современного развития энергетики и экономики в целом. [1]

Основная часть

Как показывает практика, опыт других стран не может непосредственно быть использован в наших условиях, что объясняется целым рядом факторов, среди которых следует отметить:

- наличие в стране развитой инфраструктуры теплофикационных систем теплоснабжения в крупных и средних городах, ориентированных при их проектировании и создании на промышленные тепловые нагрузки;
- специфика изменения промышленной инфраструктуры и прогнозов их перспективного развития, а, следовательно, и тепловых нагрузок;
- своеобразии климата Беларуси и стохастичности его изменения;
- спецификой топливно-энергетического баланса страны;
- несбалансированностью энергогенерирующих мощностей в перспективе ввода в эксплуатацию Белорусской атомной станции;
- применением в последнее десятилетие на ряде теплоисточников парогазовых и газопоршневых установок;

- появлением на мировом рынке новых энергетических технологий;
- специфика тенденций развития альтернативной энергетики в республике;
- проблема утилизации промышленных и органических отходов.

Основные энергетические мощности энергосистемы – тепловые электрические станции (КЭС, ТЭЦ) и котельные были введены в эксплуатацию в 60–70-е годы прошлого столетия, большая часть генерирующего оборудования выработало свой ресурс и требует замены или реконструкции. Реконструкция теплоисточников проходит в рамках ввода новых когенерационных мощностей (внедрение парогазовых установок на ТЭЦ, либо в ходе проведения капитальных ремонтов существующего оборудования котельных).

Внедрение парогазовых технологий существенно повысили технико-экономические показатели работы теплоэлектростанций, что позволило сократить потребление импортируемого природного газа, удельный вес которого в приходной части энергосистемы в настоящее время составляет 97. Таким образом задача сокращения потребления природного газа не потеряет актуальности в ближайшее десятилетие. В этих условиях еще острее становится вопрос повышения энергоэффективности немодернизированного энергогенерирующего оборудования и экономичности его эксплуатации.

Считается, что паротурбинные установки практически достигли предела своего энергетического совершенства, и при этом, морально и физически устарели, поэтому следует переходить на высокоэффективные парогазовые и газопоршневые технологии. Однако, на практике данный тезис не всегда оказывается верным. На паросиловых станциях имеются значительные резервы в части повышения эффективности вспомогательного оборудования, утилизации тепловых отходов и оптимизации режимов работы, что позволяет при гораздо меньших затратах добиться положительного результата. Важным аспектом является разработка технических решений по взаимодействию теплоисточников и теплопотребителей (промышленных предприятий, социального и бытового сектора) в рамках использования тепловых отходов, что особенно интересно в условиях цифровизации экономики и возможности придания теплопотребителю опции энергопроизводителя.

Как уже отмечалось выше, паротурбинные ТЭЦ морально и физически устарели и практически достигли предела своего энергетического совершенства. «Вдохнуть новую жизнь» и повысить энергетическую эффективность ТЭЦ при их модернизации позволяет переход к парогазовой технологии, которая может быть реализована на базе утилизационной или сбросной схемы ПГУ. В условиях ввода Белорусской АЭС и наличия избыточных электрических мощностей ввод новых генерирующих мощностей может вызывать определенные опасения. Однако следует отметить, что для климатических условий Беларуси и с учетом структуры потребления тепловой и электрической энергии в стране, альтернативы ТЭЦ нету и поэтому необходимо проводить их модернизацию и дальше повышать их эффективность. Также следует отметить, что на ТЭЦ, не допускающих перерыва в пароснабжении потребителей, требуется содержать в работе одновременно несколько паровых котлоагрегатов (ПКА), что ухудшает

показатели экономичности ТЭЦ, из-за отсутствия должных тепловых нагрузок и вынужденного пропуска пара в конденсатор.

Для устранения потери эффективности ТЭЦ с категорируемыми потребителями пара целесообразно применение новой структурной схемы ТЭЦ с параллельными связями при интеграции высокотемпературной надстройки ГТУ по сбросной схеме с энергетическими паровыми котлоагрегатами. Предлагается использование комплексов «ГТУ–ПКА» в составе одной ГТУ и двух ПКА с возможностью работы ГТУ с любым из них, когда один работает, второй в резерве. Это решение обеспечивает увеличение числа часов работы ГТУ за счет возможности замещения одного котла другим. Мощность ГТУ, ограничиваемая пропускной способностью аэродинамического тракта парового котлоагрегата, в условиях ТЭЦ Беларуси находится в пределах 25–45 МВт. ГТУ этой мощности менее требовательны к режимам изменения нагрузки, что позитивно сказывается на моторесурсе. Количество параллельно работающих ПКА определяется тепловой нагрузкой ТЭЦ, при этом рассматривается их работа на техническом минимуме, что обеспечивает и максимальное вытеснение прямого сжигания природного газа, и возможность изменения генерации электроэнергии в диапазоне 50–100 % от номинальной мощности ГТУ, устанавливаемой по сбросной схеме на ТЭЦ при сохранении тепловых нагрузок и надежности пароснабжения категорируемых теплопотребителей. При этом, в дневное время ГТУ может работать на 50 % нагрузке, обеспечивая тем самым дополнительный резерв мощности на случай выхода из строя одного блока АЭС. В период ночных провалов нагрузки, ГТУ может быть полностью остановлена.

При этом с целью стабилизации характеристик ГТУ (КПД, мощность) в межтопительный период, целесообразно использовать абсорбционные холодильные машины (АБХМ) для охлаждения воздуха перед компрессором ГТУ.

В итоге сбросная схема ПГУ на ТЭЦ при сохранении тепловых нагрузок позволяет увеличить коэффициент полезного использования топлива до 89 % с годовой экономией природного газа в стране 1 тыс. т у.т. на 1 МВт установленной мощности ГТУ по сбросной схеме при возможности резервирования электрической мощности энергосистемы.

Дальнейшее повышение технико-экономических показателей ТЭЦ требует поиска новых нетрадиционных путей. Возможными путями решения этой задачи являются:

- совершенствование тепловых схем, которые на данный момент практически исчерпали энергосберегающий потенциал при традиционном подходе к их развитию;
- современный подход к энергосбережению предполагает использование системных эффектов за счет расширения энергосберегающей базы, например, применение теплонасосных технологий для рекуперации потенциала сбросных низкотемпературных потоков, рассеиваемых в настоящее время в окружающую среду на ТЭЦ с циркуляционной водой и на промышленных предприятиях с оборотной водой;
- использование теплоты глубокого охлаждения дымовых газов паровых

котлов, установленных на ТЭЦ и котельных.

На ТЭЦ имеют место побочные низкотемпературные потоки, рассеиваемые в окружающую среду, поскольку не находят потребителей из-за низкой температура, не превышающей 45 °С. Это потоки теплоты охлаждения циркуляционной воды, обеспечивающей конденсацию пара после турбины, охлаждение генератора и систем смазки. Например, только теплоту процессов охлаждения систем смазки и генераторов всех турбоагрегатов энергосистемы Беларуси с учётом их фактической загрузки можно оценить величиной 90 Гкал/ч. Из конденсаторов турбоагрегатов теплофикационных энергоисточников в окружающую среду рассеивается теплота процесса конденсации пара, величина которой – не менее 300 Гкал/ч.

На промышленных предприятиях оборотная вода охлаждается от 30 до 20 °С в испарительных градирнях, при этом в градирнях потери воды в виде пара составляют 350–500 т/ч. Также в окружающую среду выбрасывается около 250 Гкал/ч теплоты или 3-5 % энергии топлива, потребляемого промышленностью.[2]

Если организовать совместную утилизацию теплоты глубокого охлаждения дымовых газов (до 30 °С) и низкотемпературных тепловых потоков ТЭЦ и предприятий сопряженного промузла, и вернуть теплоту, рассеиваемую в окружающую среду, обратно в цикл, с помощью абсорбционных тепловых насосов (АБТН), возможно сэкономить первичное топливо и повысить технико-экономические показатели работы ТЭЦ (в частности энергетический КПД на 6–10 %) и сократить расход подпиточной воды на промышленном предприятии.

Абсорбционный тепловой насос предлагается устанавливать на ТЭЦ и с его помощью утилизировать внутренние низкотемпературные тепловые потоки ТЭЦ и внешние от промышленных предприятий. На привод АБТН использовать пар промышленных отборов паровых турбин для получения сетевой воды с температурой до 85 °С для дальнейшего использования на нужды отопления, вентиляции и ГВС зоны ответственности ТЭЦ. При этом будет обеспечен переход к новой системе теплоснабжения с одновременной системной годовой экономией природного газа в стране и снижением генерации электроэнергии на ТЭЦ при сохранении тепловых нагрузок и загрузкой Белорусскую АЭС на соответствующую величину.

Заключение

Реализация указанных мероприятий по внедрения ПГУ по сбросной схеме на ТЭЦ, АБХМ и АБТН на ТЭЦ энергосистемы и сопряженных промузлах, АБТН на котельных, когенерационных теплотехнологических комплексов на промышленных предприятиях в первом приближении позволит снизить потребление природного газа в стране на величину 2-3 млн т у. т. в год, что эквивалентно 10-15 % существующего годового потребления природного газа в стране.

Литература

1. Михалевич, А. А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы угрозы [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf. – Дата доступа: 26.03.2010.
2. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат /В.Н. Романюк, А. А. Бобич, Д. Б. Муслина, и др. // Энергия и Менеджмент. – 2013. - №2(71). –С. 32-37.

УДК 62-622

**ЧЕТВЕРТЫЙ ЭНЕРГОПЕРЕХОД. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
THE FOURTH ENERGY TRANSITION. HYDROGEN ENERGY**

А.С. Шенец

Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shenets

Supervisor – V. Romanyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье описаны цели и действия стран мира в ходе четвертого энергоперехода. Рассмотрены приоритетные сферы использования водорода как источника энергии. Проанализированы перспективы развития водородной энергетики в наше время.

Abstract: This article describes the goals and actions of the countries of the world during the fourth energy transition. Priority areas of hydrogen use as an energy source are considered. The prospects for the development of hydrogen energy in our time are analyzed.

Ключевые слова: четвертый энергопереход, возобновляемые источники энергии, изменение климата, водородная энергетика.

Keywords: the fourth energy transition, renewable energy sources, climate change, hydrogen energy.

Введение

Мир постепенно приходит к тому, что возобновляемые источники энергии (ВИЭ) начинают вытеснять ископаемые виды топлива. Сфера энергетики уже прошла три энергоперехода, и сделала большой скачок в четвертый энергопереход. Страны Центральной Европы по-прежнему являются лидерами энергетического перехода, в первую очередь Германия и Франция. Благодаря их вкладу Евросоюз принял программу, согласно которой к 2050 году ЕС откажется от использования ископаемых источников энергии. В будущем борьба за эффективные источники энергии и прогрессивную декарбонизацию атмосферы неизбежно продолжится в процессе активного развития водородной энергетики. Это потребует значительного снижения затрат на производство водорода и внедрения приемлемых решений для его транспортировки, хранения и использования.

Основная часть

Отличающая особенность четвертого энергоперехода в том, что вместо одной технологической революции, как это было раньше, происходит целый ряд технологических прорывов в сфере энергоэффективности, сокращение выбросов углекислого газа в окружающую среду (переход к ВИЭ, водороду, использование накопителей и улавливание углерода). В следствие этого, структурная перестройка экономики и технологический прогресс дали возможность отодвинуться от увеличения потребления энергии для обеспечения производства и экономического роста. Первостепенные объёмы потребления

энергии стабилизировались в большинстве странах мира, даже в Китае, и при этом стоит заметить, что темпы роста ВВП остались на том же уровне.

Например, в ЕС, Азии, Северной Америке утвердились и активно реализуются программы по снижению уровня выбросов парниковых газов. Для этого были введены системы регулирования (квотирования) выбросов, углеродные налоги, постепенно под запрет стали попадать двигатели внутреннего сгорания (переход на электродвигатели). Создаются четкие планы по внедрению ВИЭ во все сферы жизни общества.

Поставлена цель на достижение к 2050 году «климатической нейтральности» (приведение к одному уровню выбросов и поглощение углекислого газа). В ЕС к 2030 году планируется сократить потребление угля на 70%, нефти и газа – на 30%. Что касается Китая, то там объявили о планах стать углеродно нейтральными к 2060 году. С 2021 года Китай ввёл систему торговли выбросами. Если говорить про Японию и Южную Корею, то они планируют достичь нейтральности к 2050 году [1].

Наиболее важным аспектом является борьба с изменением климата. На международном уровне обсуждение на тему климата было завершено, и тезис об изменении климата, вызванном антропогенными выбросами парниковых газов (ПГ), был принят в качестве консенсуса. Страховщики уже зафиксировали неуклонный рост числа стихийных бедствий, а последствия изменения климата к 2100 году оцениваются как чрезвычайные: возможный ущерб мировому ВВП оценивается в 30-45%.

Для противодействия климатической угрозе на глобальном уровне в последние годы были приняты чрезвычайные меры по сокращению выбросов двуокиси углерода (декарбонизации), и государства пошли на ранее невообразимые затраты и меры по сокращению этих выбросов. В 2015 году было принято Парижское соглашение, направленное на удержание роста средней температуры на планете в пределах 1,5 °С от доиндустриального уровня и переход к низкоуглеродной модели развития.

Водородная энергетика – это отрасль, основанная на использовании водорода в качестве средства производства, транспортировки и потребления энергии. Водород является вездесущим элементом на поверхности Земли и в космосе, теплота его сгорания высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода, которая повторно вводится в циркуляцию водородной энергетике.

Водородная энергетика является одним из видов альтернативной энергетике, и многие считают ее экологически чистой.

Вскоре энергетическая отрасль перестанет существовать в том виде, в каком мы ее сейчас знаем. Например, дома будут оснащены автономными генераторами на водороде. Не понадобятся не только гидроэлектростанции, атомные электростанции, но и все сети, передающие электроэнергию. Но в то же время водород вырабатывается именно за счет потребления значительного количества электроэнергии.

Опасность использования водорода в качестве топлива связана с двумя причинами: высокой летучестью водорода, из-за которой он проникает через

очень маленькие отверстия, и легкостью воспламенения. Существует также опасность заполнения замкнутого пространства водородом.

Водород более опасен, чем бензин, поскольку он горит в смеси с воздухом в более широком диапазоне концентраций [2].

Но пока водород составляет менее 1 % энергетического баланса ЕС. Он используется в качестве компонента в производстве аммиака (азотного удобрения), а также в нефтепереработке. В Германии создан водородный поезд и сеть водородных заправочных станций для транспортных средств, которые находятся в эксплуатации. Гибридные автомобили, работающие на электричестве и водороде, начинают получать широкое распространение в странах ЕС. Это перспективное направление: с помощью топливных элементов происходит химическая реакция, в ходе которой водород преобразуется в электричество. КПД гибридных двигателей превышает 80%, а двигателей внутреннего сгорания – около 40%. Ведущие автопроизводители Toyota, BMW и Mazda переводят двигатели некоторых моделей на водород. Однако пока автомобили с водородным двигателем стоят в несколько раз дороже, чем на традиционных двигателях [3].

Заключение

Современные решения в энергетическом секторе, такие как управление спросом на электроэнергию, использование энергосберегающих технологий и накопление энергии, помогут отечественным компаниям добиться успеха в преобразовании своего производства с учетом требований четвертого энергоперехода.

Очевидно, что практическое использование водородной энергетики потребует больших инвестиций, в том числе в создание необходимой инфраструктуры.

В направлении получения и использования водорода больше вкладывают, чем получают. Есть и проблемы с хранением данного энергоносителя. Тем не менее можно говорить о том, что водородное топливо – перспективная форма энергии, за которой будущее многих стран мира.

Литература

1. Четвертый энергопереход [Электронный ресурс]/ четвертый энергопереход. - Режим доступа: <https://realnoevremya.ru/articles/210130-chetvertyyu-energoperehod---chto-zhdet-mir-i-rossiyu/>. – Дата доступа: 29.10.2021.
2. Водородное топливо [Электронный ресурс]/ водородное топливо. - Режим доступа: https://aif.by/vybor/kakie_perspektivy_u_vodorodnogo_topliva/. – Дата доступа: 29.10.2021.
3. Водородная энергетика [Электронный ресурс]/ Водородная энергетика. - Режим доступа: <https://www.belrynok.by/2020/08/04/vytesnit-li-vodorod-prirodnyj-gaz/>. – Дата доступа: 29.10.2021.

УДК 621.181.27

УСТАНОВКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ
ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ПИНСКОЙ ТЭЦ
INSTALLATION OF A DEVICE FOR DEEP UTILIZATION OF FLUE GAS
HEAT AT THE PINSKAYA CHP

А.В. Рапута

Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Raputa

Supervisor – Y. Zialenina, Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье отражается проект по установки устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов на Пинской ТЭЦ.

Abstract: The article reflects a project for the installation of a device for deep utilization of the heat of flue gases at the Pinsk CHP.

Ключевые слова: дымовые газы, утилизация дымовых газов, Пинская ТЭЦ.

Key words: flue gases, utilization of flue gases, Pinsk CHP.

Введение

Использование теплоты уходящих дымовых газов и скрытой теплоты парообразования водяных паров называется методом глубокой утилизации теплоты дымовых газов. В настоящее время существуют различные технологии реализации данного метода.

Основная часть

Принципиальная схема устройства по данному проекту представлена на рисунке 1. В качестве основного оборудования используются: утилизатор с декарбонизатором, дымосос, водяной фильтр, насос, теплосчетчик, теплообменник. Отбор дымовых газов осуществляется от дымохода котлов самостоятельным дымососом с тем, чтобы минимально вносить изменения в существующие дымоходы, а отключение утилизатора (при необходимости либо аварийное) не влияло на режим работы котлоагрегатов. Дымовые газы после утилизатора выбрасываются в дымовую трубу утилизатора из нержавеющей стали.[1]

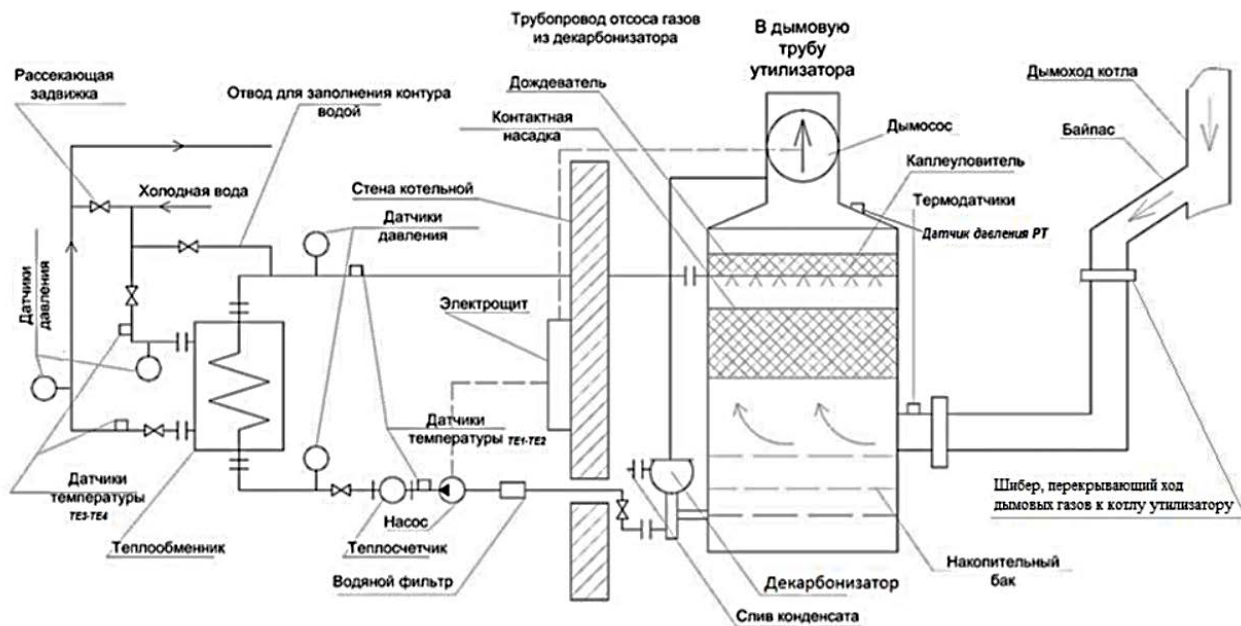


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки утилизатора

В разработанной предпроектной документации был произведен расчет предполагаемого теоритического потенциала от всех котлов, установленных на ТЭЦ:

- на пяти паровых котлах БКЗ-50 ст.№2-3, БКЗ-75 ст. № 4-6, работающих на газообразном топливе;
- двух паровых котлов Е-10 ст. №№ 8-9, работающих на местных видах топлива.

Таблица 1 – Выработка тепловой энергии котельным оборудованием Пинской ТЭЦ за год, Гкал

	БКЗ-50 №2	БКЗ-50 №3	БКЗ-75 №4	БКЗ-75 №5	БКЗ-75 №6	Е-10 №8	Е-10 №9
январь	17 942	4 577	17 466	23 104	5 668	3 043	2 929
февраль	15 546	1 489	28 676	21 273		2 846	2 566
март	17 525		15 919	30 132	826	3 328	3 149
апрель	17 080				7 981	2 659	2 708
май	19 434					107	2 769
июнь	9 135					225	2 380
июль	14 499					3 257	3 116
август	7 775					2 665	2 986
сентябрь	14 395					2 528	2 630
октябрь	7 487				25 528	3 252	3 225
ноябрь	18 522		8 735	802	26 665	3 355	2 812
декабрь	15 726		26 172	2 264	23 851	3 105	2 692
год	175 066	6 066	96 968	77 575	90 519	30 370	33 962

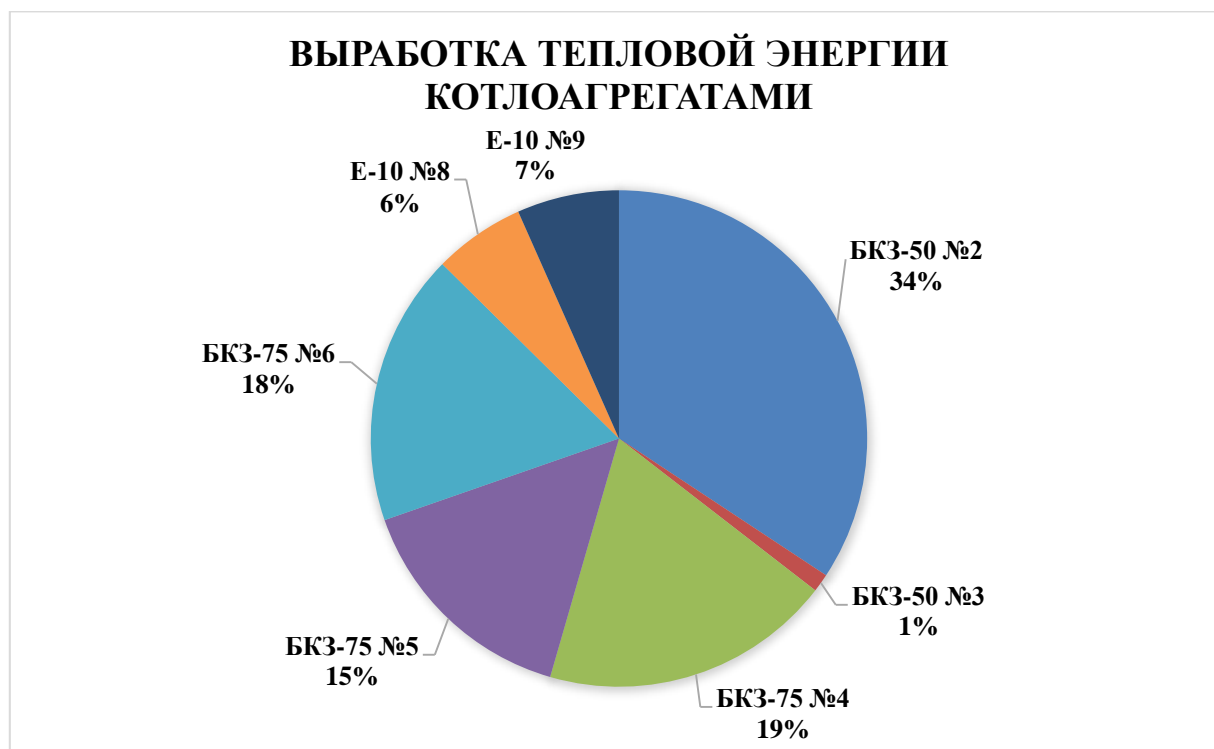


Рисунок 2 – Выработка тепловой энергии Пинской ТЭЦ за год

Т.к установка утилизатора на котлах, работающих на местных видах топлива (древесной щепе) будет сложна из-за того, что дымовые газы содержат продукты сгорания твердого топлива, а в котле утилизаторе дымовые газы непосредственно контактируют с теплоносителем для получения тепла конденсации водяных паров, то твердые частицы содержащиеся в дымовых газах будут осаждаться водой и тем самым загрязнять контур утилизатора. [1]

Эксплуатация утилизатора на местных видах топлива (древесной щепе) будет связана с постоянными остановами и промывками оборудования.

Для возможности реализации установки котла утилизатора была рассчитана установка устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов для котлоагрегата БКЗ-50 ст.№2, работающего на природном газе, с наибольшим числом использования на протяжении года (7549 часов).[1]



Рисунок 3 – Выработка тепловой энергии Пинской ТЭЦ после установки утилизатора за год

Заключение

На основании разработанной предпроектной документации можно сделать вывод: установка устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов повлияет на общие станционные технико-экономические показатели. Потребление топлива значительно не изменится, а уменьшится удельный расход на отпуск тепла по станции. Незначительно возрастет расход электроэнергии на собственные нужды, так как при работе утилизатора будет расходоваться электрическая энергия на работу насоса контура утилизатора и его дымососа. [1]

Литература

1. РУП "БЕЛТЭИ", Установка устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов на Пинской ТЭЦ по ул. Переборной, 1 в г. Пинске: предпроектная документация. / РУП "БЕЛТЭИ". – Минск: /ГПО «БЕЛЭНЕРГО», 2019 – 78 с.

УДК 620.9:338

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СВЕТЛОГОРСКОЙ ТЭЦ
ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE SVETLOGORSK CHPP**

Т. А. Сиваков, Н. С. Покровский

Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Sivakov, N. Pokrovsky

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk*Аннотация: в статье идет речь о Светлогорской ТЭЦ, ее истории и модернизации**Abstract: the article deals with the Svetlogorsk CHPP, its history and modernization**Ключевые слова: технологические процессы, модернизация, мощность, ТЭЦ**Keywords: technological processes, modernization, power, CHPP***Введение**

В современном мире электрическая и тепловая энергия играют очень важную роль. Без этого невозможны никакие технологические процессы, поэтому важно знать, как и где происходит производство этих видов энергии, а также почему необходимо работать над улучшениями оборудования и самих процессов производства энергии.

Основная часть

Светлогорская ТЭЦ предназначена для покрытия тепловых и электрических нагрузок предприятий промышленного узла и жилищно-коммунального сектора г. Светлогорска. Площадка Светлогорской ТЭЦ расположена на восточной окраине города в непосредственной близости от промышленных предприятий.

Строительство тогда еще Василевичской ГРЭС – крупнейшей тепловой электростанции в Беларуси было начато в 1954 году, а в 1958 году был пущен первый блок электростанции на Полесье. В связи с развитием промышленного производства города Светлогорска Василевичская ГРЭС была переименована в 1978 году в Светлогорскую ТЭЦ. [2]

ТЭЦ включает в себя комплекс огромных сооружений: главный корпус, здание главного щита управления, насосная станция на берегу водоема, здание химводоочистки, мазутохозяйства, ГРП – 1, 2, 3, ОРУ 110 кВт, 220 кВт. [1]

Светлогорская ТЭЦ оснащена высокопроизводительным оборудованием. Высокие параметры пара: давление 10 МПа и температура 540 °С, позволяли вырабатывать электроэнергию с наименьшим удельным расходом топлива на отпущенный киловатт-час. Для управления основным и вспомогательным оборудованием, защиты от повреждений, управления процессами и учета расхода топлива и пара широко применяются автоматические средства.

В 1958 году пущен первый турбогенератор. Строительство закончено в 1965 году. Проектная мощность ГРЭС – 322 МВт. [1]

Установленная мощность в настоящее время: электрическая – 155 МВт, тепловая – 3021 ГДж/ч (721,5 Гкал/ч). [1]

Проектным топливом для котлов I-ой очереди являлся фрезерный торф, для котлов II-ой очереди – донецкий каменный уголь. В 1983 – 1986 гг. все котлы были переведены на сжигание газа и мазута. В настоящее время основным топливом является попутный нефтяной газ с Белорусского газоперерабатывающего завода (г. Речица). [2]

За время работы ТЭЦ неоднократно проходила модернизацию с целью повышения экономичности и эффективности процессов:

Мероприятия 2007 г.:

- проведены работы по реконструкции дымовой трубы № 3;
- внедрена система автоматического розжига систем защиты и блокировки котлов ст. № 6,7;
- установлен РЭП на СН № 6;
- введен в эксплуатацию ГРП № 3 попутного нефтяного газа. [3]

Мероприятия 2008 г.:

- проведены мероприятия по снижению расхода топлива на поддержание мазутного хозяйства в резерве;
- проведены мероприятия по оптимизации работы систем;
- проведены мероприятия по внедрению РЭП на ПН № 4, НОВ № 5, НДВ № 5, насосе БНТ № 3А, ДН № 2, насосе ДБ № 2 – по всем РЭП 320 кВт и 120 т.у.т;
- проведены мероприятия по модернизации здания служебного помещения – 14 т.у.т;
- оптимизирован уровень загрузки трансформаторов с. н.10/2,15 3,13/0,4 – 270 т.у.т. [3]

Мероприятия 2009г.:

- произведена замена ветхих трубопроводов теплосетей на предизолированные протяженностью 5552 м.- 53 т.у.т.
- проведены мероприятия по сокращению потребления топлива за счет оптимизации режима работы энергооборудования ТЭЦ - 1213 т.у.т.;
- произведена реконструкция схемы проливневой канализации - 24 т.у.т.;
- произведена оптимизация работы систем теплоснабжения - 343 т.у.т.;
- произведена оптимизация состава работающего оборудования - 1577 т.у.т.;
- проведены мероприятия по утилизации теплоты системы охлаждения подшипников вращающихся механизмов - 391 т.у.т.;
- внедрена технология по подогреву сырой воды в конденсаторе турбины - 912 т.у.т. [3]

Кроме этого, на протяжении всего периода работы ТЭЦ постоянно внедряется более совершенное программное обеспечение и устанавливаются дополнительные регулирующие приборы для улучшения управления на станции процессами горения, утилизации и так далее. Перечень внесенных изменений представлен в таблице 1. [3]

Таблица 1 – Перечень изменений в Светлогорской ТЭЦ 2009 – 2013

Наименование мероприятия	Экономия топлива, т.у.т/год (млн.руб.*)	Дата срок реализации	Объем финансирования, млн. руб.*	Срок окупаемости, лет
1. Снижена температура мазута, подаваемого на главный корпус	850/224,4	2009	-	-
2. Выполнена тепловая изоляция мазутного бака № 3	1400/369,6	2010...2011	750	2,0
3. Организован и введен учёт расхода пара и его тепла на мазутном хозяйстве	80/21,1	2009	-	-
4. Выполнена наладка регуляторов уровня в мазутных подогревателях	190/50,2	2009	40,0	0,8
5. Проведена отработка пусковых режимов и переход на пуски котлов на газе вместо мазута.	160/42,24	2009	-	до 1 года
6. Разработаны и выполнены мероприятия по оценке и снижению минимально допустимых нагрузок паровых котлов 2-ой очереди	750/198	2009...2011	250	1,36
7. Разработано технико-экономическое обоснование по применению регулируемого электропривода на ТДМ паровых котлов 2-ой очереди	300/79,2	2010...2013	150	1,9
8. Исключена работа второго эжектора отсоса паровоздушной среды из конденсатора при работе турбин ТР-16-10 ст. № 4 и ПТ-60/75-130/13 ст. № 5	400/105,6	2009	30,0	0,28
9. Введена в эксплуатацию охлаждающая установка (ОУ) для возможности регулирования температуры пара на выхлопе турбоагрегата ст. № 6	70/18,5	2009	40,0	2,16
10. Выполнены реконструктивные мероприятия, обеспечивающие уплотнение разъемов ЧНД турбоагрегатов Т-14/25-10 ст. № 4 и ТР-16-10 ст. № 3	590/155,8	В капремонт	110	0,7
11. Выполнен перевод собственных нужд среднего напряжения 3,15 кВ на напряжение 6 кВ	80/21,1	2010...2012	120	5,7

Окончание таблицы 1

Наименование мероприятия	Экономия топлива, т.у.т/год (млн.руб.*)	Дата срок реализации	Объем финансирования, млн. руб.*	Срок окупаемости, лет
12. Выполнены технико-экономические расчёты для оценки целесообразности реконструкции регулирующей диафрагмы турбоагрегата ст. № 5	1500/396	2011	700	1,8
13. Упорядочен состав РОУ и БРОУ, поддерживаемых в состоянии резерва и обеспечить снижение расхода пара через установки	750/198	2009...2010	200	1,0
14. Выполнена реконструкция схемы дренажных баков и баков низких точек.	500/132	2010...2012	800	6,1
15. Восстановлена, заменена тепловая изоляция оборудования и трубопроводов, которая находилась в неудовлетворительном состоянии	250/66	2009...2012	250	3,8
16. Оптимизирована работа схемы забора воздуха из помещения котельного отделения	350/92,4	2009...2010	120	1,3
17. Закончена замена масляных выключателей распреустройств среднего напряжения на вакуумные	100/26,4	2009...2010	170	6,4
18. Выполнена замена электрических счетчиков на присоединениях 3АТ-110 и 4АТ-110	40/10,6	2009...2011	60	5,7
19. Выполнена наладка работы расходомеров на фильтрах, организован учет выработки воды	15/4,0	2009...2010	12,0	3,0
20. Разработаны и внедрены мероприятия по использованию отмывочных вод анионитовых фильтров	15/4,0	2010...2011	9,0	2,25
21. Выполнены технико-экономические расчёты для оценки целесообразности реконструкции регулирующей диафрагмы турбоагрегата ст. № 4	400/105,6	2010	70	0,7

* – цены в неденоминированных рублях до 2016 года.

Заключение

По результатам проведенных мероприятий модернизации ТЭЦ с 2007 по 2013 года можно сделать вывод, что общая экономия топлива и денежных средств на 2013 год составляла – 23607 т.у.т. и 2,32 млрд руб.

На данный момент Светлогорская ТЭЦ продолжает снабжать тепловой и электрической энергией предприятия и жилые дома г. Светлогорск. Однако, для повышения экономичности и эффективности установок необходимо проводить постоянную модернизацию ТЭЦ.

Литература

1. Филиал Светлогорская ТЭЦ РУП Гомельэнерго [Электронный ресурс]/ филиал светлогорская тэц руп гомельэнерго. -Режим доступа: https://energobelarus.by/company/energoaudit_i_energoberegayushchie_tekhnologii/filial_svetlogorskaya_tets_rup_gomelenergo/ – Дата доступа: 29.08.2021.
2. Светлогорской ТЭЦ – 60 лет [Электронный ресурс]/ светлогорской тэц – 60 лет. -Режим доступа: https://www.gomelenergo.by/index.php?option=com_k2&view=item&id=617:svetlogorskoj-tets-60-let&Itemid=102&lang=ru – Дата доступа: 28.08.2021.
3. ОАО «Белэнергоремналадка» [Электронный ресурс]/ ОАО «белэнергоремналадка». -Режим доступа: <http://www.bern.by/> – Дата доступа: 28.08.2021.

УДК 620.97

**ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД И ПРОБЛЕМЫ
GREEN ENERGY, CARBON FOOTPRINT AND CHALLENGES**

А. В. Казейка

Научный руководитель – В.Н. Ромانيук, доктор технических наук, профессор
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kazeika

Supervisor – V. Romanyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье описаны важность «зеленой» энергетики, появления углеродного следа и его проблемы в современном мире. Рассмотрены появление и сущность углеродного следа, а также глобальные корпорации, связанные с данной проблемой. Проанализированы возможности углеродной нейтральности.

Abstract: This article describes the importance of "green" energy, the emergence of a carbon footprint and its problems in the modern world. The appearance and essence of the carbon footprint, as well as global corporations associated with this problem, are considered. The possibilities of carbon neutrality are analyzed.

Ключевые слова: «зеленая» энергетика, углеродный след, парниковый эффект, углеродная нейтральность.

Keywords: "green" energy, carbon footprint, greenhouse effect, carbon neutrality.

Введение

«Зелёная» энергетика – часть выработки энергии, которая использует возобновляемые источники энергии. Самыми широко известными видами «зеленой» энергетики являются преобразования солнечной энергии и энергии ветра [1].

Рассматривается переход на новый научно-технический режим в сфере энергетики, так как распространяется создание объектов «зеленой» энергетики для уменьшения загрязнения окружающей среды. Но на сегодняшний день нет таких оборудований, которые бы могли полностью не загрязнять вредными выбросами от производства атмосферу. Пока что это является одним из современных мифов, распространяемых в обществе; таких как устойчивое развитие, динамика озоновых дыр, глобальное потепление и парниковый эффект, «зеленая» экономика.

Проблема глобального потепления интенсивно дискусируется десятки лет. Она обрела международный размер, когда о ней заговорили политики. Однако ученые взволнованы данной проблемой ещё с 1827 года, когда впервые был описан парниковый эффект.

Если бы парниковый эффект не существовал, среднегодовая температура на Земле была бы минусовой. Проблема в том, что в последние десятилетия парниковый эффект стал значительно проявленным из-за газов, которые удерживают тепло в атмосфере Земли. Все дело — в углеродном следе [2].

Основная часть

На сегодняшний день экология является важным аспектом в нашей жизни. Многие государства и компании всего мира называют проблему изменения климата главной угрозой XXI века. Основной причиной проблемы всей планеты приняли углеродный след, который оставляют за собой все предметы и механизмы, люди и компании, имеющиеся на земле: от маленького до гигантского предприятия [3].

Углеродный след – это весь объем смеси углекислого газа и метана, который выделяется в окружающую среду в результате деятельности человека [4]. Газы усиливают парниковый эффект в результате накапливания в атмосфере, что в следствии увеличивают проблему глобального потепления, из-за изменения климата. Вся проблемность заключается в том, что все деятельности человека иными способами приводят к выбросам углерода в атмосферу. Поездка на личном транспорте, ремонт в помещениях и даже содержание домашних животных имеют свой углеродный след, что отрицательно влияет на окружающую среду.

Поэтому принято выделять две группы источников углеродистых выбросов: прямые и косвенные. К прямым выбросам относятся непосредственные выбросы от деятельности, а также выброс от использования электрической энергии. Прямые выбросы могут трактоваться как первичный углеродный след. Он означает сумму непосредственных выбросов парниковых газов в результате сжигания ископаемого топлива в целях выработки энергии.

Так, примерами непосредственных выбросов являются:

- сжигание добываемого топлива, которое выбрасывает CO_2 в окружающую среду;
- производство теплой технической воды с помощью природного газа на рабочем месте.

Косвенные выбросы тесно связаны с потреблением продуктов и услуг. Каждый продукт или услуга, которые были приобретены организацией, влияют на общую сумму выбросов данной организации. То, как организация использует приобретаемые блага, влияет на производимый ей углеродный след. Этот вид может толковаться как вторичный углеродный след [5].

Впрочем широкая известность углеродного следа связана с определенным событием –компанией, предпринявший в 2000 году нефтяной корпорацией BP. К этому решению приходят почти все влиятельные специалисты, которые изучают проблему изменения климата. Президент Global Footprint Network, Матис Вакернагель, заявил в интервью для The New York Times, что именно реклама BP дала «самый сильный толчок» для распространения концепции «углеродного следа».

Не обращая внимания на обещания по сокращению добычи нефти и переходе на «зеленую энергетику», компания продолжает наращивать углеродный след за собой. Позже многие предприятия публично заявили о планах в ближайшее время убавить свой углеродный след. Первым предприятием в России, которое представило план по сокращению углеродного

следа за собой стала «Роснефть», пообещав вкладывать большую часть своих ресурсов во вложения в «зеленые» проекты.

Но от добычи углеводородов отказываться никто не собирается, так как это имеет сложность. Снижение выбросов достигается за счет того, что нефтяные компании начинают больше добывать газ как более «экологичное» из различных видов топлива. Иным путем сокращения углеродного следа является компенсация при помощи технологий улавливания и хранения углерода – чаще всего речь идет о лесовосстановлении, посадках лесов.

Антропогенные выбросы углекислого газа являются главной причиной почему площадь лесов должна расти. Нет ничего проще, чем остановить потерю лесов в эпоху бурного расширения лесов, в которой и находится сегодняшний мир благодаря антропогенным выбросам CO₂.

Крупнейшие мировые компании планируют уменьшать углеродный след и строят планы как получить углеродную нейтральность. Microsoft собирается стать углеродно-отрицательной: к 2030 году компания намерена удалять из атмосферы больше углекислого газа, чем производит. Netflix, который в 2020 году выбросил в атмосферу 1,1 млн тонн, планирует стать углеродно-нейтральным уже в следующем году. Еще в 2007 году стал нейтральным Google.

Компании, ставшие углеродно-нейтральными, могут получить соответствующий сертификат – CO₂ Neutral®. Сертификат и маркировка на продукции является официальным признанием, что компания приняла все меры чтобы уменьшить свой углеродистый след, чтобы бороться с изменением климата [6].

С каждым годом вопрос о получении углеродной нейтральности компаний всё больше обостряется. В Европе уже с 2023 года введут налог на углеродный след, то есть на ввозимую продукцию с высоким углеродным следом. Если ввозимая продукция превысит установленные нормы по парниковым выбросам, компании придется выплачивать пошлину.

Заключение

Невозможно не оставлять после себя углеродного следа, даже после одного человека. Ведь можно проанализировать сколько один человек использует энергии или большая компания. Углеродный след компании определяется чтобы понять, как расходуется энергия и другие ресурсы. Этот анализ определит какое воздействие компания наносит на окружающую среду. При полученных результатах, можно делать выводы и ставить цели как уменьшить влияние вредных отходов в окружающую среду.

Ведь каждый из нас может повлиять на уменьшение углеродного следа. Так как снижение углеродного следа навсегда останется важной проблемой современности, решение которой позволит приблизиться к приемлемому уровню антропогенного воздействия на биосферу, способствовать смягчению последствий изменения климата

С учетом существующих трендов развития «зеленой» энергетики в Мире ожидать формирование нового уклада в сфере энергетики можно будет, по мнению специалистов, в недалеком будущем. В американском прогнозе «U.S

Energy information Administration» (2014) доля возобновляемых энергетических источников колеблется от 5% до 6,4% в 2040 году.

Литература

1. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]/ «Зеленая» экономика: сущность, принципы и перспективы. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenaya-ekonomika-suschnost-printsipy-i-perspektivy>. – Дата доступа: 30.10.2021.
2. Brucite+ [Электронный ресурс]/ Углеродный след: главный экологический вопрос человечества. – Режим доступа: <https://brucite.plus/articles/uglerodnyj-sled/>. Дата доступа: 30.10.2021.
3. Комсомольская правда [Электронный ресурс]/ Углеродный след - главная угроза XXI века. – Режим доступа: <https://www.irk.kp.ru/daily/26484/3354493/>. – Дата доступа: 30.10.2021.
4. Экофера [Электронный ресурс]/ Почему всех так стал волновать углеродный след и когда появилось это понятие. – Режим доступа: <https://ecosphere.press/2021/09/07/pochemu-vseh-tak-nachal-volnovat-uglerodnyj-sled-i-kogda-poyavilos-eto-ponyatie/>. Дата доступа: 30.10.2021.
5. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]/ Углеродный след как индикатор воздействия экономики на климатическую систему. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/uglerodnyy-sled-kak-indikator-vozdeystviya-ekonomiki-na-klimaticheskuyu-sistemu>. – Дата доступа: 30.10.2021.
6. Эковики [Электронный ресурс]/ Как компенсировать свой углеродный след. – Режим доступа: <https://ecowiki.ru/ne-sledi/>. – Дата доступа: 30.10.2021.

УДК 658.26

**ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ВИЛЕЙСКОЙ МИНИ-ТЭЦ
ENERGY SUPPLY OF VILEY MINI CHP**

В.В. Ефименко, А.А. Сотникова

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Yefimenko, A. Sotnikova

Supervisor – T.Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Проектирование является важным этапом в строительстве и реконструкции объектов. Хорошо составленный план и качественный выбор проектирования – ключ к успешному завершению строительно-монтажных работ без дополнительных финансовых потерь.

Abstract: Design is an important stage in the construction and reconstruction of facilities. A well-drawn up plan and a high-quality design choice are the key to the successful completion of construction and installation work without additional financial losses.

Ключевые слова: Вилейская мини-ТЭЦ, мини-ТЭЦ, энергоэффективность, топливо, оборудование, котел.

Keywords: Vileika mini heat and power plant, mini heat and power plant, energy efficiency, fuel, equipment, boiler.

Введение

Изначально Вилейская мини-ТЭЦ была обычной котельной для крупного предприятия «Зенит». Она обеспечивала завод тепловой энергией. Спустя несколько лет произвели реконструкцию котельной и добавили один паровой котел, и в этом же году закончили реконструкцию водогрейной части котельной с добавлением двух водогрейных котлов. Впоследствии нити теплосетей продолжились до самих жилищных домов. Собственно, так из обычная котельная перетворилась в мини-ТЭЦ города Вилейка.

Основная часть

Вилейская мини-ТЭЦ предназначена для централизованного теплоснабжения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых районов г. Вилейка.

Площадка мини-ТЭЦ расположена на северо-западной окраине г. Вилейки и с двух сторон, северной и восточной, граничит с территорией Вилейского ремзавода

По надежности отпуска тепловой энергии потребителям мини-ТЭЦ относится к первой категории. Мини-ТЭЦ расположена в отдельно стоящем здании, каркасного типа без подвала; Категория здания мини-ТЭЦ по взрывопожароопасности – «Г».

Основным оборудованием Вилейской мини-ТЭЦ являются паровые котлы КЕ-25-24-350 и два котла ДКВР-10/13, три водогрейных котла ПТВМ-30М и паровая турбина Р-2,4-2,3/0,12. Суммарная паропроизводительность паровых

котлов 42 т/ч. Суммарная тепловая мощность водогрейных котлов 90 Гкал/ч. Установленная тепловая мощность ТЭЦ - 114 Гкал/ч. Установленная электрическая мощность ТЭЦ – 2,4 МВт.

Согласно решению экспертно-технической комиссии, дальнейшая безопасная эксплуатация парового котлоагрегата ДКВР-10/13 ст. № 3 не предоставляется возможной и паровой котел подлежит выводу из эксплуатации.

В отопительный период в работе находится два-три котла: паровой котел КЕ-25-24-350 на щепе, паровой котел ДКВР-10/13 и водогрейный котел ПТВМ-30М на природном газе, в межотопительный период – 1 паровой котлоагрегат КЕ-25-24-350.

Все котлы оснащены автоматикой, обеспечивающей их безопасную работу.

Мини-ТЭЦ полностью оснащена запорно-регулирующей арматурой и КИП.

Водоснабжение мини-ТЭЦ осуществляется от сетей городского водопровода. Подпитка теплосети осуществляется деаэрированной водой после деаэратора.

Основным видом топливом на мини-ТЭЦ является древесное топливо (щепа) и природный газ. Древесная щепа на мини-ТЭЦ используется в паровом котле КЕ-25-24-350. Резервный вид топлива – мазут. Мазутное хозяйство предназначено для приема, хранения и подготовки мазута к сжиганию, бесперебойного снабжения подогретым и профильтрованным топочным мазутом в количестве, требуемом нагрузкой потребителей мини-ТЭЦ.

Мазутное хозяйство расположено вне территории основной площадки мини-ТЭЦ и удалено от нее на расстоянии порядка 0,4 км.

Газоснабжение мини-ТЭЦ осуществляется от газораспределительной сети МПУ «Молодечномежрайгаз» от газопровода высокого давления через ГРУ.

ГРУ предназначено для снижения давления газа и поддержания заданного давления за ГРУ постоянным независимо от изменения входного давления и расхода газа. Также в ГРУ производится очистка газа от механических примесей, измерение его параметров и расхода, предохранение от возможного повышения давления газа в газопроводах после ГРУ сверх допустимых параметров.

Электроснабжение мини-ТЭЦ г. Вилейка осуществляется по четырем кабельным линиям 10 кВ (КЛ-10 кВ), две из которых являются основными (Ф-530 и Ф-531) и две резервными (Ф-520 и Ф-521). Основные КЛ-10 кВ запитаны от ПС 110 «Вилейка», резервные КЛ-10 кВ запитаны от РП «Зенит».

Отпуск тепловой энергии с сетевой водой имеет тенденцию к уменьшению, что обусловлено внедрением энергосберегающих мероприятий у потребителей и экономией тепловой энергии, а также температурами окружающей среды, которые в последние годы в отопительный период несколько увеличились.

Нагрузка с сетевой водой носит сезонный характер. Тепловые нагрузки сугубо отопительные и их величина зависит от температуры окружающей среды, которая мало подвержена изменению.

Заключение

В заключении можно сказать, что Вилейская мини-ТЭЦ нуждается в реконструкции для повышения ее энергоэффективности. Для этого можно снизить выработку тепловой и электрической энергии с выведением из строя

водогрейного котла ДКВР-10/13 №3, установить аналог резервного кожухотрубного теплообменника или же оптимизировать мазутное хозяйство.

Литература

1. История развития Мини-ТЭЦ г. Вилейка [Электронный ресурс]/ история развития Мини-ТЭЦ г. Вилейка. - Режим доступа: <https://minskenergo.by/news/novosti-predpriyatiya/istoriya-razvitiya-mini-tets-g-vilejka/>. – Дата доступа: 14.09.2021.

УДК 661.931

РАСЧЁТ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
EXPERIMENTAL ELECTROLYTIC UNIT EXERGY EFFICIENCY
CALCULATION

М.Б. Макеева, П.А. Перехвал
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
M. Makeeva, P. Perekhval
Supervisor – V. Yanchuk, assistant professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Эксергетический анализ дополняет энергетический в оценке эффективности преобразования энергии в различных системах. В работе рассчитан эксергетический КПД системы преобразования солнечного излучения в водород, дан анализ влияющих факторов.

Abstract: Exergy analysis is added to energy analysis in various systems efficiency assessment. Exergy efficiency of converting solar irradiation into hydrogen is calculated in the paper, and analysis of affecting factors is given.

Ключевые слова: Эксергия, энергия, электролизер, эксергетический анализ, энергетический анализ, водород.

Keywords: Exergy, energy, electrolyzer, exergy analysis, energy analysis, hydrogen.

Введение

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – ключевая технология для достижения декарбонизации к 2050 году. Парижское климатическое соглашение направлено на удержание роста средней глобальной температуры «ниже 2 °С» в этом веке по сравнению с доиндустриальным уровнем. Достижение этой цели потребует существенного сокращения выбросов во всех секторах.

Водород успешно используется в разных отраслях и секторах уже много лет. В последние годы разрабатываются технологии для его использования в системах аккумулирования энергии. Самый экологически нейтральный метод получения водорода – разложение воды путем электролиза. Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70%. При дальнейшем усовершенствовании процесса теоретически возможно увеличение этого показателя до 80%, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90%.

Для теплотехнологических процессов в дополнение к обычной оценке энергопотребления совершенно необходима количественная оценка качества процесса энергоиспользования, его термодинамической эффективности. Эту принципиально новую оценку наиболее просто можно провести на основе понятия эксергии.

Эксергия — свойство термодинамической системы или потока энергии, определяемое (характеризуемое) количеством работы, которое может быть получено внешним приемником энергии при обратимом их взаимодействии с окружающей средой до установления полного равновесия.

Далее кратко приведен порядок расчета эксергетического КПД и основные результаты. Исследуемая система производства водорода состоит из фотоэлектрической панели и лабораторного электролизера. Показатели работы фотоэлектрической панели рассчитаны для условий города Минска, характеристики электролитической установки получены в ходе экспериментов на оборудовании ЭкоТехноПарка «Волма».

Основная часть

Для проведения эксергетического анализа солнечной панели необходимо вначале рассчитать температуру ее поверхности. Для этого составлен тепловой баланс панели:

$$E_{\text{погл}} = Q_{\text{ос}} + W, \quad (1)$$

где $E_{\text{погл}}$ — энергия, поглощаемая солнечной панелью, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

$Q_{\text{ос}}$ — плотность теплового потока, отдаваемого панелью в окружающую среду, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

W — электроэнергия, вырабатываемая солнечной панелью с одного м² панели, Вт.

В процессе расчета найдены температуры поверхности панели, средние для каждого месяца. Результаты представлены на рисунке 1:

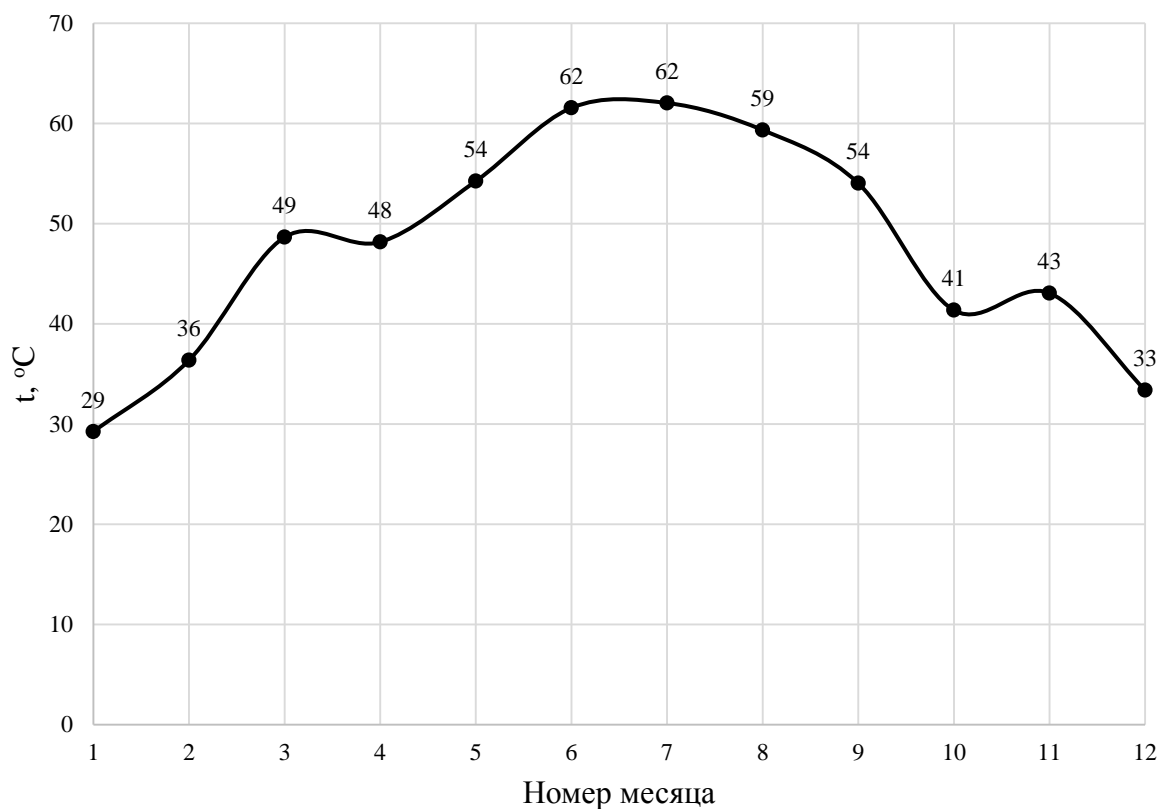


Рисунок 1 – Расчётная температура поверхности солнечной панели по месяцам

Расчет эксергетического КПД солнечной панели.

Эксергия поглощаемого панелью излучения:

$$e_{и} = \varepsilon_c C_0 (3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3), \quad (2)$$

где ε_c – степень черноты излучающей поверхности, для солнца равна 1;

C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Поскольку эксергия электроэнергии численно равна энергии, то эксергетический КПД солнечной панели определим по формуле:

$$\eta_{э} = \frac{W_{1\text{м}^2}}{e_{и}}, \quad (3)$$

где $W_{1\text{м}^2}$ – мощность, получаемая с 1 м^2 панели, Вт.

Результаты расчета эксергетического КПД солнечной панели среднего для каждого месяца, а также среднемесячные температуры окружающей среды представлены на рисунке 2.

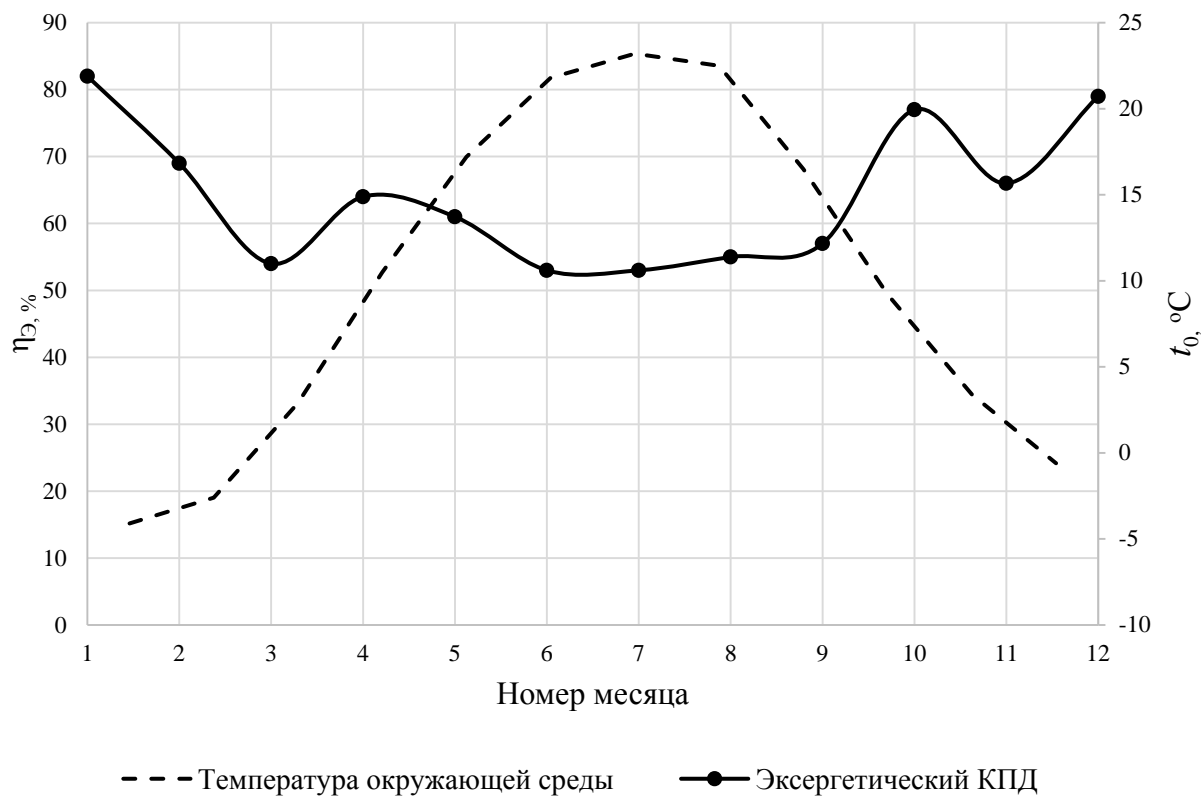


Рисунок 2 – Влияние температуры окружающей среды на эксергетический КПД солнечной панели по месяцам

На рисунке 2 видно, что эксергетический КПД наиболее низкий в самые солнечные месяцы, в том числе и в июне $\eta_{э} = 53 \%$, в то время как в менее солнечные месяцы достигается наибольший КПД. Это объясняется тем, что в наименее солнечные месяцы параметры окружающей среды наиболее низкие, поэтому получаемая энергия является более ценной, чем в летние (жаркие) месяцы.

Определение эксергетического КПД электролизера:

$$\eta_e = \frac{E_{O_2} + E_{H_2}}{W_{полн} + E_{H_2O}}, \quad (4)$$

где E_{O_2} – эксергия выделяемого кислорода.

E_{H_2} – эксергия выделяемого водорода.

E_{H_2O} – эксергия приходящей воды.

$W_{полн}$ – полная мощность.

Эксергетический КПД электролизера получен 23,7% для работы установки в номинальном режиме. Изобразим диаграмму Грассмана для электролизера, рисунок 3.

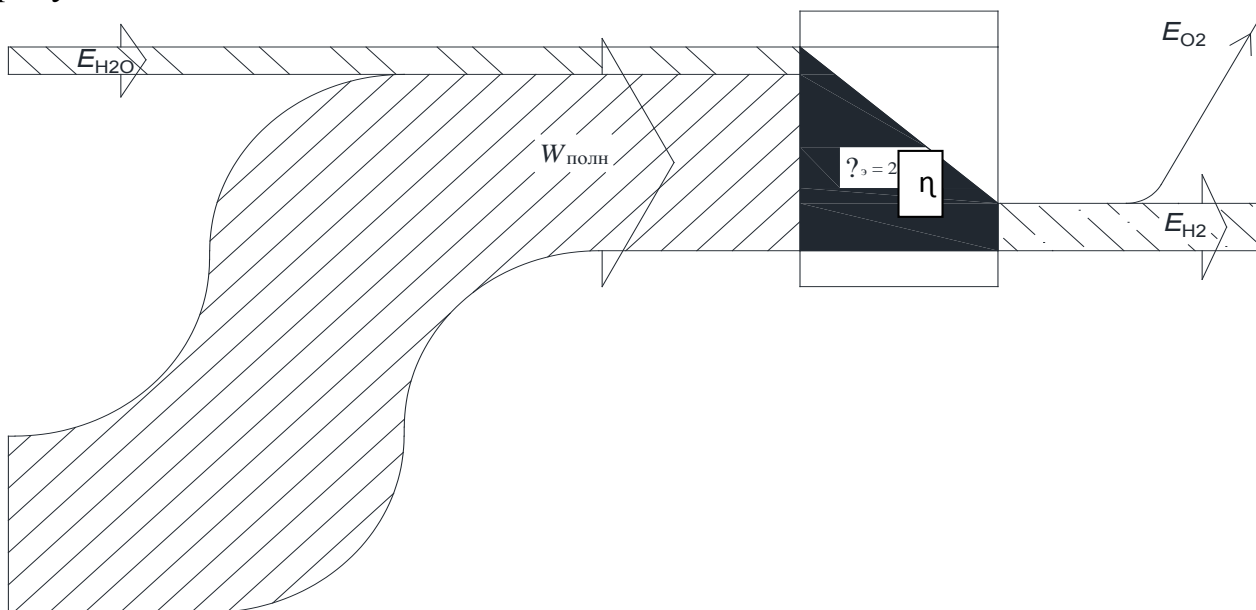


Рисунок 3 – Диаграмма потоков Грассмана

Таким образом, потери эксергии в процессе преобразования электрической энергии в химическую (в виде водорода) составляют более трех четвертей от входящего потока.

Эксергетический КПД электролитической установки с генерацией электроэнергии на солнечной панели для каждого месяца рассчитывается:

$$\eta_{экс} = \eta_c \eta_{эл}. \quad (5)$$

где η_c – эксергетический КПД солнечной панели;

$\eta_{эл}$ – эксергетический КПД электролизёра.

Эксергетический КПД электролитической установки с генерацией электроэнергии на солнечной панели для июня:

$$\eta_{экс} = 0,53 \cdot 0,237 = 0,124.$$

Заключение

В результате получен эксергетический КПД преобразования солнечного излучения в водород, и он составляет 12,4% для июня. То есть, стоит продолжать работать над совершенствованием каждого из элементов данной системы, а также над другими способами получения водорода из воды за счет излучения, возможно исключить промежуточное преобразование. Так, например, в

последнее время разрабатывается метод прямого расщепления воды под действие солнечного излучения – фотокаталитический метод получения водорода [1].

Литература

1. Макеева М.Б. Фотокаталитический метод получения водорода = Photocatalytic hydrogen production method / М.Б. Макеева, П.А. Перехвал; науч. Рук. В.В. Янчук // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2021 г. / редкол.: Е.Г. Пономаренко [и др.]; сост. Т.Е. Жуковская. – Минск; БНТУ, 2021. – С. 119-122.

УДК 697.343

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ
ПРИМЕНЕНИЯ ПИ ТРУБ
PROCEDURE FOR CALCULATING THE ECONOMIC EFFECT FROM THE
APPLICATION OF PI PIPES

Е.В. Буча

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Bucha

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: ПИ трубы – это стальные трубы, покрытые сверху слоем пенополиуретановой изоляции (трубы в ППУ изоляции). Трубы в ППУ изоляции применяются с использованием современных технологий теплоизоляции и высококачественных материалов прошедших испытания, имеющих сертификаты соответствия. [2]

Abstract: PI pipes are steel pipes covered with a layer of polyurethane foam insulation on top (pipes in polyurethane foam insulation). Pipes in polyurethane foam insulation are used using modern technologies of thermal insulation and high quality materials that have passed tests with certificates of conformity.

Ключевые слова: ПИ трубы, экономия, топливо.

Key words: PI pipes, economy, fuel.

Введение

Мероприятие направлено на снижение расхода топлива в целом по энергосистеме за счет снижения тепловых потерь через изоляцию трубопроводов и с утечками теплоносителя, а также уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды, связанные с производством и транспортом тепловой энергии в связи с изменением потерь в тепловых сетях.

Основная часть

Экономия топлива на источнике от проведения данного мероприятия определяется снижением тепловых потерь через изоляцию трубопроводов и снижение потерь теплоты с утечками ($\Delta B_{тс}$), а также уменьшением расхода электроэнергии на собственные нужды, связанные с производством и транспортом тепловой энергии в связи с изменением потерь теплоты в тепловых сетях ($\Delta B_{сн}$) [3].

Суммарное изменение расхода топлива составит $\Delta B = \Delta B_{тс} + \Delta B_{сн}$.

Снижение потерь теплоты за счет реконструкции изоляции определяется [3]:

$$\Delta Q_{\text{из}} = \sum_{i=1}^m (q_{\text{из}}^{\text{сущ}} \cdot \beta_i^{\text{сущ}} \cdot L_i - q_{\text{из}}^{\text{рек}} \cdot \beta_i^{\text{рек}} \cdot L_i) \cdot 3,6 \cdot T_{\text{тс}} \cdot K_{\text{прокл}} \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (1)$$

где $q_{\text{из}}^{\text{сущ}}$ и $q_{\text{из}}^{\text{рек}}$ – удельный нормативный тепловой поток трубопровода теплосетей i -ого диаметра для реконструируемых трубопроводов (для трубопроводов с новой изоляцией) и для ранее существовавших, Вт/м;

$\beta_i^{\text{сущ}}$ и $\beta_i^{\text{рек}}$ – коэффициент местных тепловых потерь для реконструируемых трубопроводов (для трубопроводов с новой изоляцией) и для ранее существовавших;

L_i – протяженность изолированного теплопровода i -ого диаметра, м;

$T_{\text{тс}}$ – время работы тепловой сети с реконструируемой изоляцией, ч;

$K_{\text{прокл}}$ – поправка на фактическую температуру теплоносителя, окружающего воздуха и грунта на уровне залегания оси трубопровода. Определяется следующим образом:

$$K_{\text{прокл}} = \left(\frac{t_{\text{пс}}^{\phi} + t_{\text{ос}}^{\phi} - 2 \cdot \tau_{\text{гр}}^{\phi}}{t_{\text{пс}}^{\text{срг}} + t_{\text{ос}}^{\text{срг}} - 2 \cdot \tau_{\text{гр}}^{\text{срг}}} \right), \quad (2)$$

где $t_{\text{пс}}^{\phi}, t_{\text{ос}}^{\phi}, \tau_{\text{гр}}^{\phi}$ – фактические температуры теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе и грунта, °С;

$t_{\text{пс}}^{\text{срг}}, t_{\text{ос}}^{\text{срг}}, \tau_{\text{гр}}^{\text{срг}}$ – расчетная температура теплоносителя и температура грунта, °С.

Снижение потерь теплоты с утечками сетевой воды определяются по выражению [3]:

$$\Delta Q_{\text{ут}} = \Delta V_{\text{расч}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \gamma_{\text{ут}} \cdot (0,75 \cdot t_{\text{пс}} + 0,25 \cdot t_{\text{ос}} - t_{\text{исх}}) \cdot T_{\text{тс}} \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (3)$$

где $\Delta V_{\text{расч}}$ – изменение расчётного объема воды для рассматриваемого участка трубопровода за рассматриваемом периоде, м³/ч;

$C_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, кДж/кг·°С;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;

$\gamma_{\text{ут}}$ – норма часовой утечки теплоносителя в водяных тепловых сетях, %;

$t_{\text{пс}}, t_{\text{ос}}$ – средняя за расчётный период температура прямой и обратной сетевой воды, °С;

$t_{\text{исх}}$ – среднегодовая температура исходной воды, поступающей на водоподготовку, °С.

Изменение расчётного объема воды для рассматриваемого участка трубопровода определяется как:

$$\Delta V_{\text{расч}} = V_{\text{расч}}^{\text{ч.тр.}} - V_{\text{расч}}^{\text{ПИ-труба}}, \quad (4)$$

где: $V_{\text{расч}}^{\text{ч.тр.}}$ – расчетный объем воды в «черной» трубе;

$V_{\text{расч}}^{\text{ч.тр.}}$ – расчетный объем воды в ПИ- трубе.

$$V_{\text{расч}} = (1 + K_c) \cdot m \cdot V_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{тр}}$ – фактический объём воды в трубопроводе, м³;

K_c – коэффициент, учитывающий старение;

m – коэффициент, учитывающий насыщенность арматурой участка теплосети, условия обслуживания и возможность обнаружения утечки.

Экономия топлива на источнике от снижения потерь в тепловых сетях:

$$\Delta B_{\text{тс}} = 0,2388 \cdot \Delta Q \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т./год}, \quad (6)$$

где $b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии на ГТЭЦ за расчётный период, кг/Гкал;

ΔQ – суммарное снижение тепловых потерь через изоляцию и с утечкой теплоносителя, ГДж.

Снижение расхода электроэнергии на собственные нужды, связанные с производством и транспортировкой тепловой энергии, составит [3]:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{сн}} = 0,2388 \cdot \Delta Q \cdot \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{тэ}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}, \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{тэ}}$ – удельный расход электроэнергии на отпуск и транспорт 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал.

Экономия топлива при этом составит [3]:

$$\Delta B_{\text{сн}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{сн}} \cdot b_{\text{ээ}} \cdot (1 + k_{\text{пот}}) \cdot 10^{-6} \text{ т у.т./год}, \quad (8)$$

где $b_{\text{ээ}} = 287,1$ г у.т./кВт·ч – удельный расход топлива на выработку электроэнергии, г у.т./кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях, 0,0769 отн.ед.

Заключение

Применение ПИ-труб является рациональным решением проблемы, связанной с наличием больших тепловых потерь при транспортировке тепловой энергии.

Литература

1. Экономическая эффективность применения ПИ-труб [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/49517/ENkonomicheskaya_ehffektivnost_primeneniya_PI-trub.pdf?sequence=1&isAllowed=y. – Дата доступа: 17.09.2021
2. Оценка эффективности использования ПИ-труб [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/63216/502-503.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. – Дата доступа: 17.09.2021
3. Расчёт экономического эффекта от внедрения энергосберегающих мероприятий гродненских тепловых сетей. – ОАО “Гродноэнерго” 2020.

УДК 621.311.22

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ
ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ АП-12-35 НА ЛЕТНИХ И
ЗИМНИХ РЕЖИМАХ****OPTIMIZATION OF FEED WATER TEMPERATURE OF HEATING
TURBO UNIT AP-12-35 IN SUMMER AND WINTER MODES**

А.И. Побережнюк, Д.О. Черненко, И.В. Шатило
Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Paberazhniuk, D. Chernenko, I. Shatilo

Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Цель статьи – разобрать реконструкцию турбоустановки АП-12-35 МТЭЦ-2 после перевода её на ухудшенный вакуум. В статье будет предоставлен вариант изменения схемы перегрева питательной воды в разных режимах работы, а конкретнее в летнем и зимнем.

Abstract: The purpose of the article is to disassemble the reconstruction of the turbine unit AP-12-35 MCHP-2 after its transfer to a deteriorated vacuum. The article will provide an option for changing the nutritious water-overheating scheme in different operating modes (summer and winter operating modes).

Ключевые слова: АП-12-35, минская теплоэлектроцентраль, питательная вода, экономия топлива, турбоустановки, оптимизация температуры, летний и зимний режимы работы.

Keywords: AP-12-35, Minsk combined heat and power plant, nutritious water, fuel economy, turbine, temperature optimization, summer and winter operating modes.

Введение

При рассмотрении устройства тепло-электро централи сложно недооценить важность турбоустановки, которая непосредственно влияет на работу всей системы.

Основная часть

Реконструкция турбоустановки АП-12-35 МТЭЦ-2 (здесь и далее минская теплоэлектроцентраль) путем перевода ее на ухудшенный вакуум потребовала пересмотра ее схемы подогрева питательной воды. Вопрос должен рассматриваться для летних и зимних режимов работы самостоятельно. Оптимальная температура питательной воды для такой машины находится в пределах 157.5...205.0 °С. Такой большой диапазон изменения $t_{пв}^{опт}$ обусловлен спецификой работы ТПТУ: прежде всего значительным диапазоном изменения противодавления. Для этого необходимо разделение режимов работы на летние и зимние. Зимние режимы, кроме того, отличаются для данной ТПТУ большой продолжительностью работы пиковых водогрейных котлов.

Отключение ПВД летом может приводить к ощутимому пережогу топлива. Кроме того, важным представляется обеспечение расчетного температурного

напора в ПВД. На графике показаны режимы с температурным напором в ПВД 5 °С (пунктир), на практике же он составлял 30 °С(сплошная).

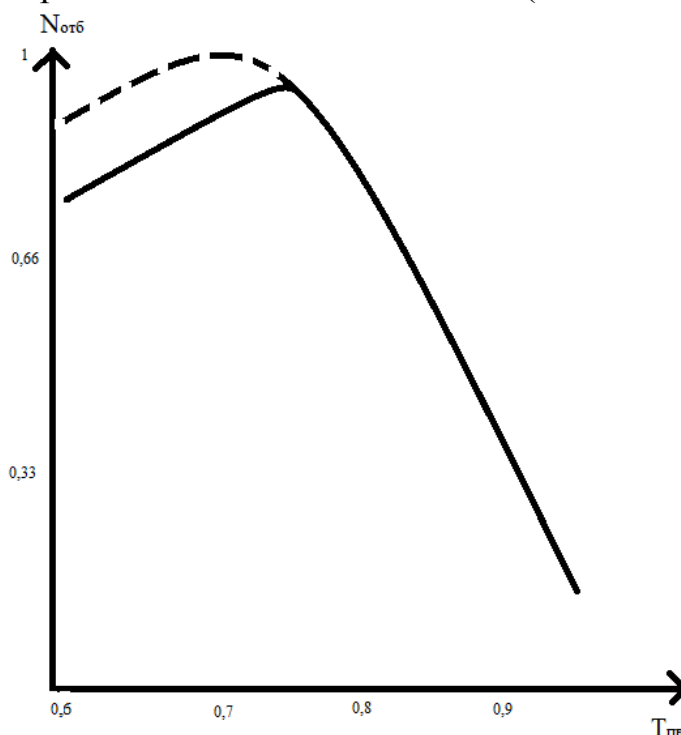


Рисунок 1 – Теоретическая и практическая линии режимов работ в ПВД

Зимние режимы ТПТУ МТЭЦ-2 отличаются работой пиковых водогрейных котлов. И, в отличие от летних, на них отключение ПВД не требует разгрузки турбины по свежему пару, наоборот, пар отключенного ПВД продолжая совершать работу в турбине увеличивает выработку электроэнергии на тепловом потреблении. Это обеспечит экономию топлива турбоустановкой в размере ΔB_N , попутно увеличение отпуска теплоты турбоустановкой приведёт к соответствующей разгрузке ПВК и, через это, снизит расход потребляемого ими топлива в объеме $\Delta B_{ПВК}$. Поступление в энергетический котёл питательной воды с меньшей температурой приведёт к форсировке топливом в объеме $\Delta B_{КА}$. Условием выбора режима будет:

$$\sum \Delta B = \Delta B_N + \Delta B_{ПВК} - \Delta B_{КА} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $\sum \Delta B$ – результирующее изменение расхода топлива на ТЭЦ.

Продолжительность режима с включенным ПВК на МТЭЦ-2 составляет 5000 ч/год. Экономия топлива от отключения ПВД при этом составляет около 2300 т.у.т./год. Работа ТЭЦ на газе упрощает обеспечение надежности работы воздухоподогревателей котлов по условиям из низкотемпературной коррозии. Попутно повышается КПД котлоагрегатов ТЭЦ.

Турбоустановки Минской ТЭЦ-2 работают с ухудшенным вакуумом в их конденсаторах. Это повышает актуальность выбора оптимальной температуры питательной воды, зависящей от режима работы ТПТУ. При отпуске теплоты только из отборов и противодавления турбоустановок МТЭЦ-2 оптимальная температура питательной воды может быть обеспечена только при включенных ПВД. Отключение ПВД на летних режимах приводит к пережогу топлива турбоустановкой АП-12-35 в объеме 270 т у.т./год. С ростом отпуска теплоты эта

цифра возрастает. Численное значение $t_{пв}^{опт}$ на летних режимах зависит от соотношения потоков пара в противодавление и в производственный отбор, с ростом расхода последнего возрастает и оптимальная температура питательной воды. При отпуске теплоты турбоустановками и ПВК отключение ПВД всегда обеспечивает экономию топлива для МТЭЦ-2 в объеме около 2300 т у.т./год. Полученные выводы носят общий характер и могут быть распространены на другие турбоустановки такого же класса. Экономические результаты от реализации рекомендаций по оптимизации температуры питательной воды ТПТУ должны уточняться в каждом случае отдельно.

Заключение

На основе этого можно сделать вывод, что для целесообразного расходования топлива и оптимизации работы тепло-электро централи необходимо рассматривать разные режимы работы для летних и зимних периодов. Необходимо учитывать все особенности каждого режима, для получения максимального эффекта и не допуска пережигания топлива.

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их перевооружения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.
2. Леонков А.М., Балабанович В.К. Исследование части низкого давления теплофикационных турбин на режимах с минимальными пропусками пара конденсата// Известия вузов СССР. Энергетика. – 1982. – С.8-12.
3. Неуймин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкопотенциальной части теплофикационного оборудования. Автореф.дисс.к.т.н., Мн.,1995г., с.20.
4. Качан А.Д. Разработка методов анализа показателей топливоиспользования, оптимизация режимов и технологических схем ТЭЦ с целью повышения их системной эффективности. Автореф. Диссер. д.т.н., М.,1992 г., с.40.

УДК 621.44

**ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА
ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА
ЗНАЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ
THE INFLUENCE OF THE OPERATING PARAMETERS OF THE CYCLE
OF HEATING STEAM TURBINE PLANTS ON THE VALUES OF THE
OPTIMAL TEMPERATURE OF FEED WATER**

К.О. Клименков, Д.В. Глинкин

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

К. Klimentov, D. Glinkin

Supervisor – Z. Aidarova, Senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Влияние цикла теплофикационной установки.*Abstract:* Influence of the heating plant cycle.*Ключевые слова:* теплофикационная паротурбинная установка, питательная вода, отбор пара, относительная энтальпия, теплосодержание конденсата.*Keywords:* heating steam turbine plant, feed water, steam selection, relative enthalpy, heat content of condensate.**Введение**

Для анализа влияния режимных параметров цикла теплофикационных паротурбинных установок с теплофикационным противодавлением, одним регенеративным и одним регулируемым отбором пара на значения оптимальной температуры питательной воды рассмотрим её принципиальную схему (рисунок 1).

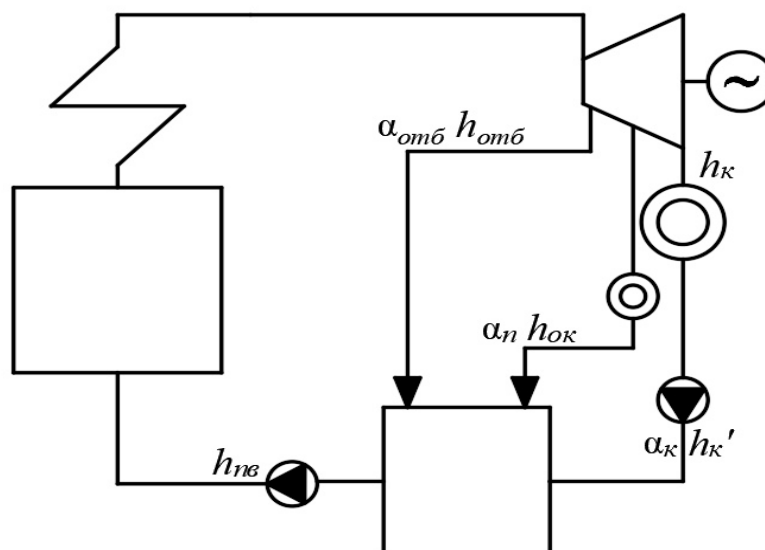


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплофикационной паротурбинной установки с теплофикационным противодавлением, одним регенеративным и одним регулируемым отбором пара

Основная часть

Выражение для расчёта оптимальной температуры питательной воды такой ТПТУ.

$$h_{пв}^{опт} = \sqrt{(h_0 - h'_к \cdot (q_\Gamma + \alpha_\Pi \cdot (h_{ок} - h'_к))) - (q_\Gamma - h'_к)} \quad (1)$$

Где $q_\Gamma = h_{отб} - h'_{отб}$ - теплота конденсации пара отбора;

α_Π - относительная величина регулируемого отбора пара;

$h_к$ - теплосодержание конденсата, возвращаемого в схему конденсатного тракта от потребителя.

Анализ полученного выражения (1) показывает, что значение $t_{пв}^{опт}$ для ТПТУ сложного цикла является многофакторной величиной и в каждом конкретном случае её оптимизация потребует введения определённых граничных условий. Например, при постоянных начальных и конечных параметрах цикла

$$h_{пв}^{опт} = f(\alpha_\Pi, h_{ок}) \quad (2)$$

В такой постановке решается задача для рассматриваемого цикла ТПТУ (рисунок 2).

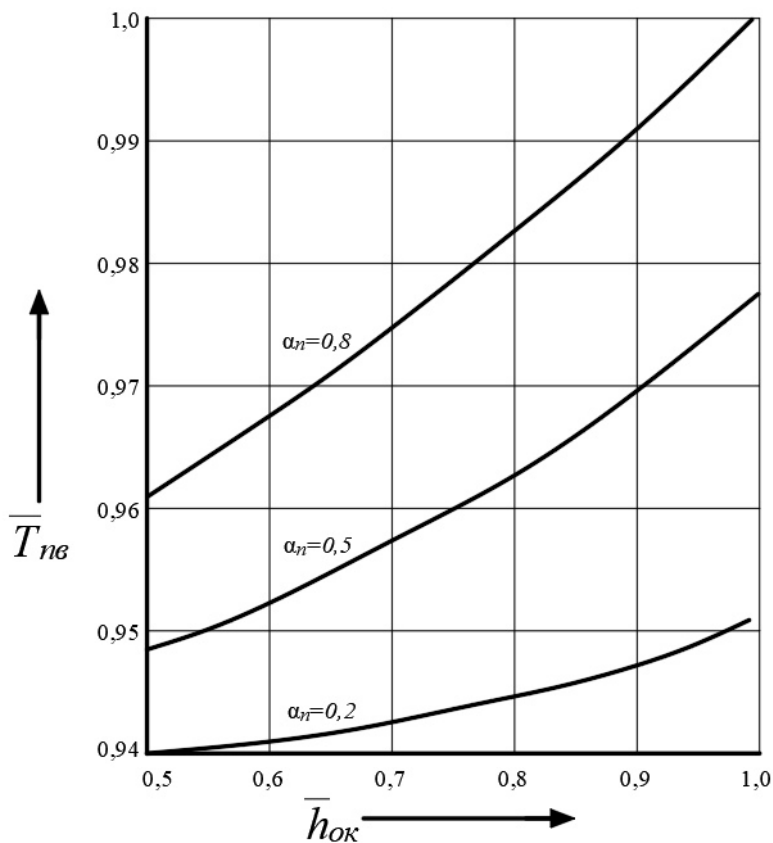


Рисунок 2 - Зависимость относительной оптимальной температуры питательной воды от относительной энтальпии обратного конденсата регулируемого отбора при различных значениях относительной величины расхода в отбор

Заключение

Анализ результатов оптимизации $t_{пв}^{опт}$, приведенных на рис. 2, позволяет заключить, что оптимальная температура питательной воды увеличивается с ростом α_Π и $h_{ок}$. Отклонение $h_{пв}^{опт}$ может достигать 5...6% в возможном

диапазоне изменения анализируемых параметров. Таким образом, учёт влияния параметров пара регулируемого отбора при оптимизации $t_{пв}$ является обязательным и может быть выполнен с помощью уравнения (1) для ТПТУ (см. рис. 1). Более сложные ТПТУ, очевидно, потребуют учёта влияния на $h_{пв}^{опт}$ всех основных режимных факторов.

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их техперевооружения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.
2. Качан А.Д. Разработка методов анализа показателей топливоиспользования, оптимизация режимов и технологических схем ТЭЦ с целью повышения их системной эффективности. Автореф. Диссер. д.т.н., М., 1992 г., с.40.
3. Неуймин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкопотенциальной части теплофикационного оборудования. Автореф.дисс.к.т.н., Мн., 1995г., с.20.

УДК 621.311.24

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN BELARUS

П.А. Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Brilev

Supervisor – T.Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Развитие ветроэнергетики в Беларуси.

Abstrakt: Development of wind power in Belarus

Ключевые слова: ВЭУ- ветроэнергетические установки, ветроэнергетика

Key words: WPP - wind power plants, wind power

Введение

За последние несколько десятилетий мы стали свидетелями появления в обществе большого количества изобретений, направленных на улучшение нашей жизни. Эти изобретения используют новые и инновационные идеи и конструкции для использования энергии. Изобретения, которые развиваются вокруг использования ветра, были в обращении в течение ряда лет, но только недавние события, вызванные нашим любопытством к альтернативным источникам энергии, позволили нам заметить истинный потенциал ветра как истинного источника энергии.

Строительство крупномасштабных ветроэлектростанций позволило нам в полной мере воспользоваться преимуществами использования ветра и превратить его в эффективный и полезный источник энергии.

Основная часть

Альтернативная энергетика активно развивается, уже на 2021 год в Беларуси выработка электроэнергии в год с помощью ВЭУ составила 708,63 кВт*ч/год [2] (рисунок 1). На 2020 год этот показатель составил всего 406,12 тыс. кВт*ч/год [1] (рисунок 2).

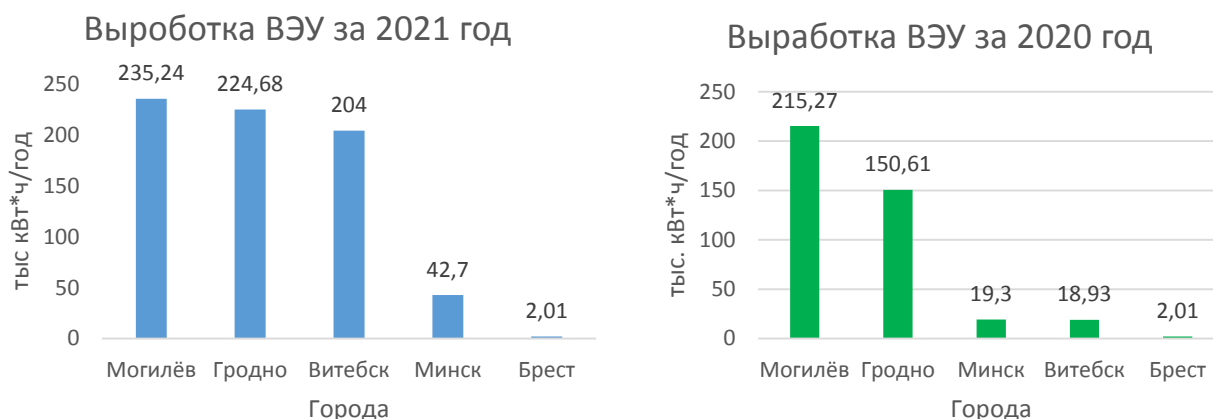


Рисунок 1 – Выработка ВЭУ за 2020-2021 года в Беларуси

Соответственно выработка электроэнергии выросла на 302,41 КВт*ч/год всего за год, это самый стремительный рост показателя за год с момента появления ветроэнергетики в Беларуси.

Количество ветроустановок в Беларуси также возросло. На 2021 год их количество составляет 124 [2]. В то время как в 2020 году их количество составляло 108[1]. Количество и распределение их по областям на 2021 год (рисунок 3), на 2020 год (рисунок 4).

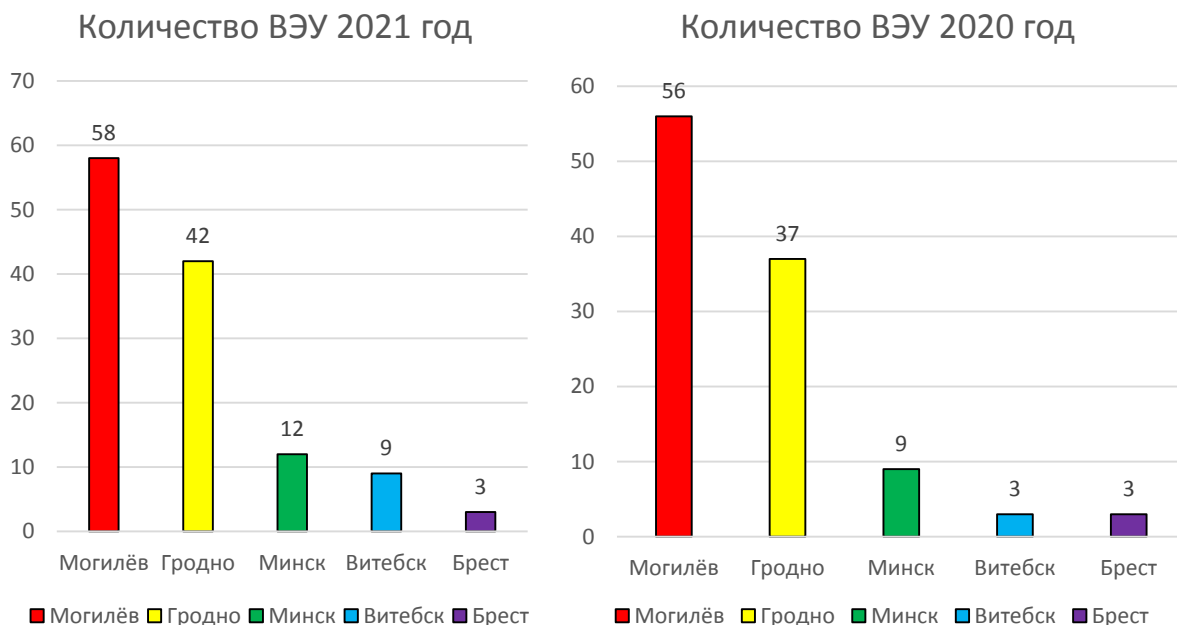


Рисунок 2 – Количество ВЭУ в Беларуси на 2021 год [2]

Суммарная электрическая мощность ветроустановок по Беларуси на 2021 год составляет 217,87 МВт [2], в то время как на 2020 год этот показатель достигал лишь 120.31 МВт [1]. Данные о суммарной электрической мощности по областям представлены на рисунке 5 (2021) и на рисунке 6 (2020).

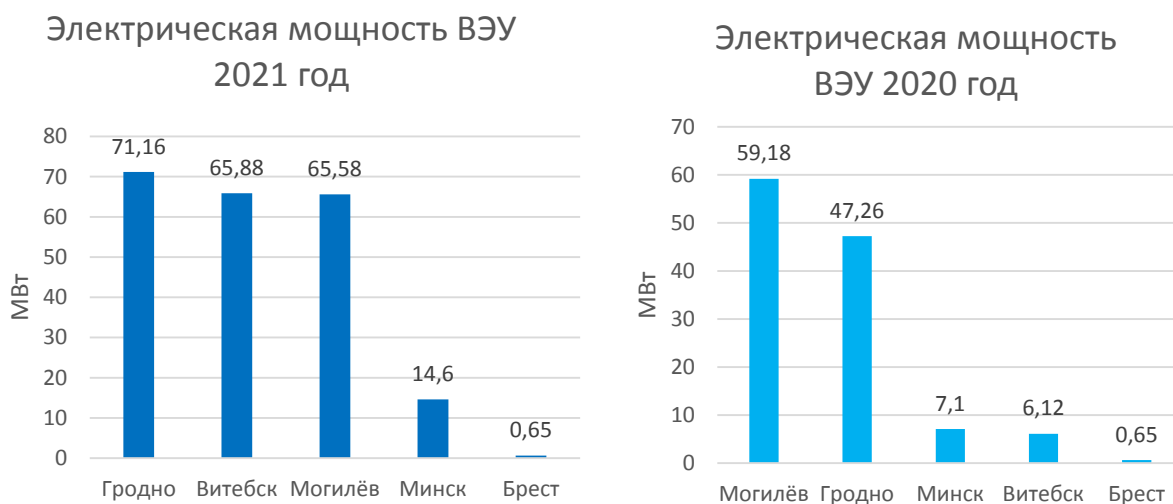


Рисунок 3 – Суммарная электрическая мощность ВЭУ по областям на 2021 год

Заключение

Анализируя всё выше сказанное можем прийти к выводу, что ветроэнергетика развивается с каждым годом всё быстрее и это не может не

радовать, ведь ветроэнергетика является экологичным, чистым, а самое главное возобновляемым ресурсом.

Литература

1. П.А. Брилёв Анализ развития ветроэнергетики в Беларуси . [Электронный ресурс]/ П. А; Брилёв, науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики : материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. Секция 5: Промышленная теплоэнергетика. – Минск: БНТУ, 2021
2. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <http://195.50.7.239/Charts> – Дата доступа: 19.04.2021.
3. Конструкция и эксплуатация малогабаритных ветросиловых установок: Учебно-методическое пособие для энергетических специальностей ВУЗа / сост. Т.А. Петровская, И.Н. Прокопеня, П.А. Брилёв, Ю.С. Зеленина – Минск: БНТУ, 2021. -104 с

УДК 621.44

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СХЕМ
РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ЕЁ
ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ****THEORETICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE
REGENERATIVE HEATING SCHEME OF FEED WATER ON ITS
OPTIMAL VALUES**

Д.В. Глинкин

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Glinkin

Supervisor – Z. Aidarova, Senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Влияние регенеративного подогрева питательной воды на её оптимальные значения.

Abstract: The effect of regenerative heating of feed water on its optimal values.

Ключевые слова: теплофикационная паротурбинная установка, питательная вода, котлоагрегат, температурный напор, регенеративный подогреватель.

Keywords: heating steam turbine unit, feed water, boiler unit, temperature pressure, regenerative heater.

Введение

Эксплуатационные оптимальные значения температуры питательной воды теплофикационной паротурбинной установки (ТПТУ) дополнительно требуют уточнения влияния изменения экономичности котлоагрегата, работы сжатия в питательном насосе, температурных напоров в подогревателях и ряда других режимных характеристик.

Основная часть

Вопросом связанным с регенеративным подогревом питательной воды в ТПТУ на протяжении всего периода их развития уделялось большое внимание. Тем не менее, здесь имеются значительные резервы повышения тепловой экономичности ТПТУ. Температура $t_{пв}^{отп}$ в значительной степени определяется основными потоками пара в ней: в регулируемые отборы, в противодавление и конденсатор. Переменные режимы работы характерны для современных ТПТУ и их влияние на $t_{пв}^{отп}$ изучено недостаточно. В этой связи представляется важным учёт влияния на $t_{пв}^{отп}$ таких факторов как распределение подогрева питательной воды по ступеням, взаимная увязка «внешней» и «внутренней» регенерации и ряд других факторов. Разработка модели учёта таких факторов на $t_{пв}^{отп}$ приводится ниже. Рассмотрим тепловую схему простейшей противодавленческой ТПТУ состоящую из двух регенеративных подогревателей (рис.1).

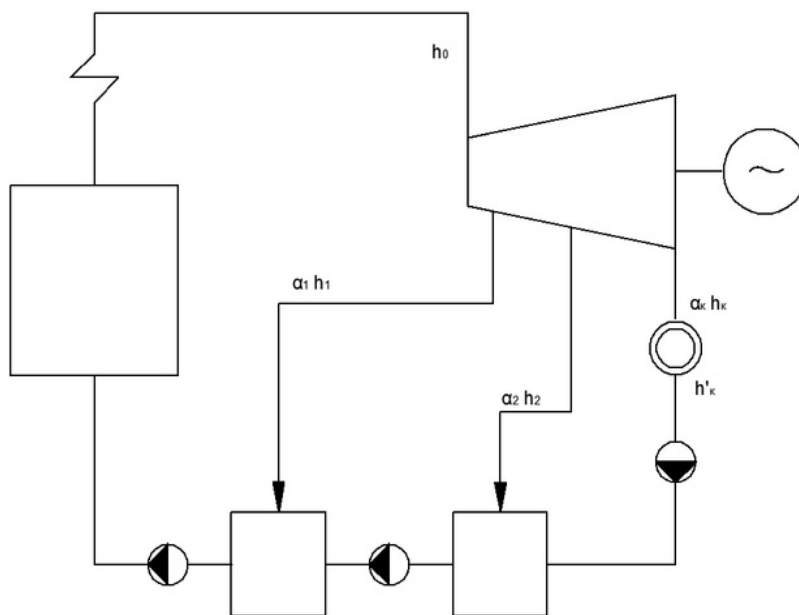


Рисунок 1 - Принципиальная тепловая схема ТПУ с двухступенчатым регенеративным подогревом питательной воды

Для такой установки удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении может быть определена из выражения:

$$W_{\text{э}} = \frac{\alpha_1 \cdot (h_0 - h_1) + \alpha_2 \cdot (h_0 - h_2) + \alpha_{\text{к}} \cdot (h_0 - h_{\text{к}})}{\alpha_{\text{к}} \cdot (h_{\text{к}} - h'_{\text{к}})}, \quad (1)$$

где: $h_0, h_1, h_2, h_{\text{к}}$ – соответственно, теплосодержание пара перед турбиной, в первом и втором регенеративных отборах и за турбиной;

α_1, α_2 и $\alpha_{\text{к}}$ – доли регенеративных отборов пара в регенеративные отборы и противодавление.

Доли отборов можно определить из уравнения материального и теплового балансов регенеративных подогревателей:

$$\alpha_1 = \frac{\tau_1}{\tau_1 + q_{r1}}, \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{\tau_2}{\tau_2 + q_{r2}} * \frac{q_{r1}}{\tau_1 + q_{r1}}, \quad (3)$$

где: $\tau_1 = h_{\text{п1}} - h_{\text{п2}}, \tau_2 = h_{\text{п2}} - h'_{\text{к}}$ - нагрев воды в регенеративных подогревателях; $h_{\text{п1}}$ и $h_{\text{п2}}$ - соответственно, температура питательной воды за подогревателями;

q_{r1} и q_{r2} - удельная на 1 кг пара теплота конденсации пара в подогревателях.

Задача по определению $t_{\text{пв}}^{\text{отп}}$ решается из закона распределения подогрева питательной воды по ступеням.

Для любого числа смешивающих подогревателей в тепловой схему ТПУ (рис.2) и простейшем равномерном законе распределения подогрева по ступеням подогрев в одной ступени определится как:

$$\tau_z = z + \sqrt[1]{(h_0 - h_{\text{к}}) * q_r^z} - q_r, \quad (4)$$

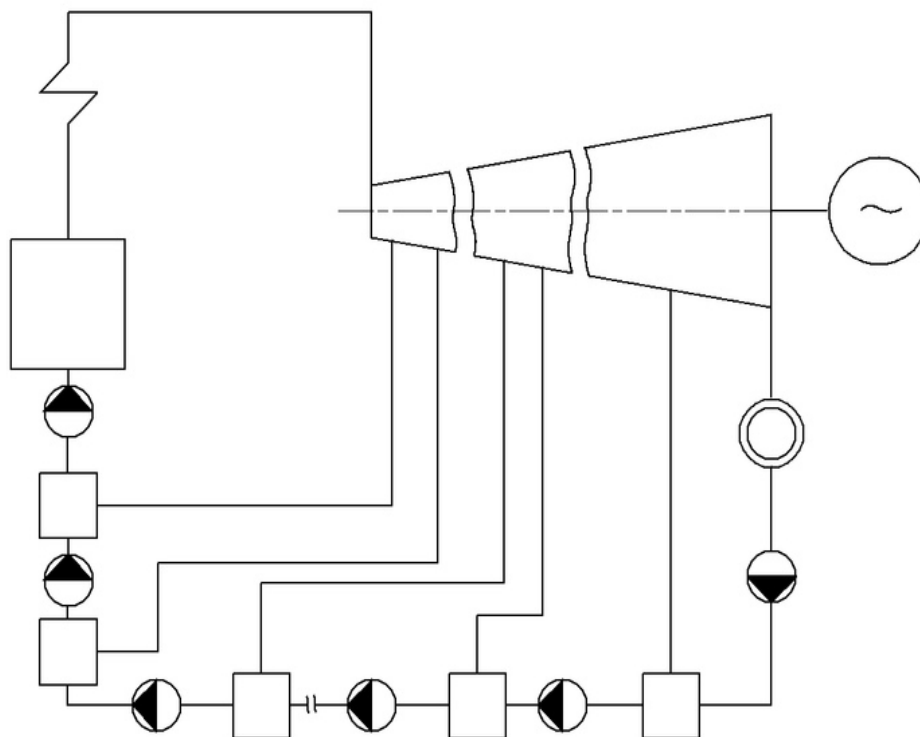


Рисунок 2 – Принципиальная тепловая схема турбоустановки с противодавлением и любым числом регенеративных отборов

Тогда теплосодержание (температура) питательной воды:

$$h_{пв} = h'_к + z * \tau_z, \quad (5)$$

При наличии регулируемых отборов обычно применяют принцип горизонтального расщепления цикла ТПТУ. В соответствии с принятым равномерным подогревом питательной воды при наличии одного регулируемого отбора оптимальное значение теплосодержания (температуры) питательной воды может быть определено как:

$$h_{пв} = h_{п} + m * (m + \sqrt[1]{(h_0 - h_{п}) * [q_r + \alpha_{п} * (h_{ок} - h_{п})]} - q_r), \quad (6)$$

где m - число ступеней регенерации после верхнего регулируемого отбора;

$h_{п}$ и $h_{ок}$ - теплосодержание пара регулируемого отбора и его конденсата;

$\alpha_{п}$ - доля пара регулируемого отбора.

Заключение

Анализ выражения (6) показывает, что $t_{пв}$ зависит не только от параметров пара перед турбиной и в регулируемом отборе, но и от доли пара в него. Это позволяет сделать важный вывод о том, что при $\alpha_{п} = var$; $t_{пв} = var$, а это означает что теплофикационная паротурбинная установка должна быть снабжена мобильной системой регенеративного подогрева питательной воды с возможностью включения (отключения) одного или нескольких верхних регенеративных подогревателей. Этот вывод будет подтвержден дополнительными исследованиями в последующем разделе данной главы применительно к натурным теплофикационным паротурбинным установкам и с учетом режимов их работы.

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их техпереворужения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.
2. Леонков А.М., Балабанович В.К. Исследование части низкого давления теплофикационных турбин на режимах с минимальными пропусками пара конденсата// Известия вузов СССР. Энергетика. 1982. – С.8-12.
3. Неуймин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкочастотной части теплофикационного оборудования. Автореф. дисс. к.т.н., Мн., 1995г., с.20.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

И.В. Кулинич, Е.А. Шетик

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИКОВОГО ДЕТЕКТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ АМПЛИТУДЫ ТОКА В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент

ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ

Д.А. Ботян, В.П. Коледюк

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент,

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Н.В. Ткач, Н.Г. Якубчик

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент,

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

И.В. Волков, И.В. Приставко

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.К. Киреев, И.Н. Нагорный

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Д.И. Лешок, С.С. Монахов

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

С.А. Буцанец, Г.А. Герасимович
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

**ПОТЕРИ ПРИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ СЕРДЕЧНИКА
ТРАНСФОРМАТОРА**

А.В. Кононов
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

К.Е. Благодаров, Д.Г. Закудовская
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

РАЗНОВИДНОСТИ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

А.В. Виршич, Н.Ф. Жихович
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В АВТОМОБИЛЯХ

В.Ч. Король
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКА

В.П. Шевченко, Т.С. Якубович
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА И СПОСОБЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ

В.А. Кирикович, О.В. Лебедева
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

БИОЭЛЕКТРОНИКА. ДОСТИЖЕНИЯ И БУДУЩЕЕ НАУКИ

В.А. Бондаренко
Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

**ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ РИСКАМИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Д.Д. Боголюбский
Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

**МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ
ЭНЕРГЕТИКИ**

А.О. Боровикова, Д.В. Редько
Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ
ЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

И.А. Шкадрович
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ТИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

К.А. Ганусевич

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ТЕПЛОВАЯ ЗАВЕСА

Н.В. Храновская, М.Г. Шинкарева

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

П.А. Герасимович

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ТРАНСПОРТУ

Н.В. Лякин, А.В. Воробей

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ТИРИСТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ю.В. Баран, Д.И. Сивак

Научный руководитель – Жуковская Т.Е., старший преподаватель

МЕРОПРИЯТИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА БАЗЕ ОПЫТНОГО ЗАВОДА БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»

С.А. Долгий

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская старший преподаватель

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В.А. Желтко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Д. Н. Ильютчик

Научный руководитель – В. В. Зеленко, старший преподаватель

ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

П.Ю. Гвоздь

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель

СКВАЖИННЫЙ ВОДЯНОЙ ДВИГАТЕЛЬ

П.П. Денисенко, М.С. Акулич

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель

ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ. ИХ УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

А.О. Говака, К.Н. Зыгмантович

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖАЛА ПАЯЛЬНИКА

И.В. Горнак, Е.С. Хаткевич

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

КРУПНЕЙШИЕ ГЭС В МИРЕ

Е.Н. Стремоус, В.А. Анисимов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ. МИНИ-ТЭЦ. ПРИНЦИП РАБОТЫ

В.Ю. Яковец, П.А. Белькович

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

С.В. Казловский, Г.Ю. Куликов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Е.А. Лызикова, С.М. Зарецкий, В.Е. Филиченок

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

А.С. Щигельский, Н.А. Федоренко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Т.А. Сиваков, А.В. Чешун

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЦЕССОРОВ

И.В. Василевский, Д.С. Савич

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

К.Н. Кубраков, С.В. Войтова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

ПЕРЕКОС ФАЗ

Е.А. Сырица, В.С. Матерн

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОГИ

А.Г. Мирчук, В.С. Зуськов

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

3D-ПРИНТЕРЫ

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

РЕКУПЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

М.А. Заруба, М.В. Рынкевич

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

LCD- И OLED-ТЕЛЕВИЗОРЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

А.Ю. Апанасевич, В.А. Вирко

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

М.В. Лесь, В.М. Терехович

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

УДК 621.355.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
VOLTAGE AMPLITUDE METER SIMULATION
IN THE ELECTRONIC LABORATORY

И.В. Кулинич, Е.А. Шетик

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Kulinich, E. Shetik

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Рассмотрена модель простейшего измерителя амплитуды синусоидального напряжения на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории Electronics Workbench. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения. Идеальный вольтметр не вносит погрешности в измерении амплитудного значения. Погрешность появляется при измерении невысоких напряжений и связана с падением напряжения на диоде. Показана работоспособность измерителя при разных значениях напряжения и разных частотах.

Abstract: A model of the simplest sinusoidal voltage amplitude meter on a diode and a capacitor in the Electronics Workbench is considered. The capacitor is charged to the amplitude value in the absence of a load. An ideal voltmeter does not introduce errors in the measurement of the amplitude value. The error appears when measuring low voltages and is associated with a voltage on the diode. The performance of the meter is shown at different voltage values and different frequencies.

Ключевые слова: диод, конденсатор, преобразователь, вольтметр, частота, осциллограф.

Keywords: diode, capacitor, converter, voltmeter, frequency, oscilloscope.

Введение

Моделирование измерителя амплитуды напряжения выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1, 2].

Рассматривается простейший измеритель амплитуды на диоде и конденсаторе [3 – 5]. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения [6, 7]. В работе стоит задача показать работоспособность измерителя при разных значениях напряжения синусоидального сигнала и разных частотах.

Основная часть

Амплитуду синусоидального сигнала можно получить умножением действующего значения на $\sqrt{2}$. В электронной лаборатории имеется преобразователь Voltage-Controlled Voltage Source (рисунок 1). Выставив коэффициент умножителя 1,414, получим показание вольтметра в режиме AC, равное амплитудному значению измеряемого напряжения. Однако использовать это значение для дальнейшей работы невозможно, так напряжение на выходе

меняется во времени так же, как и измеряемое напряжение. Не подходит этот способ и для определения максимальных значений несинусоидального напряжения.

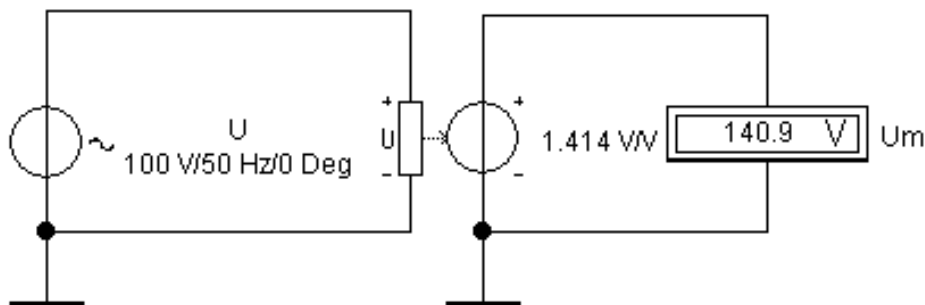


Рисунок 1 – Измерение амплитуды напряжения с помощью преобразователя Voltage-Controlled Voltage Source

Поэтому в работе принят простейший измеритель амплитуды на диоде и конденсаторе (рисунок 2). Диод принят по умолчанию идеальный, конденсатор емкостью 1 мкФ, вольтметр в режиме DC сопротивлением 100000 МОм. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения (рисунок 3). Для подтверждения корректности измерения включен осциллограф, показывающий измеряемое напряжение и его амплитудное значение.

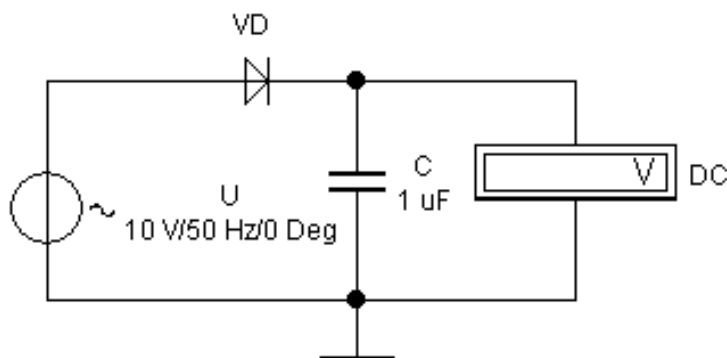


Рисунок 2 – Измерение амплитуды напряжения с помощью диода и конденсатора

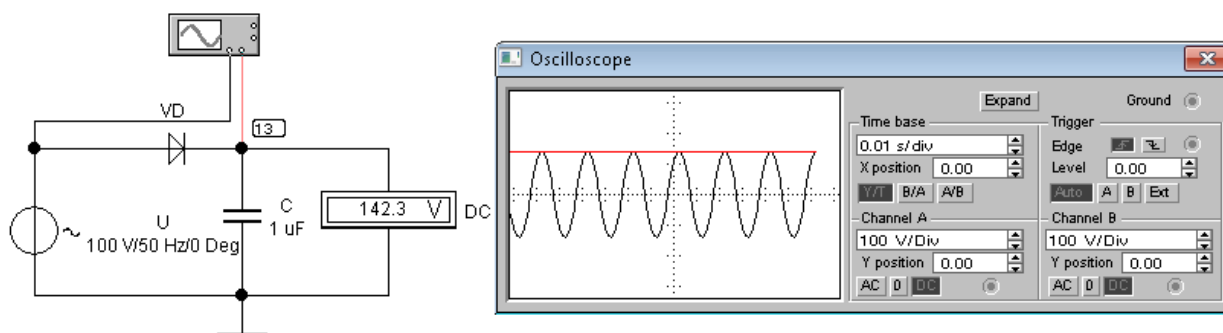


Рисунок 3 – Измерение амплитуды напряжения с подтверждением работоспособности с помощью осциллографа

Предложенный метод дает погрешность измерения до 3% при малых напряжениях (рисунок 4) из-за падения напряжения на диоде и менее 0,6% при напряжениях более 40 В (рисунок 5).

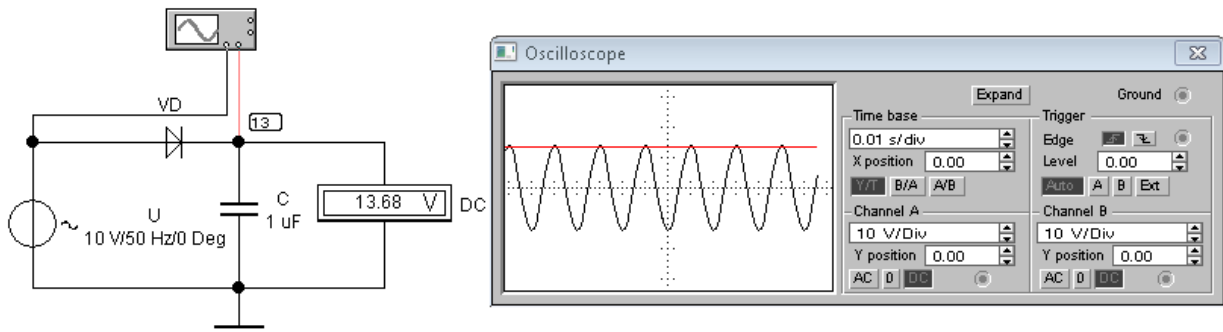


Рисунок 4 – Измерение амплитуды напряжения синусоидального источника 10 В

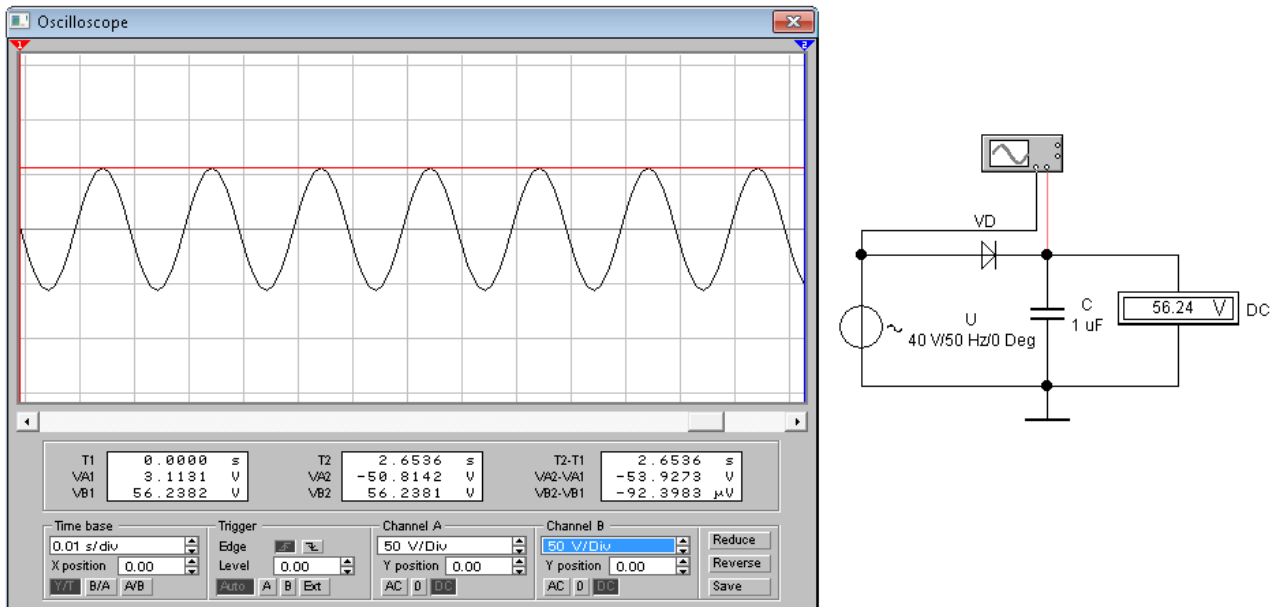


Рисунок 5 – Измерение амплитуды напряжения синусоидального источника 40 В

Для использования измерителя амплитуды в более сложных схемах сам измеритель помещен в подцепь Amplitud (рисунок 6).

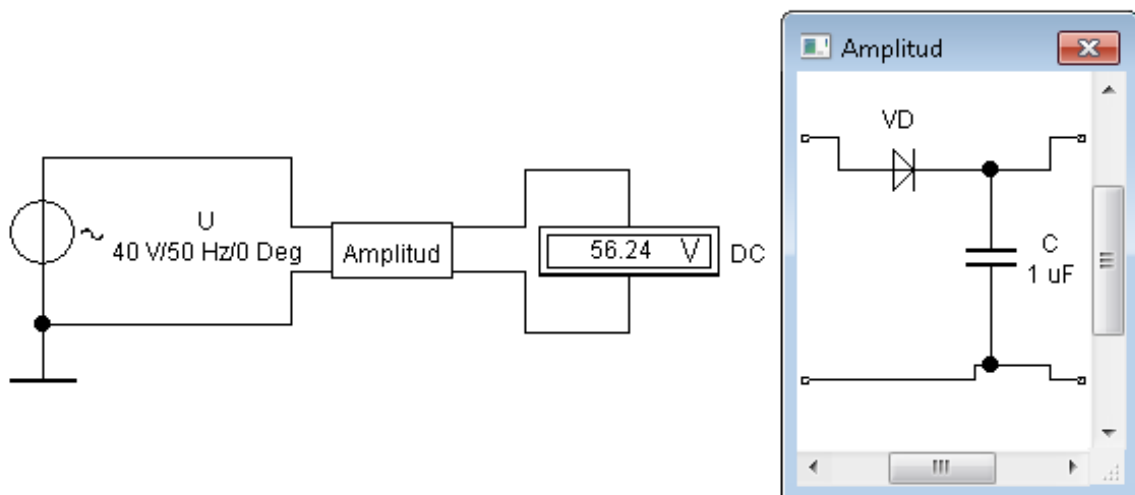


Рисунок 6 – Измеритель амплитуды напряжения – подцепь Amplitud

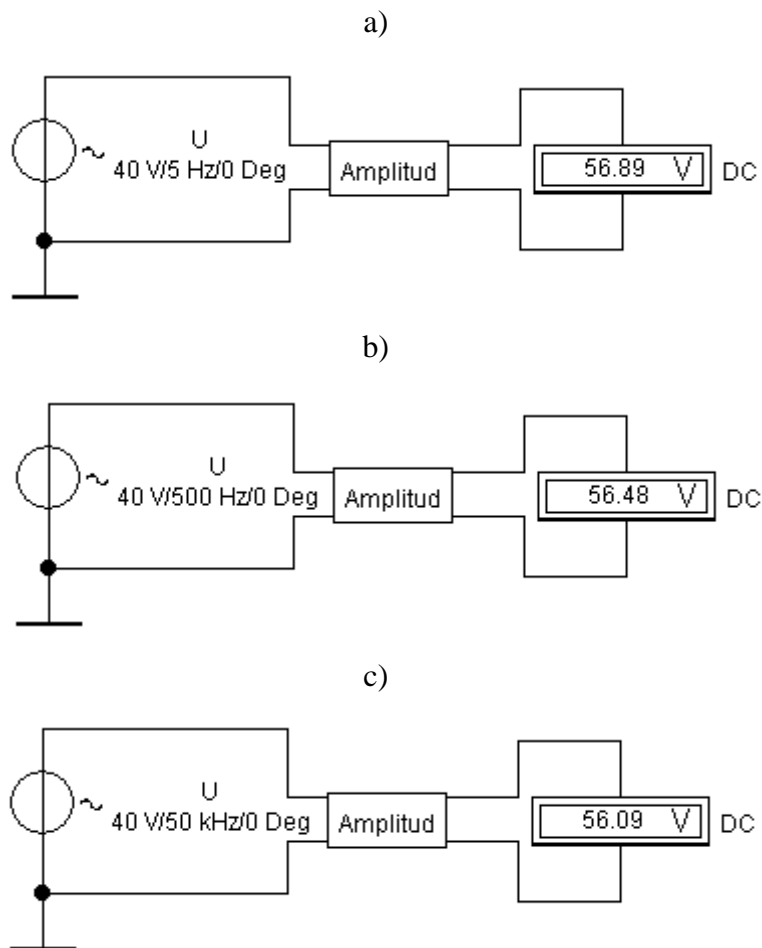


Рисунок 7 – Измеритель амплитуды напряжения при разных частотах:
a - 5 Гц, b – 500 Гц, c – 50 кГц

Как видно из рисунков 6, 7 частота сигнала незначительно влияет на точность измерения амплитуды сигнала.

Заключение

Рассмотрена модель простейшего измерителя амплитуды синусоидального напряжения на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения. Идеальный вольтметр с высоким внутренним сопротивлением не вносит погрешности в измерении амплитудного значения. Погрешность появляется при измерении невысоких напряжений и связана с падением напряжения на диоде. Показана работоспособность измерителя при разных значениях напряжения и разных частотах.

Литература

1. Бладыко, Ю. В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с.
2. Доброго, К. В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К. В. Доброго, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 381-392.

3. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории. В 3 ч. Ч. 1: учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника» / Ю. В. Бладыко. – Минск: БНТУ, 2015. – 74 с.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИКОВОГО ДЕТЕКТОРА НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
MODELING A PEAK VOLTAGE DETECTOR
IN THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Рассмотрена модель простейшего пикового детектора напряжения на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории Electronics Workbench. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до максимального значения. Детектор легко перестраивается для определения минимальных напряжений и годен для любых форм напряжений. Показано ограничение применения активного пикового детектора. Показана работоспособность измерителя при разных значениях напряжения и разных начальных фазах гармоник.

Abstract: A model of the simplest peak voltage detector on a diode and a capacitor in the Electronics Workbench is considered. The capacitor is charged to the maximum value in the absence of load. The detector is easily reconfigured to detect minimum voltages and is suitable for all voltage waveforms. The limitation of the use of the active peak detector is shown. The performance of the meter is shown at different voltage values and different initial phases of harmonics.

Ключевые слова: диод, конденсатор, преобразователь, вольтметр, частота, осциллограф.

Keywords: diode, capacitor, converter, voltmeter, frequency, oscilloscope.

Введение

Моделирование пикового детектора напряжения выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1-5].

Рассматривается простейший пиковый детектор на диоде и конденсаторе, который при отсутствии нагрузки заряжается до максимального значения [6, 7]. В работе стоит задача показать работоспособность детектора при разных значениях напряжения несинусоидального сигнала и разных начальных фазах.

Основная часть

В электронной лаборатории EWB с помощью диода, заряжающего конденсатор, построен пиковый детектор (рисунок 1). Для упрощения детектор представлен подцепью Amplitude. Осциллограф показывает корректное определение максимума напряжения.

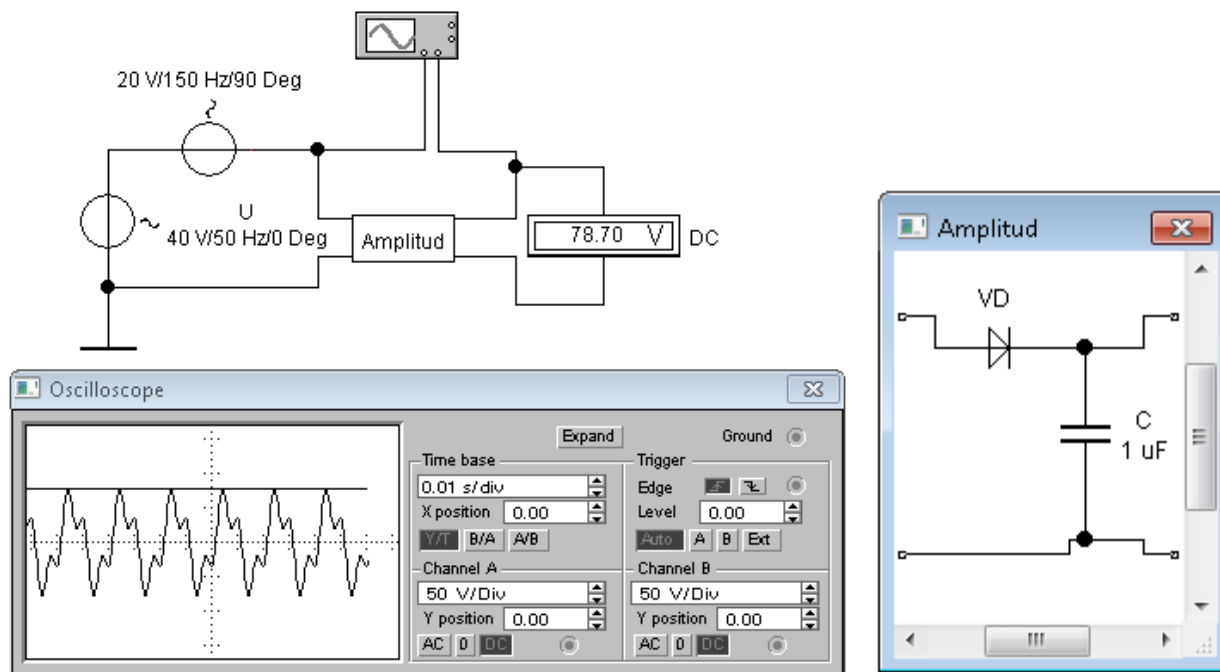


Рисунок 1 – Измерение пика напряжения (Amplitud – пиковый детектор)

Осциллограф в развернутом режиме Expand показывает то же, что и вольтметр в режиме AC на выходе. Это подтверждается при любых начальных фазах гармонических составляющих синтезированного несинусоидального сигнала (рисунок 2). Для подтверждения корректности измерения включен осциллограф, показывающий измеряемое напряжение и его амплитудное значение. На рисунке 3 напряжение состоит из 3-х гармоник. Во всех случаях получен удовлетворительный результат.

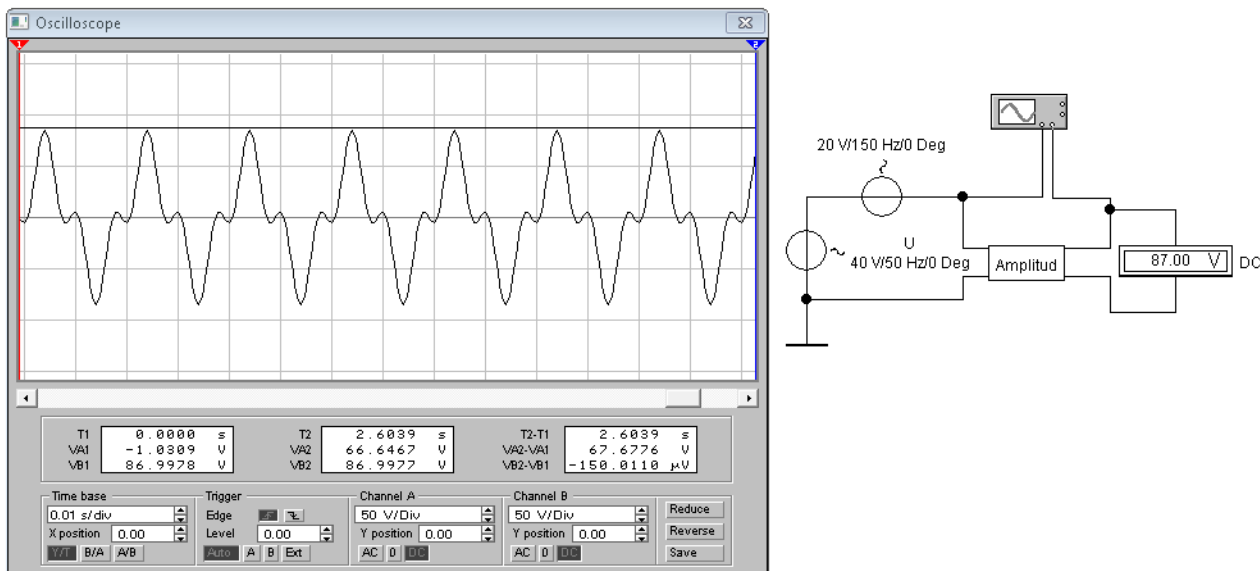


Рисунок 2 – Измерение пика напряжения при измененной начальной фазе

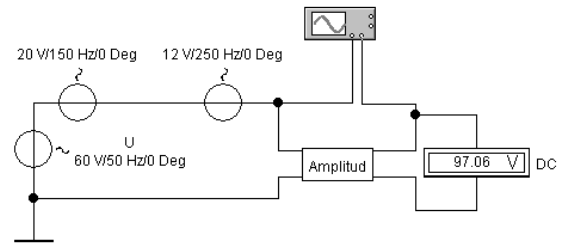
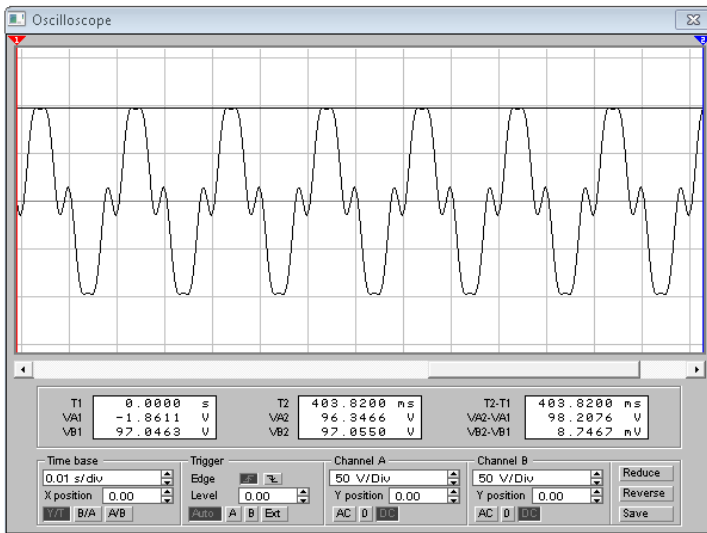


Рисунок 3 – Измерение пика напряжения для источника из 3-х составляющих

Исследуемый детектор справляется с любой формой напряжения (рисунок 4). Он легко превращается в детектор минимумов при изменении полярности включения диода (рисунок 5).

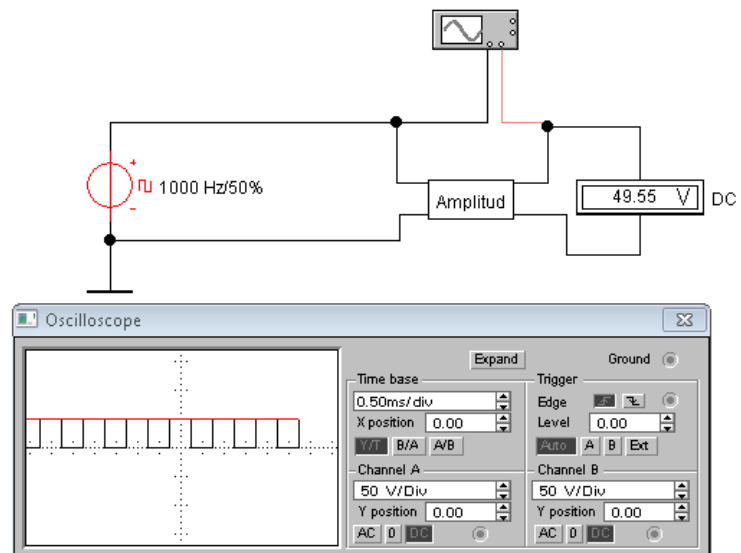
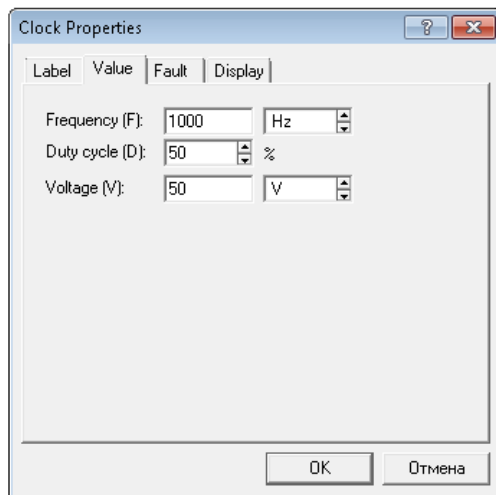


Рисунок 4 – Измерение пика напряжения источника прямоугольного сигнала 50 В

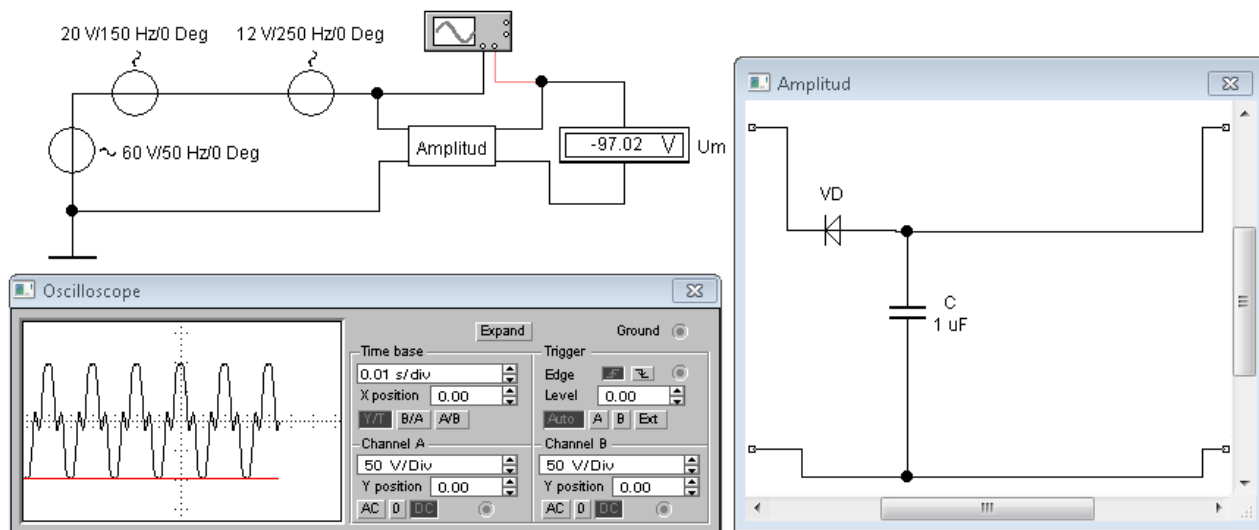


Рисунок 5 – Детектор минимумов

Активный пиковый детектор [8] показывает удовлетворительный результат при малых напряжениях (рисунок 6), так как у операционных усилителей есть предел выходного напряжения.

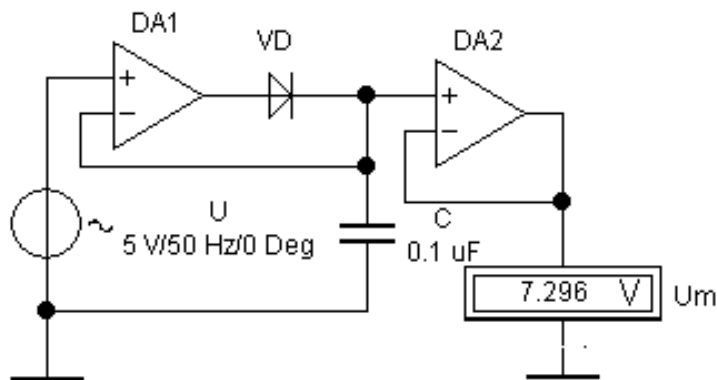


Рисунок 6 – Активный пиковый детектор

Заключение

Рассмотрена модель простейшего пикового детектора напряжения на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до максимального значения. Детектор легко перестраивается для определения минимальных напряжений и годен для любых форм напряжений. Указано на ограничение применения активного пикового детектора. Показана работоспособность измерителя при разных значениях напряжения и разных начальных фазах гармоник.

Литература

1. Бладыко, Ю. В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с.
2. Доброго, К. В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К. В. Доброго, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 381-392.

3. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории. В 3 ч. Ч. 1 : учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника» / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2015. – 74 с.
4. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие по дисциплине "Электроника" : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2018. – Ч. 2. – 82 с.
5. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика» : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 3. – 59 с.
6. Бладыко, Ю. В. Сглаживающие фильтры / Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – №2. – С. 36-40.
7. Бладыко, Ю. В. Выпрямитель с емкостным фильтром / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – №5. – С. 20-24.
8. Активный пиковый детектор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skilldiagram.com/gl4-15.html> . – Дата доступа: 01.11.2021.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ АМПЛИТУДЫ ТОКА
В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
CURRENT AMPLITUDE METER SIMULATION
IN THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Рассмотрена модель простейшего измерителя амплитуды синусоидального тока на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории Electronics Workbench. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения. Идеальный вольтметр не вносит погрешности в измерении амплитудного значения тока. Погрешность появляется при измерении невысоких напряжений и связана с падением напряжения на диоде.

Abstract: A model of the simplest sinusoidal current amplitude meter on a diode and a capacitor in the Electronics Workbench is considered. The capacitor is charged to the amplitude value in the absence of a load. An ideal voltmeter does not introduce errors in the measurement of the amplitude value. The error appears when measuring low voltages and is associated with a voltage on the diode.

Ключевые слова: диод, конденсатор, преобразователь, вольтметр, частота.

Keywords: diode, capacitor, converter, voltmeter, frequency.

Введение

Моделирование измерителя амплитуды тока выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1-4].

Рассматривается простейший измеритель амплитуды тока на диоде и конденсаторе. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения [5]. В работе стоит задача показать работоспособность измерителя при разных значениях синусоидального тока.

Основная часть

Амплитуду синусоидального сигнала можно получить умножением действующего значения на $\sqrt{2}$. В электронной лаборатории имеется преобразователь Current-Controlled Voltage Source (рисунок 1). Выставив коэффициент умножителя 1,414, получим показание вольтметра в режиме AC, равное амплитудному значению измеряемого тока. Однако использовать это значение для дальнейшей работы невозможно, так как напряжение на выходе меняется во времени так же, как и измеряемый ток. Не подходит этот способ и для определения максимальных значений несинусоидального тока.

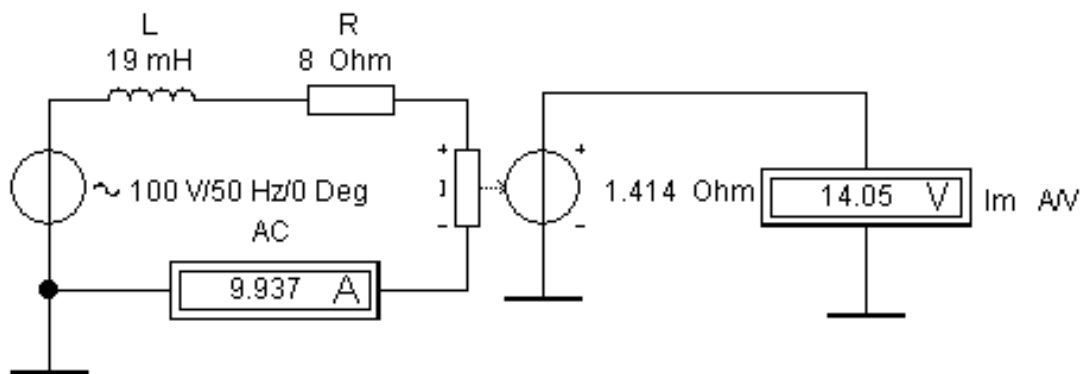


Рисунок 1 – Измерение амплитуды тока с помощью преобразователя Current-Controlled Voltage Source

Поэтому в работе принят простейший измеритель амплитуды сигнала на диоде и конденсаторе (рисунок 2). Диод принят по умолчанию идеальный, конденсатор емкостью 1 мкФ, вольтметр в режиме DC сопротивлением 100000 МОм. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения, для численного совпадения значений тока и напряжения использован шунт 1 Ом.

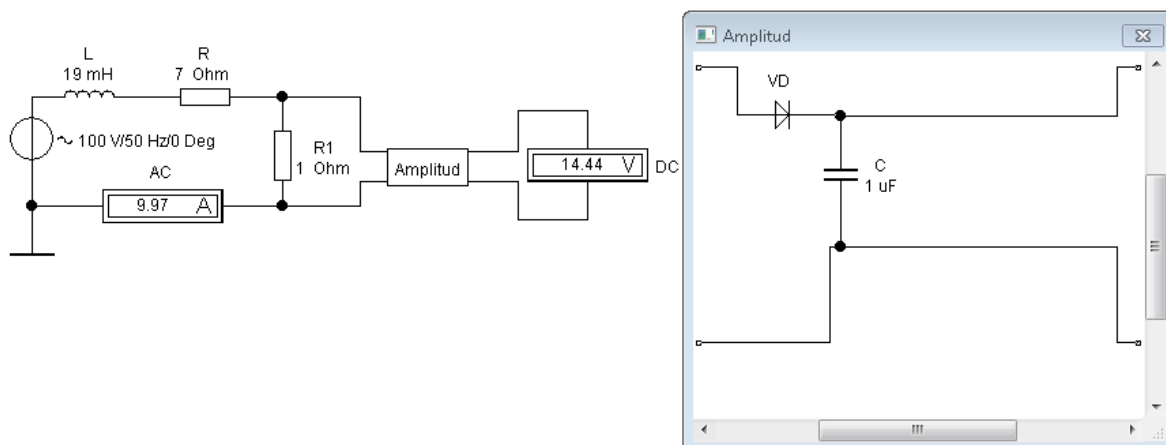


Рисунок 2 – Измерение амплитуды тока с помощью шунта и пикового детектора

Использование до амплитудного детектора преобразователя Current-Controlled Voltage Source с коэффициентом 1 V/A (рисунок 3) не вносит погрешность в измерении пика тока, не требует применения шунта.

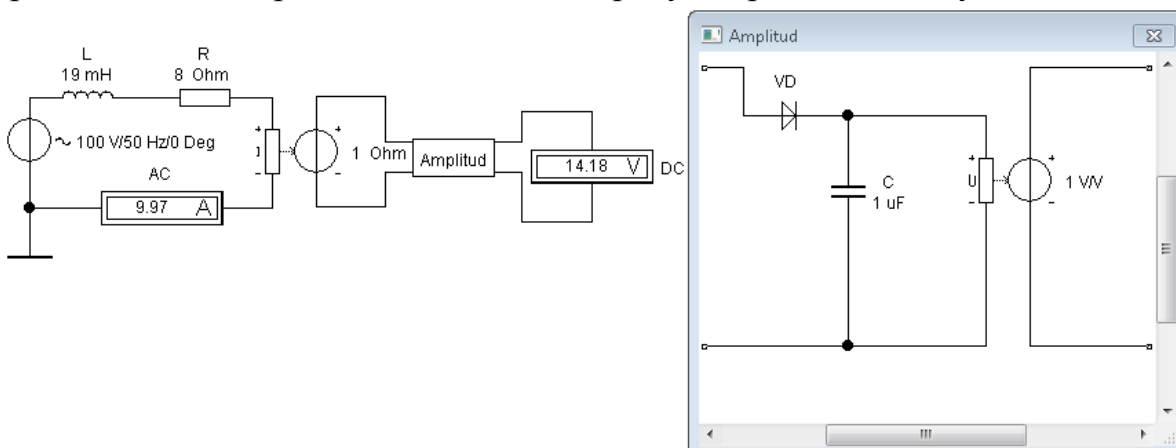


Рисунок 3 – Измерение амплитуды тока с использованием 2-х преобразователей

Схема пикового детектора тока прекрасно работает и без преобразователя Voltage-Controlled Voltage Source (рисунок 4).

Предложенный метод дает небольшие погрешности измерения при малых токах из-за падения напряжения на диоде. При больших токах точность повышается.

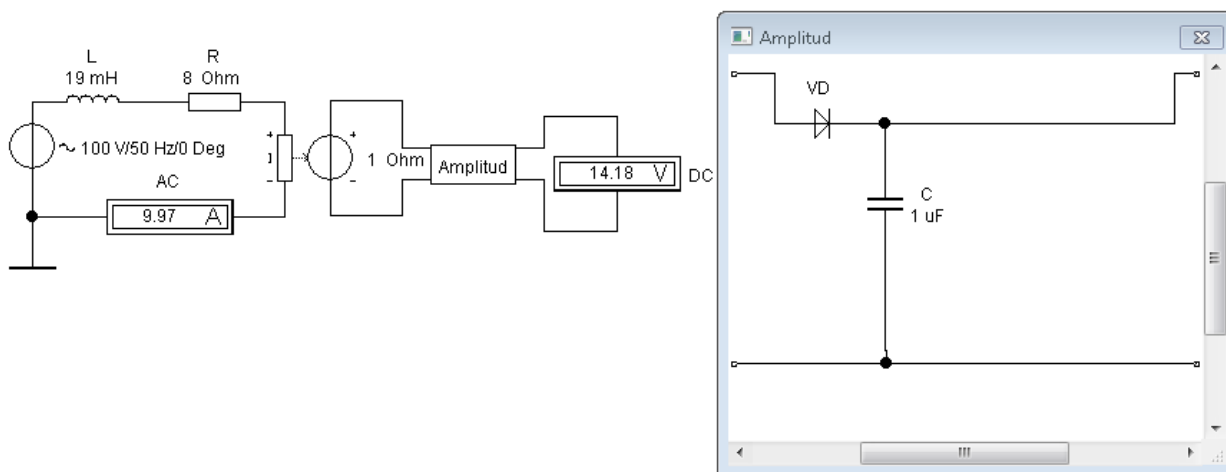


Рисунок 4 – Упрощенный пиковый детектор тока

Заключение

Рассмотрена модель простейшего измерителя амплитуды синусоидального тока на диоде и конденсаторе в электронной лаборатории. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения. Идеальный вольтметр с высоким внутренним сопротивлением не вносит погрешности в измерении амплитудного значения тока. Погрешность появляется при измерении невысоких токов и связана с падением напряжения на диоде.

Литература

1. Бладыко, Ю. В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с.
2. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории. В 3 ч. Ч. 1 : учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника» / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2015. – 74 с.
3. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие по дисциплине "Электроника" : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2018. – Ч. 2. – 82 с.
4. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика» : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 3. – 59 с.
5. Бладыко, Ю. В. Выпрямитель с емкостным фильтром / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – №5. – С. 20-24.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТЕЙ
В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
POWER METER SIMULATION
IN THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Моделирование измерителя мощностей выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench. В электронной лаборатории отсутствуют ваттметр, измерители полной мощности и коэффициента мощности. Предлагается модель для измерения этих параметров, показана ее работоспособность.

Abstract: The power meter was simulated in the Electronics Workbench. The electronic laboratory does not have a wattmeter, full power and power factor meters. A model for measuring these parameters is proposed, and its performance is shown.

Ключевые слова: умножитель, делитель, вольтметр, амплитуда, ваттметр.

Keywords: multiplier, divider, voltmeter, amplitude, wattmeter.

Введение

Моделирование измерителя мощностей выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1, 2].

В электронной лаборатории отсутствуют ваттметр, измерители полной мощности и коэффициента мощности. В работе стоит задача разработать эти измерители и проверить их работу. За основу взят измеритель амплитуды на диоде и конденсаторе [3 – 5]. Конденсатор при отсутствии нагрузки заряжается до амплитудного значения [6, 7].

Основная часть

Ранее был разработан измеритель амплитуды напряжения (рисунок 1). Тот же принцип был положен в основу измерителя тока.

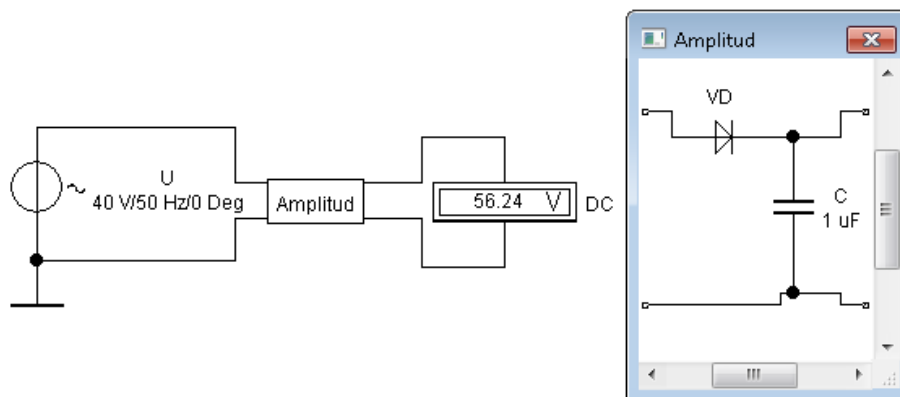


Рисунок 1 – Измеритель амплитуды напряжения – подцепь Amplitud

При нахождении полной мощности использован умножитель амплитуд с коэффициентом $k = 0,5$ (рисунок 2).

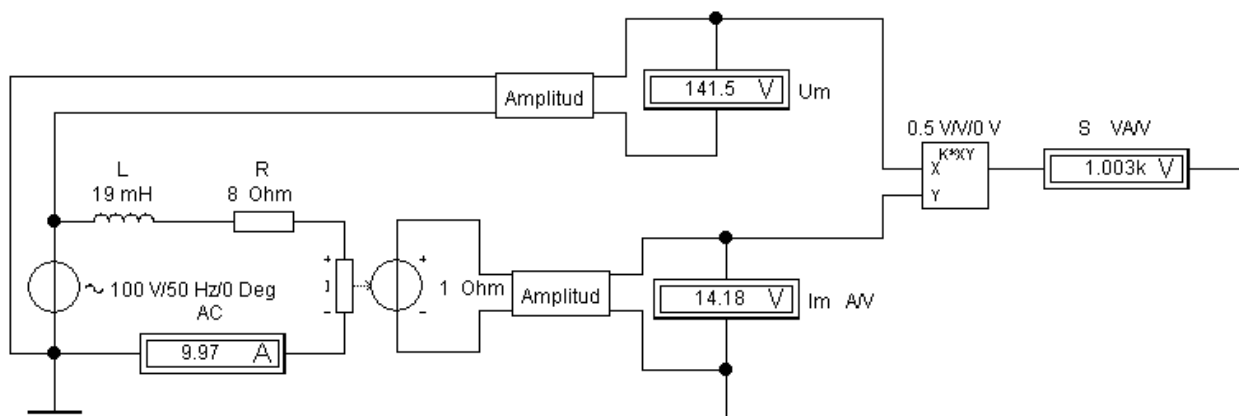


Рисунок 2 – Измерение полной мощности с помощью измерителей амплитуд напряжения и тока

Для определения активной мощности использован умножитель мгновенных значений с использованием вольтметра в режиме DC (рисунок 3). Таким образом, была получена модель ваттметра, апробированная на практике [4].

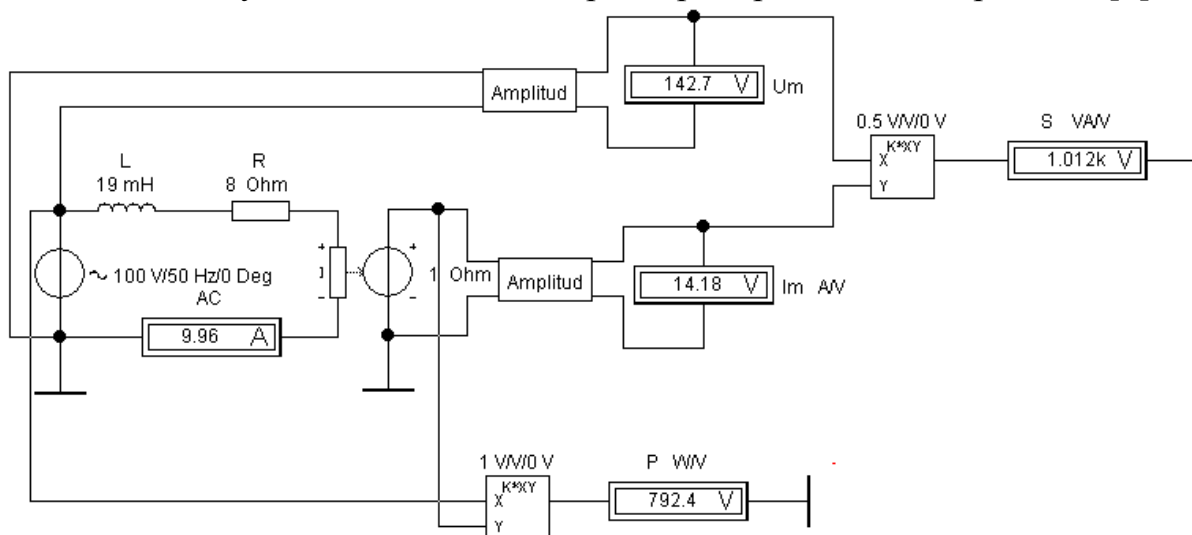


Рисунок 3 – Измерение активной мощности

Делением активной мощности на полную определяем коэффициент мощности $\cos\varphi$ (рисунок 4). Для использования измерителя в более сложных схемах измеритель мощностей помещен в подцепь PSFmetr (рисунок 5). На рисунке 6 показан пример определения мощностей и коэффициента мощности. Измеритель показывает приемлемые значения, погрешность определения не более 1%.

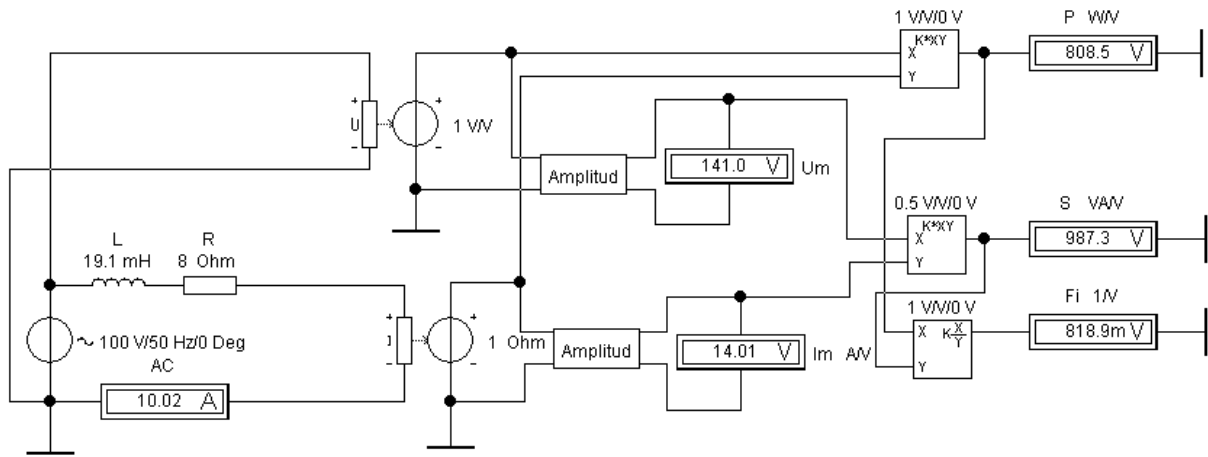
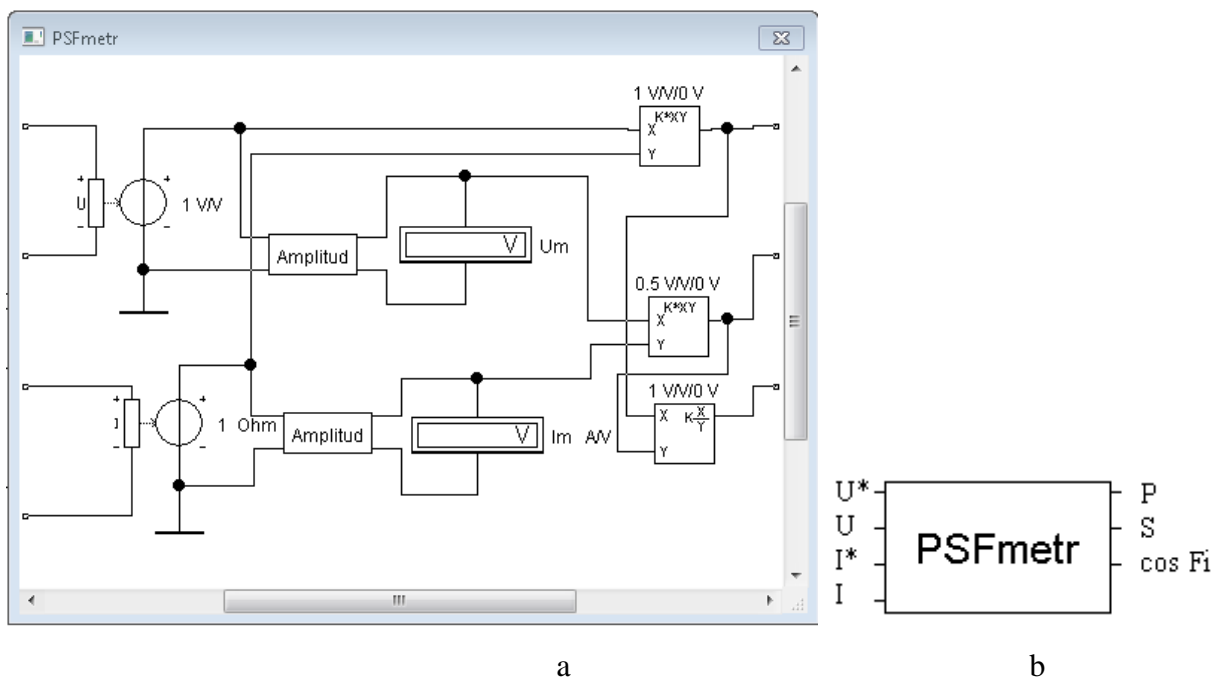


Рисунок 4 – Измерение коэффициента мощности



a

b

Рисунок 5 – Подцепь PSFmetr для измерения активной, полной мощностей и коэффициента мощности: а – схема измерителя; б – цоколевка подцепи

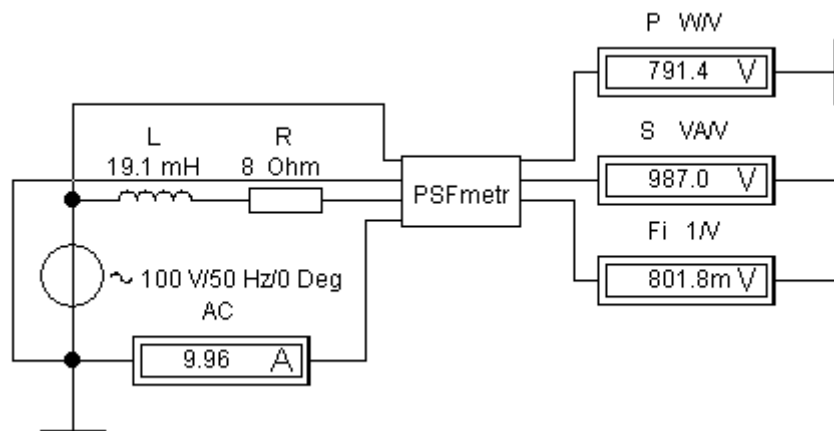


Рисунок 6 – Пример использования измерителя мощностей

Заключение

Создана модель измерителя активной и полной мощностей, а также коэффициента мощности в электронной лаборатории.

Литература

1. Бладыко, Ю. В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с.
2. Доброго, К. В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К. В. Доброго, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 381-392.
3. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории. В 3 ч. Ч. 1 : учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника» / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2015. – 74 с.
4. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие по дисциплине "Электроника" : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2018. – Ч. 2. – 82 с.
5. Бладыко, Ю. В. Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика» : в 3 ч. / Ю. В. Бладыко. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 3. – 59 с.
6. Бладыко, Ю. В. Сглаживающие фильтры / Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – №2. – С. 36-40.
7. Бладыко, Ю. В. Выпрямитель с емкостным фильтром / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – №5. – С. 20-24.

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ
ELECTRICAL SYSTEMS**

Д.А. Ботян, В.П. Коледюк

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Botyan, V. Koledyuk

Supervisor – S. Sizikow, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассмотрен вопрос об электрических сетях. Данный текст можно разделить на 3 логические части. В первой части, можно узнать об электроснабжении и линиях электропередач. Во-второй части речь идет о классификации электрических сетей. Третья часть, заключительная, основана на выводах по теме «Электросистемы».

Abstract: This text is about Electrical Networks. This topic can be divided into 3 logical parts. In the first part, you can learn about electricity supply and power lines. The second part deals with the classification of networks, The third part, the finally, conclusion on the topic of the electrical system.

Ключевые слова: Электрические станции, Электрические линии, Электроприёмники, Трехфазный переменный ток Классификация электрических сетей.

Keywords: Power stations, Power lines, Electrical receivers, Three-phase current, Classification of electrical networks.

Введение

Электроснабжение промышленных, коммунальных сельскохозяйственных, транспортных и других виды потребителей производится от электрических станций, который производят электроэнергию. Электрические станции могут располагаться на различном расстоянии от потребителя. В таких случаях передача и распределение электрической энергии происходит благодаря проводам электрических линий. Из-за невозможности накопления электрической энергии в больших объемах используются автоматические средства управления, которые балансируют разницу между потребляемой и вырабатываемой электрической энергией [1].



Рисунок 1 – Линия электропередач

Основная часть

Классификация электросетей осуществляется:

- По роду тока.
- По номинальному напряжению.
- Конфигурации схемы сети.
- По назначению.
- По району обслуживания.

По роду тока электрические сети делятся на сети переменного и постоянного тока. Большая часть потребителей работает на переменном токе. Таким образом, ключевым видом электросетей являются сети трехфазного переменного тока. Линии электропередач постоянного тока используют как для дальнего перенесения электроэнергии и связи электросетей с различными номинальными частотами или с разными путями к управлению при общей номинальной частоте. Для взаимодействия с другими странами используют вставки из линий постоянного тока.

По номинальному напряжению разделяют на ЛЭП (Линии Электропередач), генераторы, трансформаторы и электроприёмники.

Номинальное напряжение генераторов по условию компенсации потерь напряжения в сети принимают выше на 5%, чем номинальное сетевое напряжение. Номинальные напряжения обмоток трансформатора считают равными номинальному напряжению сети или же завышают на 5% в обусловленности от вида трансформатора и напряжения сети.

По величине номинального напряжения сети бывают:

- сети низкого напряжения (НН) – до 1000 кВ;
- сети среднего напряжения (СН) – от 3 до 35 кВ;
- сети высокого напряжения (ВН) – от 110 до 220 кВ;
- сети сверхвысокого напряжения (СВН) – от 330 до 750 кВ;
- сети ультравысокого напряжения (УВН) – свыше 1000 кВ.

Существуют два вида конфигурации сети: разомкнутые и замкнутые. Разомкнутые в свою очередь это те сети, в которых потребители электрической энергии получают питание с одной стороны. В замкнутой, напротив, потребители могут принимать питание с нескольких сторон.

По назначению деление происходит на две группы, такие как: распределительные и питающие.

Распределительные предназначаются для прямого питания электроприёмников: трансформаторов, электродвигателей.

Питающие электрические сети предназначены для передачи электрической энергии на распределительные подстанции, которые отдают её распределительным сетям.

По району обслуживания различают районные и местные электросети.

Районными электросетями называются сети с напряжением 35 - 110 кВ и выше, состоящие из линий электропередачи, объединяющие на параллельную работу определенные электростанции и питающих районные подстанции.

Местными электросетями общепринято называют сети напряжением до 35 кВ включительно, питающие потребителей электроэнергии на расстояние не свыше 15-30 км при передаваемой мощности на одноцепной линии до 10 - 15 МВА (сельские сети, городские, промышленные).

В начальные годы эволюции электроснабжения в крупных районах возводились линии высокого напряжения (220 и 110 кВ) для временной передачи электрической энергии от районных станций до крупных потребителей. Такие передачи были созданы из повышающих и понижающих трансформаторов и воздушных или кабельных линий, соединяющих их. Эти конструкции прозвали электропередачами. В нынешнее время они работают большей частью не отдельно друг от друга, а объединены между собой в одно целое и формируют сети высокого напряжения. Особенные электропередачи строятся только на более высокие напряжения.

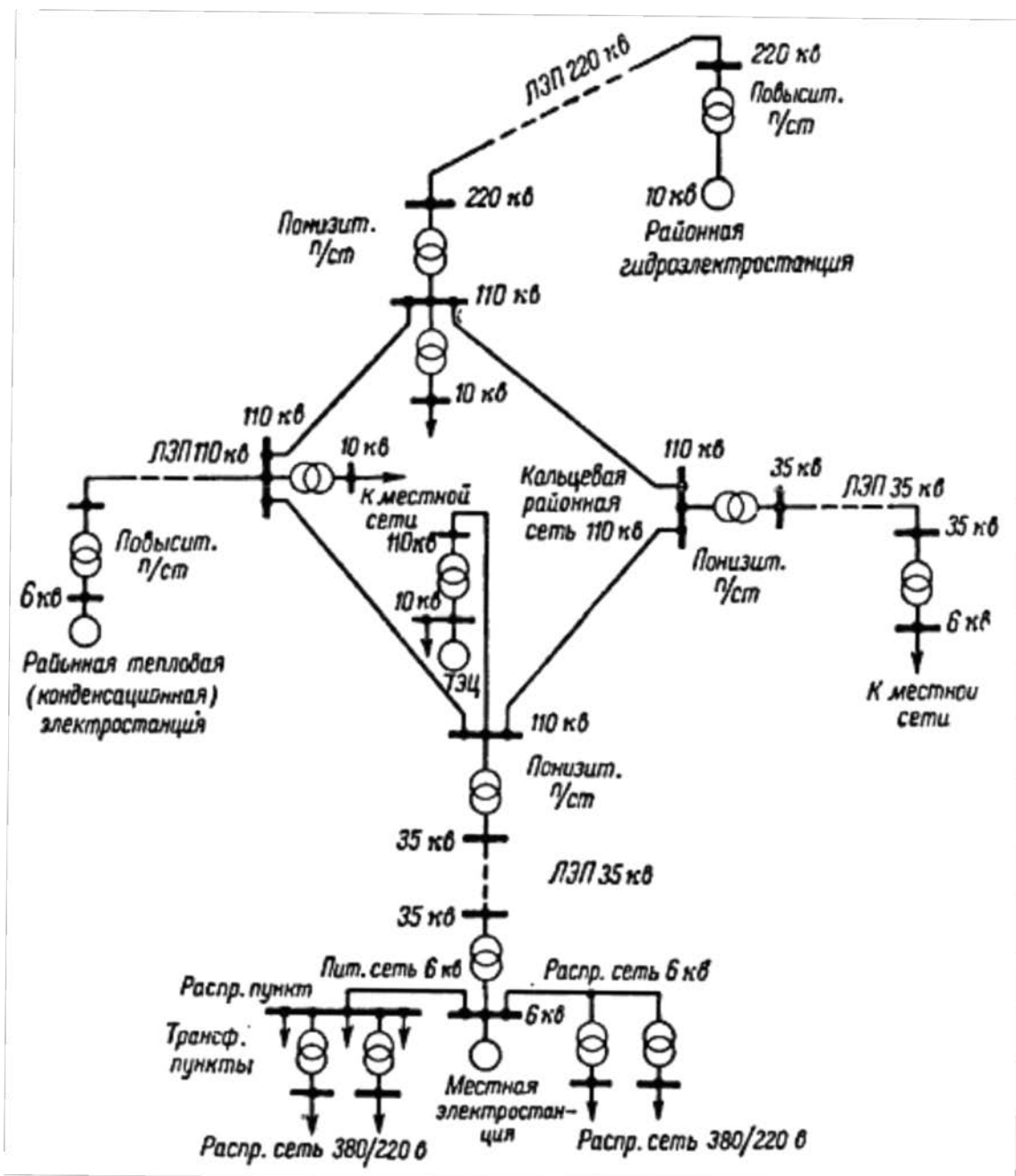


Рисунок 2 – Схема электрической системы

Заключение

Способ передачи тока с помощью линий электропередач весьма продуктивный, но также у него есть ряд негативных факторов, которые влияют на окружающую среду. К примеру: влияние магнитного поля на живые организмы вызывает нагрев тканей живых организмов за счет переменной поляризации диэлектрика.

Повышение концентрации CO_2 в воздухе влечет за собой увеличение кислотности крови, что приводит к ацидозу, который, в свою очередь, понижает работоспособность людей.

Повышение температуры воздуха также непосредственно связано с загрязнением окружающей среды.

Литература

1. Электросистемы [Электронный ресурс]/ Электросистемы. Режим доступа: <https://works.doklad.ru/> – Дата доступа: 01.11.2021.
2. Электрические системы [Электронный ресурс]/ Электрические системы. Режим доступа: <http://electricalschool.info/> - Дата доступа: 01.11.2021.
3. Электрические системы [Электронный ресурс]/ Электрические системы. Режим доступа: <https://infopedia.su/>- Дата доступа: 01.11.2021.

УДК 621.311

**ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
THERMAL POWER STATIONS**

Н.В. Ткач, Н.Г. Якубчик

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Tkach, N. Yakubchik

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: тепловые электрические станции их классификация, принцип работы, преимущества перед другими видами станций.

Abstract: thermal power plants, their classification, operating principle, advantages over other types of stations.

Ключевые слова: Электроэнергетика, станция, Тепловые, электрические.

Keywords: Electric power, station, Thermal, electric.

Введение

Электрическая станция (Рисунок 1) - энергетическая установка, служащая для преобразования какого-либо энергии в электрическую.



Рисунок 1 – Электрическая станция

Тип электрической станции определяется, прежде всего, видом энергоносителя. Наибольшее распространение получили тепловые электрические станции (ТЭС), на которых используется тепловая энергия, выделяемая при сжигании органического топлива (уголь, нефть, газ и др.). На тепловых электростанциях вырабатывается около 76% электроэнергии, производимой на нашей планете. Это обусловлено наличием органического топлива почти во всех районах нашей планеты; возможностью транспорта

органического топлива с места добычи на электростанцию, размещаемую близ потребителей энергии; техническим прогрессом на тепловых электростанциях, обеспечивающим сооружение ТЭС большой мощностью; возможностью использования отработавшего тепла рабочего тела и отпуска потребителям, кроме электрической, также и тепловой энергии (с паром или горячей водой) и т.п.

Основная часть

Тепловые электрические станции можно классифицировать по следующим признакам.

По виду отпускаемой энергии: - конденсационные электрические станции (КЭС), отпускающие только (преимущественно) электрическую энергию; - теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), отпускающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды). Централизованное теплоснабжение потребителей с использованием отработавшей теплоты турбин и выработкой электроэнергии на базе теплового потребления называют теплофикацией. Турбины соответствующего типа называют теплофикационными. Таким образом, различают ТЭЦ с комбинированной выработкой электрической энергии и теплоты и энергоисточники с отдельной выработкой этих видов энергии на КЭС в котельных.

По виду теплового двигателя: - с паротурбинными установками (ПТУ) – паротурбинные ТЭС; - с газотурбинными установками (ГТУ) – газотурбинные ТЭС; - с парогазовыми установками (ПГУ) – парогазовые ТЭС; - электростанции с двигателями внутреннего сгорания – дизельные электростанции (ДЭС), газопоршневые электростанции (ГПЭС).

По назначению: - районные электростанции общего пользования: конденсационные электростанции (ГРЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ); при этом различают отопительные ТЭЦ, отпускающие теплоту с сетевой водой для отопления и горячего водоснабжения населения, и промышленно-отопительные ТЭЦ, 9 отпускающие как теплоту с сетевой водой для отопления и горячего водоснабжения населения, так и пар для нужд предприятий; - промышленные, входящие в состав производственных предприятий.

По технологической структуре тепловой схемы подразделяются на блочные и неблочные. При блочной схеме все основное и вспомогательное оборудование паротурбинной установки не имеет технологических связей с оборудованием другой установки электростанции. На электростанциях на органическом топливе к каждой турбине пар подводится только от одного или двух соединенных с ней котлов. Паротурбинную установку, турбина которой питается паром от одного парового котла, называют моноблоком, при наличии двух котлов на одну турбину - дубль-блоком. При неблочной схеме ТЭС пар от всех паровых котлов поступает в общую магистраль и лишь оттуда распределяется по отдельным турбинам. Линии, по которым вода подается в паровые котлы (питательные трубопроводы), также имеют поперечные связи. Блочные ТЭС дешевле неблочных, так как упрощается схема трубопроводов, сокращается количество арматуры. Управлять отдельными агрегатами на такой станции проще, установки блочного типа легче автоматизировать. В эксплуатации работа одного

блока не отражается на соседних. Для паротурбинных установок с промежуточным перегревом пара блочная схема является практически единственно возможной, так как неблочная схема станции в этом случае окажется чрезмерно сложной.

По уровню начального давления различают паротурбинные установки: - низкого давления: до 30 ата; - среднего давления: 40 ата; - высокого: 90...170 ата; - сверхкритического: 240 ата и выше.

Коэффициент полезного действия электростанции по производству электроэнергии зависит от КПД основных элементов — турбоустановки и парового котла, а также соединяющих их трубопроводов пара и воды (Рисунок 2).

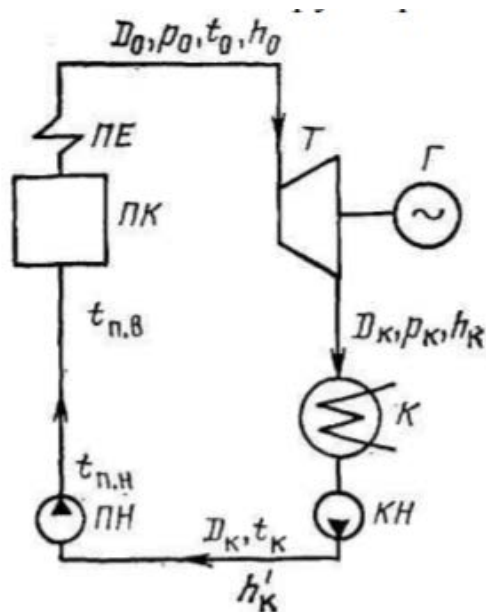


Рисунок 2 – Тепловая схема простейшей конденсационной электростанции. ПК — паровой котел; ПЕ — пароперегреватель; Т — турбина; Г — электрический генератор; К — конденсатор; КН — конденсатный насос; ПН — питательный насос

Абсолютный электрический КПД турбоустановки:

$$\eta_{ту}^a = 3600N_{э} / Q_{ту} ; \tag{1}$$

где $Q_{ту}$ — расход теплоты на турбоустановку, кДж/ч.

КПД парового котла:

$$\eta_{n.k} = Q_{n.k} / Q_c ; \tag{2}$$

где $Q_{пк}$ — тепловая нагрузка парового котла, кДж/ч.

КПД транспорта теплоты (трубопроводов) определяется выражением:

$$\eta_{mp} = Q_{m.y} / Q_{n.k} . \tag{3}$$

Заключение

Электроэнергетика обладает рядом особенностей, обуславливающих необходимость сохранения в ближайшей перспективе необходимость сохранения преимущественно государственного управления его функционированием и развитием. К ним относятся :

- особая важность для населения и всей экономики обеспечения надежного энергоснабжения;
- высокая капиталоемкость и сильная инерционность развития электроэнергетики;
- монопольное положение отдельных предприятий и систем по технологическим условиям, а также вследствие сложившейся в нашей стране высокой концентрации мощностей электроэнергетики;
- отсутствие необходимых для рыночной экономики резервов в производстве и транспорте энергоресурсов;
- высокий уровень опасности объектов электроэнергетики для населения и природы.

Литература

1. Тепловые станции [Электронный ресурс]/ Тепловые станции, КЭС и ТЭС. –Режим доступа: <https://otherreferats.allbest.ru> – Дата доступа : 23.10.2021.
2. Тепловые электрические станции (ТЭЦ) [Электронный ресурс]/ Тепловые станции (ТЭЦ). - Режим доступа: https://urfo.oborudunion.ru/i_store_tec_na_ugle.html - Дата доступа: 23.10.2021.
3. Тепловые станции [Электронный ресурс]/ Тепловые станции - Режим доступа: <https://m.vk.com> - Дата доступа : 23.10.2021.
4. Новости высших технологий, науки и техники [Электронный ресурс]/ Тепловые станции. - Режим доступа: <https://www.techcult.ru> - Дата доступа : 23.10.2021.

5.

УДК 621.311

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ
ALTERNATIVE ENERGY SOURCE**

И.В. Волков, И.В. Приставко

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Volkov, I. Pristavko

Supervisor – S. Sizikow, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данном докладе рассмотрен один из альтернативных источников энергии, все его возможности, преимущества и недостатки.

Abstract: This report examines one of the alternative energy sources. And all its features. Its advantages and disadvantages.

Ключевые слова: Электроэнергия, плитка, «умная» плитка.

Keywords: Electricity, tiles, «smart» tiles.

Введение

В настоящее время люди ищут новые способы добычи электроэнергии. Альтернативные источники становятся всё актуальнее. Некоторые из них: солнечные панели, ветряки, стали обыденным делом. Но существуют ещё большое количество источников электроэнергии, которые не задействованы в нашей жизни. Одно из таких технологий - пьезометрические напольные покрытия.

Основная часть

Первый, кто додумался до альтернативного источника городской энергии – инженер Лоуренс Кембелл-Кук. Он изобрёл плитку Pavegan, которую называют “умной” плиткой, которое преобразует кинетическую энергию шагов человека в электричество.

Впервые эта технология была установлена в период проведения летней олимпиады в Лондоне в 2012 году, где за 2 недели удалось получить 20 миллионов джоулей энергии, что с избытком хватило для работы уличного освещения британской столицы.

Срок службы такой плитки 5 лет. Это около 20 миллионов нажатий.

Один шаг производит около 5-8 Вт электроэнергии. Чтобы плитка работала на полную мощность надо сделать 50 шагов в минуту. При ходьбе человек создает на одном из участков избыточное давление. Плита изгибается и генерирует два типа заряда – положительный на сжатой (вогнутой) стороне и отрицательный на выгнутой части поверхности. Когда усилие исчезает, возникает избыток электричества, которое можно использовать. Количество и скорость выработки электроэнергии будут зависеть от параметров человека - вес, скорость и интенсивность его ходьбы. 5% всей выработанной энергии уходит на подсветку плитки, уведомляя пешехода о пользе сделанного им шага, тем самым создает важное ощущение участия в жизни города, а 95% – сохраняется в литиевом

аккумуляторе, либо передаваться сразу же для использования. На первом плане стоит задача освещение уличных фонарей, витрин магазинов, рекламных щитов.

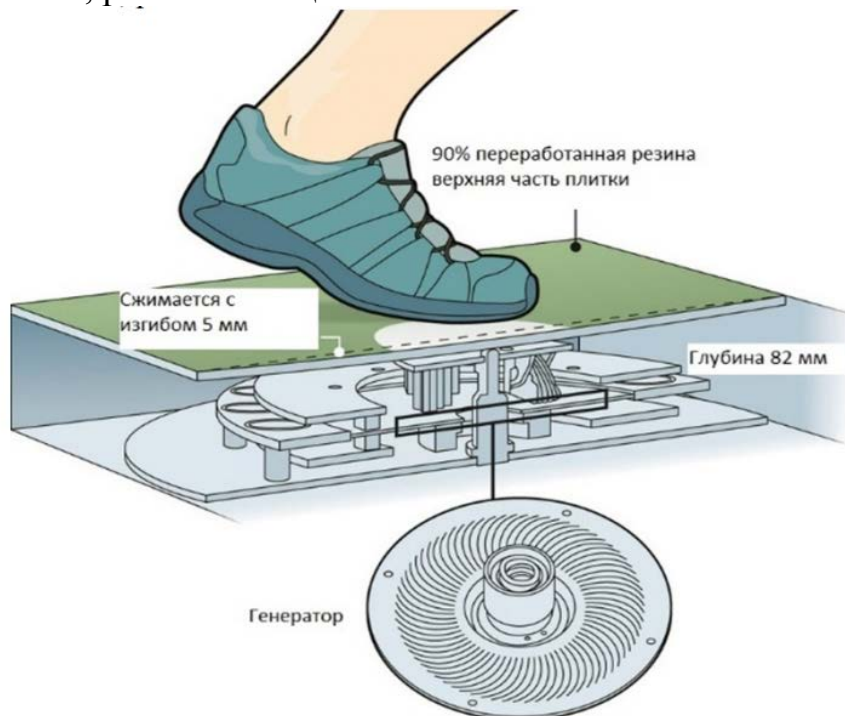


Рисунок 1 – Общий вид плитки

Это устройство эффективно бы работало в местах с большим потоком людей: метро, места проведения марафонов и забегов, вокзалы. Так же можно расширить действия данного материала, то есть проявление интереса к этой технологии не только пешеходов, но и автомобильных компаний для получения электричества при движении автомобилей и других видов транспорта. Тогда появится больше мест обустройства данной плиткой, это могут быть стоянки, куда большая часть электроэнергии пойдет на выработку света для нее самой, а оставшаяся будет использована для освещения ближайших улиц. Но всё же больше энергии было бы получено в случае установления такой инновационной плитки на небольшие участки самой проезжей части.

Что касается самого материала – плитка имеет 45 сантиметров в ширину и 60 в длину. «Умная» плитка изготовлена из гибкого водонепроницаемого материала, который можно получить при переработке автомобильных покрышек, что обеспечивает плитку прочностью и замедляет истирание. Корпус плитки в свою очередь сделан из особой нержавеющей стали. Верхняя грань гибкая, поэтому прогибается на 5 миллиметров.

Не стоит забывать климатических условий. Обрыв линии электропередач, аварии на электростанциях. Многие дома, и даже города, остаются без электричества. «Умная» плитка не нуждается в источнике питания, как раз здесь она и будет спасителем. Для устранения такой неполадки в подобных ситуациях потребуются намного больше одного дня. А если использовать данную плитку, люди получат столько электроэнергии, сколько достаточно для освещения дома. Инновационная плитка способна выдерживать суровые нагрузки. Благодаря

водонепроницаемости плитку можно использовать как на открытом пространстве, так и внутри помещений.

Плюсы электрогенерирующей плитки:

- уличные фонари могут полностью работать за счет шагов людей и включаться только тогда, когда человек идет. Это сведет к минимуму световое загрязнение и снизит нагрузку на традиционные источники энергии;
- экономия электричества;
- снижает нагрузку основных источников питания;
- усовершенствованный дизайн плиток;
- удобства установки (на месте существующих систем напольного покрытия);
- отличные климатические условия;
- низкое истирание и прочность.

Но есть и существенный минус: не всё пока доработано в вопросе экономической эффективности таких тротуаров – период окупаемости очень велик из-за дороговизны покрытия.

Достоинств таких тротуаров от Pavegen очевидно много. По словам многих городских жителей, такие тротуары подают пример того, как именно должны выглядеть пешеходные улицы в современных районах. Инновационные концепции уже сейчас могут быть перенесены на множество улиц в различных городах.

Заключение

Использование такой тротуарной плитки, генерирующей электроэнергию, очень актуально в современном мире, так как оно позволяет значительно сэкономить затраты на электроэнергию.

Литература

1. Тротуарная плитка Pavegen, генерирующая электроэнергию [Электронный ресурс]/ Тротуарная плитка Pavegen, генерирующая электроэнергию. - Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/1138-trotuarnaya-plitka-generiruyushchaya-elektroenergiyu.html>. – Дата доступа: 24.10.2021

2. Тротуарная плитка, генерирующая электричество при помощи пешеходов [Электронный ресурс]/ Тротуарная плитка, генерирующая электричество при помощи пешеходов. - Режим доступа: <http://tsp.msk.ru/trotuarnaya-plitka-generiruyushchaya-elektrichestvo-pri-pomoshhi-peshexodov/>. – Дата доступа: 24.10.2021

УДК 620.91

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
ALTERNATIVE ENERGY**

А.К. Киреев, И.Н. Нагорный

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kireev, I. Nagorny

Supervisor – S. Sizikow, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Альтернативная энергетика является новым способом получения энергии. Разновидности: солнечная, геотермальная, ветровая, волновая, биомассовая, гидроэнергетика. По данным статистики и научных центров в Беларуси работают 13 крупных энергостанций, которые несут на своих плечах почти 90% выработки энергии для потребностей страны. Именно поэтому одной из ключевых задач нашей цивилизации является поиск и внедрение дополнительных источников энергии, которые ранее не использовались или использовались недостаточно масштабно.

Abstract: Alternative energy is a new way to generate energy. Varieties: solar, geothermal, wind, wave, biomass, hydropower. According to statistics and research centers, there are 13 large power plants operating in Belarus, which carry on their shoulders almost 90% of energy production for the needs of the country. That is why one of the key tasks of our civilization is the search and introduction of additional energy sources that have not been used before or have not been used on a large enough scale.

Ключевые слова: энергетика, внедрение, источники, производство, выработка.

Keywords: energy, implementation, sources, production, generation.

Введение

Альтернативная энергетика – это комплекс многообещающих способов получения, передачи, применения энергии (нередко – из восстанавливаемых источников).

Альтернативная энергетика базируется на 3-х принципах:

- Возобновляемость.
- Экологичность.
- Экономичность.

Альтернативная энергетика может решить ряд главных в мире вопросов: расход полезных ископаемых и выброс в атмосферу CO₂, то что способствует глобальному потеплению, невозвратимая перемена экологии и также парниковый эффект. Основным вектором альтернативной энергетике считается поиск и применение альтернативных (нестандартных) источников энергии, восстанавливаемых либо практически неисчерпаемых природных ресурсов и природных явлений.

Разновидности альтернативной энергетике: солнечная, геотермальная, ветровая, волновая, биомассовая, гидроэнергетика.

Вектор альтернативной энергетики является новым, однако усилия применять энергию ветра, воды и солнца предпринимались еще в 18 столетии.

Новая ступень в формировании альтернативной энергетики приобрела в период кризиса 1970 годов. С 90-ых годов по начало 21 столетия в мире было зафиксировано значительно большее число аварий на электростанциях, что стало еще одной причиной разработки зеленой энергии.

Основная часть

Солнечная энергетика – изменение солнечной энергии в электрическую энергию фотоэлектрическим и термодинамическим способами.

Суть фотоэлектрического способа в том, что применяются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) с изменением энергии световых квантов (фотонов) в электрическую энергию.

Термодинамические конструкции, переводящие энергию солнца сразу в теплоту, а после в механическую и затем в электрическую энергию, включают "солнечный котел", турбину и генератор. Однако солнечное излучение, падающее на Землю, владеет рядом свойственных отличительных черт: невысокой плотностью потока энергии, дневной и сезонной цикличностью, в связи с климатическими условиями. Следует, что перемены термических режимов имеют все шансы вносить основательные ограничения в работу системы.

Предположительные способности солнечной энергетики

На теоретическом уровне покрытие совершенно незначительной по площади территории пустынь северной и южной Африки, Америки, Австралии и Азии передовыми фотоэлементами и соединение этих электростанций во всемирную сеть, способно в излишке обеспечить человечество чистой, а также в силу глобальности, устойчивой энергией. С целью реализации плана следует разрешение в целом двух вопросов, одной технической и одной политической. Во-первых, необходимо гарантировать доставку данной энергии к абсолютно всем участкам ее пользования. Во-вторых, необходима одна мировая власть для всего человечества.

Геотермальная энергетика – метод извлечения электроэнергии путем преобразования внутреннего тепла Земли в электрическую энергию. Данный метод получения электричества базируется на том, что температура пород с глубиной увеличивается, и на уровне 2–3 километров от поверхности Земли, превышает 100°C. Имеется ряд методик получения электричества на геотермальной электростанции.

Прямая методика: природный пар следует согласно трубам в турбины, объединенные с электрогенераторами.

Непрямая методика: пар заранее чистят от газов, порождающих поражение труб.

Смешанная методика: грязный пар поступает в турбины, но потом из воды, возникший вследствие конденсации, удаляют не растворившиеся в ней газы. Цена "топлива" такого рода электростанции обусловлена расходами в результативные скважины и концепцию сбора пара и считается сравнительно

низкой. Цена самой электростанции при этом не слишком велика, так как она не имеет топки, котельной конструкции и дымовой трубы.

К минусам геотермальных электроустановок принадлежит вероятность местной просадки грунтов и пробуждения сейсмической активности. А выходящие из-под земли газы имеют все шансы включать отравляющие элементы.

Ветроэнергетика – область энергетики, специализирующаяся в применении энергии ветра. Ветряная станция – конструкция, изменяющая кинетическую энергию ветра в электрическую энергию. В состав входит ветродвигатель, генератор электрического тока, автоматические устройства управления работой ветродвигателя и генератора, сооружения с целью их конструкции и обслуживания.

С целью получения энергии ветра используют различные системы: многолопастные «ромашки»; винты наподобие самолетных пропеллеров; вертикальные роторы и др.

Имеются ветрогенераторы с вертикальной и горизонтальной осью кручения ротора. Система первых легче, однако, другие обладают более значительным коэффициентом полезного действия, до 30-40%. По этой причине для промышленной ветроэнергетики применяются генераторы с горизонтальной осью ротора, преимущественно с мощностями от 1 до 2,5 МВт, диаметр ротора от 50 до 80 м.

В настоящий период ветроэнергетика – это экономически более многообещающий тип ВИЭ и формируется согласно экспоненте. Ее возможности очень огромные. Изготовление ветряных электростанций является недорогим, однако их мощность незначительна, и их деятельность зависит от погоды. К тому же они весьма шумны, по этой причине большие ветряные электростанции требуется на ночь выключать. Кроме этого, ветряные электростанции формируют помехи для воздушного сообщения, и в том числе для радиоволн. В конечном итоге, с целью применения ветряных электростанций нужны большие участки, значительно больше, нежели для других видов электрогенераторов.

Волновая ветроэнергетика – метод получения электрической энергии путем переустройства возможной энергии волн в кинетическую энергию пульсаций и оформлении пульсаций в одностороннее напряжение, крутящее вал электрогенератора.

Согласно сопоставлению с ветровой и солнечной энергией, волна обладает огромной удельной мощностью.

Приливная энергетика, так же как и другие разновидности альтернативной энергетики, считается восстанавливаемым источником энергии.

С целью получения электричества электростанции подобного вида применяют энергию прилива. Для устройства простой приливной электростанции (ПЭС) необходим бассейн – перекрытый дамбой или плотиной залив либо устье реки. В плотине есть водопропускные отверстия и установлены гидротурбины, которые вращают электрогенератор.

Минус приливных электростанции в том, что они возводятся только лишь на берегу морей и океанов, к тому же они формируют не весьма значительную мощность, безусловно, и приливы бывают только 2 раза в день. В том числе они экологично не безопасны. Они нарушают обычный взаимообмен соленой и пресной воды и этим – существования морской флоры и фауны.

Биомассовая энергетика

При разложении биомассы (перегной, погибшие организмы, растения) выделяется биогаз со значительным содержанием метана, который применяют с целью подогрева, получения электричества и многое другое.

Имеются предприятия (свинарники, коровники и др.), которые сами гарантируют себе электричество и тепло, за счёт того, что имеют ряд крупных "чанов", куда сбрасывают крупные массы навоза от животных. В данных непроницаемых баках перегной гниет, и выделившийся газ используется на потребности фермы.

Еще одним плюсом данного типа энергетике считается то, что в следствии применения влажного навоза с целью получения энергии, с навоза остается сухой избыток, являющийся превосходным удобрением для полей. Еще в качестве биотоплива имеют все шансы применяться быстрорастущие водоросли и определенные разновидности органических остатков (стебли кукурузы, тростника и пр.)

Гидроэнергетика

Используя гидравлическую энергию рек и энергию, искусственно созданную в водохранилищах, на ГЭС вырабатывается электроэнергия ,

Преимущества гидроэлектростанции: использование неистощимых ресурсов; элементарны в запуске и управлении; большой коэффициент полезного действия; создают недорогую электрическую энергию; совершенствуют условия судоходства в реках.

Недочеты гидроэлектростанции: необходимы большие финансовые вложения на строительство; для постройки нужны большие территории, причем лучшие отличаются высоким плодородием, производство электроэнергии зависит от климата и изменяется сезонно.

Использование альтернативных источников энергии не всегда рационально. Так как многие из них жестко локализованы, например энергия приливов и геотермальная энергия. Только ветер и солнечное излучение являются экономически осуществимой заменой сжиганию топлива.

Применение ВИЭ в Беларуси

Возобновляемая энергетика в РБ развивается стремительнее других. Возникла позитивная направленность признака «добычи первичной энергии из ВИЭ к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов». Часть ВИЭ в использовании уже к 2018г добилась тех 6%, которые были запланированы к 2020г. В планах на 2021г повысить мощность генерации за счет возобновляемых источников энергии до 800 МВт.

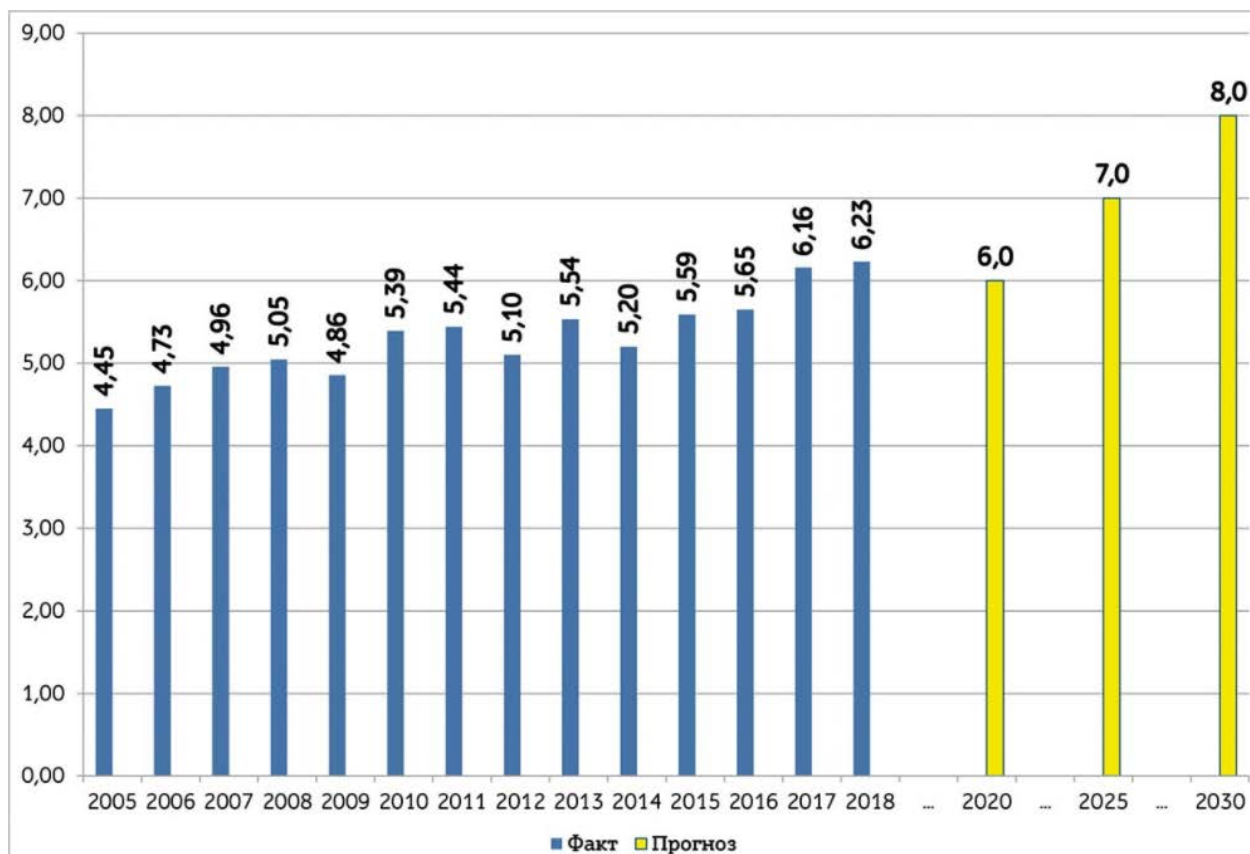


Рисунок 1 – Динамика показателя за 2010–2018 годы с прогнозом до 2030 года, %

Выработка электроэнергии из-за применения ВИЭ возросло в 15 раз за 2005-2018гг. А электрическая мощность конструкций ВИЭ на 1 января 2020 года составила 411 МВт.

В Беларуси сейчас действуют:

- 55 фотоэлектрических станций (ФЭС) мощностью 156,6 МВт;
- 51 гидроэлектростанция (ГЭС) мощностью 95,3 МВт;
- 99 ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 108,6 МВт;
- 26 биогазовых комплексов мощностью 34,9 МВт;
- 9 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью около 15,5 МВт.

Характеристики в Республики Беларусь, показывающие результативность применения ВИЭ:

- отношение объема производства первичной энергии из ВИЭ к объему валового использования топливно-энергетических ресурсов;
- производство возобновляемых энергетических ресурсов, в том числе биогаза, дров, ветро-, гидроэнергии и солнечной энергии.

Практически в 15 раз возросло производство ветро-, гидроэнергии и солнечной энергии за 2005-2018 годы.

Таким образом, применение ВИЭ – осознанная потребность. Данный вектор - элемент государственной политики.

Международные специалисты считают, что совершенное соотношение типов электрогенерации в энергосистеме должно быть в одинаковых масштабах: по 25% на АЭС, природный газ, вторичные отходы и ВИЭ. Для Беларуси в

следующих пропорциях: 40% электроэнергии от АЭС, 60% – газ, использование которого в последующем станет замещаться возобновляемыми источниками энергии.

Заключение

Неисчерпаемость и экологическая безопасность – явные достоинства ВИЭ, но они недостаточно эффективны, по сравнению с другими технически отработанными и недорогими способами получения энергии, основой которого является органическое топливо. И для повышения энергоэффективности экономики необходимо внедрить в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы, местные виды топлива и ВИЭ.

Привлечение в хозяйственный оборот ВИЭ – составляющая государственной стратегии энергосбережения, цель которой состоит в увеличении эффективности применения энергоресурсов. Деятельность формирования объектов использования ВИЭ обладает системным характером, и благодаря сотрудничеству государства, бизнеса, науки, образования и гражданского общества, состояние и развитие возобновляемой энергетики находятся на подъеме.

Литература

1. Альтернативная энергетика [Электронный ресурс]/ Альтернативная энергетика. - Режим доступа: <https://clck.ru/YScbu> /– Дата доступа: 25.10.2021.
2. Альтернативная энергетика [Электронный ресурс]/ Альтернативная энергетика. - Режим доступа: <https://clck.ru/Tv3Ui> / – Дата доступа: 25.10.2021.

УДК 621.311

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
ENERGY SAVING**

Д.И. Лешок, С.С. Монахов

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Supervisor – S. Sizikow, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В этой статье рассмотрены вопросы электроснабжения, передачи электрической энергии и преобразования тока.

Abstract: This text talks about electricity supply. About the transfer of electrical energy and about the conversion of current.

Ключевые слова: Энергоснабжение, Электроэнергия, Электрика.

Keywords: Power supply, Electricity, Electricians.

Введение

Передача электрической энергии в дома, улицы, предприятия и т.д. из электростанций осуществляется с помощью линий электропередач.

Основная часть

Электроснабжение – обеспечение потребителей электроэнергией.

Трансформатор – это устройство, которое предназначено для понижения или повышения переменного напряжения. Трансформатор состоит из двух обмоток, установленных на общий замкнутый сердечник (рисунок 1).

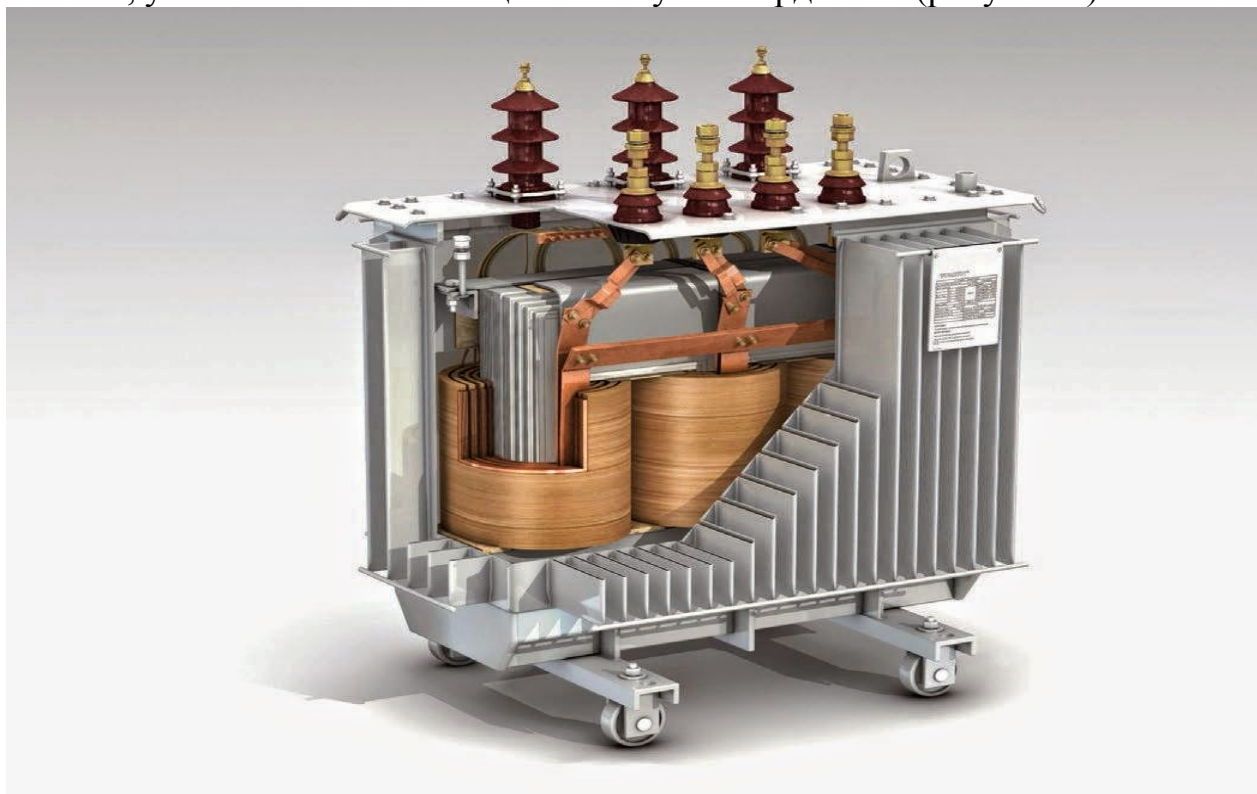


Рисунок 1 – Простейший трансформатор

Система электроснабжения – это электроустановки, предназначенные для обеспечения потребителей электрической энергией.

Электрика – область народного хозяйства, решающая задачи обеспечения функционирования электрической части объектов промышленности, транспорта и учреждений, сельского хозяйства и населения от границы раздела потребителей.

Потребитель электроэнергии – одиночный электроприемник или их группа, объединённых технологическим процессом и размещающимся на определенной территории. (предприятие, организация, дома и т.д., у которых приспособление потребляющая электроэнергию присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию.)

Схема электроэнергетики приведена на рисунке 2.

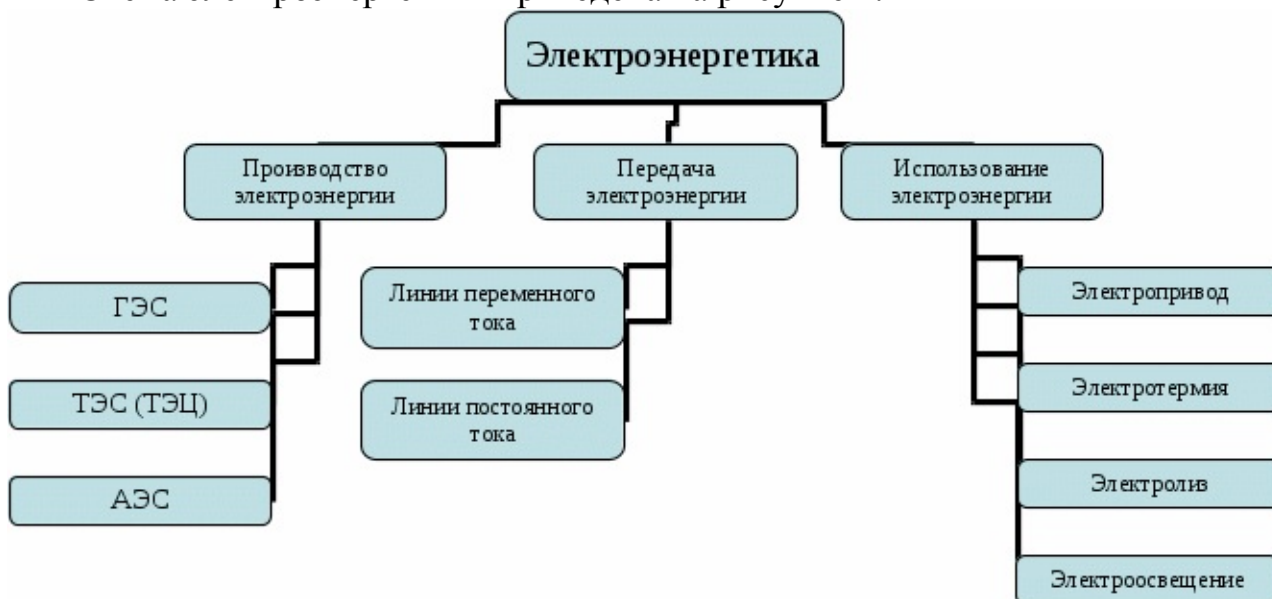


Рисунок 2 – Схема электроэнергетики

Приемник электроэнергии (ЭП) – устройство, аппарат, механизм, в котором происходит преобразование электрической энергии в другой вид энергии, чтобы ее использовать (рисунок 3).

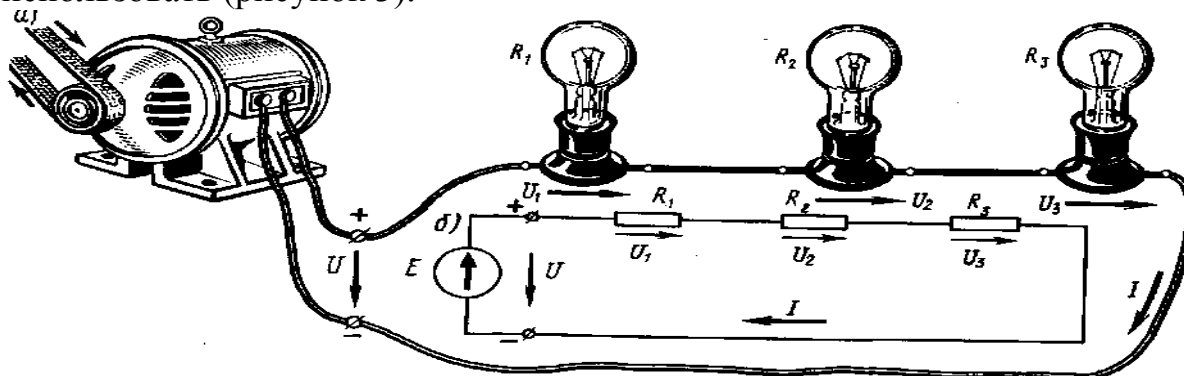


Рисунок 3 – Элементарный приемник электроэнергии (последовательное соединение резисторов)

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства,

накопления, передачи, преобразования, распределения электрической энергии или преобразования ее в другой вид энергии (рисунок 4).



Рисунок 4 – Электроустановка

Электрическая сеть – это совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящий из подстанций и распределительных устройств, соединённых ЛЭП и работающая на определенной территории.

Заключение

Электроэнергия передается с электростанций по высоковольтным линиям электропередачи. Чтобы была электроэнергия в наших домах, на предприятиях и т.д., она преобразуется в трансформаторах и поступает по линиям электропередачи.

Литература

1. Энергоснабжение. [Электронный ресурс]/ Энергоснабжение. - Режим доступа: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/2016/sistemy-elektrosnabzheniya/> - Дата доступа: 26.10.2021.
2. Энергоснабжение. [Электронный ресурс]/ Энергоснабжение. - Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/> - Дата доступа: 26.10.2021.

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА THE IMPACT OF MOBILE PHONES ON HUMAN HEALTH

С.А. Буцанец, Г.А. Герасимович

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Butsanets, G. Gerasimovich

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В работе рассматривается влияние смартфонов на здоровье человека, его причины, способ измерения этого влияния и способы его уменьшения.

Annotation: The article examines the influence of smartphones on human health, its causes, a method for measuring this influence and ways to reduce it.

Ключевые слова: Мобильные телефоны, электромагнитные излучения, удельный коэффициент поглощения (SAR).

Keywords: Mobile phones, electromagnetic radiation, specific absorption rate (SAR).

Введение

В современном мире, мире высоких технологий и технического прогресса не для кого уже не будет новшеством персональный компьютер, мобильный телефон, планшет или же смарт-часы. Сегодня людей, у которых нет при себе личного мобильного телефона, а то и двух, можно пересчитать по пальцам. Эти прямоугольные экранчики действительно хорошо себя показывают в качестве компактных помощников.

Принцип работы телефонов базируется на рядах Фурье. Они применяются там, где есть колебания или волны: в акустике, астрономии, радиотехнике. Например, они используются в механизме работы фотоаппарата или видеокамеры. Данные устройства записывают коэффициенты рядов Фурье. Благодаря рядам Фурье вы можете читать статьи, смотреть видео и слушать музыку на телефоне. Без преобразования Фурье у нас бы не было достаточной пропускной способности интернет-соединений, чтобы просто посмотреть видео на YouTube даже в стандартном качестве.

Ряды Фурье имеют вид:

$$u(x) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (U_s \sin k\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} (U_c \cos k\omega t) \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot dt \quad U_c = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \cos k\omega t \cdot dt \quad U_s = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \sin k\omega t \cdot dt \quad (2)$$

Но всё же, как это обычно бывает, не всё так гладко, как хотелось бы. И даже такие с виду безобидные карманные коробочки могут хранить не очень безобидные секреты.

Основная часть

В первую очередь, как многие возможно знали или догадывались, использование телефонов неблагоприятно сказывается на зрении.

Во-первых, из-за того, что человек в течение длительного времени фокусирует взгляд на близком, к тому же сравнительно малом, предмете, хрусталик глаза замирает в одном положении, и из-за этого с течением времени у него утрачивается способность фокусироваться на каких-либо других расстояниях. Следовательно, раз расстояние от глаз до мобильного телефона редко превышает 50 см, то начинает развиваться близорукость.

Во-вторых, экран смартфона излучает множество различных по цвету излучений, среди которых и синий цвет. Лучи синего цвета фокусируются прямо перед сетчаткой глаза, и, чтобы увидеть чёткое изображение, человеку приходится напрягать глаза. К тому же синий свет мешает выработке мелатонина. Это неблагоприятно сказывается на сне человека. И ко всему этому фотоны синего света могут разрушать рецепторы сетчатки глаза.

Но помимо проблем со зрением могут быть и куда более серьёзные проблемы. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, генерируемое мобильным телефоном, поглощается тканями человеческого тела и проникает даже в нервную систему. Проникая в ткани, электромагнитные волны вызывают их нагревание по принципу микроволновой печи. Это может отрицательно сказываться на работе сердечнососудистой системы, или же нервной системы, или всего организма в частности.

Даже находящийся в спящем режиме мобильный телефон способен мешать разным жизненным процессам. Если телефон лежит рядом с вашей кроватью, то он может мешать нормальному сну. Это происходит из-за того, что электромагнитное излучение смартфона нарушает чередование фаз сна. По мнению ученых, излучение, создаваемое мобильным телефоном, может резонировать с естественным излучением, которое создают живые организмы. Из-за этого могут происходить сбои центров, регулирующих различные жизненные процессы.

Сегодня существует величина SAR, называемая удельным коэффициентом поглощения. Как может стать ясно из названия, это величина, отражающая поглощение энергии электромагнитного поля тканями человеческого тела за одну секунду. Измеряется она в Вт/кг. В России эта величина отличается от мировой и считается в Вт/см². В Европе принято считать допустимым и практически безопасным излучение в 2 Вт/кг. Зачастую, но, к сожалению, не всегда, изготовители телефонов придерживаются данного стандарта. Например, на данный момент существует Iphone 11. Его SAR равен 3,8 Вт/кг при допустимых 2 Вт/кг.

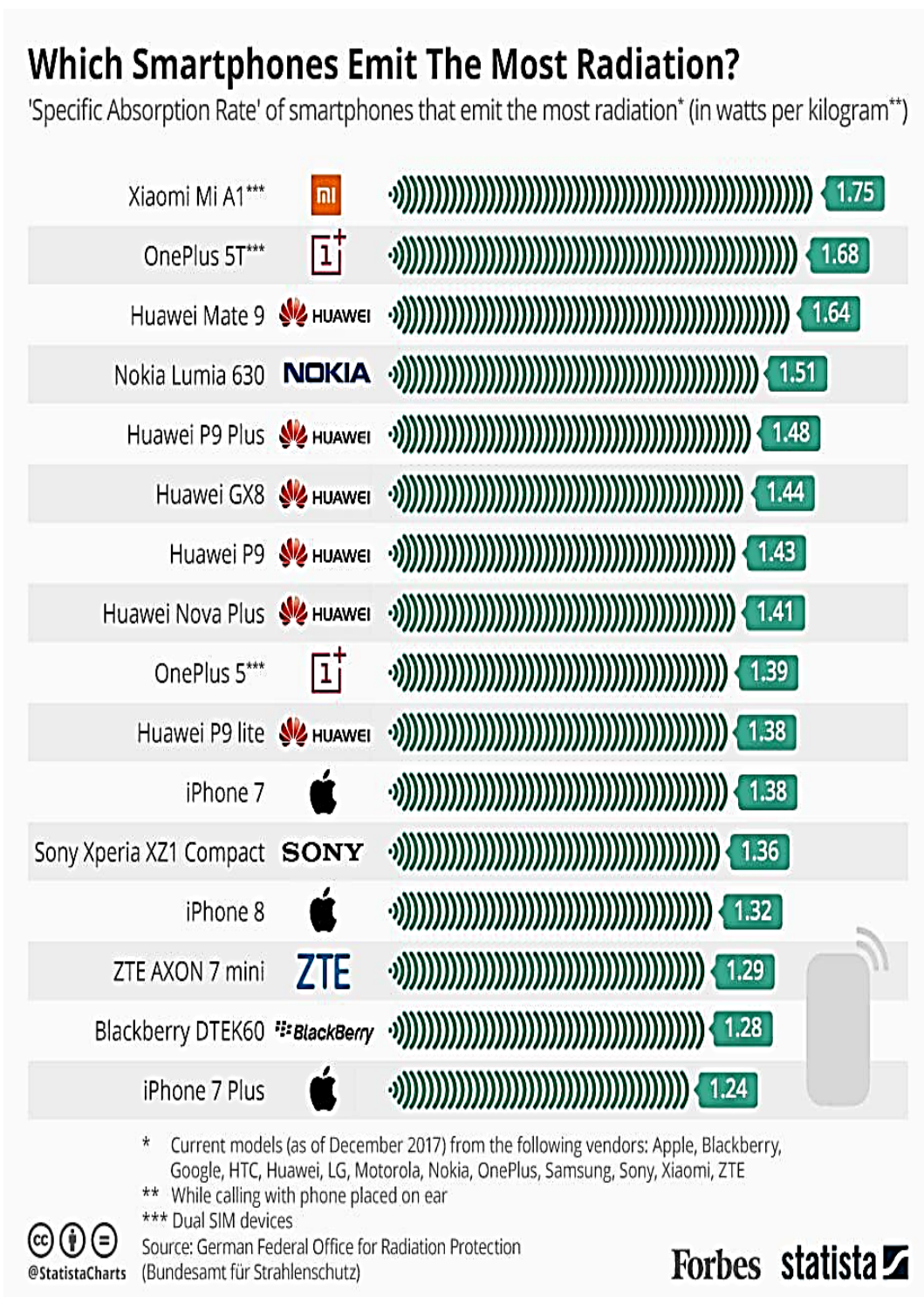


Рисунок 1 – SAR современных телефонов

В связи со всем этим можно дать несколько советов, как использовать блага современного мира и при этом сохранять своё здоровье:

- Старайтесь избегать контакта телефона с телом. Используйте для этого громкую связь или гарнитуру при звонках.
- Не используйте телефон при низком уровне сигнала. Он старательно пытается подключиться к сети и на это затрачивает больше энергии, что приводит к увеличению SAR телефона.
- Следите, чтобы в чехле телефона было как можно меньше магнитов или металла. Они ухудшают качество связи, что как и в прошлом пункте

увеличивает SAR.

- Включайте режим «В самолёте», если телефон не используется.
- Во время сна держите с телефоном дистанцию.
- При долгом использовании телефона старайтесь делать небольшие перерывы каждые 30-45 минут. Глазам тоже нужен отдых.
- Старайтесь держать телефон как можно дальше от глаз.

Заключение

Сейчас нельзя однозначно сказать, насколько опасны телефоны и действительно ли они так опасны. Многие учёные до сих пор спорят и пытаются доказать какую-либо из этих точек зрения. Но с другой стороны о вреде телефонов говорит практика, доказывающее не совсем благоприятное влияние телефонов на организм человека. И поэтому на вопрос вреден ли сотовый телефон или нет, последует ответ «скорее да, чем нет».

Литература

1. Технические и медицинские факторы воздействия сотового телефона на человека. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://www.qrz.ru/articles/article663.html>
2. Влияние электромагнитных волн на здоровье человека. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://school-science.ru/1/11/29132>
3. Портят ли смартфоны зрение? Как защитить глаза при работе с экраном. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://shop.mts.ru/news/portyat-li-smartfony-zrenie-kak-zashchitit-glaza-pri-rabote-s-ekranom/>

УДК 621.311

**ПОТЕРИ ПРИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ СЕРДЕЧНИКА
ТРАНСФОРМАТОРА
TRANSFORMER CORE MAGNETIZATION LOSSES**

А.В. Кононов

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kononov

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** В работе рассматривается проблема потерь энергии при перемагничивании сердечников трансформаторов, их причины, способы борьбы с ними.*

***Abstract:** The paper deals with the problem of energy losses during remagnetization of transformer cores, their causes, and ways to deal with them.*

***Ключевые слова:** Гистерезис, высшие гармоники, трансформатор, перемагничивание, энергетические потери.*

***Keywords:** Hysteresis, higher harmonics, transformer, magnetization reversal, energy losses.*

Введение

В настоящее время трансформаторы являются одним из важнейших элементов в электроэнергетике. Их главное назначение – изменение напряжения переменного тока, это необходимо для транспортировки электроэнергии на дальние расстояния. Необходимость использования трансформаторов возникает из-за того, что у людей не получается потратить всю электроэнергию в местах её выработки, и возникают её излишки. Благодаря использованию трансформаторов, люди могут строить электростанции в местах, где присутствуют огромные энергетические ресурсы, например в Сибири или на Севере. Люди используют тамошние жидкие, твёрдые и газообразные топлива для производства энергии и прокладывают линии электропередачи на тысячи километров, так решается проблема формирования Единой энергетической системы. Использование трансформаторов неизбежно приводит к потерям при транспортировке электроэнергии. Потери в трансформаторе разделяют на два вида: потери вызванные нагреванием обмоток при прохождении по ним переменного тока (потери в меди) и потери в сердечнике, вызванные гистерезисом и вихревыми токами (потери в стали).

Основная часть

При малых частотах, потери вызваны явлениями магнитного гистерезиса, при увеличении частоты, потери возрастают, они являются следствием возникновения вихревых токов, возникающих в проводнике, находящемся в переменном магнитном поле. Сердечник, с намотанными на него медными витками, является именно таким проводником, и из-за появления вихревых токов происходит его нагрев.

В устройствах, работающих на высоких частотах неприменимы магнитопроводы из материалов, имеющих высокий уровень электрической проводимости, из-за того, что потери, вызванные вихревыми токами пропорциональны частоте перемагничивающего магнитного поля в квадрате.

Измерить мощность потерь на вихревые токи для единицы массы магнитного материала можно формулой:

$$P_e = E * f^2 * (B_m)^2, \quad (1)$$

где P_e – потери на вихревые токи;

E – коэффициент, зависящий от природы материала, от его удельного сопротивления и формы;

f – частота.

$$P_e = \frac{1.64 * h^2 * f^2 * (B_m)^2}{d_\rho}, \quad (2)$$

где h – толщина листа;

d_ρ – удельное электрическое сопротивление;

P_e – потери на вихревые токи.

Количество потерянной энергии определяется качеством стали. В сердечнике находится огромное количество диполей, которые изменяются по динамической петле магнитного изменения, под действием переменного магнитного поля, возникающего между обмотками. Диполи меняют своё положение с периодичностью изменения магнитного поля, вследствие этого между ними возникает механическое трение, что вызывает дополнительный нагрев.

Количество потерянной мощности при перемагничивании определяется формулой:

$$P_g = n * f * (B_m)^n, \quad (3)$$

где P_g – потери при гистерезисе;

n – коэффициент, зависящий от природы материала;

f – частота;

B_m – максимальная магнитная индукция в течение цикла;

n = показатель в диапазоне от 1,6 до 2.

Методы борьбы с перемагничиванием.

Для уменьшения потерь при перемагничивании существует два пути.

Наиболее простой путь – это изменение материала сердечника и использование магнитомягких материалов, структурированных особым образом. Такие материалы обладают большой магнитной проницаемостью и при этом малой коэрцитивной силой. К магнитомягким материалам относятся железо, кремнистая электротехническая сталь, сплавы с высокой начальной магнитной проницаемостью, магнитодиэлектрики и ферриты. Зачастую такие материалы обжигают, что помогает снять внутреннее напряжение структуры, укрупнить зерно и убрать внешние дефекты материала.

Одним из наиболее подходящих материалов для изготовления сердечников является электротехническая сталь.

Второй путь это изготовление сердечника не из монолитного блока, а из электроизолированных друг от друга пластин, изоляция выполняется с использованием лака или бумаги, толщиной, равной нескольким десятым долям миллиметров. У такого способа изготовления сердечника есть много преимуществ:

- У работников появляется возможность собирать аналитические данные трансформатора.
- В сердечнике не возникают дополнительные токи.
- Увеличивается срок службы.
- Удобство в использовании.
- Снижение энергетических потерь.
- Появляется возможность построение плана действий на производстве.
- Такой способ требует больше времени и использования специфических технологий, но позволяет существенно снизить потери электроэнергии.

Так же для увеличения удельного сопротивления при изготовлении материала сердечника применяют присадки из кремния

При увеличении частоты толщину пластин в сердечнике уменьшают, для частоты 50 Гц используют пластины толщиной 0.35 мм, для частот звукового диапазона (от 20 Гц до 20 кГц) используют пластины толщиной от 0,10 до 0.03 мм.

Потери электроэнергии в трансформаторе можно проверить в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания. При использовании обоих способов КПД трансформатора можно повысить до 85-90%.

Заключение

Люди не могут избегать потерь при использовании трансформаторов, но они нашли множество способов борьбы с их возникновением, каждое новое открытие в данной сфере сильно повлияет на развитие электроэнергетики в целом.

Литература

1. Учебные материалы для студентов [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://studme.org/284491/tehnika/poteri_transformatore_sposoby_borby_nimi – Дата доступа: 28.10.2021

2. Интернет журнал о трансформаторах и их конструкциях [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://otransformatore.ru/vopros-otvet/prichiny-pochemu-serdechniki-transformatora-sobirayut-iz-otdelnyh-plastin/> – Дата доступа: 28.10.2021

3. Школа для электрика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/429-transformatory-naznachenie.html> – Дата доступа: 28.10.2021

УДК 612.014.424

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА
THE EFFECT OF ELECTRIC CURRENT ON THE HUMAN BODY**

К.Е. Благодаров, Д.Г. Закудовская

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Blagodarov, D. Zakudouskaya

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: рассматривается влияние электрического тока на организм человека, опасные параметры тока для человеческого тела, применение электрического тока в медицине.

Annotation: the influence of electric current on the human body, dangerous current parameters for the human body, the use of electric current in medicine are considered.

Ключевые слова: электрический ток, опасность тока, организм, медицина.

Keywords: electric current, danger of current, organism, medicine.

Введение

В течение нашей современной жизни нам всё больше и больше приходится иметь дело с электроприборами. В свою очередь молодые специалисты и не только систематически пренебрегают техникой безопасности. Поражение электрическим током составляет 2 – 2.5% от общего числа травм. Но электрический ток занимает одно из первых мест, как причина летального исхода или инвалидности. В данной статье рассматривается вопрос о безопасности человека при работе с вещами, которые прямо или косвенно связаны с электричеством в обще популярном его значении, о влиянии электромагнитного поля на организм человека, о применении электрического тока в медицине.

Основная часть

Влияние параметров тока на организм человека

Вредное значение тока прямо пропорционально силе тока и напряжению при прохождении тока через тело. В таком режиме человеческое тело буквально становится частью электрической цепи.

Особое место занимает импеданс тела человека.

В электротехнике импедансом называют комплексное сопротивление между двумя узлами цепи или двухполюсника для гармонического сигнала.

Рассчитывается по формуле:

$$\hat{Z}(j\omega) = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L = R - \frac{j}{\omega C} + j\omega L = R + j \left(-\frac{1}{\omega C} + \omega L \right), \quad (1)$$

В нашем случае импедансом будет сумма активного (омического) и реактивного (ёмкостного) сопротивлений тканей.

Главным проводником тока в теле человека являются мышечные массы с капиллярной сетью. В общем случае наибольшим сопротивлением обладает наружный эпидермальный слой кожи – 2 МОм. Уже при токе с напряжением 10

– 40 В вызывает пробой эпидермиса. В свою очередь пробой кожи напряжением 220 В, приводит к тому, что сопротивление тела стремится к сопротивлению приблизительно равному при отсутствии эпидермиса. Сопротивление на разных участках тела колеблется от 100 - 3000000 Ом, где наибольшим сопротивлением обладают кости как твёрдые ткани содержащие наименьшее количество веществ проводящих ток.

Вред для организма определяет только сила тока, а напряжение нужно лишь для того чтобы пробить кожу человека. Пробивное напряжение для каждого человека индивидуально, но в большинстве случаев – это приблизительно 40 В. А сила тока определённым образом и воздействует на человеческие ткани. Например, аккумулятор для машины, у которого сила тока в 500 тыс. раз больше безопасного, но напряжение 12 В, которое не сможет пробить кожу. Такой аккумулятор сможет убить человека, только если он упадёт ему на голову с третьего этажа.

При пробое кожи, ток не принесёт вреда если его сила меньше 1 мА. Допустимым но опасным является ток с величиной его силы от 1 мА до 0.08 А. Фатальным считается сила тока выше 0,1 А.

Влияние видов тока на организм человека

В общей природе опасность видов тока довольно относительна. Низкочастотный ток (50 – 60 Гц) при одинаковом действующем напряжении в пределах 100 В несёт большую опасность чем постоянный ток. Причиной является особенность переменного тока, которая заключается в изменении полярности с определённой частотой. Исходя из этого, можно сделать вывод, что с это частой изменяется и направление движения электронов. Для человека это представляет серьёзную опасность, поскольку он оказывает более выраженное стимулирующее воздействие на нервы и мускулатуру.

При напряжениях больше 100 В безопасность переменного тока будет определять его частота. Менее опасными будут токи высоких частот (20 кГц и выше), так как действие тока на организм обратно пропорционально частоте тока.

Влияние электрического тока на организм в зависимости от фактора времени и пути.

Воздействие предельно допустимых величин тока зависит от времени воздействия на организм.

Значение имеет также путь прохождения тока по телу человека – «Петля прохождения тока». Наиболее опасным является прохождение тока через сердце и мозг.

Можно выделить несколько вероятных путей прохождения тока и соответственно классифицировать.

- Нижняя петля – от ноги к ноге. Является наименее опасным.
- Верхняя петля – от руки к руке.
- Полная петля – обе руки и обе ноги. Является самым опасным. В этом случае проходит через сердце.

В общем случае вариантов прохождения больше, а летальный исход может наступить при всех видах петель.

Применение электрического тока в медицине

Говоря об электрическом токе нельзя не сказать о его применении в медицине.

Способ осуществления электролечения прост: через организм пропускаются контролируемые заряды тока для лечения болей и восстановления систем организма. В электролечении, кроме постоянного электрического тока, используются импульсные токи, поля высокой, ультравысокой, сверхвысокой частот и т.д.

Некоторые виды лечения:

Гальванизация – вид терапии при котором на человека воздействует постоянный ток с малой силой (до 50 мА) и низким напряжением (30 – 80 В) для лечения заболеваний органов пищеварения, хронические воспалительные процессы, расстройства кровообращения,

Электростимуляция- это воздействие импульсных токов на органы и ткани, которые утратили свою первоначальную, нормальную функциональность. Применяется для профилактики атрофии мышц и при нарушении кровообращения.

Ультратонтерапия – вид лечения, при котором применяются синусоидальный высокочастотный ток для улучшения лимфообращения, имеет противовоспалительное действие.

Заключение

О влиянии тока на организм человека можно сделать неоднозначные выводы. С одной стороны будь то постоянный или переменный ток, при определённых параметрах они одинаково опасны для организма человека. Для предотвращения травм и летального исхода при работе с электрическим током или электрическими приборами, необходимо выполнять все требования техники безопасности. Но с другой стороны при определённых параметрах ток может использоваться в медицине в качестве методов лечения: гальванизация, электростимуляция и многие другие.

Литература

1. Сайт «Wikipedia» [Электронный ресурс] / Электрический импеданс. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_импеданс. – Дата доступа: 31.10.2021
2. Сайт «ZenYandex» [Электронный ресурс] / Что бьёт и убивает – ток или напряжение? – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/mdex/chto-bet-i-ubivaet--tok-ili-napriajenie-60fc55cb237ef80467b4753b>. – Дата доступа: 31.10.2021
3. Сайт «МГМИ» [Электронный ресурс] / Повреждающее действие электрического тока. – Режим доступа: https://www.bsmu.by/downloads/kafedri/k_pat_fiz/2.pdf. – Дата доступа: 31.10.2021
4. Манойлов В.Е. Электричество и человек, Изд.: Энергоатомиздат, 1982, 150 с.

УДК 621.311

**РАЗНОВИДНОСТИ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ
TYPES OF INDUCTORS**

А.В. Виршич, Н.Ф. Жихович

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Virshych, N. Zhihovich

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В работе рассматриваются различные виды катушек индуктивности, их классификация, характеристики, а так же их области применения.

Abstract: The paper discusses various types of inductors, their classification, characteristics, as well as their areas of application.

Ключевые слова: Индуктивность, многофункциональные магнитные компоненты, конденсатор, дроссель, колебания.

Keywords: Inductance, multifunctional magnetic components, capacitor, choke, oscillation.

Введение

Ни для кого не секрет, что сегодня катушки индуктивности очень распространены. Они широко применяются в таких областях, как электротехника, в качестве колебательных контуров, накопителей энергии, ограничителях тока. Поэтому их можно встретить везде, начиная от самых маленьких схем и заканчивая гигантскими подстанциями. В этом докладе мы расскажем, что такое катушка индуктивности, какие существуют разновидности катушек, и где они применяются.

Катушка индуктивности – винтовая, спиральная или винто-спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая большой индуктивностью при сравнительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении. Как отмечалось ранее, катушки индуктивности встречаются почти везде. Их существует бесчисленное множество, поэтому они подразделяются на классы: катушки связи, вариометры, катушки колебательных контуров, дроссель, сдвоенный дроссель.

Кроме этого стоит отметить, что катушки индуктивности играют важнейшую роль в многофункциональных магнитных радиокомпонентах (ММРК), которые в свою очередь делятся на амплитудные и угловые. Амплитудные ММРК мы рассмотрим на примере: параметрического трансформатора (паратранс), имеющих конденсаторы и катушки индуктивности (индукконы), трансформатора-фильтра.

А угловые ММРК на примере: трансформатора-делителя частоты вдвое, трансформатора – фазовращателя, трансформатора-конвертора однофазного напряжения в трехфазное напряжение.

Основная часть

Катушки связи представляют собой две, три или более катушки, размещенные друг относительно друга таким образом, чтобы взаимодействовать своими магнитными полями (иногда встречаются катушки, которые включены совместно с конденсаторами). Таким образом, осуществляется трансформаторная связь между различными каскадами, контурами. Применение катушек связи можно увидеть на усилителях звуковой частоты, которые имеют драйверный и выходной каскады, их можно разделить путем применения трансформаторной связи. Кроме этого, таким способом, могут быть соединены между собой база выходного каскада и цепь коллектора предыдущего каскада, акустического усилителя. Конкретно здесь не так важна высокая добротность, как для резонансных цепей, поэтому обмотки трансформаторов связи, как правило, делают с большим количеством витков и тонким проводом, добиваясь главной цели – высокой взаимной индукции связываемых цепей.

Вариометр представляет собой катушку, у которой можно перестраивать индуктивностью. Такие катушки полезны для регулировки резонансной частоты настраиваемых колебательных контуров. Вариометр состоит из нескольких частей. Две части катушки соединены последовательно и таким образом, чтобы одна из частей могла бы физически двигаться, т.е. поворачиваться или отодвигаться относительно другой. То есть получим, что одна часть неподвижна, а другая представляет собой как бы подвижный ротор внутри статора, который можно крутить. Или другой вариант - одна часть катушки по необходимости просто отодвигается от другой. Так же стоит отметить, что вариометр может быть без сердечника или, например, части катушки могут быть навиты на ферритовом сердечнике, на котором катушки можно двигать или есть возможность регулировать зазор самого магнитопровода. Вообще вариометры имеют очень разные конструкции, однако принцип остается один – изменение общей индуктивности катушки через изменения взаимного расположения ее частей. Индуктивность катушки вариометра может

Как отмечалось выше, одно из главных применений катушки индуктивности – включение ее совместно с конденсатором. Как известно, если совместить катушку с конденсатором, то образуется колебательный контур. Требования к контурным катушкам индуктивности в плане добротности очень высоки. Кроме этого у контурной катушки должна быть очень высокая температурная стабильность. Поэтому контурные катушки резонансных контуров изготавливают, как правило, из достаточно толстого провода, по сравнению с катушками связи, которые наматываются из тонкого провода. Данные катушки применяются во многих областях, на базе колебательных контуров работают различные приборы, передатчики и приемники.

Катушки индуктивности обладают одним очень важным свойством, а именно, они препятствуют изменению тока через ее провод. Данное свойство активно используется в дросселях. Дроссель, как и любая катушка, свободно пропускает установившийся постоянный ток, но оказывает высокое реактивное сопротивление переменному или пульсирующему току. Например, если включить дроссель последовательно нагрузке в цепи переменного тока, то

можно ограничить ток нагрузки. Нередко можно увидеть дроссель в качестве фильтра в цепи питания. Сетевые дроссели изготавливают на магнитопроводах из трансформаторной стали, а для радиочастот применяют феррит, также могут использоваться каркасы без сердечников. Дроссели могут быть также представлены в виде колец или бусинок. Они нанизываются на коммуникационные кабели для подавления синфазных высокочастотных помех.

Очевидно, что питание к нагрузкам от сети подается как минимум по двум проводам, здесь и применяются сдвоенные дроссели. Сдвоенный дроссель представляет собой две катушки, намотанные согласованно или встречно на один общий сердечник или на ферромагнитный каркас. Встречная намотка помогает фильтровать синфазные помехи в двухпроводной сети, а согласованная намотка – помогает препятствовать дифференциальным помехам. Такие двойные катушки часто встречаются во входных цепях блоков питания, в акустической сфере и на различных цифровых линиях. Они защищают прибор от попадания высокочастотного шума из сети, а сеть – от паразитных высокочастотных сигналов, генерируемых рабочими цепями прибора. Сдвоенные дроссели для низкочастотных сетевых цепей имеют сердечники из трансформаторной стали, а для высокочастотных – ферритовые сердечники или вообще не имеют сердечников.

Теперь рассмотрим применение катушек индуктивности в амплитудных ММРК.

Параметрический трансформатор является по существу низкочастотным индуктивным параметрическим генератором с определенной долей поведения обычного силового трансформатора. Паратранс в отличие от обычного трансформатора выполняет одновременно функции трансформатора, стабилизатора, защитного устройства, двухстороннего фильтра и при необходимости конвертера однофазного напряжения в трехфазное напряжение и обратно. Многофункциональность паратранса по перечисленным функциям делает особенно перспективным его применение в первую очередь в различных устройствах питания. Паратранс можно построить по любой из электромагнитных схем: балансной, мостовой, с взаимно ортогональным расположением обмоток. Достоинства и недостатки каждой связаны с конкретными условиями применения и требованиям. Возбуждение колебаний в паратрансе обязано чисто параметрическому механизму передачи энергии и не связано с взаимно индуктивной связью, как в обычном или феррорезонансном трансформаторе. Установившиеся колебания в паратрансе наступают в результате ограничения роста амплитуды возбужденных колебаний нелинейностью кривой намагничивания при переходе в область насыщения ферромагнетика. Многофункциональность паратранса обусловлена совместным использованием трансформаторной (потокосвязи) и параметрической связи между входом и выходом, свойств четности и нелинейности кривой намагничивания, свойств консервативной системы, каковой по существу является паратранс. В отличие от обычных параметронов, в которых частота выходного колебания в два раза ниже частоты накачки, в паратрансе частота выходного напряжения равна частоте источника питания. Независимо от схемно-конструктивного

исполнения функциональные свойства и характеристики качественно остаются неизменными, изменяясь количественно. Поскольку все функции взаимно коррелированы, то сильное подчеркивание одних функциональных свойств паратранса приводит к снижению других. К условным недостаткам паратранса можно отнести зависимость выходного напряжения от частоты питающего напряжения, которая характеризуется примерно 1–1,5% изменением амплитуды напряжения при 1%-ном изменении частоты. Габариты и масса паратранса в 1,2–1,5 раза больше габаритов и массы эквивалентного по мощности трансформатора. Частотная зависимость паратранса либо сравнительно просто компенсируется, либо используется как полезное свойство. Многофункциональность паратрансов при построении устройств питания на их основе позволяет получить выигрыш в габаритах и массах.

Для работы на частотах от десятков герц до единиц мегагерц конденсаторы и дроссели или катушки индуктивностей выпускаются промышленностью в виде отдельных элементов, радиокомпонентов электронной техники. В то же время, проводя в жизнь идеи конструктивно-технологической интеграции, принципиально допустимо и во многих случаях целесообразно создание и промышленный выпуск совмещенных конденсатора и катушки индуктивности или конденсатора и дросселя (индукон). При этом по сравнению с отдельным изготовлением этих изделий в индуконах решаются следующие задачи: уменьшаются габариты в два раза, сокращается в два раза расход меди или другого электропроводящего материала, изоляционных и конструктивных материалов, почти вдвое снижается трудоемкость, а следовательно, и себестоимость. В современных силовых устройствах питания при малых напряжениях и больших токах, когда в качестве электрического проводника обмоток необходимо использовать уже не провода с круглым сечением, а фольгу, выпуск индуконов особенно выигрышен. При создании ММРК, таких как паратрансы, употрансы, это дальнейший шаг в интеграции функций.

Некоторой разновидностью совмещенных конденсатора и катушки индуктивности является другой ММРК трансформатор-фильтр, который проявляет себя на резонансной частоте как источник тока, защитное устройство от к. з, фильтрующее устройство, трансформатор. Основная магнитная цепь и шунты набираются из пластин электротехнической стали (подобно обычным маломощным силовым трансформаторам), толщина которых определяется частотой питающей сети. Трансфильтр в соответствии с выполняемыми им функциями удобно использовать в качестве силового устройства питания нагрузок, сопротивления которых резко меняется (таких как газоразрядные лампы, электросварочные аппараты, магнитные приоры с насыщением и т. п.)

Рассмотрим применение катушек индуктивности в угловых ММРК.

Трансформатор-делитель частоты вдвое (трансделитель) представляет собой паратранс со смещением по входной цепи (цепи накачки) и в этом смысле по существу является индуктивным параметрическим генератором.

Трансделитель выполняет функции трансформации, деления частоты, стабилизации, защиты от перенапряжений и перегрузок, фильтрации. Конструктивно трансделитель может быть выполнен в таком же конструктивном

многообразии как паратранс и трансумножитель, т. е. на базе основных магнитных схем управляемых трансформаторов.

Трансформатор-фазовращатель (трансфазовращатель) выполняет функции трансформации и управления фазой выходного сигнала относительно входного. Конструктивно трансфазовращатель выполняется на основе мостовой магнитной схемы. Принцип работы трансфазовращателя основан на использовании эффекта изменения характера магнитного сопротивления, отдельных участков сложной разветвленной магнитной цепи. Иначе говоря, в сложной разветвленной магнитной цепи на различных ее участках физически допустимы ситуации, когда магнитный поток будет отставать, опережать или совпадать с м. д. с. На этом участке. В результате оказывается возможным построить магнитный мост с реактивным характером магнитных сопротивлений плеч, подобно электрическому мосту по переменному току, используемому для управления фазой выходного колебания относительно входного. Основные достоинства магнитного моста с реактивными магнитными сопротивлениями плеч, по сравнению с электрическим мостом по переменному току, заключены в следующем: возможность электрического соединения с заземлением по одному полюсу входа и выхода, для уменьшения наводок, при работе со слабыми сигналами, возможность повышения амплитуды выходного сигнала, по сравнению с входным, простота реализации плавного электрического или механического управления фазой выходного сигнала, стойкость к окружающим воздействиям, малое количество элементов, высокая надежность, доступность исходных материалов и их сравнительно невысокая стоимость.

Трансформатор параметрический-конвертор фазы (паракон) выполняет функции трансформации, преобразования однофазного напряжения в трехфазное напряжение. Конструктивно выполняется на основе паратрансов. При работе паракона используется эффект 90° фазового сдвига между выходным и входным напряжениями в паратрансе.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что катушки индуктивности играют очень важную роль в сегодняшней жизни. Они являются необходимыми компонентами почти в любых схемах. Здесь мы рассмотрели классификацию катушек индуктивности, их характеристики и, самое главное, установили области их практического применения. Рассуждая самостоятельно над возможностью использования катушек индуктивности, мы пришли к выводу, что можно расширить область применения катушки, как магнита. Особенно часто используются магниты больших размеров на предприятиях, где необходимо выполнять трудоемкую работу. Кроме этого мы предполагаем, что катушки индуктивности можно отлично применять как нагреватели, или источника энергии для нагрева. И, самое интересное, как датчики перемещения, так как изменение индуктивности катушки может изменяться в широких пределах при перемещении ферромагнитного сердечника относительно обмотки.

Литература

1. Разновидности катушек индуктивности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/2030-raznovidnosti-katushek-induktivnosti.html> – Дата доступа 26.10.2021
2. Массовая библиотека инженера «Электроника» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/"Massovaya_biblioteka_injenera_"Elektronika"/_"M_BIE".html](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/) – Дата доступа 27.10.2021
3. Школа для электрика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/429-transformatory-naznachenie.html> – Дата доступа 28.10.2021

УДК 62.593

**РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ В АВТОМОБИЛЯХ
ENERGY RECOVERY IN CARS**

В.Ч. Король

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Korol

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В данной статье рассматриваются системы рекуперации энергии в автомобилях, принципы их работы и новые системы рекуперации для решения текущих недостатков автомобилей.

Abstract: This article discusses energy recovery systems in cars, the principles of their operation and new recovery systems to solve the current shortcomings of cars.

Ключевые слова: рекуперация, автомобиль, энергия, торможение, электродвигатель, система.

Keywords: recovery, car, energy, braking, electric motor, system.

Введение

Сегодня, все большую и большую популярность в мире приобретают транспорт, работающий на электрической энергии. У них много своих недостатков и преимуществ. Сейчас, основным недостатком таких машин является их запас хода. Чем больше ёмкость аккумулятора, тем дальше сможет автомобиль проехать. Для данного типа транспорта это становится ещё критичней, так как у них зарядка аккумулятора происходит намного дольше, чем заправка топливом транспорта с двигателями внутреннего сгорания. Бесконечно увеличивать ёмкость аккумулятора невозможно, поскольку вместе с увеличением ёмкости увеличивается вес и размер самого аккумулятора. Из-за этого производитель не может просто увеличивать бесконечно батарею, а проблема остается. Для увеличения запаса хода необходимо находить новые технологические решения и одно из них это заряжать аккумулятор прямо в пути. Речь идет о рекуперации.

Основная часть

Рекуперативное торможение – вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в электрическую сеть.

В машинах, работающих на электрической энергии, важной частью является электрический мотор. Основной его задачей является вращение колес, расходуя энергию, с чем успешно справляется, поскольку его КПД достаточно высок (более 90% у легковых автомобилей). Но при торможении мотор перестает работать, так как колеса крутить в данный момент нет необходимости. Соответственно, на этот короткий промежуток торможения электродвигатель можно запустить в режиме генератора, преобразовывающего механическую

энергию в электроэнергию. Благодаря этому запас хода в таком виде транспорта сильно повысился без увеличения емкости аккумуляторных батарей.

В машинах с двигателями внутреннего сгорания при торможении кинетическая энергия преобразуется в тепловую энергию, которая появляется при трении тормозных дисков об тормозные колодки. Такая энергия в дальнейшем никак не используется, а тепло просто уходит в окружающую среду. Кроме этого колодки и тормозные диски стираются друг об друга, что в конечном итоге приводит к необходимости их замены.

В машинах, работающих на электроэнергии, уже применяется система рекуперации. Данная система не расходует кинетическую энергию впустую, чтобы затормозить. Вместо этого используется включенный в трансмиссию электродвигатель, который начинает при торможении работать как генератор, преобразовывая момент на валу в электроэнергию, заряжающую аккумуляторную батарею, а тормозящий момент ротора, возникающий в генераторном режиме, как раз и дает автомобилю желанное торможение. Запасенная в аккумуляторе, таким образом, энергия через некоторое время вновь служит для движения автомобиля, то есть используется повторно.

Рекуперативное торможение позволяет по максимуму использовать доступный ресурс электроэнергии, благодаря чему топливо сильно экономится. Поскольку при торможении 70% кинетической энергии приходится на переднюю ось, то и систему рекуперации устанавливают именно на передней оси, чтобы эффективно преобразовывать и сохранять энергию.

Но рекуперативного торможения эффективно работает только на высоких скоростях движения. На низких скоростях рекуперативное торможение почти не останавливает автомобиль, что приводит к совместному использованию на автомобилях и рекуперативного торможения, и торможения с помощью тормозных колодок и тормозных дисков.

Их совместное использование было бы невозможным без специального электронного контроллера. Данный контроллер отвечает за ряд функций, а именно: распределяет тормозное усилие между рекуперативным торможением и «классическим» торможением, контролирует скорость вращения колес, поддерживая крутящий момент необходимый для корректной зарядки аккумуляторной батареи. Прямой механической связи между педалью тормоза и тормозными колодками в таких автомобилях нет. Электронный блок обеспечивает правильное взаимодействие ABS, включает в правильном порядке «классическую» и рекуперативную тормозные системы, обеспечивает системы курсовой устойчивости, системы распределения тормозных усилий и усилителя экстренного торможения между собой.

Кроме автомобилей рекуперативное торможение широко применяется на электровозах, электропоездах, современных трамваях и троллейбусах. Рекуперативным торможением на таких видах транспорта называется процесс преобразования кинетической энергии движения поезда в электрическую энергию тяговыми электродвигателями, работающими в режиме генераторов. Выработанная электрическая энергия передается в контактную сеть. Рекуперативное торможение используется для подтормаживания состава в

случаях, когда поезд идет по относительно некрутому уклону вниз, и использование воздушного тормоза нерационально. Рекуперативное торможение тогда используется для поддержания определенной скорости при движении по спуску. Данный вид торможения дает ощутимую экономию энергии, так как выработанная электрическая энергия передается в контактную сеть и может быть использована другими локомотивами на данном участке контактной сети, чтобы, например, подняться на какой-то уклон или развить большую скорость.

Помимо электрического способа рекуперации кинетической энергии существуют и другие способы, например система рекуперации кинетической энергии (Kinetic Energy Recovery Systems, KERS). В данной системе кинетическая энергия движущегося автомобиля возвращается при торможении и сохраняется для дальнейшего использования с помощью маховика. В отличие от рекуперативного торможения система KERS не создает тормозной момент.

Маховик включен в трансмиссию автомобиля, вращается в вакуумной камере и при торможении разгоняется до 60000 об/мин. Конструкция обеспечивает сохранение энергии до 600 кДж и передачу мощности до 60 кВт (80 л.с.). Запасенная энергия используется для кратковременного скоростного рывка в движении или при трогании с места.

Кроме электротранспорта, рекуперация также используется и в некоторых машинах с двигателем внутреннего сгорания с системой «старт стоп». Исследования показывают, что в среднем двигатель работает на холостом ходу примерно 30% от всего времени, это связано с пробками, светофорами и другими временными остановками. Принцип «старт стоп» основан на заглушке двигателя во время пробок и остановок, а с помощью рекуперации накапливать дополнительную электроэнергию для постоянного запуска двигателя. Благодаря системе «старт стоп» и использованию рекуперации такой принцип позволяет экономить более 8% топлива и уменьшить выбросы выхлопных газов.

В перспективе, для повышения запаса хода электротранспорта, необходимо как можно больше использовать рекуперацию энергии. Мы предлагаем использовать рекуперацию в подвесках электротранспорта. На текущий день, в подвеске автомобиля никак не рекуперировать энергию, вся затраченная сила уходит на нагрев элементов подвески и последующего выделения теплоты в атмосферу. Мы предлагаем устанавливать в подвеску генераторы, работающие от возвратно-поступательных движений подвески. Такие генераторы могут выполнять функции классической подвески и дополнительной рекуперации энергии, что позволит вернуть в систему дополнительную электроэнергию, что, в свою очередь, помогает решить основную проблему электрического транспорта – запас хода.

Заключение

Рекуперация энергии продолжает развиваться. Благодаря использованию рекуперации решается главная проблема электромобилей – запас хода. Данная система находит свое место не только в машинах. Она тестируется в областях, где можно использовать паразитную энергию для генерации электроэнергии и возвращении ее обратно в сеть. Благодаря такому подходу в мире сокращается

количество вредных отходов, выбросов углекислого газа в атмосферу при генерации электроэнергии, что позитивно сказывается на экологии нашей планеты.

Литература

1. Рекуперативное торможение. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Рекуперативное_торможение - Дата доступа: 26.20.2021
2. Интернет-энциклопедия elquanta. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://elquanta.ru/teoriya/rekuperaciya.html> - Дата доступа: 26.10.2021
3. Системы современного автомобиля. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://systemsauto.ru/brake/regenerative_braking.html - Дата доступа: 27.10.2021

УДК 621.3

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКА
PRACTICAL APPLICATION OF CURRENT RESONANCE**

В.П. Шевченко, Т.С. Якубович

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г.Минск,

V. Shevchenko, T. Yakubovich

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В статье рассматривается резонанс тока, его расчет, а также указаны сферы практического применения.

Abstract: The article discusses the resonance of the current, its calculation, and also indicates the areas of practical application.

Ключевые слова: Активное сопротивление, резонанс, резонанс токовых величин, двигатель, параллельный резонанс.

Keywords: Active resistance, resonance, resonance of current values, motor, parallel resonance.

Введение

Многие люди, изучая электронику и все, что с ней связано, сталкиваются с таким понятием как резонанс токов. Что оно собой представляет, при каких условиях возникает резонанс токов, как используется и как его правильно подсчитать?

Основная часть

Резонанс токов, хорошо известный как естественный токовый «параллельный резонанс» – процесс или явление, которое протекает в условиях параллельного типа колебательного контура и наличия напряжения.

Применение токового резонанса:

- асинхронного типа двигателями, в особенности функционирующими в условиях неполной нагрузки;
- установками высокоточной электрической сварки;
- колебательными контурами внутри узлов генератора электронного типа;
- приборами, отличающимися высокочастотной закалкой;
- снижением показателей генераторной нагрузки. При таких условиях в приемном трансформаторе с первичной обмоткой делается колебательный контур и т.п.

Три разные кривые соответствуют трем значениям активного сопротивления R .

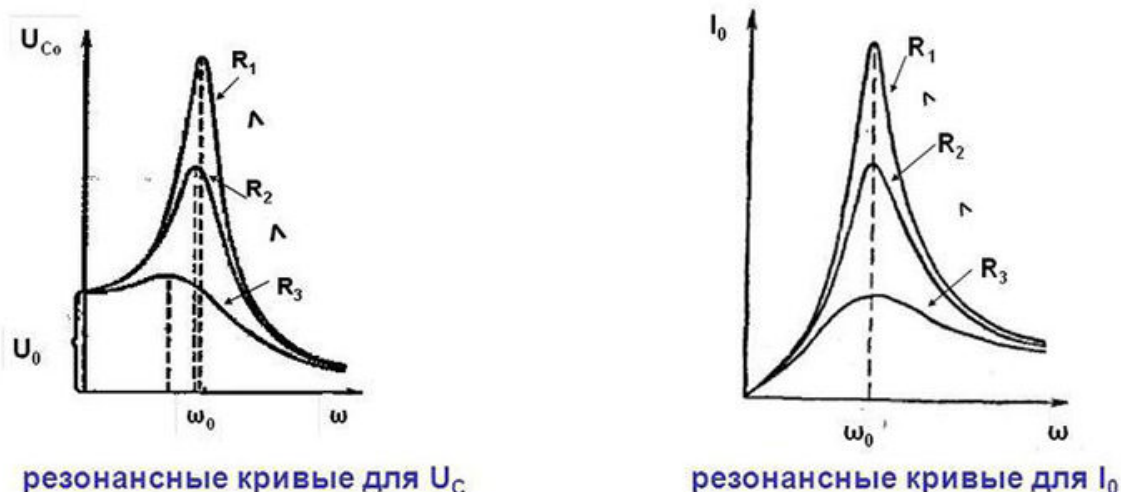


Рисунок 1 – Резонансные кривые

Расчет резонансного контура.

Необходимо помнить, что явление, представленное токовым резонансом, нуждается в очень грамотном и тщательном расчете резонансного контура. Особенно важно выполнить правильный и точный расчет при наличии параллельного соединения, что позволит предотвратить развитие помех внутри системы. Чтобы расчет был правильным, требуется определиться с показателями мощности электрической сети. Среднюю стандартную мощность, которая рассеивается в условиях резонансного контура, можно выразить среднеквадратичными показателями тока и напряжения.

При резонансе стандартный коэффициент мощности составляет единицу, а формула расчета имеет вид:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho \quad (1)$$

Заключение

Резонанс токовых величин в физике – это естественное явление, сопровождающееся резким возрастанием амплитуды колебания внутри системы, что обусловлено совпадением показателей собственных и внешних возмущающих частот. Подобный вариант явлений характеризует электрические схемы с наличием элементов, представленных нагрузками активного, индуктивного и емкостного типа. Таким образом, токовый резонанс – один из важнейших параметров, широко используемых в настоящее время в целом ряде современных отраслей, включая промышленное электрическое снабжение и радиосвязь.

Литература

1. Курс радиотехники Режим доступа: <https://bookree.org/reader?file=408026>. – Дата доступа: 22.10.2021
2. Основы радиотехники Режим доступа: <https://bookree.org/reader?file=538449>. – Дата доступа: 22.10.2021

УДК 621.38

**ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА И СПОСОБЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ
ELECTRON GUN AND METHODS OF ITS APPLICATION**

В.А. Кирикович, О.В. Лебедева

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г.Минск,

V. Kirikovich, O. Lebedeva

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В статье рассматривается принцип работы электронной пушки. Проведен анализ конструктивно-технических особенностей построения, классификация по способу генерации электронов, указаны сферы применения на практике.

Abstract: The article discusses the principle of operation of an electronic gun. The analysis of the structural and technical features of the construction, classification according to the method of electron generation, the scope of application in practice are indicated.

Ключевые слова: пучок ускоренных электронов; вакуум; ускорительная техника; эмиссия.

Keywords: accelerated electron beam; vacuum; accelerator technology; emission.

Введение

Уже в начале XIX века было известно, что распространение электромагнитного излучения происходит со скоростью света. Однако англичанин Джозеф Томсон, проводя опыты с катодными лучами, заключил, что они состоят из множества мелких крупиц, масса которых меньше атомной. Это открытие подтолкнуло развитие не только физической, но и химической науки. Оно позволило значительно продвинуться в изучении электричества и магнетизма, свойств веществ, а также дало начало ядерной физике.

Электроны – это наиболее легкие частицы, обладающие электрическим зарядом.

Электронное излучение – корпускулярное ионизирующее излучение, состоящее из потока свободных электронов. В медицине электронное излучение используют для электронной терапии, радиоизотопной диагностики, а также в медико-биологических исследованиях, в том числе проводимых с помощью электронной микроскопии [4]. Основой электроннолучевых технологий является электронная пушка.

Основная часть

Электронной пушкой является устройство для получения потоков (пучков) электронов в объёме, из которого удалён воздух (в вакууме). Электроны в электронной пушке вылетают из катода и ускоряются электрическим полем. Испускание электронов из катода происходит главным образом в процессах термоэлектронной эмиссии, эмиссии из плазмы, автоэлектронной эмиссии и фотоэлектронной эмиссии, формирование заданного распределения

электронного пучка на выходе из электронной пушки осуществляется подбором конфигурации и величины электрического и магнитного полей и является предметом электронной оптики.

Термин электронная пушка применяют как к устройствам для формирования высокоинтенсивных электронных пучков, так и к более простым совокупностям электродов для получения пучков малой интенсивности (используемых в клистронах, магнетронах, электроннолучевых приборах); последние часто называются электронными прожекторами [1].

Схема электронной пушки показана на рисунке 1.

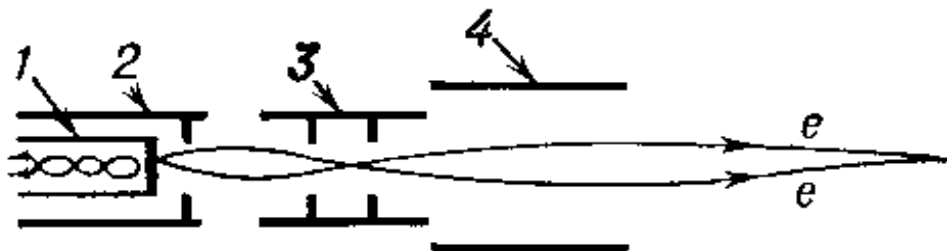


Рисунок 1 – Схема электронной пушки: 1 – катод; 2 – модулятор; 3 – первый анод; 4 – второй анод; e – траектории электронов

Электронная пушка начинается с небольшого нагревателя, который очень похож на горячую яркую нить накаливания обычной лампочки. Он нагревает катод, который испускает облако электронов. Два анода превращают облако в электронный пучок:

- Ускоряющий анод притягивает электроны и ускоряет их в стороне экрана.
- Анод фокусировки поворачивает поток электронов в тонкий луч [2].

Электронные пушки, применяемые в ускорительной технике, можно разделить по способу генерации электронов на несколько видов.

Электронные пушки с термоэлектронной эмиссией. Термоэмиссионные катоды, имеющие долгую историю разработки и использования, являются наиболее практичными источниками для приложений, которые требуют длительного срока службы и низкой скважности. Принцип работы пушек с термоэлектронной эмиссией следующий: катод нагревается с помощью специального нагревательного узла до высокой температуры ~ 1000 С°. Электроны, эмитируемые катодом, составляют высокоэнергетичный хвост распределения Максвелла, с энергией, достаточной, чтобы преодолеть потенциальный барьер поверхности материала катода. Стандартными для ускорительных применений являются диспенсерные катоды, которые состоят из пористой подложки из тугоплавкого металла, содержащей соединения активных металлов (преимущественно, барий). В процессе работы диспенсерного катода барий диффундирует к поверхности, уменьшая работу выхода. (Строение электронной пушки с термоэлектронной эмиссией, рисунок 2.

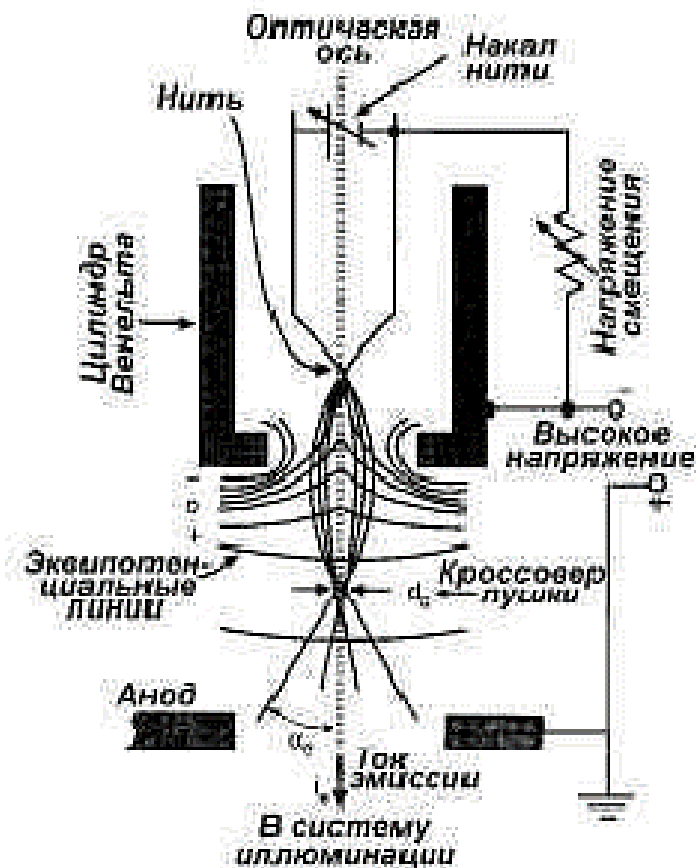


Рисунок 2 – Схема электронной пушки

Электронные пушки с фотоэмиссией. Фотоэмиссионные катоды долго использовались в электрооптических устройствах при низкой плотности тока. Появление высокоинтенсивных импульсных лазеров побудило к разработке фотокатодов для электронных пучков с высокой энергией и яркостью. Принцип работы фотокатода следующий: импульсы мощного лазерного излучения вырывают электроны с поверхности катода из материала с низкой работой выхода. Электронные пушки с фотоэмиссией имеют некоторые преимущества по сравнению с термоэлектронными. Среди них отсутствие нагревателя, что упрощает конструкцию пушки; более высокие значения максимальной плотности тока; большая яркость пучка, так как электроны имеют гораздо меньшие средние поперечные импульсы. Недостатки фотокатодов: наличие сложной лазерной системы; высокие требования к вакууму в пушке; невозможность работы с большими плотностями тока при низкой скважности из-за высокой средней мощности лазерного излучения. (Строение электронной пушки с фотоэмиссией рисунок 3)

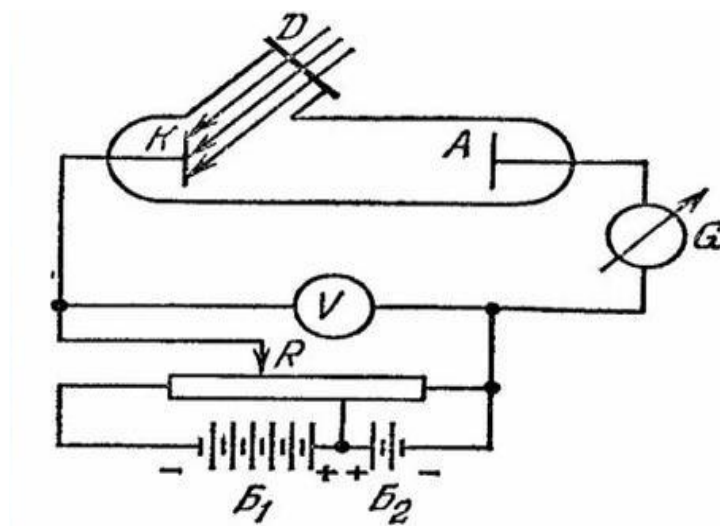


Рисунок 3 – Строение электронной пушки с фотоэмиссией

Электронные пушки с автоэмиссией. На поверхности металлического катода при изготовлении формируются микровыступы, на которых под действием сильного электрического поля происходит взрывная автоэмиссия, приводящая к резкому нагреву микровыступов и формированию плазмы вблизи них. Так как работа выхода плазмы равна нулю, электронные пушки с автоэмиссией могут обеспечивать плотность тока свыше 1000 А/см^2 [3]. (Строение электронной пушки с автоэмиссией рисунок 4)

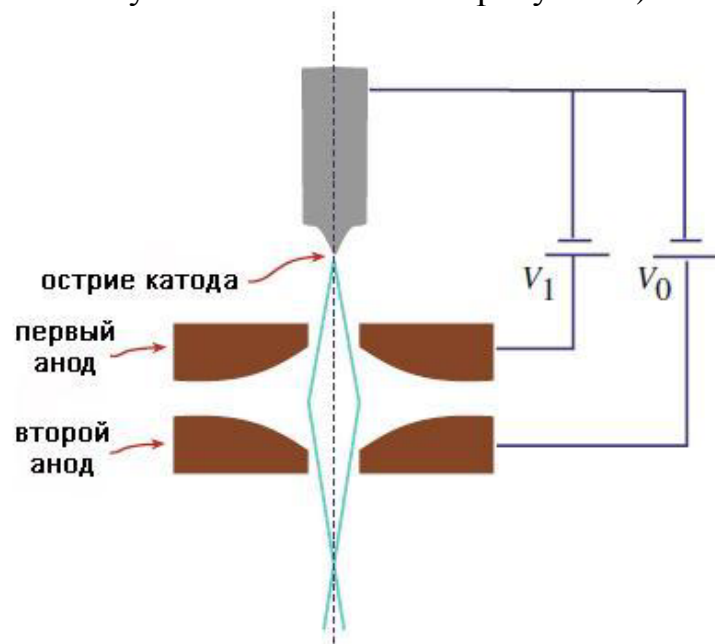


Рисунок 3 – Строение электронной пушки с автоэмиссией

Области применения электронной пушки:

- СВЧ-приборы
- электронные микроскопы
- ускорители заряженных частиц
- кинескопы
- электронно-лучевые трубки
- создание термического воздействия на металлы и сплавы

Заключение

В настоящее время наиболее распространенное применение электронных пушек сведено к соединению двух металлов на их стыке при помощи напыления и сварки нескольких материалов. Отличительными качествами электронно-лучевой сварки по сравнению с обычной являются: отсутствие деформаций и большая чистота шва, возможность сваривания деталей из различного материала и размера, а также автоматизации процесса. Качество обработки свариваемой поверхности, при помощи лучей, испускаемых электронно-лучевыми пушками, не зависит, от механических свойств самого материала. Это позволяет обрабатывать поверхности любой твердости, например: керамику; драгоценные металлы; кварц и многие другие.

Литература

1. Электронная пушка. gufo.me // Режим доступа: https://gufo.me/dict/bse/Электронная_пушка – Дата доступа: 22.10.2021
2. Как работает электронная пушка внутри телевизора и почему ее называют «электронной пушкой»? howstuffworks // Режим доступа: <https://electronics.howstuffworks.com/question694.htm> – Дата доступа: 22.10.2021
3. Stanley Humphries, Jr., Charged particle beams. John Wiley and Sons, 1990. P. 288. – Дата доступа: 22.10.2021
4. Электроны. fb.ru // Режим доступа: <https://fb.ru/article/316019/elektronyi---eto-cto-svoystva-i-istoriya-otkryitiya-elektronov> – Дата доступа: 22.10.2021

УДК 606

**БИОЭЛЕКТРОНИКА. ДОСТИЖЕНИЯ И БУДУЩЕЕ НАУКИ
BIOELECTRONICS. ACHIEVEMENTS AND FUTURE OF SCIENCE**

В.А. Бондаренко

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Bondarenko

Supervisor – Y. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В работе рассматривается биоэлектроника — одно из направлений бионики, эксперименты учёных и их достижения в этой области; выдвинуты предположения о будущем науки.

Annotation: The article examines bioelectronics — one of the areas of bionics, the experiments of scientists and their achievements in this field; put forward assumptions about the future of science.

Ключевые слова: Биоэлектроника, полимеры, биосовместимость, ионные токи, эксперименты, нейроны, транзисторы, киборги.

Keywords: Bioelectronics, polymers, biocompatibility, ion currents, experiments, neurons, transistors, cyborgs.

Введение

Любой живой организм можно назвать компьютером или роботом. Только в отличие от привычного электричества нами управляют не электроны, а нервные импульсы и ионы — потоки заряженных молекул. В данный момент учёные активно стараются скрестить в одном устройстве ионные и электронные токи с помощью полимеров. Электропроводящие полимеры и прочие материалы органической электроники легли в основу для создания транзисторов, светоизлучающих диодов и солнечных батарей. Однако в этих устройствах неважно такое преимущество полимеров, как биосовместимость. Его использует органическая биоэлектроника — одно из направлений бионики, решающее задачи электроники на основе анализа структуры и жизнедеятельности живых организмов.

Основная часть

Биоэлектроника, хоть и является совсем молодой наукой, но у нее уже есть ряд достижений. В 2013 году французские ученые предложили использовать органические электрохимические транзисторы(ОЭТ) для фиксации электрической активности мозга и детектирования различных биомолекул. Будучи нетрадиционным устройством, ОЭТ обладает многими преимуществами и некоторыми недостатками по сравнению со стандартными транзисторами для медицинских применений. Поскольку ионы в электролите проникают через всю подложку, органические транзисторы обладают чрезвычайно высокой емкостью затвора — более чем на три порядка больше, чем у современного диэлектрического транзистора. Результатом такой высокой емкости является способность работать при очень низких напряжениях (до ~0,5 В) и

демонстрировать чрезвычайно высокую проводимость. В совокупности эти функции означают, что ОЭТ соответствуют потребностям медицинских устройств с чрезвычайно низким энергопотреблением при одновременном достижении высокого уровня усиления. Помимо этого, эти устройства могут также работать как датчики давления самостоятельно, где давление, физически приложенное к затвору, будет сжимать электролит, посылая ионы в подложку и модулируя ток. Позднее большая группа шведских ученых “излечила” лабораторных мышах при помощи электронного ионного насоса. Параллельно с этой работой они сделали первый искусственный нейрон, способный повторять функции настоящих нейронов. Шведские исследователи внедрили полупроводящие полимеры в розу, превратив ее в “киборга” с электрическими цепями внутри. Сначала исследователи поместили синтетический полимер под названием PEDOT-S в цветок через его стебель. Роза всасывает вещество, используя свою ксилему, сосудистую систему, которая транспортирует воду. Затем полимер превращается в “провод”, который проводит электрические сигналы, позволяя воде и необходимым питательным веществам перемещаться по цветку.

Заключение

Эксперименты подтвердили важность развития биоэлектроники и внедрения модернизированных биосовместимых и биodeградируемых материалов. Учёные считают, что останется только научить чипы из таких материалов, внедрённые в организм, беспроводной передаче информации, что позволит, например, контролировать различные жизненно важные показатели: уровень глюкозы, электрическую активность нейронов, сердцебиение и т.д. Вполне вероятно использование таблеток со встроенными микросхемами, способных определять место “выброса” лекарства. А на основе растений с электросхемами внутри в теории можно будет создать первые “электростанции” на энергии фотосинтеза или же добиться повышения урожайности без генных модификаций.

Литература

1. Щеголева, Е.И. — Биоэлектроника / Е.И. Щеголева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.kafedra-appie.ru/index.php?topic=37.0> – Дата доступа: 28.10.2021
2. Михаил Петров — Живая электроника. Роза-киборг, искусственный нейрон и другие гибриды живых существ и машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/sci/6822229>. – Дата доступа: 27.10.2021
3. Andrew Parsons — Flower power: Swedish scientists create world’s first electronic ‘cyborg’ rose [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rt.com/news/323058-rose-electronic-research-flower/>. – Дата доступа: 28.10.2021
4. Jake Hertz — Scientists Reimagine Organic Transistors for Low-power, High-amplification Biowearables [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allaboutcircuits.com/news/scientists-reimagine-organic-transistors-low-power-high-amplification-biowearables/> – Дата доступа: 27.10.2021

УДК 621.311.019.3

**ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ
РИСКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
APPLICATION OF THE BAYESIAN APPROACH IN RISK MANAGEMENT
OF ENERGY SYSTEMS**

Д.Д. Боголюбский

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Bahaliubski

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной работе описывается возможность использования теоремы Байеса для оценки потенциальных угроз энергетической безопасности.

Abstract: This article describes the possibility of using Bayes' theorem to assess potential threats to energy security.

Ключевые слова: Теорема Байеса, энергетическая безопасность, диагностика.

Keywords: Bayes' theorem, energy security, diagnostics.

Введение

Для оценки рисков, потенциальных угроз и прогнозирования вероятности их наступления в энергетических системах, по мнению авторов, возможно применение Байесовского метода, обобщенно приведенного в ГОСТ Р 58771-2019 в виде технологий оценки рисков «Байесовский анализ» и «Байесовские сети». Данные технологии основаны на комплексировании предварительных и эмпирических данных. Байесовский анализ основан на теореме, приписываемой преподобному Томасу Байесу (1760).

Основная часть

В оригинальной теореме Байеса дается вероятностная основа для изменения одного мнения в свете новых доказательств. Она обычно выражается следующим образом [1]:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

где $P(A)$ - предварительная оценка вероятности события A (априорная вероятность);

$P(B)$ - предварительная оценка вероятности события B (априорная вероятность);

$P(A|B)$ - вероятность события A при условии, что произойдет событие B (апостериорная оценка);

$P(B|A)$ - вероятность события B при условии, что произойдет событие A .

В области измерений теорема применима для оценки рисков ложной браковки и ложной приемки. «Знания о величинах Y и Y_m выражены и представлены с помощью условных плотностей распределения вероятностей (PDF), вид которых зависит от имеющейся информации. PDF для Y и Y_m обозначаются с помощью символов g и h соответственно, с использованием

следующих обозначений. Эти PDF не являются независимыми, но связаны теоремой Байеса: наблюдаемая на выходе измерительной системы величина рассматривается как случайная величина Y_m с возможными значениями, обозначаемыми как η_m . Измерение Y приводит к конкретной реализации, измеренному значению величины η_m , и результирующая апостериорная (имеющаяся после измерения) PDF для Y с учетом новой информации записывается как» [2]:

$$g(\eta_m) = C g_0(\eta) h(\eta_m | \eta), \quad (2)$$

где g – условная PDF для Y ;

η – возможные значения Y ;

η_m – измеренное значение наблюдаемой случайной величины Y_m ;

g_0 – условная PDF, характеризующая знания об измеряемой величине Y перед выполнением измерения;

h – PDF, характеризующая о Y_m , предполагающие в дополнении к информации также наличие заданного значения измеряемой величины, равно $Y = \eta$;

C – константа при заданном измеренном значении η_m , выбранная так, чтобы $h(\eta_m | \eta)$ - PDF для возможных значений Y_m при заданном конкретном значении $Y = \eta$ измеряемой величины [2]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(\eta | \eta_m) d\eta = 1 \quad (3)$$

В технической литературе встречаются примеры применения Байесовского подхода для анализа рисков энергетических систем. Например, в [3] рассматриваются технологические риски с применением теоремы Байеса следующим образом. «Пусть событие В – «электродвигатель не работает», а гипотеза А – «на электродвигатель не поступает питания». Очевидно, что вероятность $P(A|B)$ того, что электродвигатель не заработает, если на него не поступает питание, равняется единице. Как следствие, апостериорная вероятность, что нет питания, если электродвигатель не работает, то есть $P(B|A)$, равна $\frac{P(A)}{P(B)}$, то есть отношению априорной вероятности, что нет питания, к вероятности, что электродвигатель не работает. Например, если априорная вероятность, что нет питания, равна 0,01, а вероятность, что электродвигатель не работает, равна 0,02, и случайно проверяемый электродвигатель не заработал, то вероятность, что на него не поступает питание, равна 0,5» [3].

Теорема Байеса может быть расширена, чтобы охватить несколько событий в конкретном выборочном пространстве. Например, предположим, что у нас есть некоторые данные А, которые мы хотим использовать для обновления нашего предыдущего понимания (или отсутствия) риска. Мы хотим использовать эти данные для оценки относительных качеств числа (N) несовместных гипотез, которые мы будем обозначать через B_n (где $n = 1, 2 \dots, N$) [4]. Тогда теорему Байеса можно использовать для вычисления вероятности j-й гипотезы по формуле [4]:

$$P(B_i|A) = P(B_i) \left\{ \frac{P(B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(B_i)} \right\} \quad (4)$$

где $j = 1, 2, \dots, n$

Формула показывает, что после учета новых данных обновленная вероятность гипотезы j [т. е. $P(B_j|A)$] получается путем умножения его предыдущей вероятности $P(B_j)$ на скобки [3].

Числитель этой дроби – вероятность получения этих данных, если j -я гипотеза истинна. Знаменатель выводится из «закона полной вероятности» – это вероятность получения данных A , если бы каждая гипотеза была верной.

Также в работе [4] приведен пример расчета риска в области надежности электротехнической продукции с применением формулы Байеса. «Известно, что 90% трансформаторов вырабатывают ресурс в исправном состоянии. Признак A – повышенный гул работы трансформатора – встречается у исправных трансформаторов в 5 % случаев. Необходимо определить вероятность исправного состояния трансформатора при появлении признака A . Примем, что B_1 – исправное состояние, а B_2 – неисправное. Положим, что известно: $P(B_1)=0,9$; $P(B_2)=1-P(B_1)=0,1$, $P(A|B_1)=0,05$; $P(A|B_2)=0,95$. По формуле (1)» [4]:

$$P(A) = \frac{P(B_1)P(A|B_1)}{P(B_1)P(A|B_1)+P(B_2)P(A|B_2)} = \frac{0,9 \cdot 0,05}{0,9 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,95} = 0,32.$$

«Парадокс» и особенности применения теоремы Байеса.

При технической диагностике вероятность обнаружить неисправность N у прибора равна 0,95, вероятность принять исправный прибор за неисправный равна 0,05. Доля неисправных приборов по отношению ко всем приборам равна 0,01. Найти вероятность того, что прибор исправен, если он был признан неисправным при диагностике. В работе [3] рассмотрен следующий пример. Предположим, что:

$$\begin{aligned} P(B_1|B) &= 0,95 \\ P(B_1|A) &= 0,05, \\ P(B) &= 0,01, \\ P(A) &= 0,99. \end{aligned}$$

Вычислим сначала полную вероятность признания неисправности: $0,99 \cdot 0,05 + 0,01 \cdot 0,95 = 0,059$.

Вероятность «исправен» при диагнозе «неисправен»:

$$P(A|B_1) = \frac{0,99 \cdot 0,05}{0,99 \cdot 0,05 + 0,01 \cdot 0,95} = 0,839$$

Таким образом, 83,9% приборов, у которых техническая проверка показала результат «неисправен», на самом деле исправные приборы. Удивительный результат возникает по причине значительной разницы в долях неисправных и исправных. Неисправность N – редкое явление, поэтому и возникает такой парадокс Байеса. При возникновении такого результата лучше всего сделать повторную диагностику.

Однако в случаях, когда объем статистических данных позволяет применить метод Байеса, его целесообразно использовать как один из наиболее надёжных и

эффективных методов. Байесовский алгоритм принятия решения – это алгоритм, обеспечивающий минимум среднего риска [3]. Среди методов технической диагностики метод, основанный на обобщённой формуле Байеса, занимает особое место благодаря простоте и эффективности. Однако этот метод обладает одним существенным недостатком – «угнетение» редко встречающихся признаков, что недопустимо в случае мониторинга состояния опасных производственных объектов [4].

Согласно ГОСТ Р 58771-2019 Байесовский анализ является средством получения вывода из данных, как субъективных, так и эмпирических. Байесовские методы могут быть разработаны для обеспечения вывода параметров через модель риска, разработанную для конкретной области применения, например, вероятности события, скорости события или времени события. Байесовские методы могут быть использованы для предварительной оценки интересующего параметра, основанного на субъективных убеждениях. Априорное распределение вероятности обычно связано с субъективными данными, поскольку оно описывает состояние, в котором, как правило, отсутствуют объективные данные. Априорная оценка может быть построена с использованием только субъективных данных или с использованием соответствующих данных из подобных ситуаций. Априорная оценка может дать вероятностное предсказание вероятности события и быть полезной для оценки риска, для которого нет эмпирических данных.

Байесовская сеть.

Согласно ГОСТ Р 58771-2019 Байесовская сеть (сеть Байеса или BN) представляет собой графическую модель, узлы которой представляют случайные величины (дискретные и/или непрерывные). Узлы соединены направленными дугами, которые представляют прямые зависимости (которые часто являются причинными связями) между переменными. Узлы, указывающие на узел X, называются его родителями и обозначаются $pa(X)$. Связь между переменными количественно определяется условными распределениями вероятности, связанными с каждым узлом, обозначаемым $P(X|pa[X])$; где состояние дочерних узлов зависит от комбинации значений родительских узлов. На рисунке 1 вероятности указаны точечными значениями [3, 4].

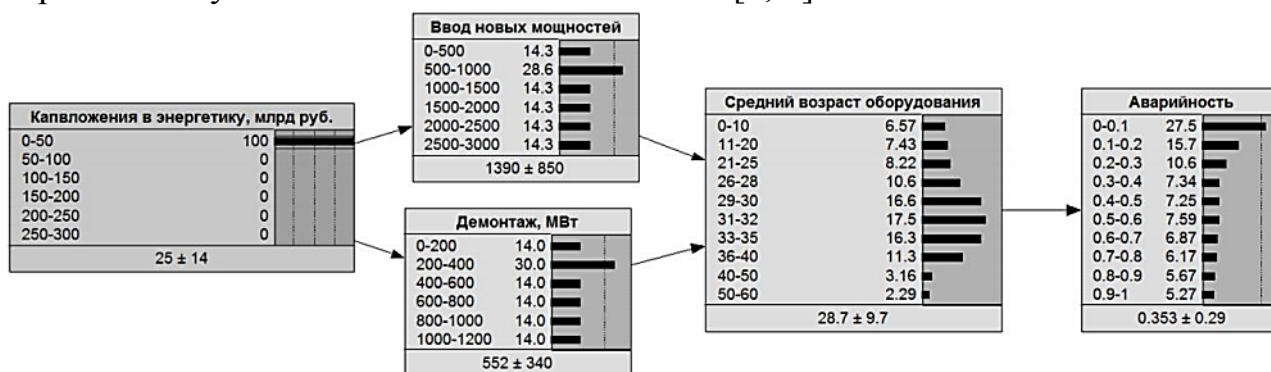


Рисунок 1 – Байесовская сеть доверия для угрозы низких темпов обновления электрогенерирующего оборудования

Постановка задач использования байесовских сетей в исследованиях проблем обеспечения энергетической безопасности.

Можно выделить две формы моделей угроз, которые различаются особенностями рассматриваемых угроз. Так, можно выделить угрозы, на которые напрямую повлиять нельзя (как правило, это природные факторы), но существует возможность реализовать набор мероприятий, которые позволяют воздействовать на определенные показатели функционирования энергетического комплекса, подверженные негативному влиянию угроз. Возможен второй вариант интерпретации такой модели – в данном случае мероприятия относятся к оперативным обеспечивающим гарантированное энергоснабжение в минимально необходимом объеме социально значимых и других жизненно важных потребителей или ликвидационным (обеспечивающим быстрое и эффективное восстановление стабильного энергоснабжения, ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций [4].

Пример упрощенной структуры байесовской сети для таких ситуаций отражен на рисунке 2.

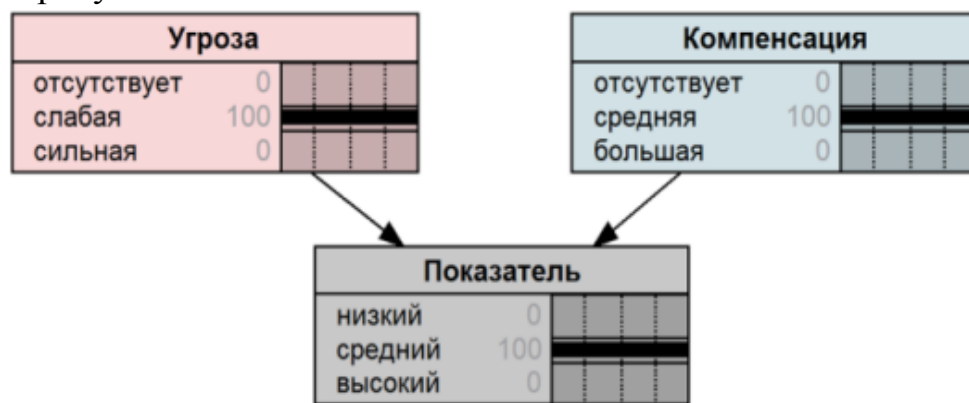


Рисунок 2 – Пример упрощенной сети «угроза-последствие-компенсация»

Другой вид угроз подразумевает возможность непосредственного влияния на переменную модели, обозначающую угрозу. В данном случае мероприятия следует рассматривать как превентивные. Пример упрощенной структуры для этого варианта представлен на рисунке 3.

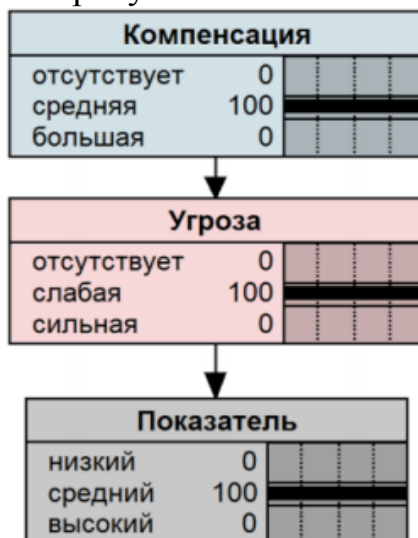


Рисунок 3 – Пример упрощенной сети «компенсация-угроза-последствие»

Заключение

Базовый BN содержит переменные, представляющие неопределенные события, и может использоваться для оценки вероятности или риска или для получения вывода о ключевых факторах риска, приводящих к определенным последствиям.

Модель BN может быть построена на базе качественного представления проблемы причастными сторонами, а затем добавляются соответствующие количественные параметры, включая оценочные (например, анализ риска для центра распределения энергии), или модель BN может быть рассмотрена только на базе эмпирических данных (например, веб-поисковые системы, финансовый риск). Независимо от формы BN, основополагающий механизм вывода основан на теореме Байеса и обладает общими свойствами байесовского анализа.

Литература

1. Формула Байеса – Викиконспекты [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Формула_Байеса.
2. ISO/IEC Guide 98-4:2012 (JCGM 106) . Uncertainty of measurement -- Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment.
3. Вероятностно-статистические методы принятия решений: Теория, примеры, задачи: учебное пособие / А. П. Науменко, И.С. Кудрявцева, А. И. Одинец; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. ISBN 978-5-.
4. Методика моделирования угроз энергетической безопасности с помощью байесовских сетей доверия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-modelirovaniya-ugroz-energeticheskoy-bezopasnosti-s-pomoschyu-bayesovskih-setey-doveriya/viewer>.

УДК 621.311.019.3

**МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В
ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ
INTERNATIONAL COOPERATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
IN THE FIELD OF ENERGY**

А.О. Боровикова, Д.В. Редько

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borovikova, D. Redko

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Выполнен анализ перспективных направлений развития международного сотрудничества Республики Беларусь на современном этапе для достижения устойчивого успеха в энергетическом секторе экономики.*

***Abstract:** The analysis of promising directions for the development of international cooperation of the Republic of Belarus at the present stage to achieve sustainable success in the energy sector of the economy is carried out.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность, Международная электротехническая комиссия (МЭК), энергетика, стандартизация, политика.*

***Keywords:** energy efficiency, International Electrotechnical Commission (IEC), energy, standardization, policy.*

Введение

Согласно закону Республики Беларусь 5 января 2004 г. п 262-з о техническом нормировании и стандартизации (в ред. Законов Республики Беларусь от 24.10.2016 N 436-3, от 18.12.2019 N 278-3) международное сотрудничество в области технического нормирования и стандартизации осуществляется в соответствии с актами законодательства и международными договорами Республики Беларусь на основе соблюдения общепризнанных принципов и норм международного права. Интересы Республики Беларусь в международных организациях, осуществляющих деятельность в области технического нормирования и стандартизации, представляют Государственный комитет по стандартизации, иные определенные Советом Министров Республики Беларусь республиканские органы государственного управления, государственные организации, подчиненные Совету Министров Республики Беларусь, а также другие государственные органы (организации) в пределах своей компетенции.

Основная часть

Международные договоры.

По материалам официального сайта Госстандарта [1], в настоящее время Республика Беларусь заключила международные договоры в области метрологии, стандартизации и сертификации с 35 странами, среди которых Азербайджанская Республика, Аргентинская Республика, Исламская Республика Иран, Китайская Народная Республика, Республика Казахстан, Республика

Корея, из них к энергетическому сектору экономики можно отнести договоры с Республикой Болгарией, Республикой Молдова. На уровне ЕАЭС: Российской Федерацией, Украиной.

По данным Министерства энергетики Республики Беларусь, основными направлениями Международного сотрудничества являются [2]:

- разработка, проектирование, строительство, эксплуатация и вывод из эксплуатации атомных электростанций;
- поставка ядерного топлива для атомных электростанций;
- обращение с облученным ядерным топливом и радиоактивными отходами;
- обеспечение ядерной и радиационной безопасности;
- производство радиоизотопов и их применение в промышленности, медицине и сельском хозяйстве;
- подготовка специалистов в области использования атомной энергии в мирных целях и персонала по эксплуатации атомных электростанций.

Сотрудничество с МЭК.

Республика Беларусь является полноправным членом Международной электротехнической комиссии (МЭК) с 1993 года. Каждая страна представлена в МЭК Национальным Комитетом (НК). НК МЭК Республики Беларусь отвечает за выработку и проведение стратегической политики Республики Беларусь в области международной, межгосударственной (региональной) и национальной стандартизации, в первую очередь через участие в деятельности высших органов МЭК. Активная работа НК МЭК РБ в области стандартизации и оценки соответствия в рамках МЭК позволяет белорусской промышленности сократить время на получение информации о современных технических требованиях для доступа продукции на мировые рынки и увеличить конкурентные преимущества, а также иметь возможность влиять на содержание разрабатываемых международных стандартов [3].

Энергоэффективность.

Энергетические потребности экономики Республики Беларусь удовлетворяются в основном за счет использования органического топлива, большая часть которого импортируется. В стране осуществляется планомерная работа по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта, повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, вовлечению в топливно-энергетический баланс местных видов топлива и возобновляемых источников энергии [4].

Департамент по энергоэффективности является структурным подразделением центрального аппарата Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, наделенным государственно-властными полномочиями и осуществляющим специальные (исполнительные, контрольные, регулирующие и другие) функции уполномоченного республиканского органа государственного управления в сфере энергосбережения [5]. Долгосрочной целью развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Беларуси является удовлетворение потребностей экономики и

населения страны в энергоносителях на основе их максимально эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду.

Стратегии.

В 2021–2025 годах в рамках реализации Госпрограммы предусматривается ввод в эксплуатацию порядка 650 МВт энерго мощностей на древесном топливе, что позволит увеличить объем использования местных ТЭР на порядка 180,3 тыс. тонн условного топлива и, соответственно, снизить потребление импортируемого природного газа на 156,8 млн куб м. Исходя из анализа энергетической ситуации в регионе Центральной и Восточной Европы, можно утверждать, что ситуация в ближнем зарубежье - Литве, Украине, которые сейчас являются основными импортерами белорусской электроэнергии складывается таким образом, что там происходит стагнация собственной сферы энергетики. Из стран Балтии только Эстония имеет положительное сальдо энергобаланса: производство на 24 % превышает потребление, а 9 % произведённой энергии даже экспортируется в Россию. в Латвии потребляется на 14 % больше, чем производится (дефицит компенсируют поставки из РФ и Эстонии), а в Литве дефицит достигает 74 %. Почти половину потребностей в энергии (46 %) литовцы покрывают за счёт поставок из России и Беларуси, остальную часть с помощью соединений с Польшей и Скандинавией, а также транзита скандинавской энергии через Латвию и Эстонию.

«ОЭС Беларуси в условиях выхода из параллельной работы с ЭС Литвы и ОЭС Украины».

Уменьшение количества внешних связей, обусловленное стратегическими планами энергосистем Балтии и Украины по присоединению к энергообъединению Европейского союза ENTSO-E, снижает надежность работы ОЭС Беларуси. В случае выхода ЭС Литвы и ОЭС Украины из параллельной работы с ОЭС Беларуси из одиннадцати межгосударственных ВЛ в работе остаются четыре ВЛ 330 – 750 кВс ЕЭС России. Для всех сценариев выхода из параллельной работы ЭС Литвы и ОЭС Украины схема системообразующей сети 220 кВ и выше ОЭС Беларуси работоспособна при плановом/аварийном отключении блока 1200 МВт Белорусской АЭС и одного из элементов межсистемной связи. Включение намечаемых к установке в ОЭС Беларуси резервных источников позволяет снизить загрузку элементов сети в случае возникновения аварийного небаланса мощности (отключении одного блока Белорусской АЭС 1200 МВт). Величина внешнего перетока мощности ОЭС Беларуси в сторону ОЭС Центра без электросетевого строительства не позволяет осуществлять экспорт в размере 1200 МВт. При отделении энергосистем Балтии и ОЭС Украины сохранение надежной работы без отключения потребителей в случае одновременного аварийного отключения двух энергоблоков Белорусской АЭС возможно только путем дополнительного сетевого строительства с ЕЭС России или организации вставок постоянного тока (далее – ВПТ) на других межгосударственных связях с возможностью использования по ним аварийного резерва мощности. Технические решения, намеченные для повышения надежности электроснабжения приграничных энергоузлов ОЭС Беларуси при отделении ОЭС Украины и ЭС Литвы, систематизированы по годам возможного

выхода из параллельной работы соседних энергосистем: 2023 год – отделение ОЭС Украины; 2025 год – отделение ЭС Литвы.

Заключение

Республика Беларусь принимает активное участие в работе международных организаций по стандартизации, метрологии и сертификации. Это позволяет повысить конкурентоспособность отечественной продукции, учитывать позицию Республики Беларусь в работе международных организаций, обеспечивать опережающей информацией в области европейской стандартизации и научно-технической информации, необходимой предприятиям-экспортерам продукции. На государственном уровне предпринимается комплекс мер по обеспечению энергетической безопасности, важнейшими из которых являются увеличение доли возобновляемых и местных видов ресурсов, энергосбережение, диверсификация поставок энергоресурсов.

Литература

1. Госстандарт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gosstandart.gov.by/international-treaties>.
2. Министерство энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: Министерство энергетики Республики Беларусь (minenergo.gov.by).
3. Секретариат национального комитета МЭК РБ [Электронный ресурс] – Режим доступа: Секретариат национального комитета МЭК РБ (bellis.by).
4. Национальный научно-технический портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: Национальный научно-технический портал Республики Беларусь (org.by).
5. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь - Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/>
6. Национальный научно-технический портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: Национальный научно-технический портал Республики Беларусь (org.by)

УДК 621.311

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ЛИНИЙ ЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ
DETERMINING THE LOCATION OF DAMAGE TO HIGH-VOLTAGE
LINES BY LOCATION**

И.А. Шкадрович

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Shkadrovich

Supervisor – T. Zhukovska, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В статье затрагивается тема определения места повреждений высоковольтных линий электропередач. Изложены основные методы по нахождению повреждений линий электропередач.*

***Abstract:** The article touches upon the topic of determining the location of damage to high-voltage power lines. The article outlines the main methods for finding damage to power lines*

***Ключевые слова:** линии электропередач, междуфазные замыкания, локационный метод, мертвая зона.*

***Keywords:** power lines, phase-to-phase faults, location method, dead zone.*

Введение

Воздушные линии электропередачи в Беларуси являются основным способом доставки электрической энергии потребителям в условиях, большой территории нашей страны. В связи с этим проблема своевременного и точного определения места повреждения ЛЭП является очень сложной задачей. В настоящее время существует несколько основных направлений решения данной проблемы.

Основная часть

В настоящее время наиболее распространенным решением данной проблемы является локационный метод, заключающийся в определении времени прихода зондирующего импульса, и метод поиска места повреждения по параметрам аварийного режима, основанный на измерении токов или напряжений в линии электропередач и вычислении расстояния до места повреждения с использованием специальных алгоритмов.

Первый метод используют рефлектометры различных типов и исполнений (РЕЙС-105Р, РЕЙС-305, РИ-307 и т.д.). При достижимой точности такого типа устройств 0.3-0.5% они обладают очень важными недостатками: необходимость работы только на отключенных линиях электропередачи, наличие «мертвой зоны», связанной с минимальной длительностью зондирующего импульса, снижение точности измерений при изменении параметров линии из-за времени, погоды и т. п., невозможность работы на разветвленных линиях с отпайками. Данные приборы представлены на рисунке 1.



1 – РЕЙС-105Р,

2 – РЕЙС-305,

3 – РИ-307

Рисунок 1 – Рефлектометры для обнаружения аварий на линии электропередач

Цифровой рефлектометр РЕЙС-105Р предназначен для обследования методом отраженных импульсов с целью обнаружения неисправностей, выявления их характера и определения расстояния до места повреждения. Автоматическое или ручное управление зондирующим сигналом. В приборе возможны два режима управления: зависимый (устанавливается при выключении питания), при котором длительность автоматически изменяется пропорционально диапазону расстояний, и независимый – длительность t зависит от диапазона.



Рисунок 2 – Индикаторный прибор ФИП

Второй метод используют индикаторные приборы ФИП (рисунок 2). Приборы, измеряющие токи (напряжения) обратной последовательности. Основным недостатком устройств этого класса является их низкая точность, достигающая 3-5%.

Предлагаемая система определения места повреждения в высоковольтных линиях представлена на (см. рисунок 3), относится к устройствам использующих локационный метод. Работает система следующим образом. Формирователь зондирующего импульса вырабатывает сигнал с параметрами, который, проходя через усилитель мощности, направленный ответвитель, коммутатор и аппаратуру присоединяется к ВЛ, направляется в линию. Отраженная неоднородностью линии, ее концом или местом повреждения, волна, содержащая полную информацию о текущем состоянии линии, отслеживаемой с помощью направленного ответвителя, поступает в блок обработки информации, в котором сигнал подвергается детектированию, фильтрации, сканированию и предварительной обработки, затем он отправляется на компьютер, где полностью анализируется по специальным алгоритмам, а обслуживающий персонал выводит на автоматизированное рабочее место с необходимой информацией о состоянии высоковольтной линии электропередачи в случае каких-либо аварий. Использование направленного ответвителя позволяет разделить отрезок передачи и приема, и даёт возможность работать с длинными импульсами, что может увеличить максимальный диапазон обнаруживаемых повреждений. Коммутатор в зависимости от сигналов блока обработки и управления последовательно подключает систему к воздушной линии через 3 канала фаза-земля и 3 междуфазными каналами. Это позволяет осуществлять полный мониторинг контролируемых линий электропередач для определения следующих типов повреждений:

- замыкание фазных проводников на землю;
- междуфазные замыкания;
- обрывы фазных проводников.

Оборудование для подключения системы к воздушным линиям (конденсаторы связи, высокочастотные дроссели и переходные фильтры) является стандартным и давно используется в системах высокочастотной связи по высоковольтным линиям. Это позволяет осуществлять стационарную установку данной системы на объектах электросетевого хозяйства (электрические подстанции, пункты контроля и управления и др.) С постоянным подключением к высоковольтной линии электропередачи, непрерывным мониторингом линий электропередачи.

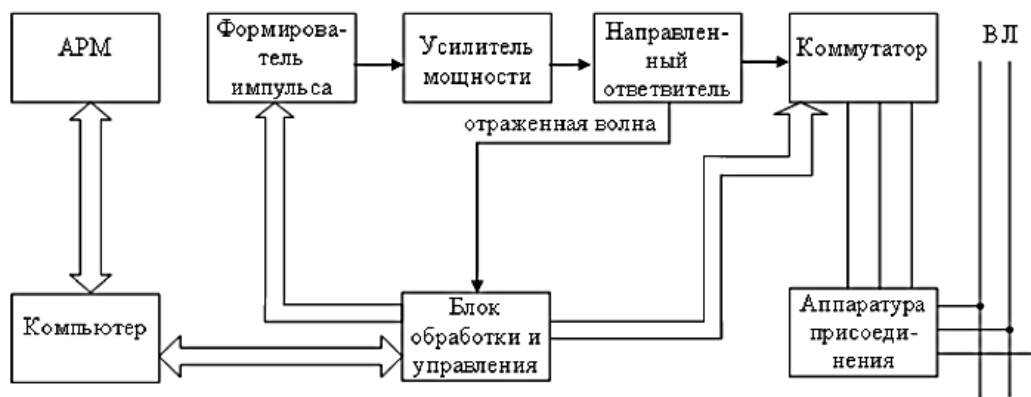


Рисунок 3 – Предлагаемая система определения места повреждения в высоковольтных линиях

Система позволяет зондировать линию различными типами сигналов, но наилучшие качественные показатели системы были достигнуты при работе с импульсами с базой сигнала от 4500 до 32000, частотный диапазон (50 ^ 950) кГц. Точность определения координат места повреждения на разветвленной линии или длиной 100км с 15 отпайками составляет 300м.

Заключение

Эксплуатации оборудования данной системы на различных линиях напряжением 10 кВ позволил создать обширную библиотеку сигналов аварийных, аварийных и предаварийных состояний различных узлов и элементов высоковольтных линий электропередачи, что позволяет продолжить работу по совершенствованию системы в направлении автоматического прогнозирования аварийных ситуаций с помощью методов обнаружения.

Литература

1. Система определения мест повреждений высоковольтных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/bitstream> - Дата доступа: 30.10.2021.
2. Электротехника и энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream>. – Дата доступа: 28.10.2021.

УДК 637.11

**ТИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
TYPES OF AUTOMATED MILKING MACHINES**

К.А. Ганусевич

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Ganusevich

Supervisor – T. Zhukovska, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk*Аннотация: типы автоматизированных доильных агрегатов и их описание.**Abstract: types of automated milking units and their description.**Ключевые слова: доильные роботы, преимущества, автоматизированное доение.**Keywords: milking robots, advantages, automated milking.***Введение**

Автоматизация процесса доения является отличным решением для производственных комплексов (ферм). Роботизированная система доения имеет ряд преимуществ. Плюсы данных установок заключаются в их быстрой окупаемости за счет увеличения дневных надоев молока в день примерно в 1.5 – 2 раза, контроль за здоровьем животных, что повышает качество молока.

Основная часть

В данной статье рассмотрим роботизированные системы доения.

Непосредственной задачей робота-дояра – облегчить работу на ферме, т.е. автоматизировать процесс. Автоматизированная система показывает на своем примере все преимущества «умных» технологий в молочной хозяйстве – повышение продуктивности, улучшение качества молока.

Процесс доения происходит в несколько этапов: 1- запуск системы промывки аппаратуры доильных стаканов и подготовки вымени; 2- установка доильных стаканов на вымя и начало процесса доения; 3- дезинфекция и обмывание вымени теплой водой. После завершения берется проба молока для анализа состояния всего стада.

Рассмотрим агрегат Робот-дояр от шведских разработчиков компании DeLaval (Рисунок 1)

Преимущества робота-дояра компании DeLaval. Наличие эффективного гидравлического манипулятора, который моделирует человеческую руку. Благодаря тому, что манипулятор оснащен двойными лазерами и оптической камерой способен подстраиваться под любые физиологические особенности животного. Гидравлический привод обладает более высокой надежностью и предъявляет меньше требований к обслуживанию по сравнению с пневматическими системами. Следующим преимуществом является то, что система VMS обеспечивает отличную гигиену доения, из-за автоматизированной подготовки вымени, так же доильные стаканы ополаскиваются внутри и снаружи. Данная функция санитарной обработки сказывается на молокоотдаче.

Для контроля работы робот оснащен сенсорным экраном с понятным интерфейсом



Рисунок 1 – Робот дояр от компании DeLaval

Робот-дояр Lely Astronaut A4 (рисунок 2)

Данная доильная система так же, как и робота-дояра компании DeLaval отвечает за те же функции, но имеет ряд преимуществ. Автоматизированные системы доения от компании Lely поставляются на фермы с двумя боксами. Двухбоксовый робот осуществляет одновременную дойку двух коров, что повышает его производительность.



Рисунок 2 – Робот дояр от компании Lely Astronaut

Так же робот-дойяр астронавт оснащен устройством автоматической раздачей кормовых смесей. Наполненность кормушки контролируется на мониторе. В пол бокса вмонтированы весы, которые дают возможность наблюдать за весом и привесом коровы, чего нет в роботе-дойяре DeLaval. Также оборудован специальными щитками для вымени, что оказывает массажный эффект.

Следующий тип робота-дойяра AMS с привязкой Robomax (рисунок 3)

Данная система отличается от предыдущих двух самостоятельным перемещением по амбару фермы. AMS с привязным стойлом Milkotax-единственный доильный робот для стойловых амбаров. Он может быть адаптирован к вашему существующему зданию и установке, чтобы свести к минимуму изменения на вашей ферме. Перемещаясь от стойла к стойлу, он позволяет автоматизировать процесс доения, сохраняя при этом преимущества стойловых амбаров. Доение производится в установленное время, что позволяет гибко выбирать количество доек на корову. Тихая работа AMS, обеспечивает спокойное стадо в течении всего дня, что положительно сказывается на доении.

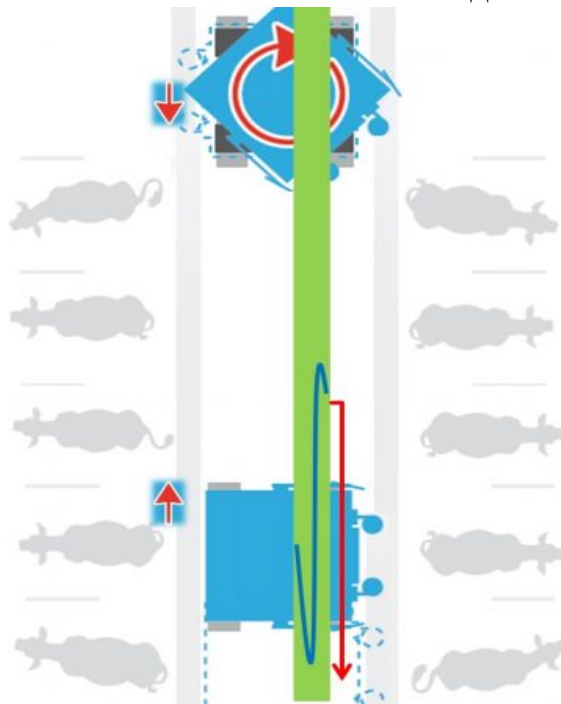
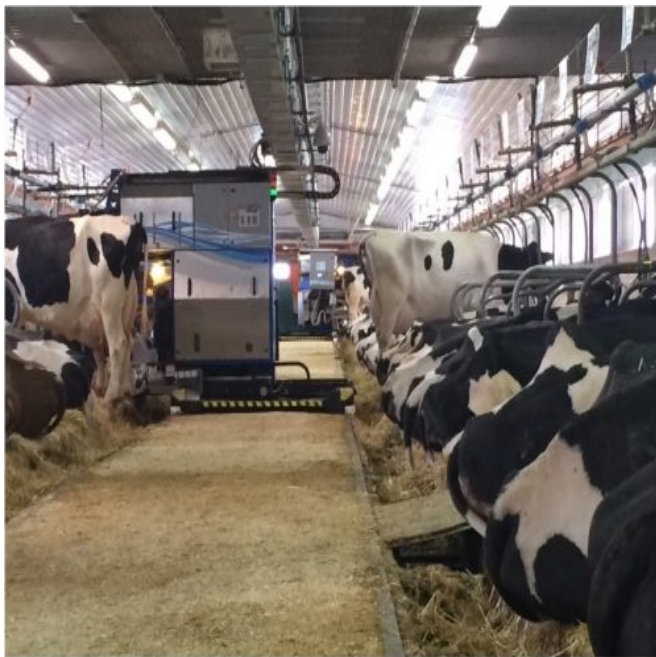


Рисунок 3 – Робот-дойяр AMS с привязкой Robomax

Следующий вид доильных систем-это доильные залы. Рассмотрим конструкцию доильного зала типа АДМ-8А тандем.

Доильный агрегат АДМ - 8А-1 предназначен для машинного доения коров в стойлах, транспортирования выдоенного молока в молочное отделение, группового учета выдоенного молока от 50 коров, фильтрации, охлаждения и сбора его в резервуар для хранения. Для охлаждения и хранения молока рекомендуется использовать в комплекте с агрегатом: резервуары-охладители; холодильную установку. Для получения горячей воды рекомендуется использовать электроводонагреватели емкостью 400л.

Рассмотрим комплектующие доильного агрегата АДМ-8А тандем (рисунок 4).

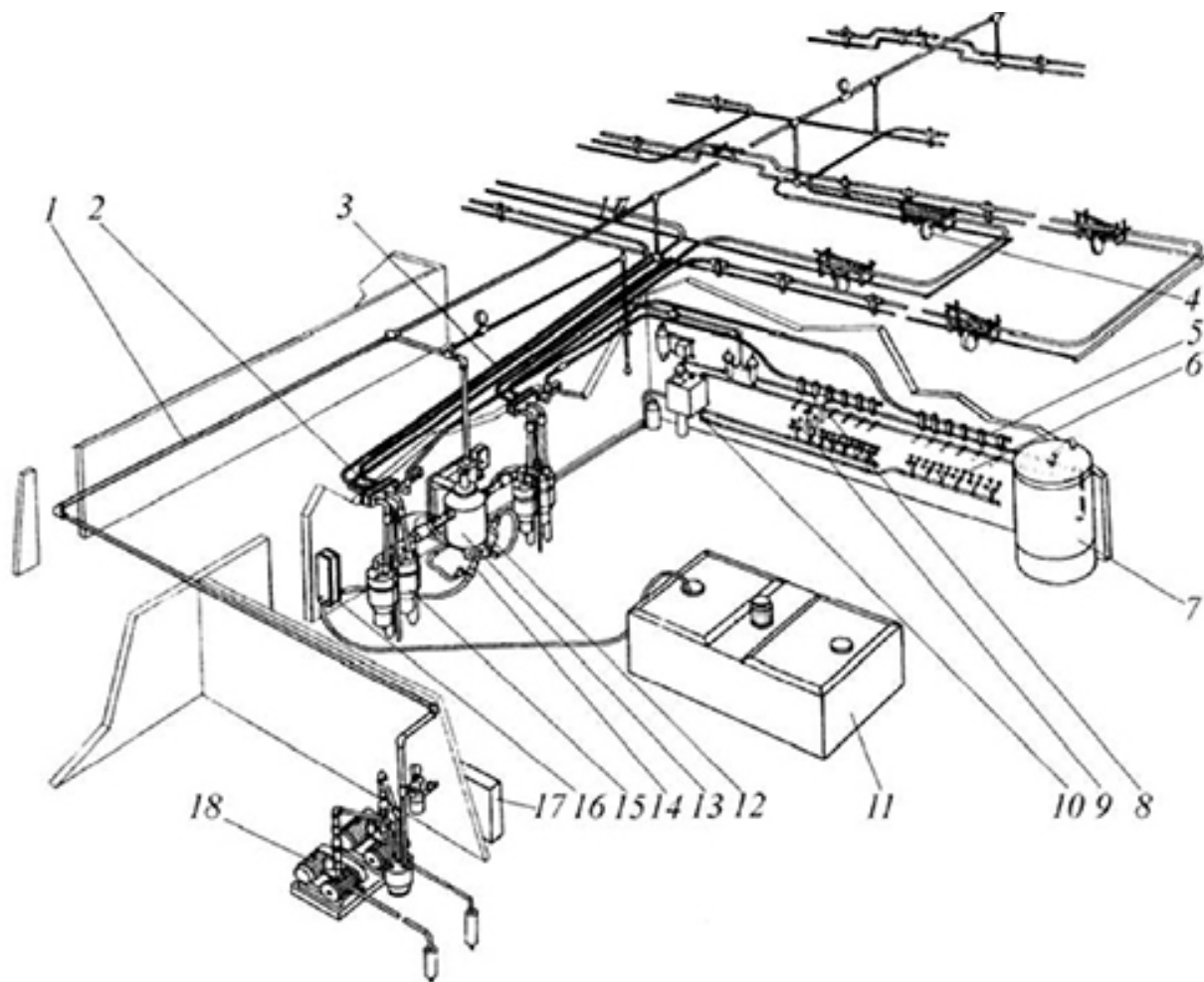


Рисунок 4 – Доильная установка АДМ-8А. 1 – вакуумпровод; 2 – переключатель; 3 – молокопровод; 4 – устройство подъема; 5 – вакуумно-молочный кран; 6 – устройство промывки; 7 – электронагреватель воды; 8 – устройство зоотехнического учета молока (УЗМ-1А); 9 – доильная аппаратура; 10 – автомат промывки; 11 – резервуар молока; 12 – молочный насос; 13 – молокоприемник; 14 – фильтр; 15 – дозатор молока; 16 – охладитель молока; 17 – шкаф запасных частей; 18 – установка вакуумная УВУ-60/45А 14 – дозатор; 15 – охладитель; 16 – шкаф запасных частей; 17 – вакуумная установка; 18 – электроводонагреватель.

Одной из основных систем доильного аппарата любой конструкции, является вакуумная система, которая обеспечивает сам процесс отдачи. Вакуумный насос отвечает за постоянный вакуум, пульсатор создает из постоянного вакуума переменный, что задает режим работы доильного аппарата за счет необходимых пульсаций для сбора молока. Для того, чтобы процесс проходил качественно следует придерживаться давления 0.48 Па. В случае если значение на вакууметре изменилось, вакуум-регулятор регулирует подачу давления.

Рассмотрим схему управления доильным агрегатом АДМ-8А (рисунок 5).

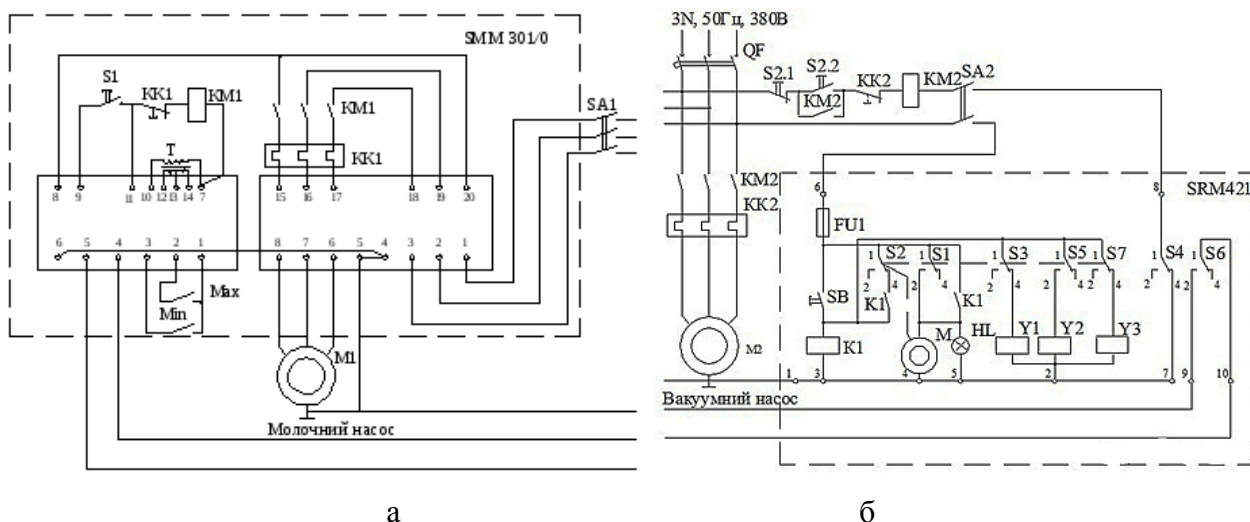


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема доильного агрегата АДМ-8А

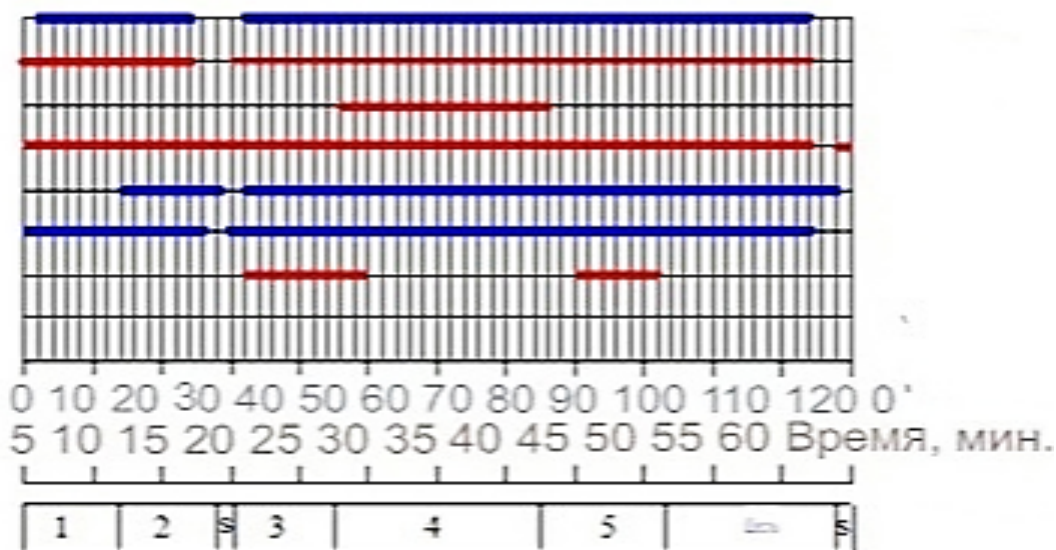


Рисунок 6 – Программа командного устройства

Принципиальная электрическая схема обеспечивает управление преддоильной подготовкой агрегата к работе, а именно полоскание, сушка; отвечает за доение и последующую транспортировку молока в емкости для хранения; а так же завершающую функцию промывки агрегата.

Подача напряжения на электрическую схему управления установкой осуществляется автоматическим выключателем QF. Управление вакуумным насосом М2 в процессе работы осуществляется кнопками S2.1 и S2.2, молочным насосом М1 - блоком SMM 301/0, автомат промывки - блоком SRM 421. Подготовка к работе блоков SMM 301/0 и SRM 421 выполняется в соответствии выключателями SA1, SA2.

Работа блока управления автоматом промывки выполняется в два этапа: промывка перед доением; промывка после доения, которые в свою очередь также делятся на этапы согласно программе командного устройства автомата промывки (рисунок 6).

Запуск автомата промывки осуществляется нажатием кнопки SB. При этом через контакты пускателя K1 запускается двигатель M привода командных дисков. Пускатель блокируется своим контактом и контактами 1 и 4 концевого выключателя S2. После поворота валика программных дисков до деления 23 первый диск (со стороны двигателя) переключает концевой выключатель S1. При этом двигатель дополнительно питается через контакты 1 и 2 концевого выключателя S1. При распределении 25 второго диска концевым выключателем S2 выключается пускатель K1. Двигатель продолжает работать до деления 32 первого диска, где происходит его отключение концевым выключателем S1. Программа останавливается до следующего пуска кнопкой SB при последующем обмывании. Концевые выключатели S3, S5, S7 служат для управления электропневматическими вентилями Y1, Y2, Y3, которые выдают пневмосигнал на исполнительные органы в соответствии циркуляции воды, подачи холодной и горячей воды. Конечный выключатель S6 служит для дистанционного управления молочным насосом в конце промывки, а S4 обеспечивает работу цепи питания пускателя вакуумного насоса KM2. S8 остается не задействованным, то есть резервным.

Молоко при доении (моющий раствор при промывании) из молокопровода поступает в молокосорник и накапливается в нем. По мере заполнения молокосорника поплавков с магнитом поднимается и действует на магнитоуправляемые контакты Мах (рисунок 5а) и подается сигнал на управление и включает магнитный пускатель KM1 электродвигателя молочного насоса M1. При снижении уровня молока в молокосорнике до Min поплавковый датчик осуществляет отключение электромагнитного пускателя KM1, электродвигателя молочного насоса.

Датчик включения молочного насоса работает таким образом, чтобы определенная порция молока всегда находилась в молокосорнике, обеспечивая при этом невозможность попадания воздуха в молочный насос. Ручное управление молочным насосом осуществляется нажатием кнопки S1, блока SMM 301/0. Молочный насос в данном случае работает пока кнопка S1, находится в замкнутом состоянии. Питание платы управления осуществляется от блока питания выполненного на трансформаторе T1.

Заключение

В ходе изучения автоматизированных доильных систем, можно сделать вывод, что данные агрегаты являются важным компонентом производства молока. Из-за таких достоинств как: возможность доить коров с любой формой вымени и скоростью молокоотдачи, снижения риска травм во время доения, снижение себестоимости молока, снижение риска попадания всяческих бактерий в молоко.

Литература

1. Роботизированная система доения DeLaval [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://evrosnab.ru/product/doenie/avtomaticheskoe-doenie/robotizirovannaya-doilnaya-ustanovka-delaval-vms/> – Дата доступа: 20.10.2021.

2. Роботизированная система доения Lely Astronaut A4 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.lely.com/solutions/milking/astronaut-a4/> . – Дата доступа: 21.10.2021.
3. Роботизированная система доения AMS Robomax [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://milkomax.com/en/robomax/>. – Дата доступа: 21.10.2021.

УДК 631.223.2:628.8

**ТЕПЛОВАЯ ЗАВЕСА
HEAT CURTAIN**

Н.В. Храновская, М.Г. Шинкарева

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Khranovskaya, M. Shinkareva

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматривается прибор, препятствующий проникновению воздушных масс в помещения: тепловая завеса. Изложен ее принцип работы, виды и типы нагревательных элементов. В качестве примера представлена и описана электрическая принципиальная схема тепловой завесы КЭВ-6П201Е.

Abstract: The article discusses a device that prevents the penetration of air masses into the premises: a thermal curtain. The principle of its operation, types and types of heating elements are given. As an example, the electrical schematic diagram of the KEV-6P201E thermal curtain is presented and described.

Ключевые слова: Тепловая завеса, воздушный поток, вентилятор, нагрев, температура воздуха.

Keywords: Heat curtain, air flow, fan, heating, air temperature.

Введение

Входя в торговый центр, офис или больницу, мы часто можем ощутить на себе мощный, направленный поток теплого воздуха. Многие полагают, что это – обогреватель, но это не совсем так. Такие устройства называются тепловыми завесами.

Тепловые завесы чаще всего устанавливают в общественных местах, то есть везде, где в помещение заходит много людей и нужно сохранить тепло. Сейчас эти приборы начинают устанавливать и в частных домах. При выборе у покупателей всегда возникает много вопросов, потому что завесы – довольно сложный вид техники для контроля климата в помещении.

Основная часть

Тепловая завеса (рисунок 1) – это прибор, основная цель которого препятствовать проникновению воздушных масс через проемы (дверные, оконные и т.п.) с улицы внутрь помещения, и наоборот. Это приборы, которые защищают помещение от холодного или тёплого воздуха с улицы. Их устанавливают в дверные и оконные проёмы. Завеса создаёт плотный воздушный поток, который становится преградой на пути холодного воздуха при открытии дверей. Летом завеса помогает поддерживать холодную температуру воздуха, которую обеспечивает кондиционер.



Рисунок 1 – Тепловая завеса

Ситуации, в которых возможно применение тепловых завес:

- Поток воздуха, создаваемый прибором, не пропускает холодные воздушные массы внутрь помещения, а теплomu внутреннему воздуху уходить из помещения. Для этого применяется нагретый воздух, который также выполняет вспомогательную роль в обогреве помещения.
- Обратная ситуация – в жару, воздушный поток, генерируемый завесой, препятствует проникновению теплого воздуха в помещение. Ввиду того, что холодный воздух имеет большую плотность, эффективность в таком режиме несколько меньше чем в предыдущем.
- Так же возможно использовать воздушный поток в качестве своеобразного "фильтра" – он не позволяет уличному воздуху, содержащему в себе пыль, выхлопные газы и т.д. проникать в помещение.

Принцип работы любой тепловой завесы

Тепловая завеса по своему устройству – это направленный тепловентилятор. Прибор включает вентилятор, воздухонагреватель, сопла для направления потока воздуха и радиальный вентилятор-турбину. Воздух из помещения втягивается в прибор вентилятором, нагревается от воздухонагревателя, а затем нагнетается и под напором выходит через радиальный вентилятор, расположенный по всей длине прибора.

Задача подобного защитного устройства – отсечение внешнего воздуха с помощью самого воздуха. А именно – создание изолирующего воздушного потока, перекрывающего весь открытый проем. Такая завеса не только удерживает тепло внутри помещения, но и препятствует проникновению снаружи пыли, посторонних запахов и даже насекомых.

Такие устройства эффективно сохраняют тепло там, где двери постоянно открываются – в магазинах, гаражах. Да и в больших загородных домах могут создаваться ситуации, когда двери постоянно нараспашку.

Конечно, приобретение тепловой завесы стоит денег, а ее работа сопровождается потреблением энергии. Но эффект сохранения тепла в доме, защищенном завесой, позволяет отопительным системам работать с меньшей мощностью. А это в итоге оборачивается общей экономией расходов. К тому же современные устройства тепловой завесы снабжены автоматикой, которая включает воздушный барьер только при открытой двери, а когда дверь закрыта – завеса не работает и не расходует энергию.

Устройство тепловой завесы

Упрощенно работу прибора, создающего воздушную преграду, можно представить, как совмещение нагревательных элементов и вентилятора. Нагретый воздух гонится вентилятором, а выходные воздуховоды и жалюзи формируют из него широкий и плоский поток, направленный вдоль защищаемого пространства.

Конечно, на самом деле все не так просто. Обычные вентиляторы осевого типа не годятся для создания широкого и равномерного потока воздуха. Для обеспечения качественного воздушного барьера применяются вентиляторы радиального и диаметрального типа. По форме это длинный цилиндр, с лопастями по всей длине.

Обычно такая турбина вращается электродвигателем, расположенным сбоку. Но встречаются варианты, в которых двигатель расположен посередине и вращает две турбины по обеим сторонам от себя. Такая конструкция требует усложненного устройства воздуховода, поскольку иначе посередине образуется узкий участок, в котором не создается воздушный экран.

Особенности устройств воздушной защиты различаются по месту установки, по типу нагревательных элементов и по способам управления.

По источнику получения тепловой энергии различают:

- Электрические;
- Водяные;
- Газовые тепловые завесы.

Водяные и газовые завесы, в силу некоторой специфики, в большинстве своем используются в производственных помещениях. Электрические приборы получили огромное распространение, и используются в различных помещениях. Рассмотрим, что же они представляют из себя.

По числу создаваемых воздушных потоков:

- однопоточные;
- двухпоточные.

Двухпоточные завесы, в отличие от однопоточных, создают 2 воздушных потока: более близкий к проему использует воздух из помещения без нагрева, а дальний проходит через нагревательный элемент. Таким образом, достигается большая эффективность завесы, поскольку даже если ближний поток не перекрыл полностью прохождение холодного воздуха, то нагретый воздух второго потока выравнивает его температуру с «комнатной». Несмотря на

использование двух вентиляторов, потребление электрической энергии у данных аппаратов меньше, чем у однопоточных, за счет большей тепловой эффективности.

Типы нагревательных элементов

Для обеспечения надежной защиты помещения в холодное время требуется предварительный нагрев воздуха перед выводом его наружу. Это достигается обдувом нагревателей. Нагревательные элементы, применяемые в устройствах тепловых завес, бывают трех типов:

- Электрические

Наиболее распространенный тип нагревательных элементов. Традиционно это ТЭНы – трубчатые электронагреватели, в которых нагрев осуществляется нихромовой спиралью, заключенной в изолирующую трубку. Такие нагреватели надежны и просты в эксплуатации.

В последнее время электрическая тепловая завеса для разогрева воздуха использует СТИЧ-элементы. В них выделение тепла также происходит при прохождении тока через нихромовую проволоку или ленту. Форма и расположение проволоки в этих элементах напоминает игольчатые радиаторы.

- Водяные

Это водяные калориферы, выделяющие тепло от проходящей по ним горячей воды. Они достаточно сложны при монтаже и в эксплуатации.

- Газовые

Пожалуй, самые выгодные с точки зрения стоимости. Есть модели, работающие и на сжиженном газе. Недостатком считается возможная опасность аварий, присущая любому газовому оборудованию.

Технические характеристики

Чтобы понимать, как выбрать подходящую тепловую завесу, нужно разбираться в основных технических параметрах этих устройств. Подберите тот прибор, который обеспечит защиту именно вашей двери:

- Размеры. Длина устройства должна обеспечивать полное перекрытие ширины дверного проема тепловым потоком. Даже небольшая щель существенно ухудшит эффективность защиты от внешних воздействий. Для выбора защиты над широкими дверями в больших помещениях – супермаркетах, автомастерских – можно устанавливать несколько приборов, расположенных вдоль всей ширины проема. Высота устройства тоже имеет значение. Если она больше свободного пространства над защищаемым проемом, то, вероятно, придется отказаться от горизонтального типа завесы и рассматривать только варианты с вертикального типа, с расположением сбоку от дверей.
- Производительность воздушного потока. Задачей тепловой завесы не является обогрев помещения – эту роль выполняют другие устройства. Поэтому мощность вентилятора и, соответственно, объем воздушного потока в единицу времени и его скорость – основные параметры тепловой завесы. Для надежной постановки защитного потока требуется его скорость в дальней точке около 2 м/с. Чтобы обеспечить такую скорость потока у самого пола, нужно, чтобы прибор,

расположенный на высоте 2,5 м «выдавал» скорость порядка 8 м/с. Для обеспечения таких скоростей требуется приборы с производительностью более 600 м³/час.

- Уровень шума. Если для промышленных помещений и крупных супермаркетов это не самый определяющий параметр, то для бытовых устройств он критичен. В домашних условиях для комфорта необходим шум менее 70 дБ.
- Наличие автоматики управления. Ручной режим хорош только для самых простых и дешевых вариантов. Автоматическое управление работой завесы и температурой ее нагревательных элементов обеспечивает ее эффективность и экономность.
- Защитные устройства. Для безопасности необходима возможность автоматического отключения системы при ее перегреве.

Для примера рассмотрим электрическую принципиальную схему тепловой завесы КЭВ-6П201Е (рисунок 2).

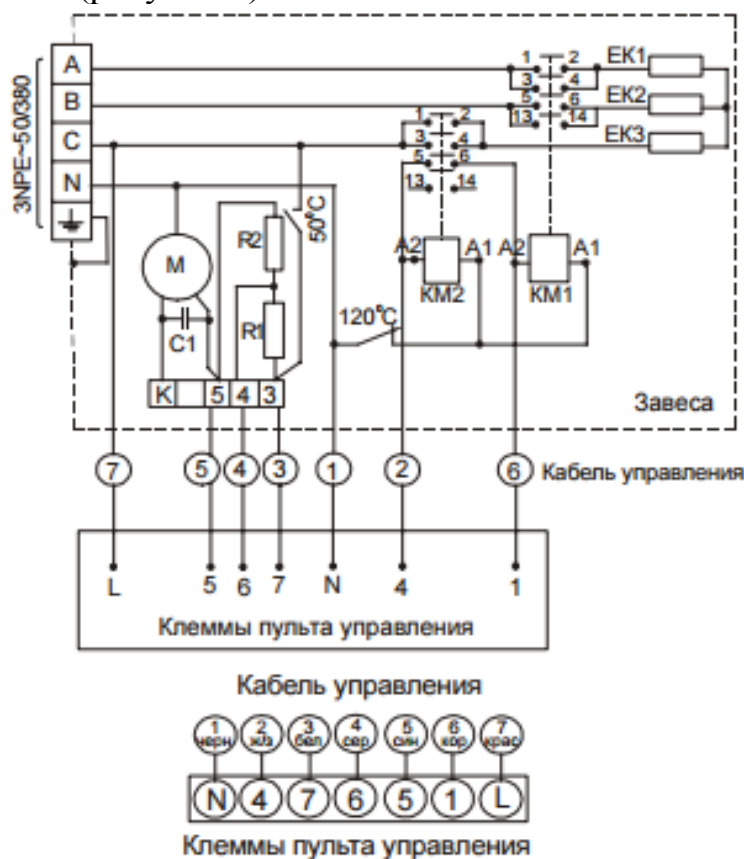








Рисунок 2 – Электрическая схема КЭВ-6П201Е





Завеса имеет прочный корпус, изготовленный из листовой стали, покрытой высококачественным полимерным покрытием. Внутри корпуса расположены оребренные трубчатые электронагревательные элементы (ТЭНы). Специальный электровентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха. Вентилятор всасывает воздух через переднюю перфорированную стенку корпуса, поток воздуха, проходя через пучок ТЭНов, нагревается и выбрасывается через сопло в нижней части корпуса в виде струи. Управление завесами осуществляется с

выносного пульта, имеющего два скользящих (ползунковых) переключателя и три сенсорные кнопки.

Переключатель 1:

-  - включение завесы в режиме нагрева на 100% мощности
-  - отключение завесы;
-  - включение завесы в режим нагрева на 50% мощности.

Переключатель 2 – изменение расхода воздуха    (3 режима частоты вращения вентилятора завесы).

Сенсорными кнопками 3 ( и  или  и ) устанавливается требуемая температура в помещении.

Для включения завес в режим вентилятора (без нагрева) необходимо перевести переключатель 1 в одно из крайних положений и установить сенсорными кнопками 3 температуру +35°C, а затем +5°C.

Автоматическое управление включением ТЭНов осуществляется терморегулятором, который расположен на пульте управления. Сенсорными кнопками устанавливается требуемая температура воздуха в помещении, после включения завесы в режим обогрева.

Заключение

Предназначение тепловых завес – это защита отапливаемого помещения от холодного воздуха, который через двери и окна попадает внутрь. Тепловые завесы имеют очень простой принцип действия. При помощи мощного вентилятора, установленного внутри завесы, создаётся высокоскоростной поток воздуха, который образует «преграду» и тем самым не позволяет тёплому воздуху покинуть помещение, а холодному – проникнуть в него. Тепловые завесы, как правило, устанавливаются над дверью и, тем самым, создают поток воздуха, направленный вниз.

Литература

1. Выбор тепловой завесы [Электронный ресурс]: инструкция по подбору оптимального варианта. - Режим доступа: <https://investgazeta.ru/> /. – Дата доступа 29.10.2021.
2. Инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]: инструкция по эксплуатации. - Режим доступа: <https://www.vseinstrumenti.ru/instruction/teplomash-kev-9p202e-52397.pdf> /. – Дата доступа 29.10.2021.

УДК 621.315.592

**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
TECHNOLOGY OF CREATING SEMICONDUCTORS**

П.А. Герасимович

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Gerasimovich

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье затрагиваются тема создания полупроводников для микропроцессоров. В статье изложены основные методы получения кристаллов полупроводников.

Abstract: The article touches on the topic of creating semiconductors for microprocessors. The article describes the main methods for obtaining semiconductor crystals.

Ключевые слова: монокристалл, метод Чохральского, тигель, затравочный кристалл, микропроцессор.

Keywords: monocrystal, Chokhralsky method, crucible, seed crystal, microprocessor.

Введение

В настоящий момент человеческую жизнь невозможно представить без электронных помощников, таких как смартфон, смарт-часы, персональный компьютер и другие. Все они состоят из огромного количества микропроцессоров, микрочипов, которые работают на явлениях полупроводников.

Основная часть

Производство любого микропроцессора начинается с выращивания монокристаллов. Для выращивания монокристаллов Si и Ge существует 2 метода: метод Чохральского и метод зонной плавки. Метод зонной плавки представляет собой очистку материала от примесей основанном на разности растворимости примесей в твердой и жидкой фазе. С помощью данного метода можно получать кристаллы, превосходящие по чистоте, чем кристаллы, созданные по технологии Чохральского. Минусами же данной технологии являются: низкая производительность, высокая себестоимость выращиваемого кристалла и менее благоприятное распределение, и состав легирующих элементов, влияющих на последующие технологические процессы. Схема устройства для зонной плавки представлена на рисунке 1.

Метод Чохральского заключается в свободном вытягивании кристалла от поверхности расплавленного материала в кварцевом сосуде – тигле, в среде инертных газов. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 2. Для соблюдения параметров, предъявляемых к конечному кристаллу разработаны модификации метода Чохральского.

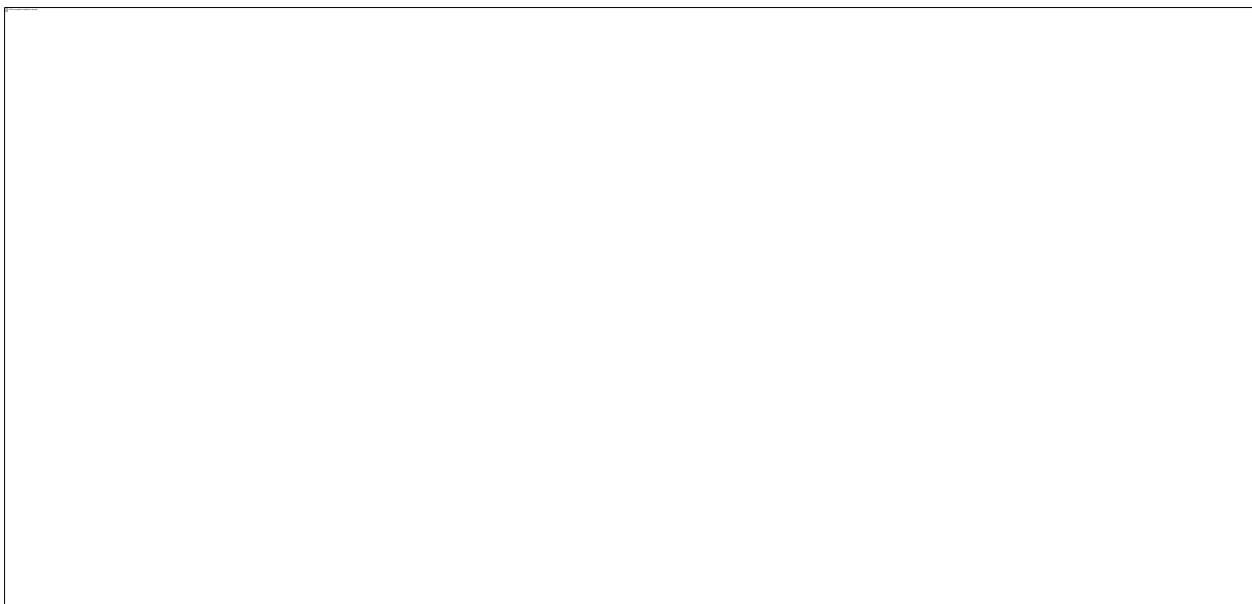


Рисунок 1 – Схема устройства для зонной плавки. 1 – индукционные катушки, 2 – расплавленная зона, 3 – зона с очищенным материалом, 4 – зона с чистым материалом, 5 – зона материала с повышенным содержанием примесей 6 – «лодочка» из тугоплавкого материала

Метод Чохральского с использованием плавающего тигля. Целью метода является получение более равномерного распределения примесей по длине и сечению кристалла за счёт контролируемого поступления примесей из внешней части расплава. Существует множество размеров и конструкций плавающих тиглей, в том числе, защищённых патентами. Конструктивно метод реализуется путём введения в основной тигель с расплавом тигля меньшего размера, выделяющего малый объём расплава, из которого и производится выращивание целевого кристалла. Малый объём расплава сообщается с основным объёмом расплава таким образом, чтобы обеспечить приток дополнительных порций расплава извне взамен пошедших на формирование целевого кристалла, при этом смешивание обоих объёмов и, соответственно, изменение стабилизировавшихся концентраций примесей в малом объёме должно быть исключено.

Метод Чохральского с подпиткой. Цель метода заключается в увеличении производительности установок выращивания за счёт непрерывного пополнения объёма расплава, расходуемого на формирование тела целевого кристалла. Возможны 2 основных аппаратных реализации метода: подпитка постепенным расплавлением вне плавающего тигля поликристаллического стержня; подпитка подачей вне плавающего тигля гранулированного или дроблёного поликристаллического кремния. Попутно метод позволяет достичь более равномерного распределения примесей по длине кристалла.

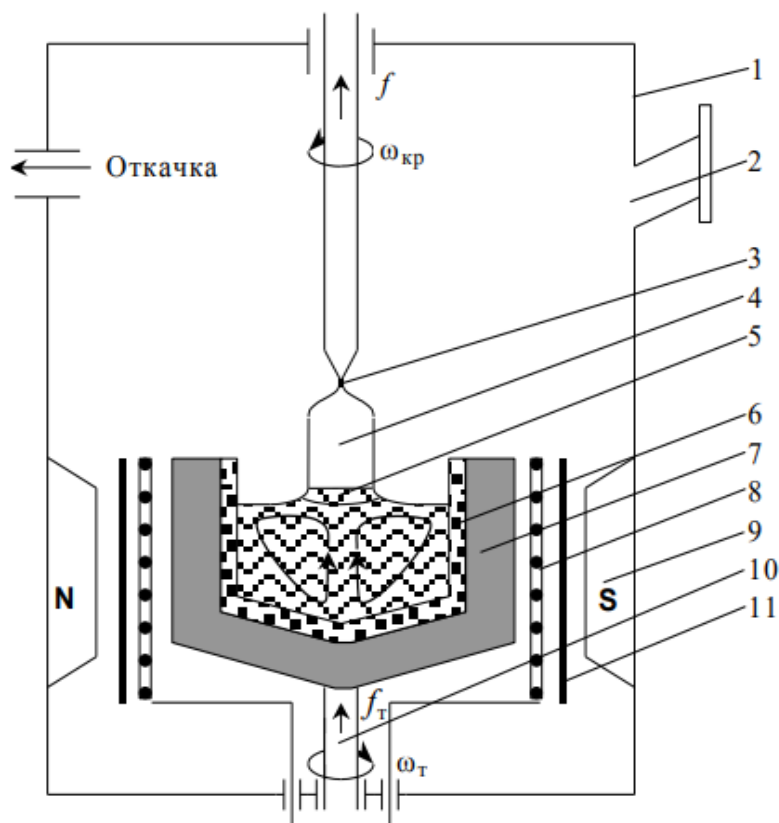


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки по выращиванию монокристаллов.

1 – ростовая камера, 2 – смотровое окно, 3 – затравочный кристалл, 4 – кристалл, 5 – охлажденный столбик расплава, 6 – тигель, 7 – графитовый стакан, 8 – резистивный нагреватель, 9 – источник магнитного поля, 10 – устройство движения тигля, 11 – тепловые экраны

Метод Чохральского с промежуточными дозагрузками. Цель метода заключается в увеличении производительности установок выращивания и снижении издержек за счёт повторного использования тиглей и за счёт сокращения времени на обслуживание между процессами, герметизацию и создание защитной атмосферы. Суть метода: готовые кристаллы выводятся из установки с использованием шлюзовых устройств, а вместо них в тигель досыпается следующая порция шихты для расплавления и выращивания следующего слитка.

Метод Чохральского с использованием пьедестала. Суть метода: в расплав в соответствующей футеровке вводится плоский нагревательный элемент, снабжённый температурными датчиками, распределёнными по площади элемента. Элемент вводится в расплав на глубину 15-30 мм в зону, где будет выращиваться слиток. В ходе роста контролируется распределение температуры по площади элемента и подаётся питание на соответствующие зоны нагревательного элемента для обеспечения «правильного» распределения температур вблизи фронта кристаллизации. Метод позволяет снизить вероятность возникновения нарушений роста кристалла, но дополнительно загрязняет кристалл материалом футеровки, выравнивает распределение примесей по сечению кристалла.

Процесс выращивания кристаллов состоит из нескольких этапов. Первым является этап подготовки шихты с необходимой навеской и размещение её в тигле. В случае, если навеска составляет от десятков до сотен килограмм, то шихту формируют из кусков от 10 до 50 мм для исключения возможности переплавки материала в куски больших размеров. Изображение заполненного тигля представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Тигель, заполненный шихтой

Затем, навеска шихты расплавляется в тигле. Подвод тепла осуществляется к дну и боковым стенкам сосуда. Расплав прогревают в таком состоянии от 15 минут до нескольких часов. После, в расплавленный материал вводят затравочный кристалл, который выдерживают на поверхности расплава для полной оплавки в зоне контакта. Это производят для компенсации рисков возможного получения неправильной структуры кристалла или преждевременного обрыва слитка. Изображение формообразования кристалла представлено на рисунке 4.

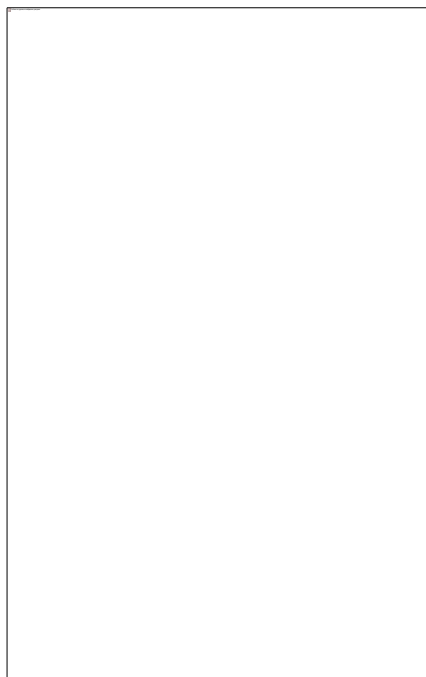


Рисунок 4 – Процесс формообразования слитка кристалла

Затем, начинается процесс вытягивания кристалла. Во время данного процесса слитку придается цилиндрическая форма диаметром до 300 мм. Для завершения процесса в хвосте слитка формируют конус за счет изменения температуры расплава и увеличения скорости вытягивания. После производят обрыв слитка и его охлаждение. Изображение слитка монокристалла представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Слиток кристалла Si

Следующим этапом создания полупроводников является обработка и подготовка слитка к фотолитографии. Слиток, полученный в результате вытягивания, нарезают на пластины длиной до 75 мм и тщательно полируются. Затем, на поверхности пластины наращивают слой оксида и очищают поверхность от вредных примесей и загрязнений. После на поверхность пластины наносится фоторезист. Позже, пластину с фоторезистом кладут в печь при температуре 100-120°C на несколько минут для испарения растворителей, содержащихся в фоторезисте и повышения адгезии. Данный процесс называют задублированием.

После задублирования на фоторезисте просвечивают через фотошаблон требуемый рисунок микросхемы светом видимого или ультрафиолетового спектра в области ионизированного газа. Данный процесс называют экспонированием и после него предполагается вторичное задублирование для минимизации брака пластины. Для получения конечного продукта полупроводник проходит данные этапы порядка 50 раз.

Заключение

В век повсеместной цифровизации и информатизации жизнедеятельности человека создание полупроводников является наиважнейшей отраслью приборостроения. Без них не могут существовать все гаджеты и устройства в нашем мире. Поэтому стоит уделить особое внимание развитию данной сферы в Республике Беларусь.

Литература

1. Технологии полупроводников. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ferra.ru/review/techlife/semiconductor-technology-part-1.htm>. – Дата доступа: 05.10.2021.
2. Официальный портал РАО-ХИМЕН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.powerwaywafer.com/ru/gallium-oxide-semiconductor-material.html>. – Дата доступа: 05.10.2021.

УДК 621.311

**БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ТРАНСПОРТУ
WIRELESS TRANSMISSION OF ENERGY TO TRANSPORT**

Н.В. Лякин, А.В. Воробей

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Lyakin, A. Vorobey

Supervisor - T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье описаны способы беспроводной передачи энергии транспорту. В частности, метод электромагнитной индукции и передача энергии посредством магнитного бетона. Также рассмотрен путь к данным открытиям.

Abstract: The article describes the methods of wireless transmission of energy to transport. In particular, the method of electromagnetic induction and the transmission of energy through magnetic concrete. The path to these discoveries is also considered.

Ключевые слова: беспроводная передача энергии транспорту, магнитный бетон.

Keywords: wireless transmission of energy to transport, magnetic cement.

Введение

Общественный транспорт - одна из самых важных сфер интереса. Проблема дизельного топлива становится все более острой, и города, особенно крупные, начинают вкладывать средства в электрические автобусы. Использование катушек, о которых мы поговорим ниже, могло бы стать отличным решением. Их также можно успешно использовать там, где нет проблем с пространством или безопасностью из-за риска вандализма. Эти системы действительно безопасны, поскольку соответствуют строгим стандартам. В 2010 году было запрошено самое большее магнитное поле $2,7 \times 10^{-5}$ тесла. Это значение по сравнению с магнитным полем Земли очень низкое, в отличие от других систем, таких как металлоискатели, которые не соответствуют этим правилам.

Идея беспроводной передачи электрической энергии уже давно заботит умы ученых многих стран. И если лабораторные испытания в принципе уже успешны, то практическое применение далеко не всегда может похвастаться такими же результатами. Но южнокорейскому институту инновационных технологий удалось реализовать эту идею. В начале августа 2013 года был запущен новый тип городского автобуса, который питается от специальной электромагнитной полосы, расположенной прямо в дорожном полотне. Автобус проезжая над такой намагниченной полосой получает заряд энергии, и накапливает её в аккумуляторных батареях.



Рисунок 1 – Автобус над электромагнитной полосой

Основная часть

Беспроводная передача электричества – способ передачи электрической энергии без использования токопроводящих элементов в электрической цепи. Технологические принципы такой передачи включают в себя индукционный (на малых расстояниях и относительно малых мощностях), резонансный (используется в бесконтактных смарт-картах) и направленный электромагнитный для относительно больших расстояний и мощностей (в диапазоне от ультрафиолета до СВЧ).

К 2011 году успешные опыты с передачей энергии мощностью порядка десятков киловатт в микроволновом диапазоне показали КПД около 40%.

Известно 6 способов беспроводной передачи электроэнергии:

- ультразвуковой
- метод электромагнитной индукции
- электростатическая индукция
- микроволновое излучение
- лазерный метод
- электропроводность земли

Использование ультразвукового метода, электростатической индукции, метода микроволнового излучения, электропроводности земли и лазерного метода является непрактичным.

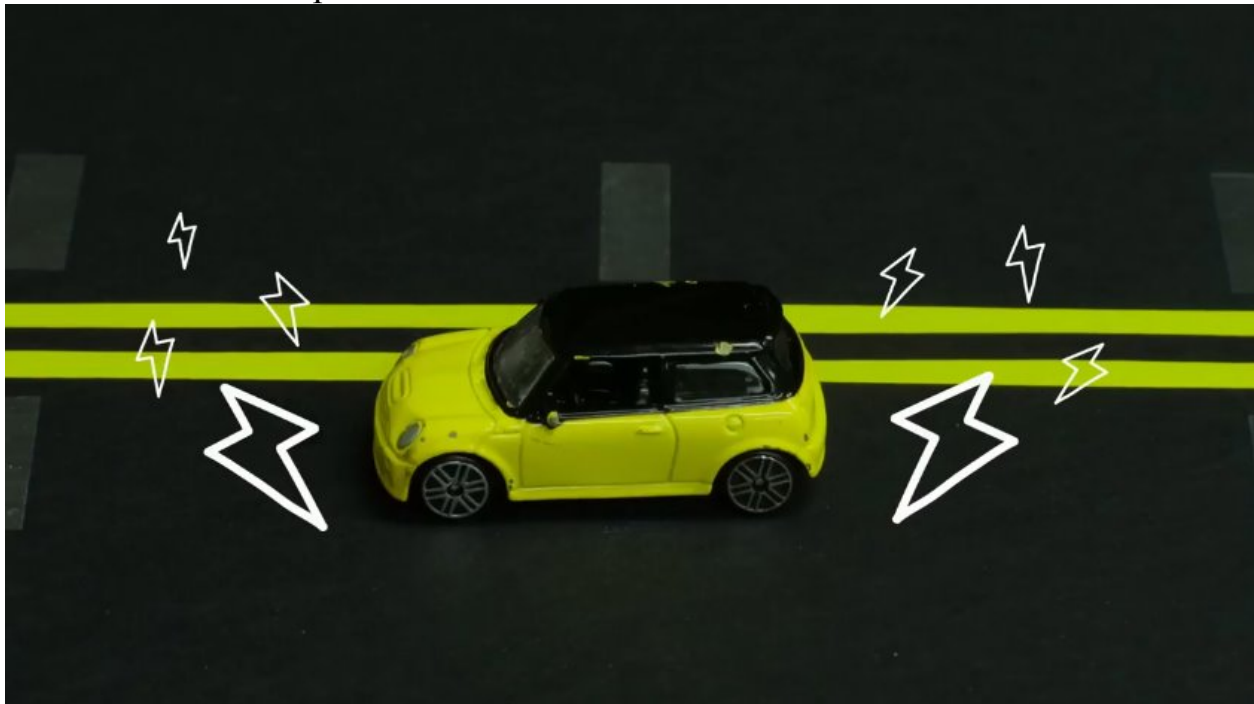


Рисунок 2 – Визуализация беспроводной подзарядки на ходу

Метод электромагнитной индукции.

При беспроводной передаче энергии методом электромагнитной индукции используется ближнее электромагнитное поле на расстояниях около одной шестой длины волны. Энергия ближнего поля сама по себе не является излучающей, однако некоторые радиационные потери всё же происходят. Кроме того, как правило, имеют место и резистивные потери. Благодаря электродинамической индукции, переменный электрический ток, протекающий через первичную обмотку, создаёт переменное магнитное поле, которое действует на вторичную обмотку, индуцируя в ней электрический ток. Для достижения высокой эффективности взаимодействие должно быть достаточно тесным. По мере удаления вторичной обмотки от первичной, всё большая часть магнитного поля не достигает вторичной обмотки. Даже на относительно небольших расстояниях индуктивная связь становится крайне неэффективной, расходуя большую часть передаваемой энергии впустую. Для оптимизации метода используется трансформатор.

Главным преимуществом новой технологии является, то что электромагнитная полоса расположена только на отдельных участках пути следования транспорта. Причем эффективность передачи энергии достигает до 85 процентов. Также, очень немаловажным аспектом, является безопасность данной технологии. Магнитная полоса абсолютно безопасна при контакте человека с ней, а электромагнитное излучение соответствует всем экологическим нормам. Расстояние от магнитной полосы до днища транспортного средства составляет 17 сантиметров (максимально 25

сантиметров), и передача магнитного импульса переходит только когда автобус в момент движения, оказывается над полосой.

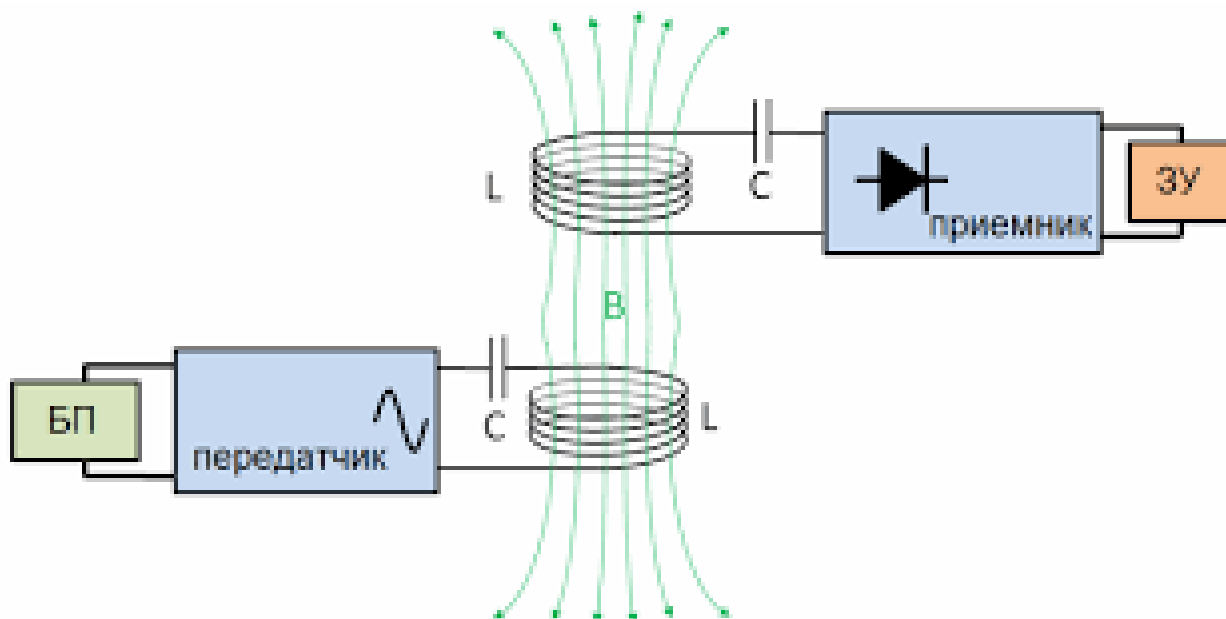


Рисунок 3 – Метод электромагнитной индукции

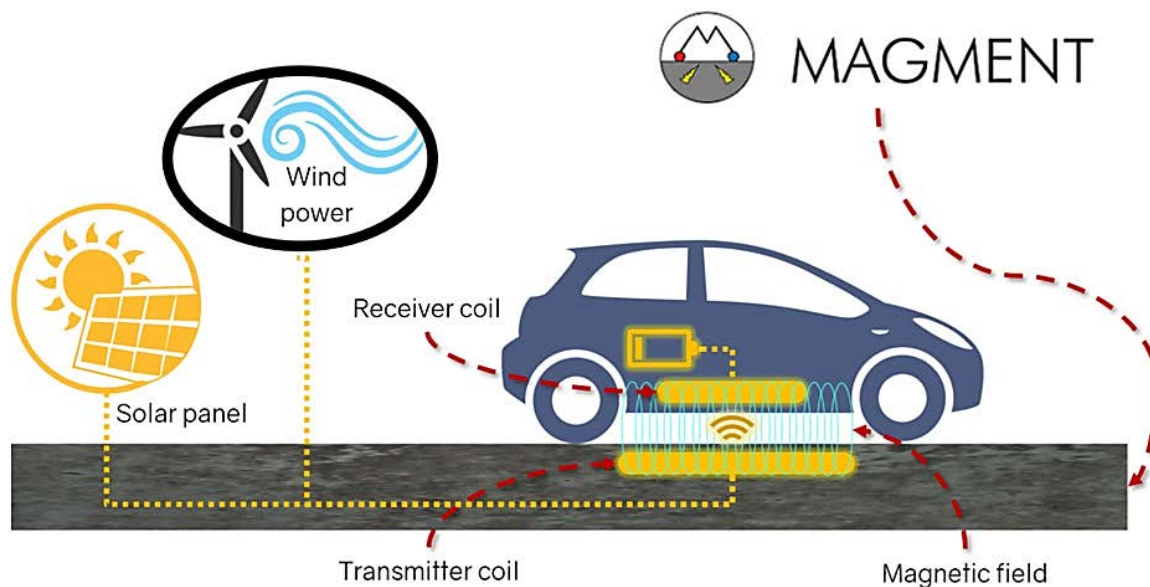


Рисунок 4 – Магнитный бетон, схема работы

Электромобили в скором будущем смогут заряжаться по воздуху при движении по магистрали, в которую будут встроены устройства беспроводной зарядки, и это позволит проезжать сотни или даже тысячи километров без вынужденных остановок. Идея похожа на научную фантастику, но инженеры Колорадского университета в Боулдере (UCB) хотят воплотить её в жизнь.

За последние два года Африди и его коллеги разработали концепцию беспроводной передачи энергии, суть которой заключается в передаче энергии посредством электрических полей высоких частот.

Идея беспроводной передачи энергии, привлекала учёных уже более века. В 1890-х годах, изобретатель Никола Тесла, продемонстрировал беспроводную

передачу электричества, включив лампу накаливания без присоединения к сети. Позднее Тесла начал работу над беспроводной станцией передачи энергии «Уорденклифф» в Шорхэме, Нью-Йорк, но проект был закрыт из-за финансовых трудностей.

Сегодня, некоторые устройства оснащены беспроводной зарядкой, но при этом они должны находиться на специальной платформе, которая подключается к розетке.

Сделать подобное для движущегося автомобиля намного сложнее. Необходима значительно большая мощность для передачи электричества на расстояние от дороги до аккумулятора. При этом электрокар не будет задерживаться на одной зарядной платформе более чем на долю секунды, поэтому их нужно размещать каждые несколько метров, чтобы обеспечить непрерывный процесс.

На пути к цели.

Чтобы решить проблему масштаба и движения, Африди пришлось хорошо подумать над способом передачи энергии.

Большинство исследований в этой области сосредоточено на передаче энергии через магнитные поля – индуктивный метод. Магнитные поля легче генерировать, чем эквивалентные электрические. Однако они движутся по спирали и в их конструкциях используются хрупкие и дорогостоящие ферриты, которым свойственно терять магнитное поле.

В отличие от магнитных полей, электрические поля движутся относительно прямолинейно. Африди хочет использовать это в своём проекте и существенно снизить его стоимость.



Рисунок 5 – Испытание магнитных полей

Проблема использования электрических полей для беспроводной передачи энергии (ёмкостный метод) заключается в том, что воздух между дорогой и

транспортным средством обладает слишком маленькой электроёмкостью. Африди решил эту задачу, увеличив частоту электрического поля.

Ученые использовали 2 металлические пластины, расположенные в 12 см друг от друга. Команда смогла передать через это расстояние киловатты энергии в мегагерцовом частотном диапазоне.

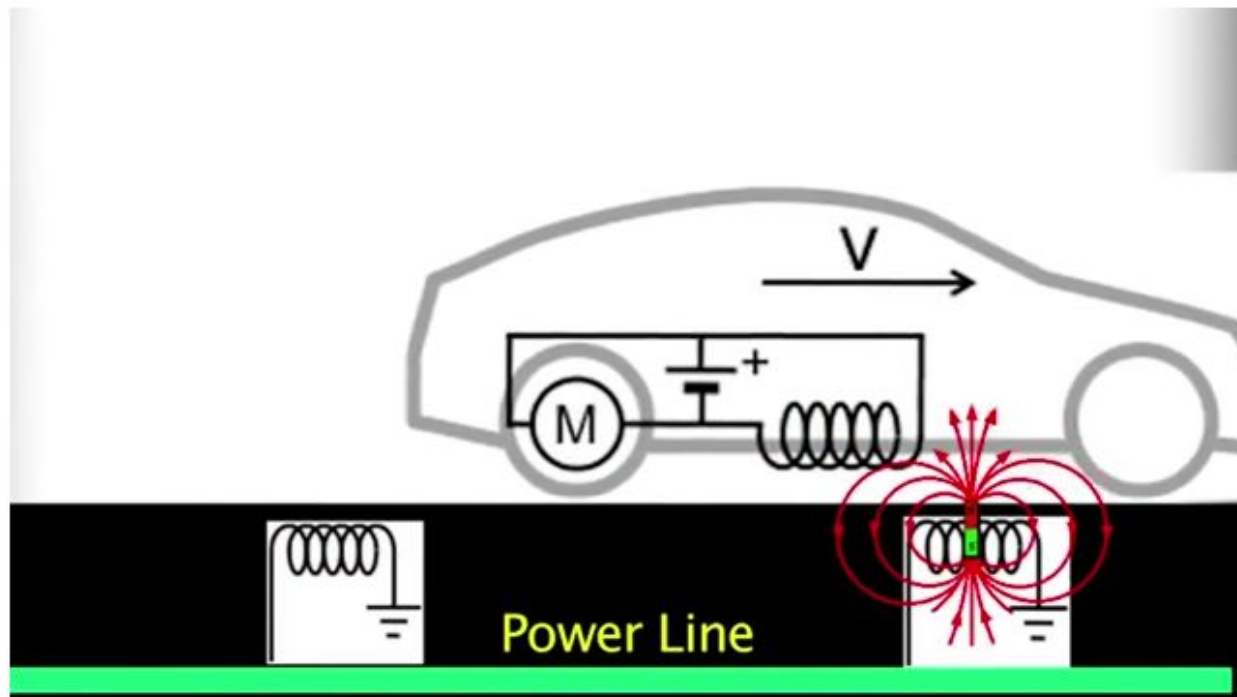


Рисунок 6 – Схема работы технологии Африди

Беспроводная передача энергии среднего диапазона основана на магнитно-резонансной связи. Так же, как крупные электростанции генерируют переменные токи путем вращения проводных катушек между магнитами, электричество, движущееся по проводам, способно создавать магнитное поле. Это поле также приводит к колебаниям электронов в соседней катушке, тем самым передавая заряд на расстояние без проводов. Эффективность передачи можно увеличить, если обе катушки настроить на одну и ту же резонансную частоту и расположить под правильным углом.

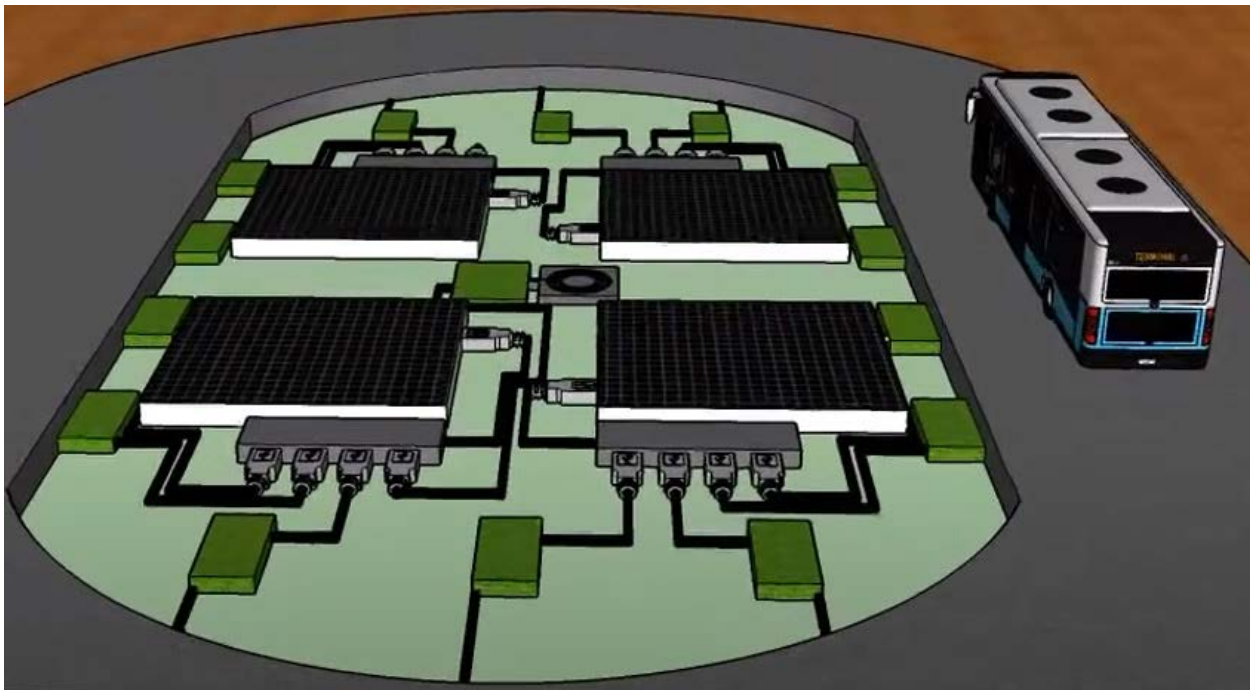


Рисунок 7 – Магнитный бетон

Также существует магнитный бетон, позволяющий заряжать автомобили на ходу. Магнитный цемент, также называемый намагничивающимся цементом, представляет собой инновационный бетонный материал, созданный из цемента и переработанных магнитных частиц. Он увеличивает передачу энергии. Чтобы гарантировать, что бетон имеет магнитные свойства, типичные заполнители бетона заменяются частицами керамики различной гранулометрии, состоящими из оксидов железа различных металлов (ферритов).

Будучи пластичным на момент производства, магнитный бетон позволяет быстро и легко создавать любую геометрию, открывая двери для более сложных и эффективных конструкций. Его свойства, близкие к свойствам обычных бетонов, позволяют легко использовать его в более жестких и сложных экологических и механических условиях.

Заключение

В результате доработки данной технологии пользователи транспорта смогут экономить время и средства, выбирая более удобные для себя маршруты для длительных поездок. Для городского транспорта, технология позволит оптимизировать затраты на обслуживание в долгосрочной перспективе, что однозначно является плюсом. После интеграции данных технологий, в частности, магнитного бетона, можно повысить экологичность дорожного покрытия и избавиться от вредных паров нагретого асфальта, также он является достойной заменой асфальта в критерии стоимости.

Литература

1. Беспроводная передача энергии транспорту [Электронный ресурс]/ беспроводная передача энергии транспорту. - Режим доступа <https://promplace.ru/besprovodnaya-peredacha-elektrozaryada-dlya-gorodskogo-transporta-635.htm> /. Дата доступа: 12.10.2021.

2. Магнитный цемент [Электронный ресурс]/ бетон, который заряжает.- Режим доступа <https://naukatehnika.com/magnitnyj-cement.html> /. Дата доступа: 13.10.2021

3. Технологии [Электронный ресурс]/ Новый способ беспроводной зарядки электрокаров на ходу предлагают ученые США.

4. - Режим доступа <https://ecotechnica.com.ua/technology/3281-novyj-sposob-besprovodnoj-zaryadki-elektrokarov-na-khodu-predlagayut-uchenye-ssha.html> /. Дата доступа: 13.10.2021.

5. Технологии [Электронный ресурс]/ Прорыв в беспроводной передаче энергии, для зарядки электромобилей достигнут учеными Стэнфорда.- Режим доступа <https://ecotechnica.com.ua/technology/2649-proryv-v-besprovodnoj-peredache-energii-dlya-zaryadki-elektromobilej-dostignut-uchenymi-stenforda.html> /. Дата доступа: 14.10.2021

УДК 621.313

**ТИРИСТОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
THYRISTOR CONTROL SYSTEMS**

Ю.В. Баран, Д.И. Сивак

Научный руководитель – Жуковская Т.Е., старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y Baran, D. Sivak

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk*Аннотация: тиристорные системы управления и их описание.**Abstract: thyristor control systems and their description.**Ключевые слова: тиристорные системы управления, УПП.**Keywords: thyristor control systems, SSD.***Введение**

ТСУ (Тиристорная система управления) – система управления нагрузкой, основанная на регулировании мощности при помощи электронных ключей–тириستоров. На основе ТСУ работают такие устройства, как softstarter–устройство плавного пуска электродвигателя. Внешний вид систем плавного пуска, основанных на ТСУ, производства компании Siemens (Рисунок 1)



Рисунок 1 – Устройства плавного пуска компании Siemens

Soft-Starter – устройство, призванное обеспечить плавный пуск асинхронного двигателя переменного тока с целью снижения пиковых нагрузок на двигатель и питающую сеть, в отечественной технической терминологии получившее название устройство плавного пуска

Основная часть

Устройство плавного пуска, УПП или софт-стартеры – электротехническое оборудование для обеспечения старта и разгона двигателя и согласования пускового момента на валу с нагрузкой. Схема УПП построена на базе силовых тириستоров. Устройство представляет собой безтрансформаторный

бесступенчатый преобразователь напряжения. Устройства плавного пуска применяют:

- Для включения мощных асинхронных электродвигателей в сеть малой мощности.
- Для плавного запуска, разгона и остановки электрических машин.
- При необходимости пуска двигателя под нагрузкой.
- Для снижения пусковых токов.

УПП позволяют отказаться от дорогих и несовершенных схем запуска электродвигателей, а также значительно расширить сферы применения недорогих и функциональных асинхронных машин с короткозамкнутым ротором. Они используются в приводе технологического оборудования (Рисунок 2):

Легкого пуска. Пусковые токи при таких условиях не превышают трехкратного номинального значения.

Тяжелый пуск. При старте электродвигателя ток возрастает в 4-5 раз, переходные процессы в цепях длятся более 30 секунд.

Особо тяжелый пуск. При этом пусковой ток превышает номинальный в 7-10 раз. Переходной процесс занимает значительное время.

Устройства плавного пуска имеют относительно низкую стоимость, небольшие габариты и массу в сравнении с преобразователями частоты.

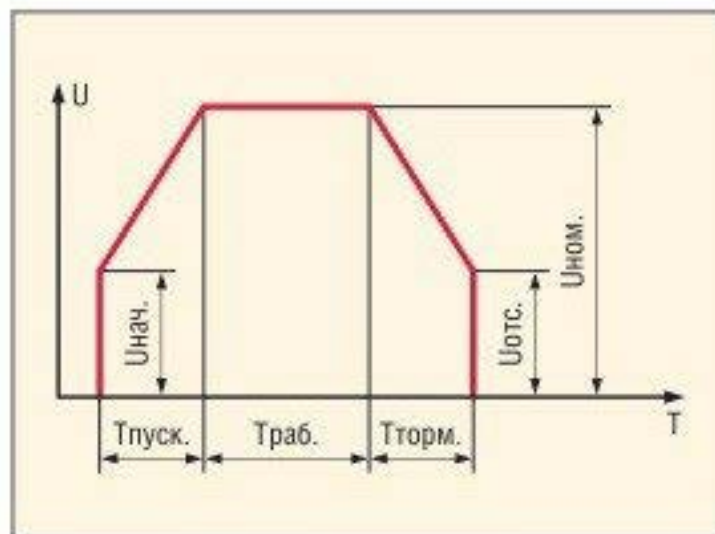


Рисунок 2 – Диаграмма работы УПП

Принцип действия УПП.

Принцип работы устройства плавного пуска (Рисунок 3 - 4) Управление напряжением, подаваемым на двигатель, осуществляется посредством изменения угла открытия тиристоров. В устройстве находятся два встречноключенных тиристора, предназначенных для положительного и отрицательного полупериодов. Сила тока в третьей фазе, оставшейся без управления складывается из токов фаз под управлением. После осуществления настройки, значение вращающего момента при пуске машины оптимизируется до предельно низкой величины пускового тока. Значение тока электродвигателя уменьшается параллельно значению установленного пускового напряжения на

пуске. Величина пускового момента уменьшается в квадратичном отношении к напряжению. Уровень напряжения осуществляет контроль пускового тока и момента двигателя при запуске и остановке двигателя. Наличие в устройстве байпасных контактов, которые шунтируют тиристоры, способствует понижению тепловых потерь в тиристорах, а соответственно понижению нагрева всего устройства. Встроенная электронная дугогасительная система защищает контакты в случае появления повреждений в результате непредвиденных сбоев в работе, например, при прерывании подачи напряжения, возникновении вибрации или дефекте контактов.

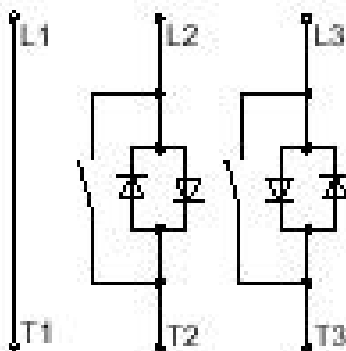


Рисунок 3 – Внутренняя схема устройства управления плавным пуском 3RW30

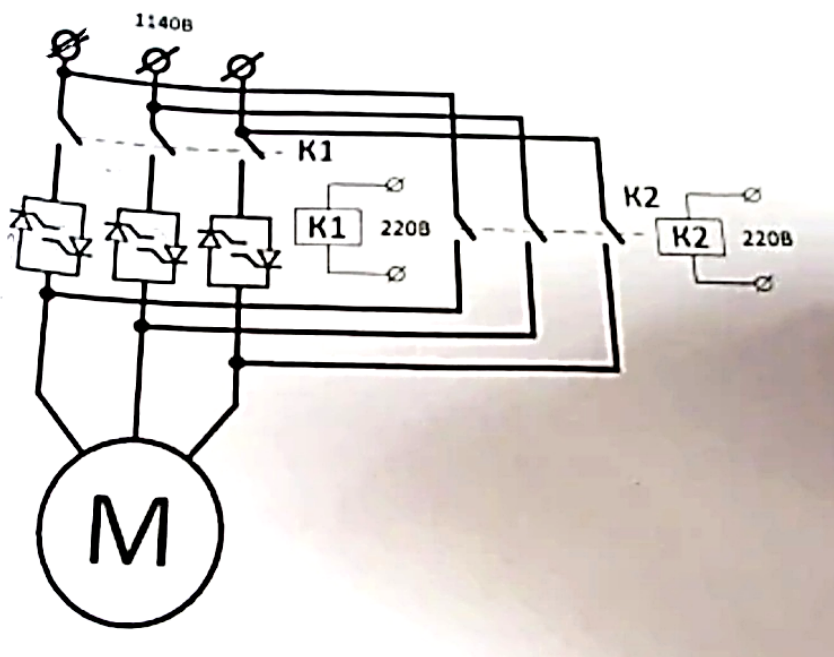


Рисунок 4 – Внутренняя схема устройства управления плавным пуском

Виды УПП.

По способу регулировки напряжения различают одно-, двух-, трехфазные устройства:

- Устройство плавного пуска с регулировкой напряжения по одной фазе. Применяются в электроприводе оборудования мощностью 11 кВт. Такие УПП обеспечивают снижение динамических ударов и отсутствие рывков при старте привода. Недостатками устройств такого типа являются несимметричная нагрузка при запуске, большие

- пусковые токи.
- Двухфазные УПП. Применяются в приводах мощностью до 250 кВт для снижения динамических нагрузок при пуске. Обеспечивают некоторое снижение пусковых токов, нагрева двигателя. Используется в оборудовании со среднетяжелыми условиями пуска при отсутствии жестких требований к ограничению тока.
 - Трехфазные софт-стартеры. УПП такого типа снижают пусковые токи до 3-х кратного значения от номинала, позволяют осуществлять плавную остановку, обеспечивают аварийное отключение привода. Регулировка напряжения осуществляется по всем трем фазам, что исключает появление асимметрии. Номинальная мощность привода ограничена только характеристиками полупроводниковых силовых элементов. Такие УПП используют в приводе с особо тяжелыми условиями пуска, с частым включениями и остановками.

Основные и дополнительные функции УПП

Современные софт-стартеры – многофункциональные электротехнические устройства. Основное их предназначение – снижение пусковых токов и смягчение динамических ударов при старте двигателя. Кроме того, УПП обеспечивают:

- Пуск с номинальным моментом. При этом при старте на электродвигатель подается максимальное напряжение, после чего включаются тиристоры. Разгон до номинальной частоты осуществляется плавно. Софт-стартеры такой конструкции применяют для механизмов со значительной пусковой нагрузкой.
- Динамическое торможение. УПП с данной функцией обеспечивают остановку привода без выбега. Их устанавливают в приводе инерционного технологического оборудования: тяговых вентиляторов, подъемниках и т.д.
- Пуск в функции тока и напряжения. УПП такой конструкции позволяют задавать предельное значение пускового тока. Устройства применяются при низкой мощности сети, а также в приводе оборудования с низким стартовым моментом.
- Защиту электродвигателя. Софт-стартеры обеспечивают остановку привода при обрыве фаз, перегрузках, превышении времени разгона, а также при возникновении других аномальных и аварийных режимов. УПП не имеют защиты от коротких замыканий и включаются через предохранители или автоматы.
- Регулировку частоты вращения вала. УПП с такой функцией не заменяют частотные преобразователи. Такой режим допустим при непродолжительной настройке оборудования.

Выбор функционала софт-стартера зависит от требований к электроприводу и осуществляется на основании технико-экономической целесообразности.

В сравнении с другими схемами пуска асинхронных электродвигателей, УПП обеспечивает наибольшее снижение амплитуды пускового тока.

Заключение

Такие устройства обладают следующими преимуществами:

- Продление срока службы двигателя и технологического оборудования. УПП снижает нагрев обмоток, контактов, а также исключает динамические удары.
- Значительное снижение затрат на аппаратную часть электропривода. Установка софт-стартеров позволяет сэкономить на схемах защиты, устанавливать менее мощные коммутирующие устройства.
- Снижение нагрузки на электросеть. УПП снижают броски тока и предотвращают падение напряжения в электросетях. Это особенно актуально при ограниченной мощности трансформаторов и использовании автономных источников электропитания.
- Повышение безопасности производства. Плавный старт и разгон снижет травматизм при поломках оборудования, связанных с рывками при запуске, вероятность гидравлических ударов, других аварийных ситуаций.
- Уменьшение наводимых помех при старте. Софт-стартеры снижают интенсивность магнитного поля при пуске электродвигателя. УПП позволяют отказаться от фильтров для контрольных кабелей.
- Низкая стоимость. Устройства плавного пуска стоят в несколько раз дешевле преобразователей частоты той же мощности. Софт-стартеры выгодно использовать при постоянной нагрузке оборудования в условиях, где ограничение пусковых токов и стартового момента являются основными требованиями.

Литература

1. Устройства плавного пуска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://enargys.ru/ustroystvo-plavnogo-puska-cto-i-kak/#> – Дата доступа: 24.09.2021.
2. ТСУ- тиристорная система управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.el-info.ru/biblioteka/enciklopediya/tsu-tiristorная-sistema-upravleniya/> – Дата доступа: 17.09.2021.

УДК 621.311

**МЕРОПРИЯТИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА БАЗЕ
ОПЫТНОГО ЗАВОДА БНТУ «ПОЛИТЕХНИК»
ENERGY SAVING EFFICIENCY MEASURES BASED ON PILOT PLANT
BNTU "POLYTECHNIK"**

С.А. Долгий

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Douhi

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarussian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье затрагивается тема энергосбережение производственного участка. В статье изложены основные пути повышения эффективности использования энергоресурсов.

Abstract: The article deals with the topic of energy saving of the production site. The article outlines the main ways to improve the efficiency of energy use.

Ключевые слова: светодиодные светильники, станки, газогенераторная установка, гелиоколлекторное оборудование.

Keywords: LED lamps, machine tools, gas generator set, solar collector equipment.

Введение

Опытный завод БНТУ «Политехник» - современное предприятие, по изготовлению металлоконструкции абсорбционно-биохимических установок (АБХУ) различной мощности, корпусных изделий, сварку различных корпусных и пространственных конструкций, гибка, вальцовка изделий из листовых материалов, а также производится обучение студентов БНТУ и учащихся.



Рисунок 1 – Опытный завод БНТУ «Политехник»

Основная часть

В данной статье предлагается рассмотреть мероприятия эффективности энергосбережения на базе опытного завода БНТУ «Политехник».

Предметом деятельности объекта:

Металлообработка, изготовление корпусной мебели, обучение студентов БНТУ.

Предметом исследования данной работы:

Энергосбережение и энергоэффективность производственного участка.

Объект исследования:

Опытный завод «Политехник».

Цель исследования:

Разработка мероприятий энергоэффективности и энергосбережения опытного завода «Политехник»

Актуальность исследования:

Позволяет добиться существенной экономии электроэнергии и сокращение затрат на предприятии;

Увеличение рентабельности и улучшении конкурентоспособности выпускаемой продукции на заводе за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции или услуг.

Задачи исследования:

Изучение способов энергосбережения на производстве.

Определение возможных путей повышения эффективности использования энергоресурсов.

Выявления механизмов энергосбережения в системах потребления электрической энергии.

Способы энергосбережения электроэнергии в цеху:

- Покраска стен в цеху по производству ученической мебели в светлые тона.
- Применение энергосберегающих окон с увеличенной площадью стеклопакета. Экономия – 15% электроэнергии затрачиваемой на освещение. Отличие от простых, наличием, конструкции специальных стекол с отражающими слоями.
- Поддержание чистоты источников света: окна, осветительные приборы должны быть чистыми и хорошо пропускать свет. Энергосбережение от 3%.
- Самым важным на мой взгляд, является замена старых и энергозатратных ламп накаливания на светодиодные светильники и энергосберегающие лампы. Экономия – 50%.

Проведя мониторинг, в цеху были выявлены лампы ДРЛ-700 в количестве 35штук. Цех, с темным потолком и светлыми стенами, серым покрытием пола (бетон). Длина и ширина – 40 м и 20 м, высота равняется 10 м. Выберем за исходную точку светильник светодиодный LE-СПО-11-1000409-54Д, в количестве 20 шт.



Рисунок 2 – Светильник LE-CPO-11-1000409- 54Д

Светодиодный светильник LE-CPO-11-100-0409- 54Д. Применяется в крытых помещениях цехов, складов с высокими потолками. Чтобы определить эффективность светодиодного светильника, произведем небольшой расчет:

- Существующий светильник: Лампа ДРЛ 700 световая отдача 57 лм/Вт, срок службы лампы 10 000 часов, КПД-40%, стоимость: 37 руб.67к.
- Проектируемый светильник: LE-CPO-11-1000409- 54Д световая отдача 9000 лм/Вт, срок службы 50 000 часов, КПД-60%, стоимость 210 рублей.

Стоимость 1Вт/часа электроэнергии: 2,51 руб. б/НДС.

Таблица 1 – Расчет экономии электроэнергии двух светильников

Светильники	Суммарный световой поток, лм/Вт	Фактически установленная мощность, КВт	Годовое потребление электроэнергии, КВт/ч
LE-CPO-11-1000409-54Д	10 800 000	20,0	70 409
ДРЛ 700	558 600	24,5	86 240

Годовая экономия электроэнергии при использовании светодиодного светильника составляет: 15 831 КВт/ч. Можно с уверенностью сделать вывод, что светодиодный светильник намного лучше, чем использование лампы ДРЛ.

- Включать источник света только по надобности, когда работают станки,
- Плановая замена всех комплектующих старого электрооборудования в цеху, силовых частей оборудования на современные и экономичные. Это может способствовать значительным снижением энергопотребления и своей повышенной эффективностью работы по сравнению с более старыми моделями.
- Обновление станочного парка завода «Политехник» может осуществляться двумя способами. Во-первых, можно утилизировать старые машины и купить взамен на них новые. Альтернативный путь состоит в модернизации оборудования и, в частности, оснащении его числовым программным управлением.

Чтобы модернизировать станок, нужно хорошо вложиться финансово. Поэтому, хорошим вариантом, обновления, будет замена комплектующих: контроллеры, программное обеспечение, гидромоторы, пневматические двигатели.

Переоборудование металлообрабатывающего оборудования является экономически выгодным ещё и потому, что средства модернизации универсальны и могут применяться для переделки любого устаревшего оборудования. Для решения этого вопроса подходят все типовые устройства, производимые современной промышленностью, а это значит, что цеху не придётся тратить большой бюджет на модернизацию. Все эти процессы никак не повлияют на изменение точности и работы оборудования.

Оптимизация электронагревательных приборов отопления, которые были дополнительно использованы для обогрева помещения. Внедрение позволяет получать тепловую энергию за счет использования отходов деревообработки (опилки, стружка, обрезки) получаемые при производстве мебели. Большинство котельных агрегатов на древесном топливе -это современные энергетические установки, имеющие высокий КПД (от 80 до 85 %). В качестве оптимизации предлагаю использовать установку газогенераторную утилизационную УГГУ-01-50 на местных видах топлива на базе опытного завода БНТУ «Политехник».



Рисунок 3 – Установка газогенераторная УГГУ-01-50

Максимальное вовлечение в топливный баланс экономически оправданных объемов местных видов топлива, древесных отходов, щепы, пластмассы, бытовых отходов, шин автотракторной техники, а также из их смеси. Практическое обучение учащихся.

Газогенераторы обеспечивают снижение потребления топлива в 1,5-2 раза по сравнению со сжиганием их непосредственно в топках котлов.

Преимущества применения опилок на базе «Политехник» БНТУ как топлива:

- КПД современных аппаратов на опилках достигает 80-90%.
- Топливо из опилок экологически чистое, сгорание сырья происходит без выброса в атмосферу токсинов, с минимальным количеством копоти и оставшейся золы.
- Топить опилками можно сразу без дополнительной подготовки.

Для отопления административного здания завода, предлагается установка гелиоколлекторного оборудования. Она состоит из металлического каркаса, где смонтированы блоки солнечных коллекторов. С целью круглогодичного использования вырабатываемой тепловой энергии предусмотрена совместная работа существующей системы теплоснабжения с геливодонагревательной установкой в период недостаточной температуры воды.

Эффективность и производительность вакуумного трубчатого солнечного коллектора до 40%. Общие потери тепла в вакуумном коллекторе минимальны,

так как в вакууме отсутствуют потери на теплопроводность и конвекцию. За счет вакуума обеспечивается постоянство КПД установки даже при неблагоприятных погодных условиях: отрицательных температурах наружного воздуха и рассеянном солнечном свете.



Рисунок 4 – Гелиоколлекторное оборудование

Работа по энергосбережению завода может носить целенаправленный характер и включать в себя следующие основные направления: повседневный контроль за рациональным использованием ТЭР в процессе производства; разработка и осуществление ежегодных программ «Энергосбережение» с участием специалистов технологических служб.

Механизмы энергосбережения в системах потребления электрической энергии в цеху: поддержание оптимального значения $\cos\varphi$; проверка соединений электрических цепей; оптимальная загрузка существующего оборудования; использование частотно-регулируемых приводов; внедрение плавного пуска электродвигателей привода.

На трансформаторных подстанциях внедрение конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности с автоматическим регулированием. Устройство КРМ: батареи конденсаторов, пускатели дополнительной контактной группы, предохранители, разъединители, регулятор коэффициента мощности. Компенсация реактивной мощности происходит по следующей схеме: измерительная система в электронном формате выполняет контроль реактивной и активной энергии. Контроллер (регулятор) проводит замеры мощности, подключая или отключая конденсаторы по мере необходимости. На основании измерений показания сравниваются с эталонной величиной, при наличии отклонений от заданных параметров устройство переключает аппарат для обеспечения необходимого значения.

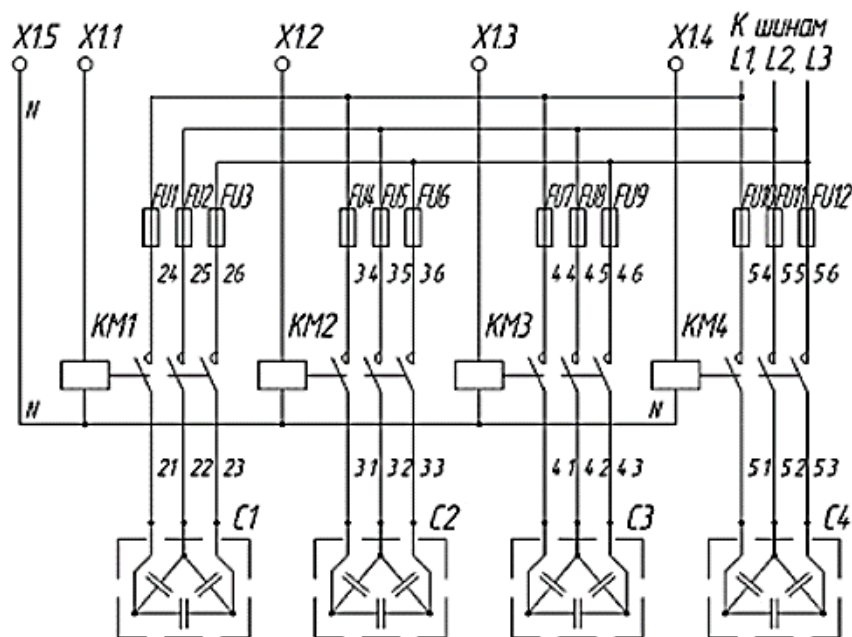


Рисунок 5 – Устройство компенсации реактивной мощности

Проще говоря, УКРМ обеспечивает снижение реактивной энергии при минимальном цикле переключений, чем повышает КПД энергоносителей и снижает риск неисправностей комплектующих электросетей.

Преимущества использования: увеличение полезной мощности (КПД электросетей и оборудования до 97%); снижение количества фактически потребленной энергии на 20 - 30%; повышение срока безаварийной работы техники; уменьшение пропускной способности в электросетях (минимизация риска перегрева и короткого замыкания).

Заключение

Энергосбережение в цехах машиностроительного профиля является одной из самых актуальных проблем, так как производства затрачивают свои финансы на сырьё и материалы, топливо. Использование вышеописанных методов и способов, особенно целенаправленная работа по энергосбережению – значительно снижает расходную часть бюджета предприятия касающуюся оплаты потребленных ресурсов. Таким образом, в условиях роста энергоёмкости машиностроительного производства и неэффективного использования энергоресурсов особую значимость приобретают вопросы энергосбережения и разработки конкретных мероприятий по экономии энергетических ресурсов.

Литература

1. Долгий, С. А. УГГУ-01-50 на местных видах топлива / С. А. Долгий: науч. рук. Ж. Г. Юрковец // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов (28 – 29 мая 2020 г.) / редкол.: А.М. Маляревич (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 264-268.
2. Энергосбережение на предприятии [Электронный ресурс]/ энергосбережение на предприятии. - Режим доступа: <https://powercoup.by/energoberezhenie/energoberezhenie-na-predpriyatii> .– Дата доступа: 20.10.2021.

УДК 621.316.721

**СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
WAYS OF REDUCING ELECTRICITY LOSSES**

В.А. Желтко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Zheltko

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматривается проблема высоких потерь электроэнергии в электрических цепях и представлены способы рационализировать передачу и контроль потребления электроэнергии

Abstract: The article deals with the problem of high power losses in electrical circuits and presents ways to rationalize the transmission and control of electricity consumption.

Ключевые слова: АСКУЭ, микроЭВМ, hub

Keywords: ASMAE, microcomputer, hub

Введение

Ключевая проблема энергетики – высокие потери в электрических сетях. В итоге потребитель получает меньшее количество энергии, чем должен. Потерей электричества в сети является разность между выработанной и полученной энергией.

Основная часть

Потери электроэнергии можно разделить на следующие виды: технологические потери (возникают из-за преобразования части энергии в тепло); коммерческие потери (один из основных видов потерь, который возникает вследствие расходов, затраченных на эксплуатацию оборудования, персонала. Также можно учесть погрешность измерительных приборов.

Для снижения технологических потерь существуют следующие методы: усовершенствование или замена оборудования, выбор нужного трансформатора, подбор проводов с нужным сечением, максимальное снижение времени обслуживания оборудования, визуальный осмотр воздушных линий для обнаружения места возможного обрыва электролиний.

Основным видом коммерческих потерь является хищение электроэнергии, его можно разделить на 3 способа:

Механический. Вмешательство в счетчик электроэнергии.

Магнитный. Поднесение к счетчику магнита для остановки вращения барабана. Сегодня этот метод менее актуален в связи с тем, что системы подсчета оснащены магнитными датчиками.

Электрический.

Для борьбы с этим видом потерь используют следующие методы:

Использование измерительных приборов с высоким классом точности (0,5).

Использование инновационной системы АСКУЭ, которая полностью исключает возможность воровства и занижения показателей, однако она является довольно дорогой, и ее целесообразно устанавливать только в случаях высоких коммерческих потерь.

Структура АСКУЭ

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) – многоуровневая, иерархическая, автоматизированная система, обеспечивающая измерение количества электроэнергии и величин ее параметров (тока, напряжения, мощности и др.), автоматизированный сбор и передачу результатов измерений по коммуникационным каналам на верхний уровень, с последующим ее хранением и использованием. В общем случае АСКУЭ состоит из трех уровней.



Рисунок 1 – Схема устройства системы АСКУЭ

Первый уровень состоит из счетчиков электроэнергии, измерительных трансформаторов напряжения и тока. В этом уровне выполняются измерения потребления электроэнергии в учетной точке, регистрация, хранение в памяти и выдача информации в цифровом виде на второй уровень. Оборудование, входящее в первый уровень называется измерительно-информационным комплексом точки учета (ИИК ТУ).

Второй уровень имеет устройства сбора и передачи данных (УСПД) и аппаратуру, преобразующую аналоговый сигнал в цифровой. В этом уровне обеспечивается сбор и передача информации на третий уровень от нескольких ИИК. Оборудование, которое входит во второй уровень называется информационно-вычислительным комплексом электроустановки (ИВКЭ).

Третий уровень состоит из средств приема и передачи данных, которые, в свою очередь, состоят из программного обеспечения (ПО), системы обеспечения единого времени (СОЕВ) и серверов АСКУЭ. В этом уровне производится сбор и хранение измерительных результатов, а после – импорт и экспорт данных.

Характеристика цифровых устройств, входящих в состав АСКУЭ

Устройства учета электроэнергии.

Основными элементами АСКУЭ являются электронные счетчики расхода энергии. Их основные элементы – датчики напряжения и тока, микроЭВМ, преобразователь аналогового сигнала в цифровой, дисплей, рабочая память (рисунок 2).

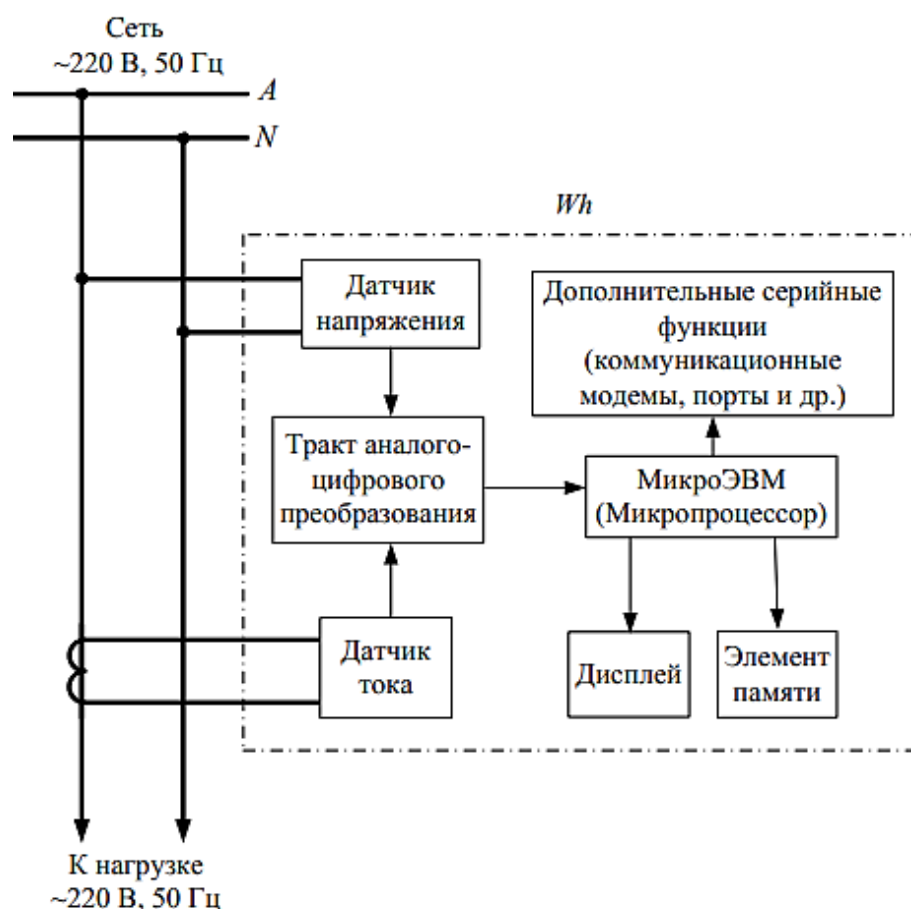


Рисунок 2 – Устройство учета электроэнергии

Концентраторы.

Сетевой концентратор (hub) - устройство, объединяющее несколько устройств в общий сегмент. Принципиально сетевой концентратор транслирует пакеты, которые поступают из одних портов в другие. Таким образом, он отправляет пакет из сети всем остальным устройствам этой сети (рисунок 3).

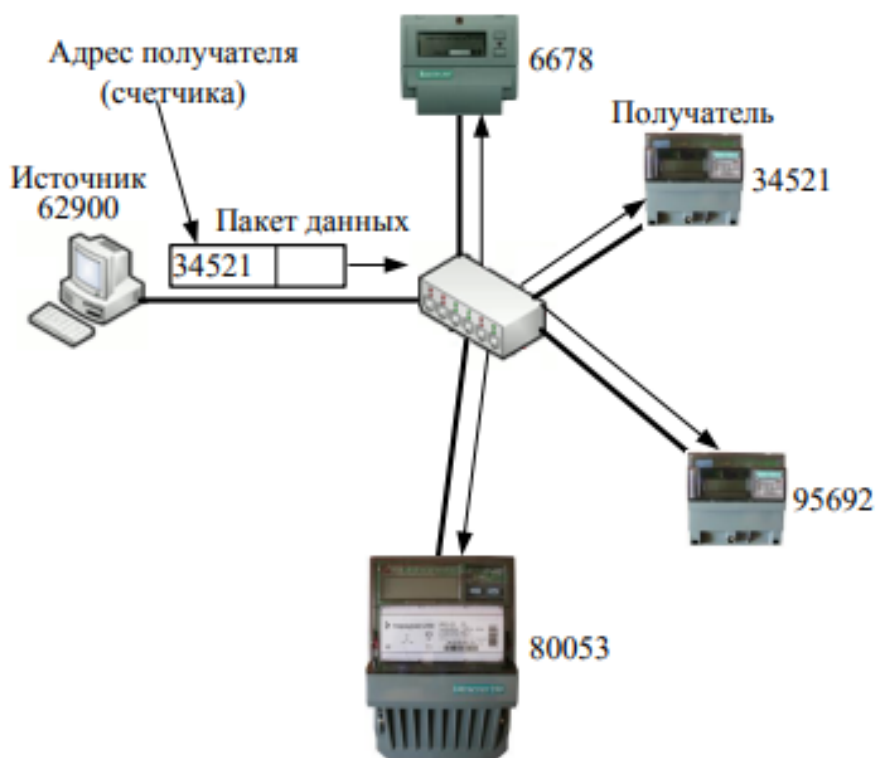


Рисунок 3 – Сетевой концентратор

Коммутаторы.

Сетевой коммутатор (switch) – устройство, предназначенное для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного или нескольких сегментов сети. Коммутаторы были разработаны с использованием мостовых технологий и часто рассматриваются как многопортовые мосты. В отличие от концентратора, коммутатор передает данные только непосредственно получателю (исключение составляет широковещательный трафик всем узлам сети и трафик для устройств, для которых неизвестен исходящий порт коммутатора). Это повышает производительность и безопасность сети, избавляя остальные ее сегменты от необходимости (и возможности) обрабатывать данные, им не предназначенные. Коммутатор хранит в памяти (ассоциативной памяти) таблицу коммутации, в которой указывается соответствие сетевого адреса (MAC адреса) узла порту коммутатора. Если на один из портов коммутатора поступит кадр, предназначенный для узла, MAC-адрес которого уже есть в таблице, то этот кадр будет передан только через порт, указанный в таблице. Если MAC-адрес узла-получателя не ассоциирован с каким-либо портом коммутатора, то кадр будет отправлен на все порты, за исключением того, с которого он был получен. Со временем коммутатор строит таблицу для всех активных MAC-адресов, в результате трафик локализуется. Следует отметить малую задержку и высокую скорость пересылки на каждом порту интерфейса. Для временного хранения фреймов и последующей их отправки по нужному адресу коммутатор может использовать буферизацию. Она может быть использована в случае, когда

порт пункта назначения занят. Буфером называется область памяти, в которой коммутатор хранит передаваемые данные.

Устройства сбора и передачи данных.

Устройства сбора и передачи данных (УСПД) – специализированное средство группового учета электроэнергии, используемое в АСКУЭ на среднем уровне. Применяют УСПД: для автоматического с программируемой периодичностью запроса и приема данных приборного учета от группы подключенных к нему по цифровым интерфейсам счетчиков; хранения, накопления и обработки этих данных учета, передачи их по каналу связи на верхний уровень, в центр сбора и обработки данных (ЦСОД) в соответствии с конкретными проектами АСКУЭ; передачи в обратном направлении служебных или иных данных, например, синхронизация часов электронных счетчиков. Устройства сбора и передачи данных представляет собой специализированный микропроцессорный контроллер, состоящий из основного блока, пульта управления и кроссового блока. Структурная схема УСПД изображена на рисунке 4.

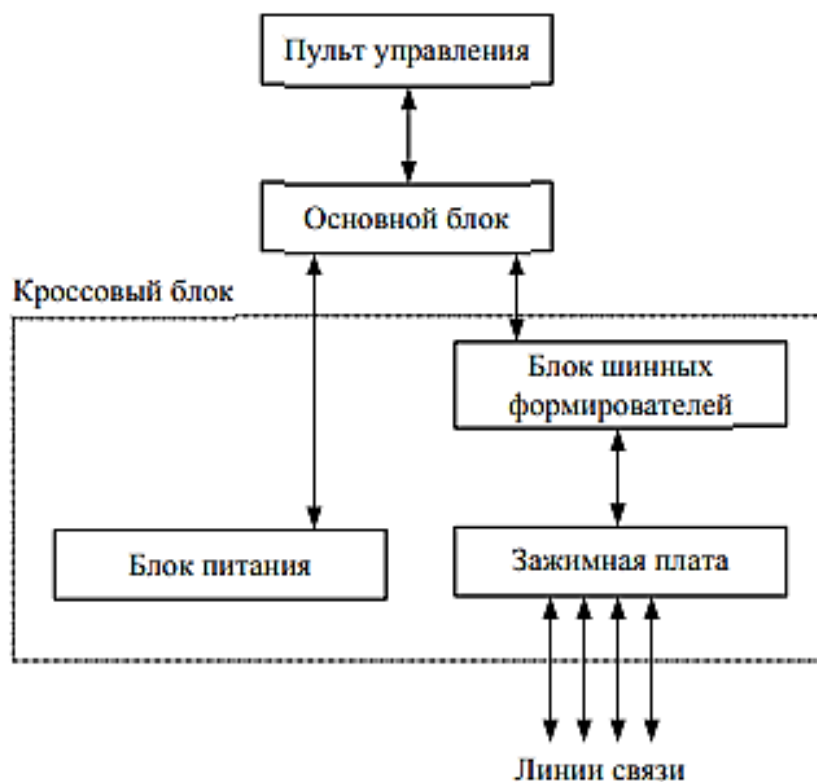


Рисунок 4 – УСПД

Заключение

Система АСКУЭ позволяет максимально сократить коммерческие потери электроэнергии, так как благодаря ей можно дистанционно наблюдать за расходами клиентов и, в случае хищения электроэнергии, дистанционно отключать счетчики. Также данная система применяется для счетчиков тепло энергии.

Литература

1. Коммерческий учет электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mrsk-1.ru/customers/services/custody.html>. Дата доступа: 05.10.2021.
2. ТКП 308-2011. Правила приёмки в эксплуатацию автоматизированных систем контроля и учёта электрической энергии, установленных в жилых и общественных зданиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://askueunited.by/soft/tkp308.pdf> – Дата доступа: 05.10.2021.

УДК 621.3

**ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА
THE HISTORY OF THE EMERGENCE OF AN ELECTRIC GENERATOR**

Д. Н. Ильютчик

Научный руководитель – В. В. Зеленко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Ilyutchik

Scientific supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk*Аннотация: Различные открытия в возникновении электрогенератора**Abstract: Various discoveries in the origin of the electric generator**Ключевые слова: Электрогенератор, Фарадей, машина, Сименс, Грамма.**Keywords: Electric generator, Faraday, machine, Siemens, Gram.***Введение**

В 1820 году было открыто взаимодействие между электрическим током, протекающим в проводнике, и магнитной стрелкой. Это явление было правильно объяснено и обобщено французским физиком Ампером, который установил, что магнитные свойства любого тела являются следствием того, что внутри него протекают замкнутые электрические токи (говоря современным языком, любой электрический ток создает вокруг проводника магнитное поле). Таким образом, любые магнитные взаимодействия можно рассматривать как следствия электрических. Однако, если электрический ток вызывает магнитные явления, естественно было предположить, что и магнитные явления могут вызвать появление электрического тока. Долгое время физики в разных странах пытались обнаружить эту зависимость, но терпели неудачу. В самом деле, если, к примеру, рядом с проводником или катушкой лежит постоянный магнит, никакого тока в проводнике не возникает. Но если мы начнем перемещать этот магнит: приближать или удалять его от катушки, вводить и вынимать магнит из нее, то электрический ток в проводнике появляется, и его можно наблюдать в течение всего того периода, во время которого магнит движется. То есть электрический ток может возникать только в переменном магнитном поле. Впервые эту важную закономерность установил в 1831 году английский физик Майкл Фарадей.

Открытия Фарадея.

Открытие Фарадея имело огромные последствия для техники и всей человеческой истории, так как теперь стало ясно, каким образом механическую энергию превращать в электрическую, а электрическую – обратно в механическую. Первое из этих преобразований легло в основу работы электрогенератора (рисунок 1), а второе – электродвигателя.

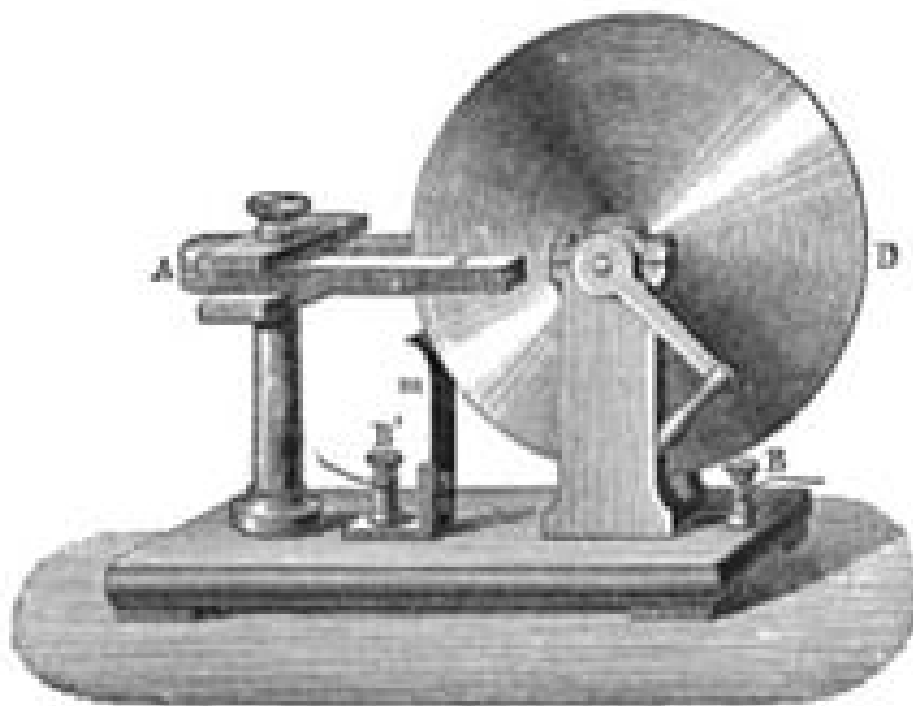


Рисунок 1 – Электрический генератор

Впрочем, сам факт открытия еще не означал, что все технические задачи на этом пути разрешены: около сорока лет ушло на создание работоспособного генератора и еще двадцать лет на изобретение удовлетворительной модели промышленного электродвигателя. Но главное: принцип действия этих важнейших элементов современной цивилизации сделался очевиден именно благодаря открытию явления электромагнитной индукции.

Магнитоэлектрическая машина Пиксии.

Он устроен следующим образом: на оси машины крепились два изолированных металлических кольца, каждое из которых было соединено с одним из полюсов генератора. По окружности этих колец вращались две плоские металлические пружины, на которые была присоединена внешняя цепь. При таком приспособлении уже не было никаких затруднений от вращения оси машины – ток переходил из оси в пружину в месте их соприкосновения.

Еще одно неудобство заключалось в самом характере тока электрогенератора. Направление тока в катушках зависит от того, приближаются они к полюсу магнита или удаляются от него. Из этого следует, что ток, возникающий во вращающемся проводнике, будет не постоянным, а переменным. По мере приближения катушки к одному из полюсов магнита сила тока будет нарастать от нуля до какого-то максимального значения, а затем – по мере удаления – вновь уменьшаться до нуля. При дальнейшем движении ток изменит свое направление на противоположное и опять будет нарастать до какого-то максимального значения, а потом убывать до нуля.

Вклад Сименса.

Электрогенератор прерывистого тока вполне мог заменить неудобную во многих отношениях гальваническую батарею, и потому вызвал большой интерес у тогдашних физиков и предпринимателей. В 1856 году французская фирма

«Альянс» даже наладила серийный выпуск больших динамо-машин, приводившихся в действие от парового двигателя. В этих генераторах чугунная станина несла на себе неподвижно укрепленные в несколько рядов подковообразные постоянные магниты, расположенные равномерно по окружности и радиально по отношению к валу. В промежутках между рядами магнитов на валу были установлены несущие колеса с большим числом катушек. Также на валу был укреплен коллектор с 16-ю металлическими пластинами, изолированными друг от друга и от вала машины. Ток, наводимый в катушках при вращении вала, снимался с коллектора при помощи роликов. Одна такая машина требовала для своего привода паровой двигатель мощностью 6-10 л.с.

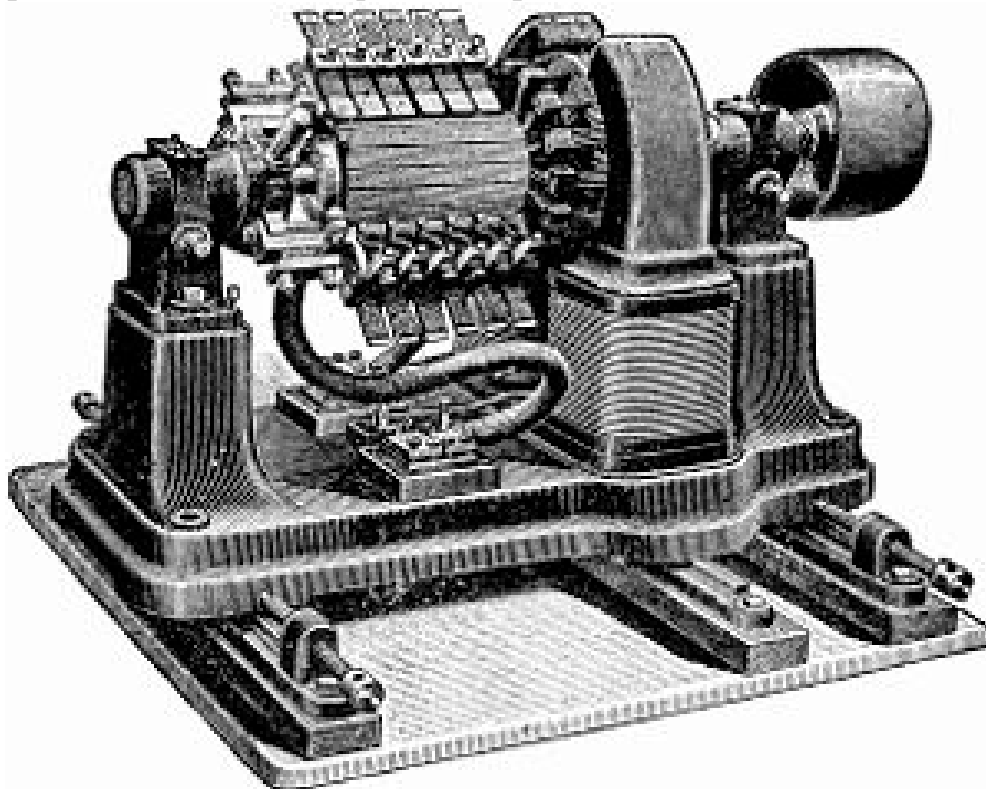


Рисунок 2 – Электрогенератор

Усовершенствования Грамма.

Удачное решение проблемы было вскоре найдено бельгийским изобретателем Зиновием Теофилом Граммом. Он жил во Франции и служил в кампании «Альянс» столярным мастером. Здесь он познакомился с электричеством. Размышляя над усовершенствованием электрогенератора, Грамм в конце концов пришел к мысли заменить якорь Сименса другим, имеющим кольцевую форму. Важное отличие кольцевого якоря (как будет показано ниже) состоит в том, что он не перемагничивается и имеет постоянные полюса. (Грамм пришел к своему открытию самостоятельно, но надо сказать, что еще в 1860 г. итальянский изобретатель Пачинотти во Флоренции построил электрический двигатель с кольцеобразным якорем; впрочем, это открытие вскоре было забыто.) По мере увеличения мощности генераторов возникла новая проблема – каким образом снять ток с вращающегося якоря с наименьшими потерями. Дело в том, что при больших токах щетки начинали искрить. Кроме больших потерь электроэнергии, это оказывало вредное воздействие на работу

генератора. Тогда Грамм посчитал рациональным вернуться к самой ранней конструкции электрогенератора, примененной в машине Пиксии: он сделал катушки неподвижной, а вращаться заставил электромагниты, ведь снять ток с неподвижной обмотки было проще. Он поместил катушки якоря на железном неподвижном кольце и заставил электромагниты вращаться внутри него. Отдельные катушки он связал между собой так, чтобы все те катушки, которые в данный момент подвергались одинаковому действию электромагнитов, были соединены последовательно. Таким образом Грамм разбил все катушки на несколько групп и каждую группу употребил для доставления тока в отдельную самостоятельную цепь.

Заключение

В 1870 году, получив патент на свое изобретение, Грамм образовал «Общество производства магнитоэлектрических машин». Вскоре было налажено серийное производство его генераторов, которые произвели подлинную революцию в электроэнергетике. Обладая всеми достоинствами самовозбуждающихся машин, они вместе с тем были экономичны, имели высокий КПД и обеспечивали практически неизменный по величине ток. Поэтому машины Грамма быстро вытеснили другие электрогенераторы и получили широкое распространение в самых разных отраслях. Тогда только появилась возможность легко и быстро преобразовывать механическую энергию в электричество.

Литература

1. История возникновения электрогенератора [Электронный ресурс]/ История возникновения электрогенератора. - Режим доступа: http://ru.teplowiki.org/wiki/История_возникновения_электрогенератора
2. История создания и развития генератора [Электронный ресурс]/ История создания и развития генератора. - Режим доступа: <https://t-l.ru/24168.html>

УДК 621.3

**ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА
DIRECT CURRENT MOTORS**

П.Ю. Гвоздь

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Gvozd

Scientific supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Данный доклад отражает цель, пользу и применение двигателей постоянного тока и рассказывает о многогранности их использования

Annotation: This report reflects the purpose, use and application of direct current motors and describes the versatility of their use

Ключевые слова: двигатели постоянного тока, мощность, электрическая энергия, принцип действия

Key words: direct current motors, power, electrical energy, operating principle.

Введение

Электрические машины неотъемлемо связаны с электрической энергией.

Ее преимущества перед другими видами энергии:

- возможность преобразования в другие виды энергии: механическую, тепловую, химическую, лучистую энергию;
- возможность передавать ее на большие расстояния с малыми потерями;
- возможность доставлять электрическую энергию в любую точку на Земле.

Электрическую энергию вырабатывают на электростанциях, где механическая энергия пара, воды преобразуется в электрическую с помощью электрогенераторов. Обратное преобразование энергии – с помощью электродвигателей.

Трансформаторы – статические машины, но электромагнитные законы те же, что и у вращающихся машин.

Классификация электрических машин:

1) в зависимости от рода тока вращающиеся электрические машины делятся на машины постоянного и переменного тока;

2) в зависимости от мощности машины бывают:

- микромашины – до 0,5 кВт;
- малой мощности – 0,5–20 кВт;
- средней мощности – 20–250 кВт;
- большой мощности – более 250 кВт.

На железнодорожном транспорте электрические машины используются как тяговые электрические двигатели на подвижном составе, в автоматике, телемеханике и в других службах.

Основная часть

Возможность построения механического генератора появилась после открытия Фарадеем закона электромагнитной индукции в 1831 г.

Если проводник перемещать в магнитном поле так, чтобы он пересекал магнитные линии, то на концах проводника появится разность потенциалов – ЭДС (электродвижущая сила). Простейшим генератором является рамка на оси, помещенная на магнитном поле.

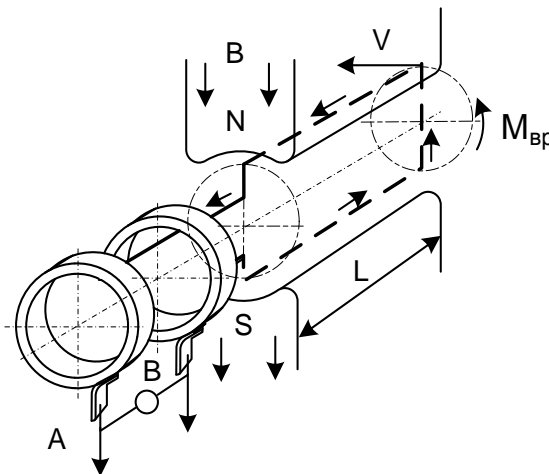


Рисунок 1 – Схема работы машины переменного тока

Концы проводников соединены с кольцами, которые вращаются вместе с рамкой (рисунок 1). На кольцах помещены неподвижные щетки. Присоединенный к щеткам вольтметр покажет разность потенциалов, т.е. ЭДС рамки, которая будет изменяться как по величине, так и по направлению. Направление ЭДС определяется по правилу правой ладони, состоящему в следующем.

Ладонь правой руки располагают в магнитном поле так, чтобы линии магнитной индукции были направлены в ладонь, а большой палец отводят относительно других пальцев в плоскости ладони на 90° градусов и направляют по движению проводника; тогда остальные пальцы руки покажут направление наведенной в проводнике ЭДС.

В общем случае $e = Blv$, если $lv = const t$, то $e \equiv B$. С некоторым приближением допускаем, что индукция под полюсами изменяется по синусоидальному закону, тогда

$$e = Blv \sin \alpha = E_{\max} \sin \omega t, \tag{1}$$

где α – угол поворота, так как $\alpha = \omega t$, то при $\omega = const$, горизонтальную ось α , можно обозначать осью времени t .

Частота наводимой переменной ЭДС:

$$f = \frac{1}{T}, \tag{2}$$

где T – период полного цикла изменения ЭДС.

Для преобразования переменного тока в постоянный применяют коллектор. Для этого проводники простейшего генератора соединяют с двумя медными полукольцами, названными коллекторными пластинами.

Пластины жестко связаны с валом рамки, но изолированы друг от друга. Щетки на коллекторных пластинах устанавливаются так, чтобы они переходили с одной коллекторной пластины на другую в тот момент, когда ЭДС равна нулю. Таким образом, щетка контактирует с полукольцом одного направления ЭДС. В этом случае ток на щетках и по внешнему участку цепи, через потребитель, протекает в одном направлении, но величина его изменяется с течением времени; эдс и ток имеют пульсирующую форму (рисунок 2). Если взять n рамок (обмотка якоря) и $2n$ коллекторных пластин (коллектор), то увеличится и число пульсирующих ЭДС за период времени T (рисунок 3). Если пульсаций менее 2%, то ток считается постоянным.

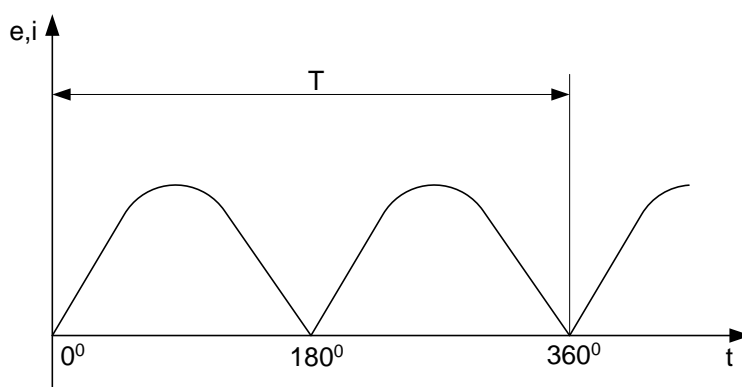


Рисунок 2 – Выпрямленные ЭДС и ток в генераторе с одной обмоткой

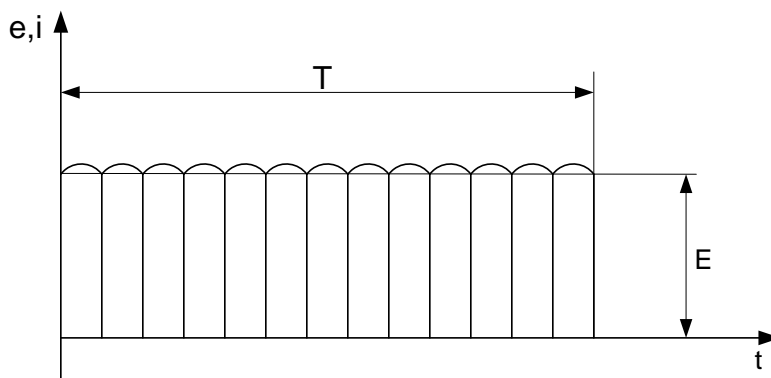


Рисунок 3 – Выпрямленные ЭДС и ток в реальном генераторе с несколькими обмотками

Таким образом, в генераторе коллектор является механическим выпрямителем, который преобразовывает переменную ЭДС витков якоря, в постоянную ЭДС на щетках. Совокупность витков составляет обмотку якоря.

Если к щеткам подсоединить потребитель электрической энергии, то потечет электрический ток, который в обмотке якоря будет создавать падение напряжения. Вследствие этого напряжение на зажимах генератора будет меньше ЭДС на величину падения напряжения на сопротивлении обмотки якоря

$$U = E_a - I_a r_a, \quad (3)$$

где a – индекс параметров якорной обмотки.

Формула (3) является основным уравнением напряжения генератора. Но на проводник с током в магнитном поле действует выталкивающая сила F , направленная навстречу вращению. Ток в обмотке якоря будет создавать противодействующий вращению момент $M_{пр}$. Чем больше I_a , тем больше необходимо усилий для преодоления противодействующего момента

$$M_{пр} = F \frac{D_a}{2}, \quad (4)$$

где D_a – диаметр якоря; D_a

В силу обратимости электрических машин принцип действия электрического двигателя можно рассмотреть по рис. 1.3, только к щеткам необходимо подвести напряжение сети.

На проводник с током, помещенный в магнитное поле действует выталкивающая сила, определяемая правилом левой руки (рисунок 4, а)

$$F = B l I_a, \quad (5)$$

С правой стороны магнитные линии складываются (поле усиливается), с левой – наоборот, появляется сила F согласно правилу левой руки.

Если поместить рамку с током в магнитное поле, то появляется вращающий электромагнитный момент (рисунок 4, б).

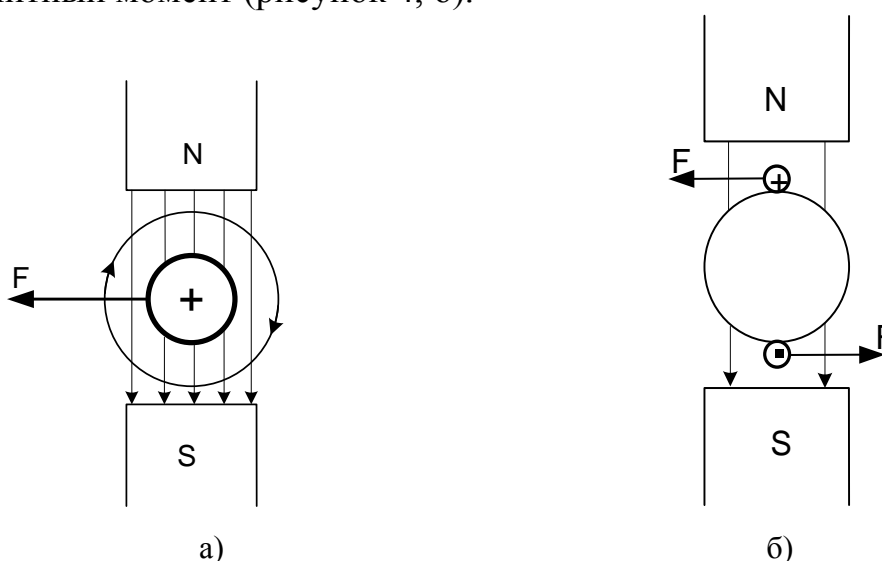


Рисунок 4: а) выталкивающая сила, действующая на проводник с током; б) вращающий момент, действующий на рамку с током

В режиме работы как двигатель, благодаря коллектору и щеткам, потребляемый постоянный ток превращается в переменный, который поступает в обмотку якоря. И работает, таким образом, в качестве механического инвертора.

Так как проводники все время пересекают магнитное поле, то в них наводится ЭДС, величина которой определяется равенством $e = B l v$ и которая направлена встречно подводимому напряжению, поэтому эту ЭДС. еще называют противо-электродвижущей силой (противо-ЭДС) в двигателе.

Машина постоянного тока, как и любая электрическая машина, обратима: может работать как генератор и как двигатель. Причем двигатели нашли большее применение, чем генераторы.

В таблице 1 приведены характеристики некоторых электрических машин постоянного тока.

Таблица 1 – Характеристики электрических машин постоянного тока

Назначение	Использование	P, кВт	I, А	U, В	Примечание
Двигатели	Трамвай	40÷50	75÷100	550	Имеют преимущества перед двигателями переменного тока: 1) широкое регулирование частоты вращения; 2) развивают большой пусковой момент
	Электровоз	600÷900	400÷600	1500	
	Прокатный Стан	11500	11500	1000	
	Атомоход «Ленин»	18000	18000	1000	
Генераторы	Для Электролиза	60÷120	10000	6÷12	Чаще используются генераторы переменного тока, с выпрямителями
	Тепловоз (старые модификации)	2700	3600	750	

Заключение

Машины постоянного тока применяют в качестве электродвигателей и генераторов. Электродвигатели постоянного тока имеют хорошие регулировочные свойства, значительную перегрузочную способность и позволяют получать как жесткие, так и мягкие механические характеристики. Поэтому их широко используют для привода различных механизмов в черной металлургии (прокатные станы, кантователи, роликовые транспортеры), на транспорте (электровозы, тепловозы, электропоезда, электромобили), в грузоподъемных и землеройных устройствах (краны, шахтные подъемники, экскаваторы), на морских и речных судах, в металлообрабатывающей, бумажной, текстильной, полиграфической промышленности и др. Двигатели небольшой мощности применяют во многих системах автоматики.

Конструкция двигателей постоянного тока сложнее и их стоимость выше, чем асинхронных двигателей. Однако в связи с широким применением автоматизированного электропривода и тиристорных преобразователей, позволяющих питать электродвигатели постоянного тока регулируемым напряжением от сети переменного тока, эти электродвигатели широко используют в различных отраслях народного хозяйства.

Генераторы постоянного тока ранее широко использовались для питания электродвигателей постоянного тока в стационарных и передвижных установках, а также как источники Электрической энергии для заряда аккумуляторных батарей, питания электролизных и гальванических ванн, для электроснабжения различных электрических потребителей на автомобилях, самолетах, пассажирских вагонах, электровозах, тепловозах и др.

Недостатком машин постоянного тока является наличие щеточно-коллекторного аппарата, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надежность работы машины. Поэтому в последнее время генераторы

постоянного тока в стационарных установках вытесняются полупроводниковыми преобразователями, а на транспорте – синхронными генераторами, работающими совместно с полупроводниковыми выпрямителями.

Литература

1. Дементьев, И.А. Электродвигатели: справочное пособие / И.А. Дементьев. - Ухта: УГТУ, 2010. - 78 с.
2. Москаленко, В.В. Электродвигатели специального назначения. / В.В. Москаленко - М.: Энергоиздат., 1998. - 159 с.
3. Проскуряков, В.С. Электрические машины постоянного тока: учебное пособие по предмету "Электротехника" / В.С. Проскуряков - Екатеринбург. Издательство ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2008. - 41 с.

УДК 621.3

**СКВАЖИННЫЙ ВОДЯНОЙ ДВИГАТЕЛЬ
DOWNHOLE WATER MOTOR**

П.П. Денисенко, М.С. Акулич

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Denisenko, M. Akulich

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: доклад предназначен для ознакомления с понятием скважинный водяной двигатель. Применением, устройством, принцип работы.

Abstract: the report is intended to familiarize you with the concept of a downhole water engine. Application, device, principle of operation.

Ключевые слова: энергия, энергетика, водяной двигатель, мощность, поршень.

Keywords: energy, energy, water engine, power, piston.

Введение

Автономное водоснабжение – неотъемлемый атрибут современного коттеджа построенного в стороне от городских или поселковых трасс водопровода. Насос приобретается из расчета потребностей в воде, высоты подъема, дальности транспортировки. В большинстве своем, это скважинные насосы с однофазным двигателем без встроенного конденсатора. Подключать такой двигатель необходимо при помощи устройств, которые обеспечат безопасный пуск, а также защиту машины во время перегрузок и аварийных отключений.

Основная часть

В скважинном водяном двигателе, содержащем источник воды, питательную емкость, преобразователь возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала с установленным на нем маховиком, две идентичные - первую и вторую рабочие группы, включающие полый поршень с выпускным клапаном, срабатывающим в его нижнем положении, рабочую камеру-гильзу цилиндра, расположенную ниже преобразователя движения поршня во вращательное движение выходного вала, между поршнем и гильзой цилиндра имеется зазор без уплотнения, а также клапан с управляющим им устройством, кулачком, установленным на поршне, подводящий и отводящий каналы, причем детали, расположенные ниже преобразователя возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала, установлены в вертикальных интервалах первой и второй буровых скважин, сообщенных в нижней своей части с зоной ухода воды, а в верхней - оборудованной установленными в ней двумя соосными колоннами обсадных труб большего и меньшего диаметра.

Питательная емкость машины образована кольцевым объемом между обсадными колоннами и имеющим сообщение с источником воды, например, с подземным водоносным горизонтом, а рабочая камера образована объемом

обсадной колонны меньшего диаметра, причем скважина сообщена с зоной ухода воды ниже обсадных колонн, подводящие каналы выполнены с обеспечением условия сообщения питательной емкости с полостью поршней и их заполнения водой самотеком в верхнем положении поршней. Поршни между собой соединены канатом, охватывающим два блока, установленных посредством муфт одностороннего действия, например, обгонных на входных валах преобразователя возвратно-поступательного перемещения поршней во вращательное движение выходного вала, представляющего собой двухвходовый реверсивный редуктор, либо мультипликатор, а зоной ухода воды является интервал направленной дренажной скважины, пробуренной до сообщения с рекой в нижнем ее течении. Пространственное положение осей вертикальных интервалов первой и второй скважин, а также оси интервала направленно пробуренной дренажной скважины совпадают с положением вертикально ориентированной плоскости; второй скважиной является вертикальный ее интервал более удаленный по вертикали от сообщения интервала дренажной скважины с рекой, причем этот интервал является продолжением ее вертикального интервала, а вместе они представляют собой единую вторую скважину. Вертикальный интервал первой скважины пробурен до пересечения с направленно пробуренным интервалом второй скважины.

В скважинном водяном двигателе, далее СВД:

- в случае не пересечения первой скважины в нижней ее части с направленно пробуренным интервалом второй скважины. Они могут быть сообщены посредством каналов природной трещиноватости или вызванной путем гидроразрыва либо путем взрывания горных пород между ними;
- источником воды могут быть - река в верхнем ее течении, озеро или водохранилище.

На рисунке 1 в качестве примера приведена принципиальная схема устройства (для пояснения принципа работы) предлагаемого водяного двигателя. На рисунке 2 приведена кинематическая схема двухвходового мультипликатора двигателя.

Преимуществами рассматриваемого водяного двигателя являются более высокие показатели его ресурса и энергоэкономичности и более широкие условия его применения.

Скважинный водяной двигатель содержит: 1, 1' - питательную емкость; 2 - водоносную подземную зону; 3, 3' - впускные клапаны первой и второй рабочих групп, соответственно (в последующем обозначение со штрихом означает одноименный элемент относящийся ко второй рабочей группе); 4, 4' - гильзы; 5, 5' - поршни; 6 - канат; 7, 7' - шкивы; 8, 8' - муфты одностороннего действия; 9 - преобразователь попеременного реверсивного вращения входных валов во вращательное движение выходного вала, в последующем - преобразователь; 10, 10' - впускные кулачки; 11, 11' - выпускные клапаны поршней; 12, 12' - упоры выпускных клапанов поршней; 13, 13' - выходные каналы; 14, 14' - вертикальные интервалы второй и первой скважин, соответственно; 15, 15' - промежуточные шестерни первой и второй рабочих групп, соответственно; 16, 16' - выходные

муфты одностороннего действия реверсивного редуктора (мультипликатора); 17 - выходная шестерня с выходным валом; 18 - маховик; 19 - выходной вал; 20 - воздушный колпак; 21 - штуцер; 22 - промежуточный ролик-шквив; 23 - интервал направленно пробуренной дренажной скважины (интервал второй скважины).

Работает водяной двигатель следующим образом. Питательные емкости 1 и 1' наполняются водой из подземной водоносной зоны 2 через фильтры, установленные в обсадной трубе большего диаметра. Один из поршней двигателя, например, поршень 5 подводится к своей верхней мертвой точке (ВМТ) - положение показано на рисунке 1 (подводка поршня производится с помощью вспомогательного устройства (ручного), которое на рисунке 1 не показано). При этом соединенный с ним поршень 5' устанавливается в своей нижней мертвой точке (НМТ). В таком состоянии двигателя поршень 5 установленным на нем кулачком 10 открывает впускной клапан 3 и вода из питательной емкости 1 поступает в полость поршня 5, а выпускной клапан 11' поршня 5' взаимодействует с упором 12', открывается и вода из поршня 5' вытекает в выходной канал 13' (нижняя часть первой скважины 14') и далее в направленно пробуренный интервал дренажной (второй) скважины 23, по которой транспортируется к зоне ухода воды - реке. Полость поршня 5 заполняется водой, а полость поршня 5' освобождается от воды, при этом вес P_1 поршня 5 увеличивается, а вес P_2 поршня 5' уменьшается. После завершения процессов заполнения-истечения, за счет превышения $P_1 > P_2$ поршень 5 начинает движение вниз, при этом поршень 5' перемещается вверх. При движении поршня 5 вниз, а поршня 5' вверх перемещение каната 6 вызывает вращение шкивов 7 и 7' в направлении против часовой стрелки. Шкивы 7 и 7' сопряжены с валами посредством муфт одностороннего действия, например обгонных, установленных так, что при движении каната в каждом из направлений срабатывает одна из обгонных муфт. При движении поршня 5 вниз вращение передается от шкива 7 посредством обгонной муфты 8 на входной вал блока 7. Вращение входного вала шкива 7 посредством шестерен 15 и 17 (рисунок 2), установленных в преобразователе попеременного реверсивного вращения входных валов во вращательное движение выходного вала 9, передается его выходному валу 19, на котором установлен маховик 18. При достижении поршнем 5 своей НМТ его выпускной клапан 11 взаимодействует с упором 12, установленным в скважине, и открывается, а поршень 5' достигает своей ВМТ, при этом установленным на нем кулачком 10' открывается впускной клапан 3'. При таком положении поршней вода из полости поршня 5 вытекает и по направленно пробуренному интервалу дренажной (второй) скважины 23 транспортируется к зоне ухода воды - реке, а полость поршня 5' наполняется водой. После завершения процессов заполнения-истечения, за счет превышения веса $P_2 > P_1$, поршень 5' начинает двигаться вниз, при этом связанный с ним канатом 6 поршень 5 начинает перемещаться вверх. При движении поршня 5' вниз, а поршня 5 вверх перемещение каната вызывает вращение шкивов 7 и 7' в направлении по часовой стрелке. При таком направлении движения каната вращение шкива 7' посредством обгонной муфты 8' передается на входной вал шкива 7'. Вращение входного вала шкива 7' посредством шестерен 15' и 17

передается выходному валу 19. В последующем цикл работы двигателя повторяется.

В двигателе используется гравитационная составляющая рабочего хода поршня (за счет силы тяжести) на всем интервале от водоносной зоны до зоны ее ухода. Теоретическая потенциальная энергия поршня наполненного водой может быть определена из выражения:

$$A_{\text{п}} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

$A_{\text{п}}$ - потенциальная энергия поршня, Дж; m - масса поршня, кг; g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; h - высота падения поршня (разница между положениями глубин водоносной зоны и зоны ее ухода), м.

Рабочий ход двигателя может составлять от метров до нескольких их десятков.

Таким образом, в системе двух соединенных между собой канатом поршней, под действием гравитационных сил, попеременно заполняемых водой поршней, устанавливаются их периодические движения вниз - вверх. Мощность, развиваемая в такой динамической системе, изначально определяется усилием в канате и линейной скоростью его движения, а на выходном валу - с учетом потерь на трение.

Остановка двигателя осуществляется с помощью сжатого воздуха, например, аккумуляированного в баллоне (на рисунке 1 не показан). Шлангом баллон с вентилем подсоединяется к штуцеру 21, и сжатый воздух поступает в кольцевой объем выше уровня жидкости - воздушный колпак 20. По мере увеличения давления в воздушном колпаке уровень жидкости в кольцевом объеме начинает перемещаться вниз, а объем воздушного колпака - увеличиваться. При положении уровня жидкости ниже впускного клапана 3' исключается возможность поступления воды из кольцевого объема 1' в полость поршня 5' при очередном достижении им ВМТ. Работа двигателя прекращается.

В рассматриваемом двигателе рабочий ход поршня 5 (5') от ВМТ до НМТ составляет расстояние от водоносной зоны до положения упоров выпускных клапанов поршней 12 и 12', которое может составлять единицы или десятки метров.

Когда расход воды при работе двигателя не превышает естественного восполнения, истощения запасов подземных вод в данном водоносном горизонте не происходит, его гидростатическое давление сохраняется, и двигатель может работать бесконечно долго.

Возможны и другие варианты питания скважинного водяного двигателя водой, когда питательная емкость представлена расположенными на поверхности водоемами природного или искусственного происхождения.

Двигатель может работать в качестве источника электрической энергии в том случае, если его вал соединен с валом электрогенератора и они работают в спарке.

Технические характеристики электродвигателей для скважинных насосов:

- асинхронный двухполюсный (2850 мин^{-1});
- погружной, маслonaполненный;

- мощность 0,37 – 7,5 кВт;
- номинальное напряжение: – 230 В, 400 В; частота 50 Гц;
- перепады напряжения питания: +6% – 10%;
- максимально допустимое количество включений за час: – 30 раз с интервалами между запусками в 60 секунд;
- номинальная рабочая температура окружающей среды: – 30°C;
- способ монтажа – вертикальный и горизонтальный;
- минимальная скорость обтекания жидкости – 8 см/сек;
- класс защиты: – IP 68;
- класс изоляции: – F;
- режим работы – продолжительный.

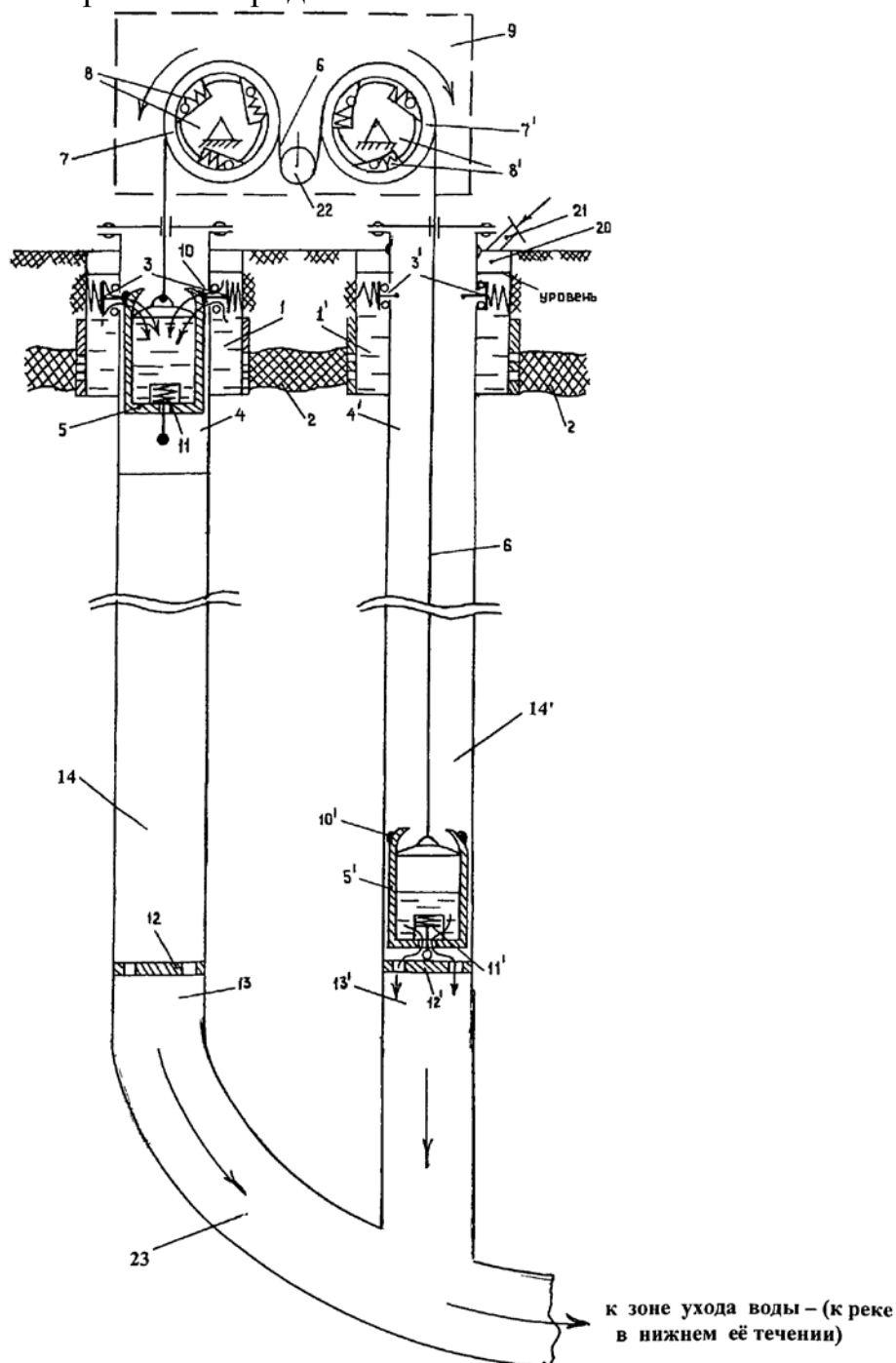


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства водоснабжения

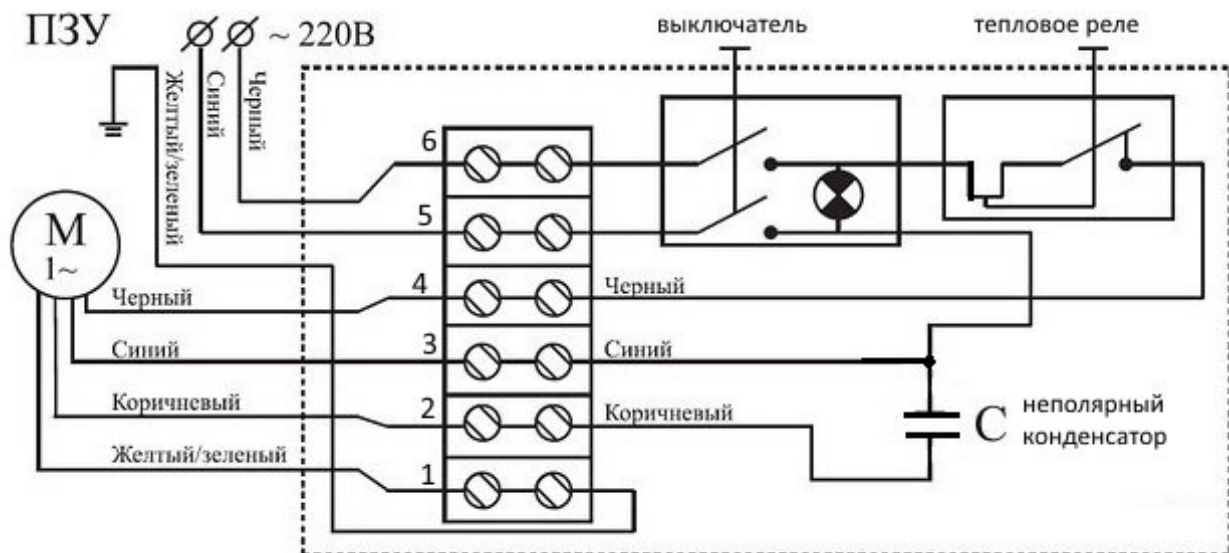


Рисунок 2 – Кинематическая схема двухвходового мультипликатора двигателя

Заключение

Достоинствами рассматриваемого водяного двигателя являются высокие показатели экономичности расходования воды при работе, энергосбережение и более широкие горно-гидра-геолого-технические условия применения. Более высокая экономичность расходования воды заключается в том, что она не расходуется из хозяйственного оборота, в полном объеме возвращается в реку и может быть использована далее для различных целей. Эффект большего энергосбережения объясняется тем, что при работе двигателя в качестве энергоисточника, он является возобновляемым, так как вода не изымается из ее кругооборота (не изымается из хозяйственного обращения), а возобновляемые источники энергии являются технической основой энергосберегающих технологий. Более широкие горногидрогеологотехнические условия применения объясняются потенциальным разнообразием применяемых в нем источников воды – природные и искусственно созданные поверхностные и подземные.

Применение рассматриваемого водяного двигателя позволит увеличить возможности нетрадиционной электроэнергетики, использующей альтернативные источники энергии, в том числе такие возобновляемые ресурсы как подземные воды и водоемы поверхностные природного и искусственного происхождения.

Преимуществом двигателя при его питании от водоносного горизонта и использовании в качестве источника электроэнергии, в сравнении с речными ГЭС (в холодное время, в условиях резко континентального климата), является возможность эксплуатации его круглогодично. В таких районах, в частности, при низких температурах, при которых реки замерзают, так как, используемая в нем рабочая среда – подземная вода не замерзает.

Литература

1. Электронный ресурс: <https://www.pedrollo.ru/information/skvazhinnye-nasosy-pedrollo/>. Дата доступа: 08.11.2021

2. Электронный ресурс: <https://poleznayamodel.ru/model/12/128255.html>
Дата доступа: 08.11.2021
3. Схема: <https://nasos-pump.ru/pogruzhnye-dvigateli-dlya-skvazhinnyx-n/>.
Дата доступа: 08.11.2021

УДК 621.3

ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ. ИХ УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ**HYDRO GENERATORS. THEIR STRUCTURE, PRINCIPLE OF OPERATION AND APPLICATION**

А.О. Говака, К.Н. Зыгмантович

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Govaka, K. Zyhmantovich

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: доклад предназначен для ознакомления с понятием гидрогенератор, их устройством, принципом работы, применением и новшествами в данной сфере.

Abstract: the report is intended to familiarize with the concept of a hydrogenerator, their device, principle of operation, application and innovations in this field.

Ключевые слова: энергия, гидрогенератор, конструкция, мощность, система.

Keywords: energy, hydrogenerator, design, power, system.

Введение

Одной из самых обсуждаемых сфер жизни всех стран является энергетика, потому что она получает все более разнообразные экономические, технические и политические аспекты.

Электрическая энергия нужна всему человечеству. С каждым годом на неё растет спрос. Мы все знаем, что запасы традиционных органических видов топлива (уголь, нефть, газ) ограничены. Из-за этого очень важно и необходимо найти выгодные источники электрической энергии. Ими могут стать гидрогенераторы.

Гидрогенераторы имеют огромное превосходство перед аналогами получения энергии – их функциональность не зависит от погоды, речной поток почти не меняет скорости, что значительно упрощает конструкцию устройства. Поговорим о том, как устроен гидрогенератор, расскажем об их характеристиках и параметрах.

Основная часть

Гидрогенератор – устройство, состоящее из электрического генератора, механическим приводом, приводящим исполнительный механизм в движение, для которого служит гидротурбина. Конструкцию гидрогенератора определяют потребности гидротурбины, которые зависят от погодных и климатических условий региона, где находится ГЭС. В выборе места постройки важен напор воды. По этой причине под каждую отдельную ГЭС создаётся свой собственный гидрогенератор. Но для каждой характерны следующие составляющие: ротор, крестовины, статор, подпятник и подшипники, которые составляют скелет конструкции. Воздухоохладители для охлаждения обмоток устанавливаются там же. Для охлаждения нагревающихся трубок так же используют охладители,

поэтому от характеристик и свойств воды, используемой в работе, химического состава и примеси, зависят и материалы из которых изготавливают теплообменники. В качестве материала могут использоваться, как простая сталь и латунь, так и медь, алюминий, нержавейка или медно-никелевый сплав мельхиор (если используется вода с большим содержанием соли или морская).

Характеристики

По мощности гидрогенераторы делятся на гидрогенераторы малой мощности – не более 50 Мвт, средней – от 50 до 150 Мвт и большой мощности – более 150 Мвт. По частоте вращения гидрогенераторы делятся на тихоходные – до 100 об/мин и быстроходные – свыше 100 об/мин. Отечественные и зарубежные гидрогенераторы стандартного применения имеют диапазон генерируемого напряжения от 8,8 до 18 кВ; коэффициент мощности ($\cos \varphi$) от 0,8 до 0,95; КПД быстроходных гидрогенераторов – 97,5-98,8%, тихоходных – 96,3-97,6%.

На данный момент номинальная мощность гидрогенераторов составляет в среднем 200-400 МВА, с частотой вращения – 15-400 об/мин и коэффициентом мощности 0,85 – 0,95.

Ротор обладает большим количеством пар полюсов с диаметром, который, в некоторых случаях, может достигать до 16 метров.

Если частота вращения до 200 об/мин, то гидрогенераторы выполняются преимущественно в зонтичном исполнении, более 200 об/мин – гидрогенераторы выполняются в подвесном исполнении. Если частота вращения ротора более 250 об/мин – вертикальные гидрогенераторы выполняются только в подвесном исполнении.

Внутри специального кожуха находится статор, который разобран для облегчения транспортировки и монтажа. На стоимость аппарата влияет напряжение статора, которое равно 15-20 кВ.

От вспомогательного генератора постоянного тока осуществляется возбуждение гидрогенератора, установленного на валу. На крупных гидрогенераторах обычно есть дополнительно подвозбудитель для возбуждения вспомогательного генератора. Иногда для этого используется синхронный генератор с выпрямителями, который одновременно выполняет функцию вспомогательного генератора.

Гидрогенераторы бывают как очень большие, для станций, вырабатывающих энергию для городов, так и маленькие. Маленькие используют в домашнем хозяйстве, оборудовав на реку для снабжения электричеством поселка или деревни.

По способу расположения гидрогенераторы бывают:

- Вертикальные.
- Горизонтальные.

Чаще всего используются вертикальные гидрогенераторы, потому что они более устойчивы к нагрузкам, которые создаются потоком воды.

Вертикальные генераторы делят на два основных типа (рисунок 1):

- Подвесные.
- Зонтичные.

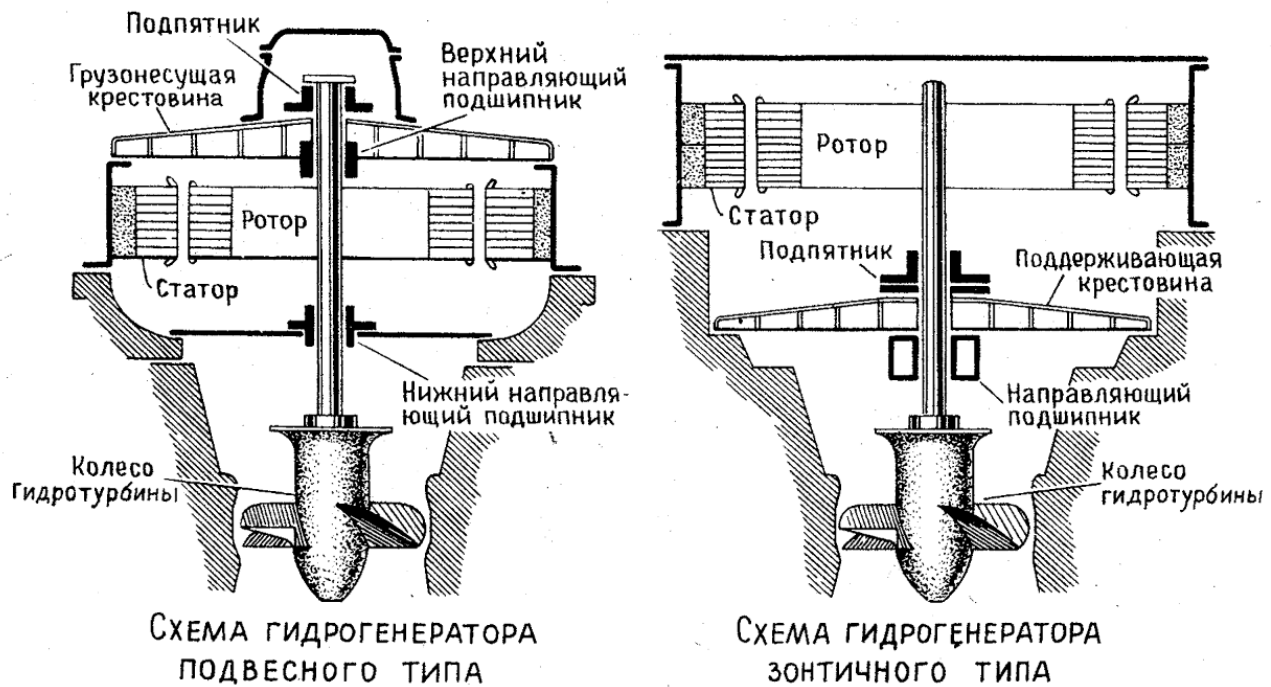


Рисунок 1 – Схемы гидрогенераторов вертикального исполнения

Применение.

Мы осознали, что гидрогенератор – это механизм, который преобразовывает энергию движения воды в электрическую. Такие устройства применяются в основном на ГЭС, но и небольшие модели, вырабатывающие сотни киловатт не стали редкостью, особенно в районах, в которых полно водных ресурсов.

Мы все знаем, что для производственного получения электрической энергии люди применяют атомные, ветровые и гидроэлектростанции. Практически каждый из нас способен разместить подобные генераторы на своей территории (за исключением первого варианта), и использовать сравнительно бесплатную электроэнергию, но только при выполнении определенных условий. К примеру, чтобы установить у себя ветровой генератор, целесообразно располагаться в ветреном районе, со средней скоростью ветра около 5-6 м/с, для гидрогенератора требуется наличие реки.

Самым распространённым и простым гидрогенератором является водяное колесо. Ещё с древности человечеству известна его, но данный гидрогенератор используется и в современности, не потеряв актуальность. Чаще всего именно эта конструкция используется при производстве кустарных гидрогенераторов. Очень простое строение позволяет применять разнообразные подручные материалы.

В промышленном производстве тоже используются водяные колеса, ежедневно на рынке можно найти множество эффективных моделей, с лопастями, рассчитанными на работу с определенной скоростью потока воды.

Существует устройство, сконструированное по подобию ветряка, но уже с вертикально расположенной осью – пропеллерный генератор (рисунок 2). Они установлены напротив потока, но вращаются не за счет давящего напора воды, а

по принципу образования подъемной силы, так же как это делает винт корабля или крыло самолета.



Рисунок 2 – «Ветряк» под водой

Последние достижения.

Около 10 лет назад, американская компания показала миру первые гидрогенераторы в водопроводе. Представители этой фирмы заявляют о том, что проблема большого энергопотребления людей может быть отчасти решена за счет новейшей технологии, с применением которой гидрогенераторы приводятся в движение от водопровода. Строение подобного устройства показано на рисунке 3.

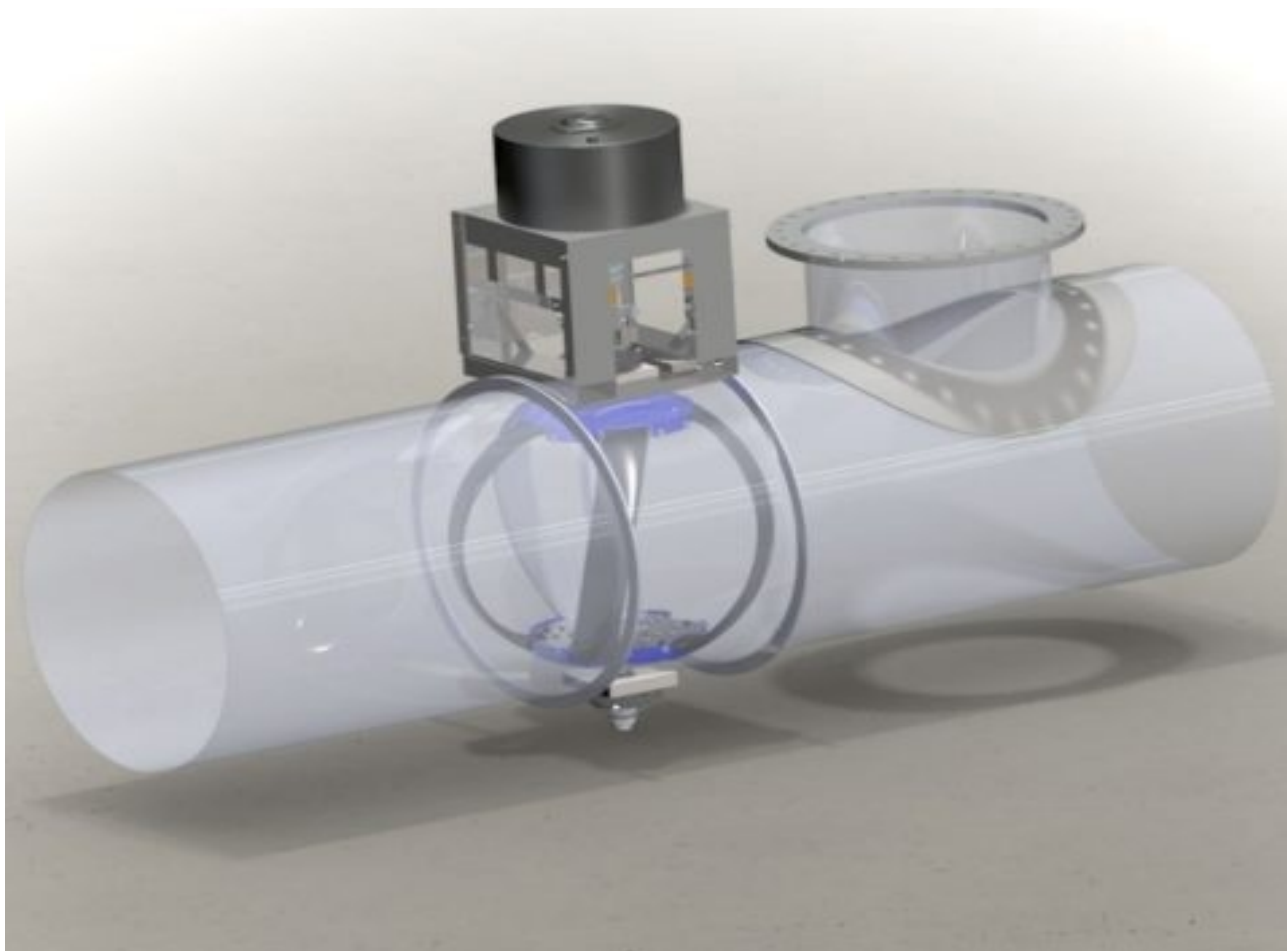


Рисунок 3 – Гидрогенераторы водопровода

Заключение

Гидроэнергетика не перестаёт развиваться. Это все сильнее связано с возрастающими нагрузками на электрические сети и необходимостью обеспечивать статическую и динамическую стабильность их работы. В связи с этим важно разрабатывать быстро-отзывчивые системы возбуждения. Опыт многих стран показывает нам, что полная замена гидрогенераторов может быть экономически выгодна только для машин с малой мощностью, для остальной же части более целесообразна будет модернизация действующего оборудования.

Литература

1. Электронный ресурс: <https://elektrika-su/elektrooborudovanie/generatory/gidrogenerator-1912>. Дата доступа: 06.11.2021.
2. Электронный ресурс: <https://electricps.ru/gidrogenerators>. Дата доступа: 06.11.2021.
3. Схема: https://electricps.ru/images/articles/gidrogenerator/Generatory_podvesnogo_i_zontichnogo_tipa.png. Дата доступа: 06.11.2021.

УДК 62-503.51

**УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
И ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖАЛА ПАЯЛЬНИКА
THE DEVICE AND THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE
SOLDERING IRON TEMPERATURE CONTROL SYSTEM**

И.В. Горнак, Е.С. Хаткевич

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Harnak, E. Khatkevich

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены паяльники с регулятором температуры и блоком питания, размещенных в ручке самого устройства, и их разновидности. Определены их характеристики, устройство и принципы работы.*

***Abstract:** This article discusses soldering irons with a temperature controller and a power supply located in the handle of the device itself and their varieties. Their characteristics, structure and principles of operation have been determined.*

***Ключевые слова:** Паяльник, керамический нагреватель, терморегулятор, термонара, калибровка.*

***Keywords:** Soldering iron, ceramic heater, thermostat, thermocouple, calibration.*

Введение

Паяльником считается ручной инструмент, служащий для нагрева деталей, флюса, расплавления припоя и нанесения его в места контакта спаиваемых деталей. Тонкие и хрупкие детали требуют аккуратной пайки при определённых температурах, поэтому паяльники стали оснащать регуляторами температуры.

Существуют различные варианты паяльников с регулировкой температуры.

Самые простые паяльники с возможностью работы в двух диапазонах. Имеют два режима минимум и максимум. Первое положение позволяет поддерживать нагрев прибора, а второе даёт возможность выполнять сам процесс пайки.

Так же существуют паяльники с диммерами, подключаемыми к сети 220В, в разрыв кабеля. Регулировка осуществляется за счёт перепадов напряжения. Минусом такой системы является снижение мощности, что делает эту систему низкоэффективной.

Самыми распространёнными являются паяльники с регулятором температуры и блоком питания размещёнными в ручке самого паяльника. Данная система считается эффективной, но не обеспечивает высокую мощность для работы.

Паяльник с выносным блоком. Такая система питания является наиболее производительным и эффективным, так как имеет регулировку в широком диапазоне. Обеспечивает любую мощность.

Все паяльные устройства в зависимости от нагревателя можно разделить на два вида.

Первый вид – медный паяльник, включающий в себя нагреватель, состоящий из нихромовой проволоки, закрученной в виде спирали. Плюсом данной системы является возможность работать, с переменным и постоянным током, в том числе при низком напряжении, создаваемым небольшим трансформатором. В данном виде паяльника, в его жале имеется термодатчик, работа которого основана на физических свойствах термопары. Под действием сигнала датчика происходит изменение мощности или полное отключение. Конструкции такого типа паяльника представлены в двух модификациях. Самая простая конструкция, когда спираль наматывается на корпус из диэлектрика, в который вставлено жало. В более сложных конструкциях производиться изоляция нихромовой спирали за счёт этого существенно уменьшаются тепловые потери.

Второй вид – паяльник с керамическим нагревателем. Плюсом такого вида является быстрый нагрев жала паяльника, и широкий диапазон регулировки температуры.

Основная часть

В данной статье будем рассматривать паяльники с регулятором температуры и блоком питания размещенными в ручке самого паяльника. А так же все рассмотренные далее виды паяльников будут иметь керамический вид нагревателя.

Рассмотрим для начала простейший паяльник с механическим регулятором температуры на 60Вт.



Рисунок 1 – Паяльник с механической регулировкой температуры

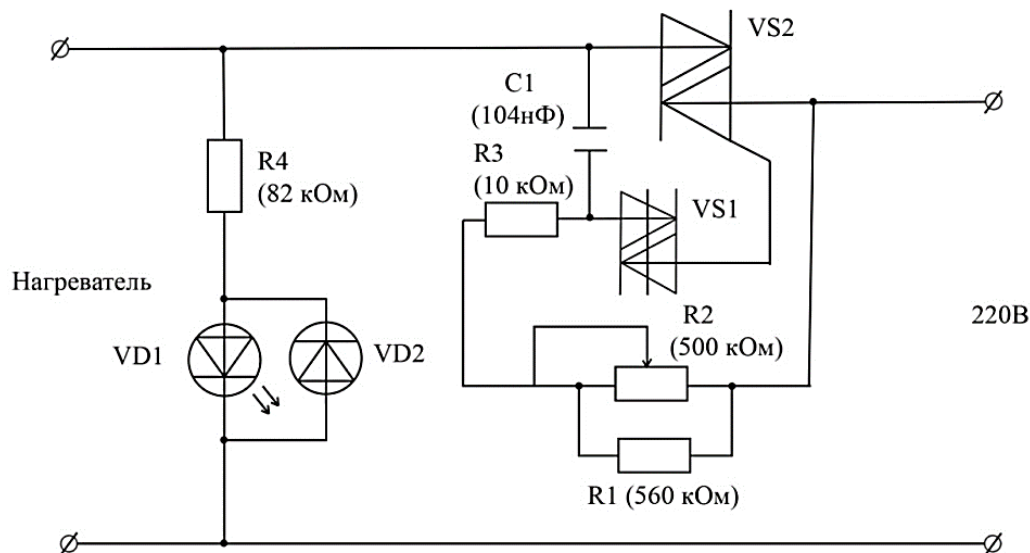


Рисунок 2 – Схема паяльник с механической регулировкой температуры

Основными компонентами данной системы являются динистор и симистор. При подключении паяльника к сети 220В ток начинает протекать через нагрузку и через резистор $R1$, $R2$ и $R3$ заряжая конденсатор $C1$. Как только на конденсаторе напряжение поднимется выше 32В, откроется динистор $VS1$ и через него пойдет ток, открывая симистор $VS2$. Симистор в это время начинает пропускать ток нагрузки и закроется он только в тот момент, когда прямой ток через него станет меньше тока удержания. Синусоида опускается на силовых выводах симистора к потенциалу близкому к нулю. Далее всё повторяется по циклу. Переменным резистором $R2$ регулируется скорость зарядки конденсатора $C1$. Чем дольше он будет заряжаться, тем дольше будет закрыт динистор $VS1$, следовательно, и симистор $VS2$, а когда он закрыт, нет синусоиды на нагрузке.

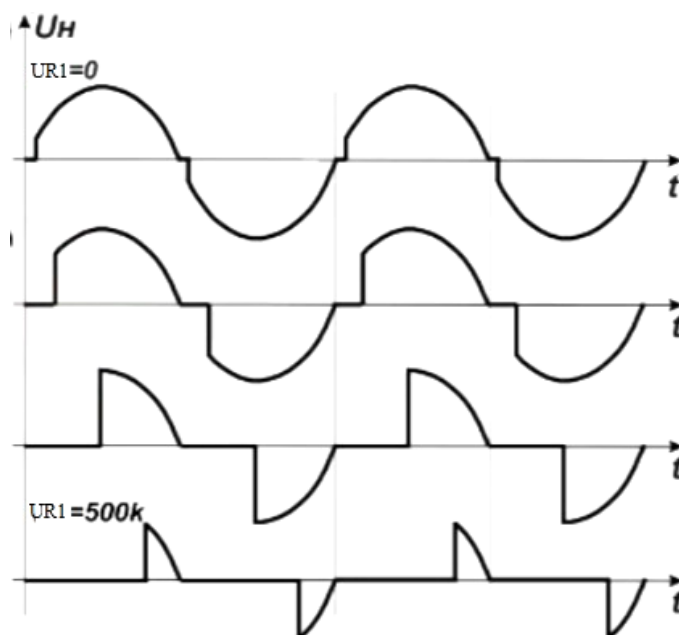


Рисунок 3 – Диаграмма преобразования напряжения

Резистор R2 тарирован, тем самым позволяет нам выставлять определённую температуру нагревателя с погрешностью $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Такой тип регулировки позволяет регулировать температуру от 200°C до 400°C . Основными минусами такого вида паяльников является перегрев и не точная регулировка температуры.

Паяльник GJ-907.

Рассмотрим следующий вид паяльника с термостатом марки GJ-907. Его основным отличием, от рассмотренного паяльника, является наличие термопары, которая позволяет контролировать температуру жала.



Рисунок 4 – Паяльник GJ-907

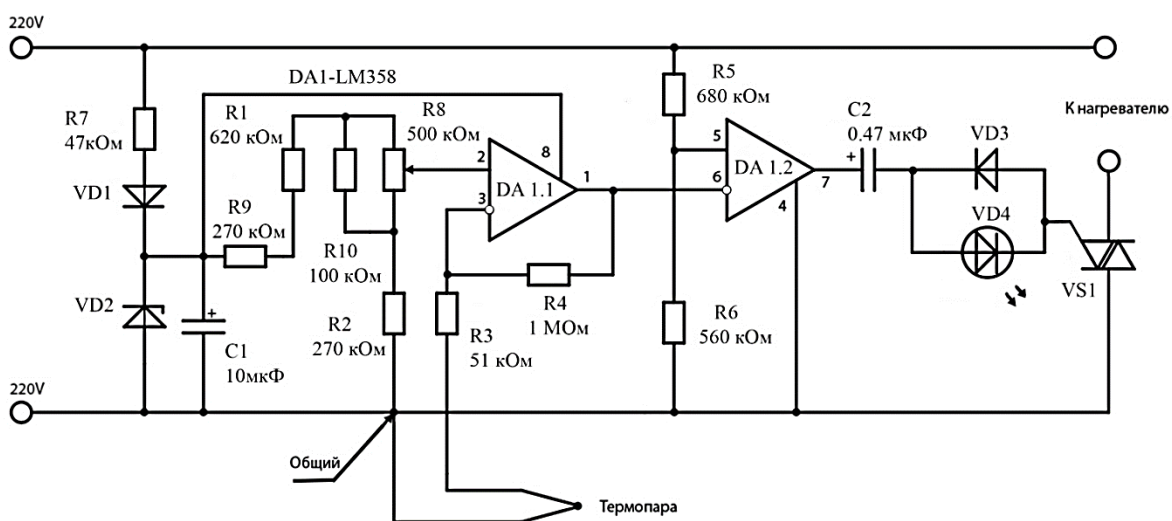


Рисунок 5 – Схема паяльника GJ-907

Подключая к сети 220В, напряжение сети переменного тока поступает на плату управления через сетевой кабель. Для удобства, один из проводов обозначен как «общий», этот провод является общим для сигналов питания, термопары и управления симистором. Сетевое напряжение выпрямляется через токоограничивающий резистор R7 и выпрямительный диод VD1 (1N4007) поступает на параметрический стабилизатор, на стабилитроне VD2, напряжением 22 вольта. Пульсации этого напряжения сглаживает конденсатор C1. Регулировку порога температуры производят переменным резистором R8, диапазон его регулировки задают резисторы R9, R1, R2. На операционном усилителе (ОУ) в составе микросхемы LM358 DA1.1 собран пороговый элемент – компаратор с положительной обратной связью. На инвертирующий вход поступает напряжение с переменного резистора. На прямой вход — напряжение термопары смешанное с выходным напряжением компаратора, для обеспечения гистерезиса. Гистерезис равен 13,5°C.

Это и есть разница между включением и отключением термостатом нагревательного элемента.

Когда температура спая термодатчика ниже установленного порога резистором R8, на инвертирующем входе DA1.1(2) потенциал выше, чем на (3), и на выходе (1) действует низкий уровень — около 0В. На втором ОУ микросхемы DA1.2, собран компаратор контролирующий переход переменного напряжения сети через ноль. Этот компаратор, совместно с цепью сдвига уровня конденсатора C2 создает переменное напряжение, синхронизированное с сетью, для открытия симистора VS1.

Когда температура спая термодатчика выше установленного порога резистором R8, на инвертирующем входе DA1.1(2) потенциал ниже, чем на (3), и на выходе (1) действует высокий уровень — около 20В. В этом случае на инвертирующем входе DA1.2 (6) потенциал всегда выше, чем на (5). И выход компаратора (7) постоянно находится в низком уровне. На управляющем электроде симистора нет сигналов, и он закрыт, а нагрузка обесточена. Питание микросхемы, ОУ LM358, поступает на вывод 4 (минус) и 8 (плюс) и составляет 22В.

Паяльник A-BF GS 90D.

Следующим мы рассмотрим паяльник модели A-BF GS 90D. Существенным отличием от предыдущих моделей является наличие дисплея и регулирования температуры с погрешностью $\pm 2^\circ\text{C}$, а также присутствующей возможностью калибровки. Этот паяльник на 90Вт и является термостатированным – это значит, что температура его жала отслеживается микроконтроллером и всегда поддерживается на уровне, который задал оператор.



Рисунок 6 – Паяльник A-BF GS 90D

К симистору BT134 подключаются выводы термоэлектрического нагревателя. В нагреватель также встроен терморезистор, а он в свою очередь подключается к операционному усилителю на LM358. Питание реализовано по схеме бестрансформаторного блока питания с конденсатором, гасящим излишки напряжения. Также на печатной плате есть выпрямительные диоды SMA4007, SMD-стабилитрон 1SMA4742A и интегральный стабилизатор 78L05 в корпусе SOT-23 для питания низковольтной части схемы. Основным элементом паяльника является микроконтроллер 12C5204AD. Наличие микроконтроллера свидетельствует о том, что стабилизация температуры жала осуществляется цифровым методом. Благодаря этому, и достигается возможность регулировки температуры жала паяльника с погрешностью всего $\pm 2^{\circ}\text{C}$. К определенным выводам микроконтроллера, присоединены выводы небольшого ЖК-индикатора, на котором отображается температура. ЖК-индикатор выполнен на отдельной печатной плате, на которой распаян индикатор, а на обратной стороне печатной платы имеется контроллер. Температура выставляется двумя кнопками с шагом в 1°C .

Существенным преимуществом данного вида паяльников является возможность их калибровки. Регулировка может осуществляться в пределах от $+50^{\circ}\text{C}$ до -50°C . Калибровка необходима при замене жала, так как жало определенной формы могут иметь плохую теплопроводность. Поэтому на кончике жала температура будет всегда ниже примерно на $10-15^{\circ}\text{C}$, чем температура нагревателя. Для того чтобы показания на дисплее были как можно корректнее, используется калибровка.

Заключение

Основными преимуществами таких паяльников является:

- Предотвращение образования окалины на жале паяльника, характерной для высоких и постоянных температур.
- Возможность регулировки температуры, исключая возможность перегрева чувствительных радиодеталей, токоведущих дорожек монтажных плат.
- Возможность использования различных припоев.
- При различных работах не требуется замена всего паяльника, а всего лишь достаточно сменить температуру.
- Существенная экономия электроэнергии, увеличение срока эксплуатации прибора.
- Компактность устройства.

Литература

1. Станки Эксперт [Электронный ресурс]/ Паяльники с регулировкой температуры. - Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/svarka/payalnik-s-regulirovkoj-temperature.html/>. – Дата доступа: 24.10.2021.
2. Burforum [Электронный ресурс]/ Ремонт паяльника с регулятором температуры. - Режим доступа: [https://burforum.ru.turbopages.org/burforum.ru/s/samodelki/dorabotka-payalnika-s-regulirovkoj-temperature.html /](https://burforum.ru.turbopages.org/burforum.ru/s/samodelki/dorabotka-payalnika-s-regulirovkoj-temperature.html/). – Дата доступа: 24.10.2021.

УДК 621.311.21

**КРУПНЕЙШИЕ ГЭС В МИРЕ
THE LARGEST NUCLEAR POWER PLANTS IN THE WORLD**

Е.Н. Стремоус, В.А. Анисимов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Stremous, V. Anisimov

Scientific adviser – G. Mikhaltsevich, senior lecturer.

Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: Число гидроэлектростанций за последнее время сильно увеличилось. В настоящее время в мире насчитывается более 500 гидроэлектростанций. По состоянию на 2021 более 24% мировой электроэнергии поступает с гидроэлектростанций. Каждая из них уникальна и имеет свои отличительные черты. В данной статье мы рассмотрим ТОП-10 крупнейших гидроэлектростанций мира, увидим особенности и характеристики каждой из них.

Abstract: The number of hydroelectric power plants has increased dramatically in recent years. Currently, there are over 500 hydroelectric power plants in the world. As of 2021, more than 24% of the world's electricity comes from hydroelectric power plants, each of which is unique and distinctive. In this article, we will consider the TOP 10 largest hydroelectric power plants in the world, we will see the features and characteristics of each of them.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, гидроэлектроэнергия, турбина, общая мощность, вода.

Keywords: hydroelectric power plants, hydroelectricity, turbine, total capacity, water.

Введение

Во всем мире спрос растёт на электроэнергию, а также увеличивается необходимость появления и использования надежных, безопасных и, также экономичных источников электроэнергии.

Основная часть.

Рассмотрим ТОП-10 крупнейших гидроэлектростанций в мире.

Красноярская ГЭС.

Мощность: 6000 МВт.

Красноярская гидроэлектростанция находится на реке Енисей возле города Дивногорска в Красноярском крае. Это вторая по мощности электростанция России. Начало строительства Красноярской гидроэлектростанции запустилось в 1955 году. Первый гидроагрегат на станции был запущен в 1967 году, а в 1971 году последний. При завершении строительства Красноярская гидроэлектростанция была самой мощной электростанцией СССР и самой большой ГЭС в мире. Красноярская ГЭС одна из мощнейших производителей электроэнергии в Красноярском крае, производя больше 30% её производства в регионе, за всё время работы станция выработала более 900 млрд кВт*ч электроэнергии. Кроме выработки электроэнергии,

станция является защитником от наводнений и обеспечивает работу речного транспорта.

Строительство Красноярской гидроэлектростанции способствовало большим социальным и экологическим проблемам. При строительстве Красноярского водохранилища площадью 2 000 км² затопило 132 населённых пункта, из которых было переселено примерно 60 тысяч человек. В результате пропуска через Красноярскую ГЭС воды с постоянной температурой около +4°С ниже станции образуется незамерзающая полынья, в результате чего Енисей в черте Красноярска перестал замерзать.

Саяно-Шушенская ГЭС.

Мощность: 6400 МВт.

Саяно-Шушенская гидроэлектростанция является мощнейшей ГЭС в России. Находится на реке Енисей, между Красноярским краем и Хакасией, около посёлка Черёмушки, возле Саяногорска.

Это высшая ступень Енисейского каскада ГЭС. Высота станции составляет 242 м это самая высокая плотина России и одна из самых высоких плотин мира. Станция получила своё название от Саянских гор и расположенного неподалёку от станции села Шушенское, широко известного на пространстве бывшего СССР как место ссылки В.И. Ленина.

Строительство Саяно-Шушенской ГЭС, было начато в 1963 году и закончилось в 2000 году. В результате постройки и эксплуатации ГЭС были проблемы, связанные с разрушением водосбросных сооружений и формированием трещин в плотине, позднее успешно исправлены.

17 августа 2009 года на станции произошла крупнейшая в истории российской гидроэнергетики авария, в которой погибло 75 человек. Восстановление станции было завершено 12 ноября 2014 года после запуска последнего нового гидроагрегата.

Плотина Лунтань.

Мощность: 6426 МВт.

Плотина Лунтань это гравитационная плотина, находящаяся на реке Хуншуй в Китае. Плотина 216,2 метра в высоту и 849 метров в длину, самая высокая в мире в своем роде. Предназначение плотины это производство электроэнергии, борьбы с наводнениями и судоходства. Плотина включает 7 водосбросов, 2 донных водосбросов и подземной электростанции.

Стоимость строительства 4,2 миллиарда долларов. Установленная мощность 6 426 МВт. Годовая выработка составляет 18 700 ГВт*ч.

Плотина Гранд-Кули - Grand Coulee Dam.

Мощность: 6809 МВт.

Предложение о строительстве плотины было предметом больших споров в 1920-х годах между двумя группами. Одна группа хотела орошать древнюю территорию Гранд-Кули с помощью гравитационного канала, в то время как другая занималась строительством высокой насосной системы. Бюро мелиорации было за построение «низкой плотины» высотой 88 метров, которая вырабатывала бы электричество без поддержки ирригации. В том году Бюро мелиорации США и консорциум из трех компаний под названием MWAК

(Mason-Walsh-Atkinson Kier Company) начали строительство высокой плотины, хотя они получили разрешение на строительство низкой. После посещения строительной площадки в августе 1934 года президент Франклин Делано Рузвельт одобрил проект «высокой плотины», которая на высоте 168 метров обеспечила достаточно электричества для закачки воды в бассейн Колумбии для орошения. Конгресс одобрил строительство высокой плотины в 1935 году, и строительство было завершено в 1942 году. Первые воды вышли за водосброс Гранд-Кули 1 июня этого же года.

Плотина Тукурууи.

Мощность: 8370 МВт.

Плотина Тукурууи является бетонной гравитационной плотиной на реке Токантинс в штате Пара, Бразилия. Назначение плотины – производство и транспортировка гидроэлектроэнергии. Это первый крупный гидроэнергетический проект, расположенный в бразильских тропических лесах Амазонки. Установленная мощность блока из 25 блоков составляет 8370 МВт, затраты на строительство достигли 5,5 миллиарда долларов. Высота 78 метров, длина 12,5 км.

Плотина Гури - Guri Dam.

Мощность: 10235 МВт.

Гидроэлектростанция Симона Боливара, также Плотина Гури, представляет собой бетонную гравитацию и плотина набережной в штате Боливар, Венесуэла, на реке Карони, построенная с 1963 по 1969 год. Строители смогли добиться длины в 7 426 метров и высоты – 162 метра. Он охватывает большое водохранилище Гури (Эмбальс-де-Гури) с площадью поверхности 4250 квадратных километров.

Водоохранилище Гури, питающее плотину, является одним из самых больших в мире. В своё время ГЭС была крупнейшей в мире по установленной мощности, заменив Гранд-Кули ГЭС, но уступила Итайпу.

Дамба Белу-Монте - Belo Monte Dam.

Мощность: 11230 МВт.

Плотина Белу-Монте (ранее известная как Карарао) – это плотина гидроэлектростанции комплекс в северной части реки Шингу в штате Пара, Бразилия. После введения 18-й турбины в ноябре 2019 года, ГЭС вышла на мощность комплекса плотин в 11233 МВт, что делает его вторым по величине комплексом гидроэлектростанций в Бразилии и четвертое по величине в мире по установленной мощности после плотины «Три ущелья» и плотины Ксилуоду в Китае и бразильской – Парагвайской Плотина Итайпу. Учитывая колебания стока реки, гарантированная минимальная мощность выработки мощности от плотины Белу-Монте составляет 4571 МВт, что составляет 39% от ее максимальной мощности.

Плотина Ксилуоду.

Мощность: 13860 МВт.

Плотина Ксилуоду – арочная плотина на реке Цзиньша в Китае. Основное назначение плотины - выработка гидроэлектроэнергии, а ее электростанция имеет установленную мощность 13860 МВт. Строительство плотины и

электростанции началось в 2005 году. Разница между введением в эксплуатацию первого и последнего генератора составила всего один год с 2013 по 2014. Расположение плотины Силуоду в Китае.

На строительство ГЭС было потрачено 6,2 миллиарда долларов США. Высота 285,5 м, длина 700 м. Общая мощность 12 670 000 000 кубометров. Активная мощность 6 460 000 000 кубометров. Площадь дренажа 454 400 км при нормальной высоте 600 м. Установленная мощность 13 860 МВт.

Итайпу.

Мощность: 14000 МВт.

Итайпу – плотина, вторая по мощности и одна из двух крупнейших гидроэлектростанций в мире на реке Парана, в 20 км от Фос-ду-Игуасу на границе Бразилии и Парагвая. Название он получил от названия острова, который в дальнейшем стал основой этого крупнейшего гидротехнического сооружения и одним из крупнейших сооружений в мире.

В 2016 году ГЭС стала первой электростанцией в мире, производящей более 100 миллиардов кВт*ч электроэнергии в год, в этом году выработка составила 103,1 миллиарда кВт*ч.

Строительные и подготовительные работы начались в 1971 году, последние запланированные действия, это введение 8 электрогенераторов были закончены в 1991 году и еще два – в 2007 году.

Состав конструкций ГЭС:

- Комбинированная плотина общей длиной 7235 м, шириной 400 м и высотой 196 м;
- Перелив бетона с максимальным расходом 62 200 м³/с;
- •Бразильская часть плотины оборудована рыбным проходом.

Мощность станции 14 ГВт. Среднегодовая выработка с 1984 года - 69,5 млрд. кВт*ч, после завершения в 2007 году – 85-98 млрд. кВт*ч в год (73% ICUM).

Его строительство обошлось в 19,6 миллиарда долларов. Высота 196 м, длина 7919 м.

Объем плотины 12300000 м³, установленная мощность 14 ГВт, коэффициент мощности 73%.

Самая большая в мире плотина гидроэлектростанции «Три ущелья» расположена на реке Янцзы в провинции Хубэй.

Исток реки Янцзы находится в Тибете на высоте 5600 метров. Река протекает по гористой местности и прорывается через горы Ушань, в районе «Трех ущелий», и уходит в равнину. Место, откуда вода Янцзы падает с большой высоты в узкую долину, было выбрано для строительства мощной гидроэлектростанции.

Три ущелья.

Мощность: 22750 МВт.

Строительство станции было начато в 1992 году и было закончено в 2012 году. На текущий год «Три ущелья» – крупнейшее гидротехническое сооружение в мире. Стоимость постройки достигла 31 миллиарда долларов.

Около трети бюджета было потрачено для того что бы переселить людей из близлежащих районов, 1,3 миллиона.

Конструктивно «Три ущелья» представляет собой обычную утяжеленную бетонную плотину с переливом. Перелив расположен посередине конструкции и рассчитан на 116 000 кубометров воды в секунду.

Устойчивость гравитационной плотины обеспечивается силой трения о грунт, пропорциональной весу самой плотины. Высота установки 181м, длина 2335м, коэффициент мощности 45%, годовая мощность 87 ТВт*ч.

Заключение

При относительно не сложном технологическом процессе гидроэнергия остается одной из самых дешевых, и человечество не скоро сможет полностью отказаться от нее. Но большой минус ГЭС в том, что они не могут быть установлены в большинстве водоёмов мира.

Литература

1. Лимонов, А. И. Гидроэлектростанции / А. И. Лимонов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. Т. 1. - Минск: БНТУ, 2015. - С. 110.
2. ГЭС [Электронный ресурс]/ Принцип работы, схема, оборудование, мощность - Режим доступа <https://www.kakprosto.ru/kak-968316-ges-princip-raboty-shemaoborudovanie-moschnos> – Дата доступа: 19.04.2021.
3. Топ 20 крупнейших ГЭС в мире [Электронный ресурс]. - Режим доступа:https://zen.yandex.ru/media/smapse_travel/top20-krupneishih-gidroelektrostantsii-v-mire-608abe345b922143a711f89e – Дата доступа: 20.10.2021.

УДК 621.311

**ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ. МИНИ-ТЭЦ. ПРИНЦИП РАБОТЫ
THERMAL POWER PLANT. MINI-CHP. THE PRINCIPLE
OF OPERATION**

В.Ю. Яковец, П.А. Белькович

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Yakavets, P. Belkovich

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье мы рассмотрим принцип работы ТЭЦ, увидим особенности и характеристики мини-тэц, ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5 в Беларуси.

Abstract: In this article we will look at the principle of operation of the CHP, see the features and characteristics of mini-CHP, CHP-3 and CHP-5 in Belarus.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, теплофикация, турбина, общая мощность, вода, градирня.

Keywords: thermal power plant, heating, turbine, total power, water, cooling tower

Введение

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – вид тепловой электростанции, которая не только производит электроэнергию, но и получает тепловую энергию. Она используется в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, для обеспечения горячей водой и отоплением жилых домов и предприятий). Технология, базирующаяся на ТЭЦ, которая производит электроэнергию и отдает тепло в теплосеть, эффективно в экономическом смысле и имеет несколько плюсов. Во-первых, сжигание твердого топлива в крупных котлах вдали от потребителей, уменьшение расхода топлива для тепловой энергии и потребления электричества. Во-вторых, повышение разности температуры воды в подающих и обратных теплопроводах, уменьшает затраты при строительстве сетей.

Основная часть.

В ТЭЦ используют топливо – газ, каменный уголь, реже – мазут, ранее – торф и горючие сланцы. На ТЭЦ газ поднимается по газопроводу в котел. В котле газ сгорает и нагревает воду. Чтобы топливо горело быстрее, в котлах установлены механизмы, которые нагнетают воздух. В котел попадает воздух, который служит окислителем при сгорании топлива. Для уменьшения шума на механизмах установлены шумоглушители. Образовавшийся при горении топлива дым уходит в трубу и рассеивается в воздухе. Горячий газ идет по трубкам и нагревает воду, проходящую по специальным каналам котла. При нагревании вода переходит в пар, который поступает в турбину. Пар поступает внутрь турбины и начинает вращать её лопасти, которые связаны с генератором. Пар превращается в механическую энергию. В генераторе механическая энергия переходит в электрическую энергию, ротор продолжает вращаться, создавая в обмотках статора переменный электрический ток. Через повышающий

трансформатор, а затем в понижающую трансформаторную подстанцию электроэнергия по электросетям поступает потребителям. Отработавший в турбине пар направляется в конденсатор, где превращается в воду и возвращается обратно. На теплоэлектроцентрали вода движется по кругу. Градирни – устройства предназначены для охлаждения большого объёма воды. На теплоэлектроцентрали используют башенные и вентиляторные градирни. Вода в градирнях охлаждается с помощью потока холодного воздуха. В результате чего и выделяется пар, который мы и замечаем над градирней в виде облаков. В градирнях вода под напором поднимается вверх и падает обратно вниз в камеру, откуда обратно поступает на ТЭЦ. Для снижения потерь воды градирни оснащены специальными устройствами для улавливания воды.

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) – тепловые установки, независимо от принципа работы, служат для общего производства электричества и тепловой энергии в установках мощностью до 25 МВт. В современном мире широко применяются следующие типы установок: конденсационные паровые турбины с отбором пара, противодавленческие паровые турбины, газопоршневые, газотурбинные установки с паровой или водяной утилизацией тепловой энергии, газопоршневые, дизельные и газодизельные агрегаты с отводом тепловой энергии с помощью различных систем этих установок. Отличительной особенностью мини-ТЭЦ является более экономичное использование топлива для произведенных видов энергии, в сравнении с общепринятыми отдельными способами их производства. Это связано с тем, что электроэнергия в нашей стране производится в основном с помощью ТЭС и АЭС, а КПД составляет 30-35% при отсутствии теплового потребителя. Это обусловлено тем что, сложившееся соотношение тепловых и электрических нагрузок населенных пунктов, изменяется во время года, так как тепловую энергию нельзя передать на большие расстояния в отличие от электрической. Модуль мини-ТЭЦ включает: генератор электроэнергии, газотурбинный, газопоршневой или дизельный двигатель, теплообменник для утилизации тепла от воды при охлаждении двигателя, выхлопных газов и масла. Достоинствами мини-ТЭЦ являются:

- Низкая стоимость производимой электроэнергии и тепла.
- КПД в 2 раза больше обычных ТЭЦ, у мини-ТЭЦ достигает 88–92%.
- Гибкая конструкция исполнения мини-ТЭЦ.
- Долговечность, малый расход топлива, высокая рентабельность.
- Экологическая безопасность, позволяет строить мини-ТЭЦ вблизи городов, что снижает расходы на обслуживание сетей.

Минская ТЭЦ-5 расположена в посёлке Дружный. Она обеспечивает горячей водой и теплом поселки по близости. Задумывались, что это будет атомная ТЭЦ, но строительство её было остановлено после аварии на Чернобыльской АЭС. Она была переконструирована в теплоэлектроцентраль. 4 августа 1999 года начал свою работу 1-й энергоблок мощностью 330 МВт. А второй энергоблок был запущен в 2011 году мощностью 450 МВт.

Минская ТЭЦ-3, находившаяся на окраине Минска, введена в эксплуатацию в 1951 году. ТЭЦ-3 с мощностью 25 МВт предназначалась для обеспечения

Минского тракторного завода электроэнергией, паром и теплом. С увеличением мощности она стала обслуживать заводы: тракторный, автомобильный, моторный, подшипниковый, а также 25% жилых домов города. Мощность данной ТЭЦ стала 442 МВт. Планируется модернизация, в ходе которой мощность достигнет 550 МВт.

Заключение

Данные теплоэлектростанции помимо электричества так же вырабатывают тепло, которое человек может использовать на производстве и для отопления жилья. Что позволят снизить выбросы в атмосферу и снизить затраты при изготовлении продукции на производстве.

Литература

1. Беризовский, К.Н. Энергосбережение: учеб. пособие / К.Н. Березовский, С.Т. Беризовский. – Минск: БИП-С Плюс, 2007. – 154 с.
2. Кравченя, Э.М. Основы энергосбережения: учеб. пособие / Э.М. Кравченя, А.Н. Козел, И.П. Свирид. – Минск: 2005. – 268 с.

УДК 621.311

**ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
CONNECTION OF ELECTRIC MOTORS**

С.В. Казловский, Г.Ю. Куликов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Kazlovskiy, G. Kylikov

Scientific adviser – G.A. Mikhaltsevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: *Трехфазные электродвигатели получили большое распространение в начале двадцатого века с усиленным ростом индустриализации во всем мире. В данный момент нет ни одного предприятия в котором бы не использовался электродвигатель в качестве приводов станков и других механизмов. В данной статье мы рассмотрим способы, преимущества и недостатки подключения трехфазных асинхронных электродвигателей.*

Abstract: *Three-phase electric motors became widespread at the beginning of the twentieth century with the accelerated growth of industrialization around the world. At the moment, there is not a single enterprise that does not use an electric motor as drives for machine tools and other mechanisms. In this article we will consider the methods, advantages and disadvantages of connecting three-phase asynchronous motors.*

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, подключение "звездой", подключение "треугольником", пуск электродвигателя "звезда-треугольник".*

Keywords: *asynchronous motor, star connection, delta connection, star-delta motor starting.*

Введение

Электродвигатель – преобразователь электрической энергии в механическую энергию вращения ротора. Наибольшее распространение получили асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутыми роторами в связи с такими достоинствами как высокий КПД, простота конструкции и большой ресурс по сравнению с коллекторными. Основными элементами асинхронного электродвигателя являются статор и короткозамкнутый ротор. Число полюсов в электродвигателе определяется способом подключения и количеством обмоток статора. Сердечник статора и ротор изготавливают из листов электротехнической стали для уменьшения влияния вихревых токов, возникающих из-за воздействия вращающегося магнитного поля. Для уменьшения магнитного сопротивления, а следовательно и уменьшение тока, с учетом технологических возможностей, зазор между ротором и статором делают минимальным. Обмотка ротора представляет собой стержни из медного или алюминиевого сплава, соединенных с торцов кольцами, образуя так называемую "беличью клетку". Однако асинхронные электродвигатели имеют такие недостатки как высокий пусковой ток и сравнительно малый пусковой момент.

Основная часть

Подключение трехфазных электродвигателей "звездой".

Суть данного метода заключается в соединении концов обмоток статора вместе в так называемой "нулевой точке", а на начало обмоток подается трехфазное напряжение. На обмотку при данном подключении действует не линейное, а фазное напряжение, которое меньше в $\sqrt{3}$ раз. Фазный ток при этом равен линейному напряжению. Однако учитывая тот факт, что момент электродвигателя прямо пропорционален квадрату фазного напряжения, мы получаем на выходе момент в три раза меньший, чем при подключении "треугольником".

Подключение трехфазных электродвигателей "треугольником".

При данном подключении производится соединение концов одних обмоток с началом других, а трехфазное напряжение подается в узлы их соединений, что позволяет получить фазное напряжение равное линейному, что позволяет получить высокий момент ротора. Однако линейный ток в этом случае превышает фазный в $\sqrt{3}$ раз. Это приводит к тому что пусковые токи с таким подключением превышают в несколько раз пусковые токи с подключением "звездой".

Подключение трехфазных электродвигателей "звезда-треугольник".

Комбинируя изложенные выше схемы подключения, мы можем заметно снизить пусковые токи и при этом получить высокий момент в номинальном рабочем цикле. Для реализации нам потребуется два дополнительных магнитных пускателя один из которых при пуске двигателя будет замыкать концы обмоток в "нулевой точке", а спустя небольшой период времени после разгона электродвигателя он разомкнет контакты, после чего включится второй магнитный пускатель, который соединит начало и концы различных обмоток в результате чего электродвигатель перейдет в режим работы с максимальным моментом. Однако недостатком данного способа является понижение пускового момента в три раза.

Подключение с использованием добавочных сопротивлений в цепь статора.

Данный тип пуска асинхронного электродвигателя опирается на подключение "треугольник", но на фазных проводах имеются добавочные сопротивления и параллельно им нормально разомкнутая контактная группа магнитного пускателя. Данный принцип подключения похож своей идеей на подключение "звезда-треугольник" однако в данном случае для понижения линейного напряжения используют добавочные сопротивления, в результате запуск двигателя происходит на меньших токах. После чего контактная группа замыкается и на обмотки двигателя подается линейное напряжение 380 вольт. Преимуществами данного подключения являются то, что пусковой ток можно ограничивать до допустимого значения. Недостаток заключается в том, что, как и в предыдущих случаях, у нас пропорционально напряжению падает и пусковой момент электродвигателя.

Автотрансформаторный пуск.

Подключение с использованием автотрансформатора идентично подключению с добавочными сопротивлениями, однако вместо них используется трехфазный автотрансформатор, который имеет коэффициент трансформации равный

$$n = \frac{U_{л}}{U_{обм}} = \frac{I_{обм}}{I_{л}}, \quad (1)$$

где n – коэффициент трансформации;

$U_{л}$ – линейное напряжение;

$U_{обм}$ – напряжение на обмотке;

$I_{обм}$ – ток в обмотке;

$I_{л}$ – линейный ток.

Из этого следует, что ток в обмотке статора будет в n раз меньше, а учитывая коэффициент трансформации, то линейный ток будет в n^2 раз меньше. Данное условие позволяет получать большой пусковой момент с тем же пусковым током по отношению к другим схемам подключения. После пуска происходит прямое подключение обмоток. Недостатком данного способа является высокая стоимость, усложнение конструкции, увеличение напряжения пульсаций отдаваемых электродвигателем в электросеть.

Пуск двигателя с использованием частотных преобразователей.

Данный способ получил распространение, с ростом доступности высококачественных радиокомпонентов. Он основан на выпрямлении переменного сетевого напряжения в постоянное напряжение с помощью диодно-тиристорного выпрямителя. Пульсации сглаживаются с помощью конденсаторов. Затем выходное напряжение поступает на частотный преобразователь. На выводы электродвигателя напряжение поступает с определенной частотой с выхода инвертора путем открытия и закрытия высокомошных транзисторов. Данный способ позволяет плавно изменять обороты электродвигателя, уменьшить пусковые токи, изменять момент на валу двигателя.

Заключение

При относительно не сложном технологическом процессе перехода пуска электродвигателя на схеме "звезда-треугольник" или с использованием добавочных сопротивлений, возможно получение значительного понижения пусковых токов без потери рабочей мощности электродвигателя. Однако в момент перехода с одного вида подключения на другой происходят скачки токов, которые во много раз меньше по времени пуска самого электродвигателя. Использование схемы с автотрансформатором позволяет значительно снизить пусковые токи и является лучшей схемой подключения, однако она имеет высокую стоимость. Использование частотных преобразователей позволяет улучшить качество управления технологическими машинами, уменьшить, благодаря возможности регулировки частоты и выходного напряжения,

пусковые токи при относительно небольшой стоимости, что является самым оптимальным вариантом.

Литература

1. Архипцев, Ю.Ф. Асинхронные электродвигатели / Ю.Ф. Архипцев.– Москва: Энергия, 1975. – 96 с.
2. Чиликин, М.Г. Электротехнический справочник / М.Г. Чиликин, П.Г. Грудинский – Москва: Энергия, 1971. – 528 с.
3. Маршак, Е.Л. Ремонт и модернизация асинхронных двигателей / Е.Л. Маршак. – Москва: Энергия, 1970. – 280 с.

УДК 621.316.542

**НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
И СПОСОБЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ
SOME KINDS OF SWITCHES
AND METHODS OF THEIR CONNECTION**

Е.А. Лызикова, С.М. Зарецкий, В.Е. Филиченко
Научный руководитель – Г.А, Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Lyzikova, S. Zaretskiy, V. Filichenok
Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В этой статье рассмотрены самые распространенные типы выключателей и описано их устройство, принцип работы. Содержащаяся в этом материале информация поможет понять, какой из типов выключателей будет наилучшим образом подходить для данных условий.*

***Abstract:** This article discusses the most common types of switches and describes their structure, principle of operation. The information contained in this material will help you understand which type of switch will be best suited for a given conditions.*

***Ключевые слова:** устройство, выключатель, клавиши, свет, контакты*

***Keywords:** device, switch, keys, light, contacts*

Введение

Рынок светотехнических приборов очень насыщен. При производстве выключателей предприятия используют на инновационные разработки и учитывают желания потребителей. Среди этого многообразия видов каждый найдет то, что ему по душе, т.к. огромное внимание уделяется не только конструктивному исполнению, но и дизайну, этих простых на первый взгляд устройств.

Выключатели представляют собой сложные электрические устройства, предназначенные для включения и отключения тока. Многие модели помогают экономить электроэнергию благодаря оснащению датчиками освещенности и движения.

Существует множество вариантов исполнения выключателей, что позволяет им легко вписываться в абсолютно любые интерьеры, поэтому каждый найдет такой, который будет не только функциональным, но и радующим глаз. Нужно только знать в каких условиях это устройство будет эксплуатироваться, потому что нередко устанавливают неподходящие выключатели, которые не выдерживают напряжения, или же просто неудобные.

Основная часть

Подключение выключателей света.

Несмотря на кажущуюся простоту, процесс монтажа выключателя имеет ряд нюансов, которые обязательно нужно учесть.

Сначала необходимо определит разновидность проводки. Она бывает открытая и скрытая. В первом случае все провода проложены поверх стены и

закрепляются декоративными пластиковыми роликами или закрываются пластиковыми кабель-каналами. Во втором случае провода находятся внутри стен.

Для открытой проводки выбирают накладные выключатели. Для закрытой подойдет практически любой из типов выключателей, которые будут описаны ниже.

При монтаже выключателей используется два способа коммутации проводов устройства: зажим винтового типа и зажим невинтового типа.

Контакт винтового типа затягивают отверткой, предварительно очистив примерно 2 см провода от изоляции. Важно избавиться от изоляции качественно, т.к. ее нагревание и плавление могут быть очень опасными. Такое соединение особенно хорошо для алюминиевых проводов, которые в процессе эксплуатации сильно нагреваются и деформируются, из-за чего контакт может начать перегреваться и искрить. Для предотвращения этого достаточно будет подтянуть винт, что вернет провода в нужное положение, а значит, устройство будет работать исправно.

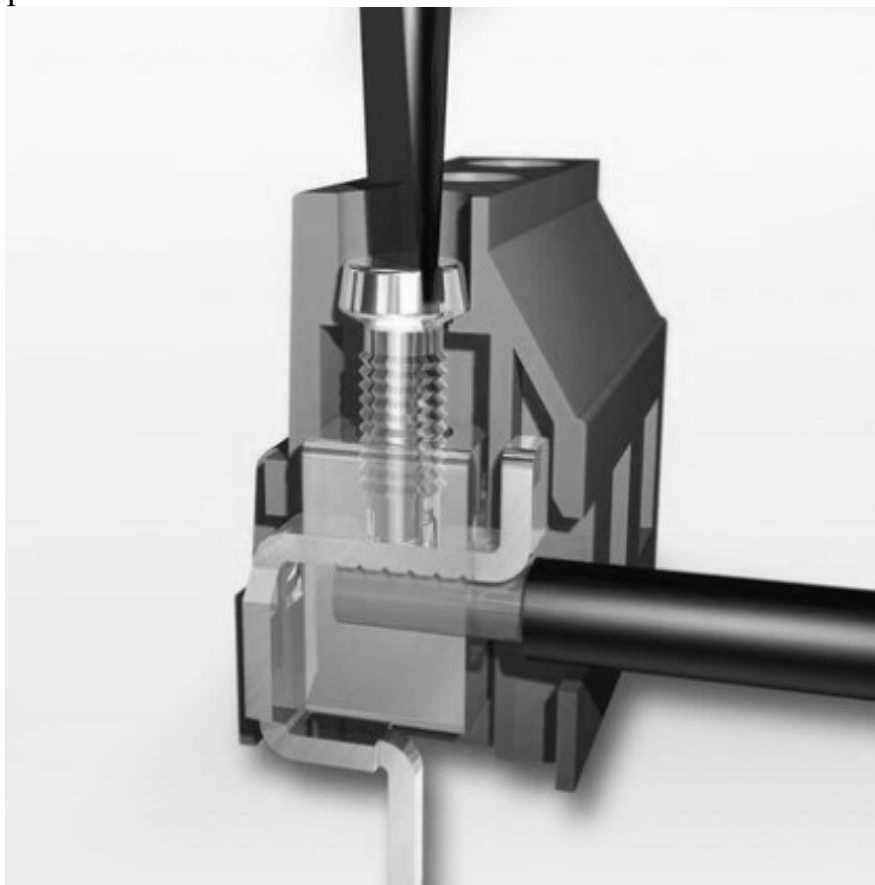


Рисунок 1 – Зажим винтового типа

Зажим невинтового типа представляет собой контакт с прижимной пластиной. Он оснащен кнопкой, которая позволяет регулировать положение пластины. Провод также зачищают от изоляции, только на меньшую величину – 1 см. После этого провод вставляется в отверстие контакта, после чего зажимается. Этот способ очень прост в монтаже и подойдет для медных проводов. Также за счет такого метода обеспечивается высокая надежность соединения.



Рисунок 2 – Зажим невинтового типа

Виды выключателей света.

При выборе выключателя стоит ориентироваться на дизайн, цену и его дополнительные функции. Также необходимо учитывать размер помещения, в котором предполагается установка, его функционал и количество световых зон.

Клавишные выключатели.

Являются очень простой и в то же время надежной конструкцией. В их основе лежит качающийся механизм, поджимаемый пружиной. При нажатии клавиши контакт замыкается, и электрический прибор включается или же выключается. Выпускаются такие выключатели с разным количеством клавиш: их может быть одна, две, три, а иногда и больше. За счет этого можно управлять несколькими группами ламп с одного устройства



Рисунок 3 – Клавишный выключатель

Перекидные выключатели.

Внешне они похожи на клавишные, однако принцип их работы существенно отличается. При нажатии клавиши прибор размыкает одну электрическую цепь,

а контакт перебрасывают на другую. Именно за счет этого появляется возможность одновременного управления освещением из двух, трех и более мест. В сложных схемах, где задействовано более двух таких устройств, используются перекрестные элементы.

Выключатели с датчиком движения.

Этот тип реагирует на движения, которые регистрируются датчиком. Освещение активируется этим датчиком и отключается, если движение отсутствует. Для работы такого выключателя используется инфракрасный датчик, анализирующий интенсивность излучения. Также эти приборы обладают способностью отличать человека от других объектов.

Также с помощью этих датчиков могут активироваться сирены, сигнализации и видеокамеры.

Сенсорные выключатели.

Эти устройства реагируют на касание пальцем, но также могут реагировать и в том случае, когда возле их корпуса проводят рукой. Эти устройства выделяются наличием микросхем.

В таких выключателях существенно снижается вероятность возникновения короткого замыкания, что позволяет уверенно отнести сенсорные выключатели к очень надежным, долговечным и безопасным приборам.

Такой тип выключателей часто используется в “умных домах”. Также сенсорные выключатели могут обладать функцией регулирования яркости света или выключать свет через определенный промежуток времени

Выключатели с регулятором (диммеры).

Этот тип выключателей позволяет регулировать яркость света. Выключатели с регулятором хорошо работают с лампами накаливания, однако со светодиодами могут быть проблемы. Часто такие выключатели имеют инфракрасные датчики, за счет которых устройством можно управлять дистанционно.



Рисунок 4 – Диммерный выключатель

Возможность регулирования яркости света достигается путем изменения сопротивления, т.е. чем большее сопротивление будет установлено, тем меньше

будет сила тока, а значит и яркость света. Так, можно устанавливать оптимальную яркость света для любого времени суток. Сложные диммеры имеют и такие функции, как имитация присутствия, активация режима затемнения или выключение света в заданное время.

Заключение

Выключатели света стали неотъемлемой частью нашей жизни, однако мало кто разбирается в устройстве этих приборов. В данной статье были рассмотрены принципы работы выключателей света, описаны отличия одного типа выключателей от другого, а также способы монтажа этих устройств. Эта информация поможет разобраться в тех приборах, с которыми каждый из нас сталкивается каждый день.

Литература

1. Рябов, В.И. Электрооборудование: Учеб. Пособие / В.И. Рябов. – М.: Экономика, 1990. – 230 с.
2. Я – электрик [Электронный ресурс] / Все виды выключателей для домашнего использования – какие они бывают и где применяются. – Режим доступа: Виды выключателей: тип установки, крепление проводов и способ управления, свободный – Дата доступа: 30.10.2021.

УДК 621.311.21

**ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ**

REUSE OF LITHIUM-ION BATTERIES

А.С. Щигельский, Н.А. Федоренко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shchigelsky, N. Fedorenko

Scientific supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В данной статье рассмотрено повторное использование литий-ионных аккумуляторов для использования их в целях автономного питания жилого помещения без использования электросетей.

Abstract: This article discusses the reuse of lithium-ion batteries for their use for autonomous power supply of residential premises without the use of power grids.

Ключевые слова: аккумулятор, питание помещений, солнечные панели, солнечный контроллер, АКБ, инвертор.

Keywords: battery, indoor power supply, solar panels, solar controller, battery, inverter.

Введение

Типы солнечных электростанций.

Мы рассмотрим систему для обычной бытовой солнечной электростанции для небольшого дома с минимальными финансовыми затратами при достижении максимальной функциональности. Т.е. отопление дома солнечной энергией, не оглядываясь на электросети.

Теперь поговорим о видах солнечных электростанций для частного дома. По большому счету их всего три, но есть и вариации. Рассмотрим их от самых дешевых до самых дорогих.

Сетевая солнечная электростанция – этот тип электростанции сочетает в себе относительно невысокую стоимость и высокую простоту использования. Состоит всего из двух элементов: солнечных батарей и сетевого инвертора. Электроэнергия от солнечных панелей напрямую преобразуется в дома в 220В или 380В и расходуется на бытовых потребителей.

Но есть один существенный недостаток: для работы такой системы требуется опорная сеть. При его отсутствии система не будет работать и перестанет подавать электричество.

Кроме того, при существующей сетевой инфраструктуре работа сетевого инвертора не очень рентабельна. Пример: если у нас есть солнечная электростанция на 3 кВт, а дом потребляет 1 кВт. Излишек будет возвращен в сеть, а обычные счетчики будут считать энергию, отданную в сеть, то есть счетчик будет считать эту энергию как потребленную, и вам все равно придется за нее платить.

Тогда возникает вопрос: что делать с лишней энергией и как ее избежать? Далее мы переходим ко второму типу солнечных электростанций.

Гибридная солнечная электростанция – этот тип электростанции сочетает в себе преимущества сетевых и автономных электростанций. Состоит из четырех элементов: солнечных батарей, солнечного контроллера, аккумуляторов и гибридного инвертора.

В основе всего лежит гибридный инвертор, который может добавлять энергию, вырабатываемую солнечными панелями, к энергии, потребляемой из внешней сети. Более того, у хороших инверторов есть возможность настраивать приоритеты энергопотребления.

В идеале дом должен сначала потреблять энергию от солнечных батарей и только при ее недостатке – брать энергию из внешней сети. В случае исчезновения внешней сети инвертор переходит в автономную работу и использует энергию солнечных панелей и энергию, накопленную в батареях.

Таким образом, даже если электричество будет долгое время отсутствовать, или будет пасмурный день (или отключат электричество ночью), электричество в доме все равно будет. Но что делать, если электричества нет совсем, а жить нужно как-то? Далее переходим к третьему типу силовых установок.

Автономная солнечная электростанция – этот тип электростанции позволяет жить вообще при отсутствии внешних электросетей. Он может состоять более чем из четырех элементов, это могут быть: солнечные батареи, солнечный контроллер, аккумулятор, инвертор.

В дополнение к этому, а иногда вместо солнечных батарей может быть установлен генератор (дизельный, газовый или бензиновый). Как правило, на таких объектах стоит генератор, так как солнца и ветра может не быть, а запас энергии в аккумуляторах не бесконечен – в этом случае генератор запускается и обеспечивает энергией весь объект, одновременно заряжая батареи.

Такая силовая установка легко может быть преобразована в гибридную установку, при включении внешней сети, если инвертор имеет эти функции. Основное отличие автономного инвертора от гибридного инвертора, заключается в том, что он не способен объединять энергию от солнечных панелей, с энергией из внешней сети.

В то же время гибридный инвертор, наоборот, может работать как автономный, если внешняя сеть отключена. Как правило, гибридные инверторы соизмеримы по цене с полностью автономными инверторами, а если и отличаются, то незначительно.

Что такое солнечный контроллер?

Все типы солнечных электростанций имеют солнечный контроллер. Даже в сетевой солнечной электростанции он есть, он просто включен в сетевой инвертор. И многие гибридные инверторы поставляются с солнечными контроллерами на борту.

Солнечный контроллер – это устройство, которое преобразует энергию, полученную от солнечных панелей, в энергию, перевариваемую инвертором. Например, солнечные панели производятся с напряжением, кратным 12В. И батареи производятся с напряжением, кратным 12В.

Простые системы на 1-2 кВт работают от 12В. Производительные системы на 2-3 кВт, уже работают от 24В, а мощные системы 4-5 кВт и более – работают от 48В. Здесь, будем рассматривать только «дом». Потому что есть инверторы, работающие от напряжения в несколько сотен вольт, но это уже опасно для дома.

Итак, допустим, у нас есть система на 48В, и солнечные панели на 36В (панель собирается кратно 3 x 12В). Как получить необходимое напряжение 48В для работы инвертора? Батарея 48В подключена к инвертору, и эти батареи подключены к солнечному контроллеру с одной стороны и солнечным панелям с другой.

Солнечные панели собираются при намеренно более высоком напряжении, чтобы иметь возможность заряжать аккумулятор. Солнечный контроллер, получая намеренно более высокое напряжение от солнечных панелей, преобразует это напряжение в желаемое значение и передает его на батарею.

Есть контроллеры, которые могут понижать напряжение батарей от 150-200В от солнечных панелей до 12В, но здесь протекают очень большие токи, и контроллер работает с наихудшей эффективностью. Идеальный случай – это когда напряжение от солнечных панелей в два раза превышает напряжение на батарее.

Существует два типа солнечных контроллеров:

- ШИМ (ШИМ – широтно-импульсная модуляция);
- MPPT (MRRT – отслеживание максимальной мощности).

Принципиальное различие между ними заключается в том, что ШИМ-контроллер может работать только с панельными сборками, напряжение которых не превышает напряжение батареи. Контроллер MPPT может работать с заметным превышением напряжения относительно батареи. Кроме того, контроллеры MPPT имеют заметно более высокую эффективность, но и стоят дороже.

Основная часть

Литий-ионный аккумулятор является наиболее распространенным типом аккумулятора на земле. Наиболее популярным является формат 18650, 18 – диаметр аккумулятора, 65 – высота.

Существует несколько "химических" составов литий-ионных аккумуляторов:

- Литий-марганцевый (Оксид марганца лития). Это батареи LiMn2O4.
- Литий-кобальт (Оксид лития-кобальта). К ним относятся NCR, ICR, LiCoO2.
- Фосфат лития-железа (Фосфат лития-железа или феррофосфат). Здесь вы можете позвонить в LFP, LiFePO4, IFR.

Технологии их производства схожи, поэтому все эти аккумуляторы можно отнести к литий-ионным аккумуляторам.

Номинальное напряжение составляет – 3,7В, а минимальное напряжение – до 2,5В, максимальное – 4,2В.

Емкость аккумуляторов 18650 колеблется от 0 до 3500 мА*ч. Ток разряда в среднем не должен превышать значений 2С, где С – емкость аккумулятора, но

существуют высоко-токовые литий-ионные аккумуляторы, где максимальный ток разряда достигает 20А

Аккумулятор электромобиля Tesla model S собран из таких аккумуляторов.

Батарея состоит из большого количества элементов, соединенных последовательно и параллельно для достижения требуемого напряжения, емкости и передачи тока.

Что такое последовательное соединение и параллельное соединение?

Последовательное соединение – это набор ячеек, соединенных путем объединения одного из их отрицательных и одного из их положительных выводов.

Результатом является увеличение напряжения на их неподключенных клеммах.

Параллельное соединение – это набор ячеек, соединенных путем объединения их отрицательных и положительных выводов вместе. Результатом является увеличение емкости и токоотдачи.

Последовательное соединение на схемах обозначено заглавной буквой S. Параллельное соединение на схемах обозначено заглавной буквой P.

Емкость аккумулятора измеряется в ампер-часах (А*ч), существуют также Ампер-секунды, Ампер-минуты и т.д. Ампер-час – это единица мощности, или накопленной потенциальной энергии.

Энергия обычно обозначается в ватт-часах и используется для измерения потребления энергии, часто в киловатт-часах (кВт*ч). Этот индикатор можно использовать для сравнения батарей одинакового напряжения.

Если у вас аккумулятор емкостью 2000 мА*ч, то в каждом из них хранится $2\text{А} \cdot \text{ч} \cdot 3,7\text{В} = 7,4\text{ Вт} \cdot \text{ч}$. Для того чтобы собрать аккумулятор емкостью 1 кВт*ч, необходимо определить емкость и напряжение будущей батареи. Возьмите напряжение 25,9В – (7 С), тогда емкость аккумулятора в сборе составит $1036\text{ В} \cdot \text{ч} \cdot 25,9\text{В} = 40\text{ А} \cdot \text{ч}$. Поэтому параллельно требуется 20 батарей (20P). Мы получим батарею 7S20P.

И это всего лишь один пример того, как собрать аккумулятор, есть много других возможностей. Необходимо знать рабочее напряжение аккумулятора, его емкость и требуемый выходной ток

Утилизация литий-ионных аккумуляторов чрезвычайно сложна. По последним данным, эффективность утилизации аккумуляторов на 2019 год составляет 74,5%. Основными извлекаемыми и повторно используемыми металлами являются кобальт, медь, алюминий и железо. Поскольку металлы присутствуют в небольших количествах, с производителей аккумуляторов взимается налог для покрытия расходов на утилизацию. На данный момент извлечение лития из аккумуляторов невыгодно – это всего 2% от веса аккумулятора. Процессы переработки литий-ионных аккумуляторов ННА основаны на пирометаллургической переработке с последующей гидрометаллургической стадией. Во время пирометаллургической обработки, которая происходит в активной зоне установки, материалы плавятся в высокотемпературной печи. Это приводит к получению промежуточного продукта, содержащего концентрированные металлы. На

гидрометаллургической стадии промежуточный продукт выщелачивают под давлением с получением сульфата никеля, сульфата меди и сульфата кобальта экстракцией растворителем.

Основная проблема заключается в том, что во многих случаях батарея в сборе не исчерпала весь свой ресурс, контроллеры заряда могут выйти из строя, отдельные элементы выходят из строя, в то время как остальные остаются работающими.

Рассмотрим повторное использование литий-ионных аккумуляторов на примере батареи ноутбука

Внутри находится литий-ионная батарея 3S2P, с напряжением 12,6В и емкостью примерно 4500-5000 мА*ч, в зависимости от модели батареи может выйти из строя плата управления или сборка, состоящая из 2-х последовательно соединенных батарей. Оставшиеся 4 батарейки можно извлечь и использовать повторно.

После того, как батареи достали, их всех надо проверить на напряжение, оно должно быть не ниже 2,5В. Эти аккумуляторы еще можно будет использовать. Далее все аккумуляторы должны быть заряжены до 4,2В и разряжены до 3,0В для замера емкости каждого аккумулятора. После этого их сортируют по емкости и внутреннему сопротивлению, разбег не должен составлять больше 200 мА*ч.

Для заряда Li-ion аккумуляторов используется метод «постоянное напряжение / постоянный ток», суть которого заключается в ограничении напряжения на аккумуляторе, поэтому используют специальные зарядные устройства, т.к. перезаряжать аккумулятор выше, чем 4,2В, опасно. Литий-ионные аккумуляторы могут воспламениться или вообще взорваться, а учитывая тот факт, что в сборке может находиться тысячи аккумуляторов, возгорание одного может привести к серьезным последствиям. Для контроля заряда используют управляющие платы – BMS. BMS (Battery Monitoring System) – это управляющая плата, которая следит за показателями каждого аккумулятора в сборке и в случае его переразряда или перезарядки одного или не скольких аккумуляторов, отключает все сборку от зарядки.

Заключение

На данный момент, аккумуляторы применяются повсеместно, на их производство используются редкоземельные металлы. Можно выборочно продлить их использование, и не уничтожать раньше времени, пока не выработают свой ресурс.

Литература

1. Nitta N. et al. Li-ion battery materials: present and future //Materials today. – 2015. – Т. 18. – №. 5. – С. 252-264.
2. Miao Y. et al. Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements //Energies. – 2019. – Т. 12. – №. 6. – С. 1074.
3. Heelan J. et al. Current and prospective Li-ion battery recycling and recovery processes //Jom. – 2016. – Т. 68. – №. 10. – С. 2632-2638.
4. Georgi-Maschler T. et al. Development of a recycling process for Li-ion batteries //Journal of power sources. – 2012. – Т. 207. – С. 173-182.

УДК 620.9:004

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ
DIGITAL TRANSFORMATION IN ENERGY**

Т.А. Сиваков, А.В. Чешун

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Sivakov, A. Cheshyn

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье идет речь о том, что такое цифровая трансформация в энергетике, ее цель, проблемы и пути решения для цифровой трансформации, а также, почему она необходима для сохранения и повышения уровня конкурентоспособности промышленности и экономики Республики Беларусь.

Abstract: The article discusses what digital transformation in the energy sector is, its purpose, problems and solutions for digital transformation, as well as why it is necessary to maintain and increase the level of competitiveness of the industry and economy of the Republic of Belarus.

Ключевые слова: цифровая трансформация, автоматизация, анализ, данные
Keywords: digital transformation, automation, analysis, data

Введение

Цифровая трансформация для энергетического сектора означает, что стратегия развития компаний и предприятий будет выстраиваться вокруг инновационных технологий, а также систем децентрализованной генерации энергии. По причине повсеместной электрификации предприятий, в том числе предприятий обеспечивающие коммунальные нужды, постепенно отпадёт необходимость создания масштабной инфраструктуры. В ближайшее время должно смягчиться законодательство для отраслей, которые используют новейшие технологии, в том числе финансирование разработок систем, работающих на альтернативных источниках энергии, а также требования к интеллектуальным системам учета.

Автоматизация и современные методы аналитики станут основой управления, цепочкой создания стоимости. Лидеры в данной сфере будут собирать и обрабатывать огромный массив данных – начиная от всей системы в общем до индивидуального потребителя, что обеспечит целевые показатели для надзорных органов и предоставит более качественные услуги.

Основная часть

Цифровая трансформация – важнейшее условие для повышения или сохранения уровня конкурентоспособности экономики в мире. На данный момент существует необходимость масштабных изменений в сфере энергетики и направлении общего развития промышленности Беларуси. Однако успешное достижение целей программы сталкивается с рядом проблем.

Цель цифровой трансформации – изменение подходов и переход компании, а также предприятий на управление путем внедрения цифровых технологий и анализа большого массива данных.

К 2030 году лидерами цифровой трансформации энергетики будут самые высокоразвитые страны мира, такие как США, Германия, Китай. При этом вырастет спрос на:

- Умные приборы и датчики.
- Децентрализованный способ производства и доставки электроэнергии.
- Умные системы, которые подстраиваются под потребителя и контролируют энергопотребление.

Через 10 лет будет все более востребован комплексный подход в сфере энергетики. Управление данными системами будет осуществляться с помощью цифровых технологий и анализа данных. Уже к 2022 году эксперты прогнозируют начало использования комплексных цифровых экосистем в энергетике, в которых будут использоваться универсальные решения для всех потребителей.

Основами функционирования новых цифровых систем будут:

- Объединение систем на основе специальных протоколов.
- Использование облачных технологий.
- Использование искусственного интеллекта в управлении системами.
- Распределение прав на использование будет осуществляться на основе распределенного реестра (блокчейн).

Цифровизация позволит предприятиям и энергетическим компаниям увеличить доходы на 3–4% в краткосрочной перспективе.

Однако сложность систем, построенных с помощью цифровой трансформации, приведёт к тому, что лидирующие компании в данной сфере сфокусируются на получении осязаемого результата в краткосрочной перспективе. В результате будет получен необходимый толчок для развития более долгосрочных инициатив. При проведении цифровой трансформации в энергетике работа ведется по трем направлениям.

1. Цифровизация текущей операционной модели.

Наиболее продвинутые компании заново создают процессы бэк-офиса для осуществления необходимого уровня автоматизации. Наиболее важные области будут включать следующие решения:

- роботизация и автоматизация процессов;
- цифровизация систем взаимодействия с потребителем;
- повышение использования всех доступных данных при принятии решений;
- цифровизация систем управления персоналом;
- обновление ИТ-инфраструктуры.

Кроме автоматизации текущих процессов, построения многовекторной системы коммуникации с потребителем, цифровизация подразумевает изменение системы процессов организации – от сокращения страниц документации до автоматизации принятия решений. В распределении электроэнергии первичными для цифровой трансформации выступают

процессы, которые повторяются многократно: подключение новых потребителей, обслуживание сетей, управление инвестициями, данными по обслуживанию оборудования, потерями в сети.

2. Использование современных методов аналитики

Источники и данные должны быть взаимосвязаны, а ответственность за сбор и хранение закреплена внутри компаний – с наличием CDO (Chief Data Officer).

3. Изучение новейших технологий

Разрабатывать новые проекты и следить за технологическим прогрессом, анализировать достоинства и недостатки, оценивать эффективность технологических решений и вводить их в промышленную эксплуатацию, также следует сотрудничать с финансовыми и телекоммуникационными компаниями, чтобы расширить собственный рынок продуктов и источников дохода.

Приоритеты внедрения инновационных технологий:

- энергосистемы, в основе которых лежат альтернативные источники энергии;
- аналитическое управление активами данных и централизация дистанционного техобслуживания;
- стабильная работа системы и автоматизация процессов;
- аналитическое взаимодействие с потребителем;
- широкое применение продуктов для «умного» дома;
- оптимальное потребительское распределение электроэнергии с поправкой на спрос;
- возможность индивидуального обслуживания потребителя.

Сейчас на пути к цифровой трансформации Беларуси стоит ряд затрудняющих её и требующих незамедлительного решения факторов:

- Рост технологических требований. Цифровая трансформация требует повышение надёжности, качества, скорости и возможности передачи электроэнергии.
- Экологические нормы требуют постоянного снижения антропогенного воздействия на природу.
- Устаревшая инфраструктура, зависимость от топливных ресурсов, низкий уровень технологического развития промышленности Беларуси, а также нуждаемость промышленности в больших объёмах инвестиций.
- Повышение цен на электроэнергию и зависимость от импортных технологий.
- Слабая взаимосвязь ключевых участников рынка.
- Нехватка квалифицированных кадров снижает производительность труда.

Все выше перечисленные факторы сделают неконкурентоспособной экономику и промышленность Республики Беларусь, если не будут оперативно приняты меры для их решения:

- Увеличение масштаба использования альтернативных источников энергии.

- Децентрализованный подход к производству различных видов энергии.
- Внедрение технологии умных сетей (smart grids).
- Цифровая трансформация энергетического сектора и, в целом, инфраструктуры.
- Внедрение технологии интернет-вещей (Internet of Things).
- Переход к новой конфигурации систем – Internet of Energy.
- Создание новой энергетической платформы, на основе цифровых технологий.
- Внедрение современных методов аналитики.
- Развитие сервисов для клиентов на основе цифровых технологий.

Для сохранения уровня конкурентоспособности на мировом рынке, и в частности странах СНГ, цифровую трансформацию энергетической необходимо провести до 2025 года.

Заключение

В мире постепенно будет происходить переход на цифровизацию промышленности и энергетики. Это позволит Республике Беларусь повысить уровень конкурентоспособности на мировом рынке, однако для этого необходимо преодолеть целый ряд проблем.

Литература

1. Цифровая трансформация в энергетике. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]/ цифровая трансформация в энергетике. Проблемы и перспективы развития. - Режим доступа: <http://smartenergysummit.ru/novosti/czifrovayaa-transformacziya-v-energetike-problemyi-i-perspektivuyi-razvitiya/>. – Дата доступа: 25.02.2021.

2. Пять шагов к цифровизации [Электронный ресурс]/ пять шагов к цифровизации. - Режим доступа: <https://pro.rbc.ru/demo/5cff76949a7947d89fd91c74/>. – Дата доступа: 25.02.2021.

УДК621.3.052

**БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
WIRELESS POWER TRANSMISSION**

Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Garist, N. Derkach

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье затрагивается тема беспроводных зарядных устройств и их применение в различных отраслях. В статье изложены основные виды беспроводных зарядных устройств, а также их достоинства и недостатки.

Annotation: the article deals with the topic of wireless chargers and their application in various industries. The article outlines the main types of wireless chargers, as well as their advantages and disadvantages.

Ключевые слова: энергосборатели, беспроводное зарядное устройство, технология, провод.

Keywords: energy collectors, wireless charger, technology, wire.

Введение

Беспроводное зарядное устройство (БЗУ), подразумевает собой передачу электроэнергии без проводов, данная технология позволяет передавать энергию электромагнитного излучения по воздуху от источника к приемнику без применения кабельных соединений. Эта технология удобна в использовании и применяется в самых разнообразных устройствах, от мобильного устройства до автомобилей с электродвигателем.

Основная часть

Беспроводные зарядные устройства, это относительно новое направление в электротехнике, интерес к которому возрастает изо дня в день. Данная технология зарядки аккумуляторов без проводов принадлежит обширному классу, известному под названием энергосборатели. Актуальна беспроводная зарядка для систем, работа которых невозможна без замены батарей. Например, системы, которые находятся в труднодоступных местах, следовательно, применение проводов, попросту не подходит, для создания бесперебойной и отлаженной работы.

Рассмотрим энергосборатели более подробно. Они предназначены для преобразования различных видов энергии в электроэнергию. Накопление энергии, ее сбор и использование в целях питания электротехнических систем дает возможность обеспечить более длительную работу, значительно повышающую срок службы одноразовых элементов питания.

Накопление энергии в энергосберегателях происходит следующим образом. Для того чтобы собрать энергию используются разнообразные технологии, работа которых, заключается в преобразовании энергии. Возьмем для примера, энергию вибрации, здесь будут использоваться пьезоэлектрические

преобразователи, если речь идет об аккумулировании солнечной энергии, то фотоэлектрические, если тепловой – термоэлектрические.

В сравнении с традиционным способом зарядки БЗУ имеет ряд преимуществ:

- Более удобная эксплуатация за счет меньшего количества проводов.
- Дополнительные возможности для устройств, в которых использование кабелей или замена батарей являются крайне трудными или даже неприменимыми, например, в имплантах.

Из недостатков стоит выделить большую стоимость, а также, повышенное тепловыделение при работе.

На данный момент существует два направления в разработке БЗУ. В основе первого варианта лежит использование энергии электромагнитного излучения радиочастотного или микроволнового диапазона.

Что касается второго варианта: энергия генерируется катушкой-излучателем и улавливается катушкой-приемником. Данный способ передачи является более безопасным.

Технологии беспроводной зарядки.

Технологии беспроводной зарядки подразделяются на неизлучающие и излучающие. Неизлучающие устройства используют такие методы передачи энергии, как индуктивная связь, магнитно-резонансная связь и емкостная связь. Излучающие технологии, в свою очередь, позволяют использовать направленную передачу энергии или же ненаправленную.

Магнитная индукция и магнитно-резонансная связь работают на небольшом расстоянии. Микроволновое излучение работает на более дальнем расстоянии.

Сфера применения.

Одна из сфер применения, которой, обязано название технологии – беспроводные зарядные устройства. Универсальное зарядное устройство облегчит использование различных моделей гаджетов независимо от их даты выпуска. Также это облегчит одновременную эксплуатацию нескольких устройств, для которых необходимо большое количество проводов.

БЗУ полезны и в области медицины. Благодаря совместному применению с различными имплантируемыми устройствами хирургическое вмешательство больше не требуется.

Еще один пример устройств, находящихся в труднодоступных местах, – это системы контроля давления в шинах. В колесо устанавливаются датчики давления и устройства, для обеспечения беспроводной связи. Данные устройства питаются от батарей. Технология БЗУ позволит поддерживать работу в экстремальных условиях.

Технологию беспроводной передачи электроэнергии можно применять в устройствах военного назначения. Это увеличит надежность, эргономичность и безопасность электронных устройств. Например, это устранил необходимость использования проводов или одноразовых батарей для электронных устройств, которые питаются от аккумулятора и расположены в форменном жилете солдата.

Заключение

Развитие технологии беспроводных способов передачи электроэнергии актуальны сейчас и будут развиваться в будущем. Главным преимуществом данной технологии является удобство в эксплуатации, а именно, использование беспроводных зарядных устройств не только в быту, но и в различных отраслях профессиональной деятельности человека.

Литература

1. Технология беспроводной зарядки [Электронный ресурс] / Технология беспроводной зарядки. – Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/tehnologiya-besprovodnoj-zaryadki/>.– Дата доступа: 05.11.2021.
2. Технологии беспроводной зарядки [Электронный ресурс] / Технологии беспроводной зарядки. – Режим доступа: <https://wireless-e.ru/peredacha-energii/tehnologii-besprovodnoj-zaryadki-1/>.–Дата доступа: 05.11.2021.

УДК 621.382

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЦЕССОРОВ
PROCESSOR TECHNOLOGY**

И.В. Василевский, Д.С. Савич

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Vasilevsky, D. Savich

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье содержатся сведения о новейших процессорах, их назначении и современной технологии производства.

Abstract: the article contains information about newest processors, their purpose and modern production technology.

Ключевые слова: процессор, производство, кремний, транзистор, ток.

Keywords: processor, production, silicon, transistor, current.

Введение

Процессор – это мозг всех современных компьютеров, так как выполняет там основную работу. По сути любой микропроцессор можно назвать большой интегральной схемой, содержащей огромное количество транзисторов. Транзисторы позволяют создавать двоичную логику (вкл. – выкл.) при прохождении через них электрического тока. Большинство процессоров, которые производятся в наше время, выполняются на базе 45 нм технологии. 45 нм означает размер отдельного транзистора, который находится на процессорной пластине. До введения данной технологии процессоры создавались с применением 90 нм технологий.

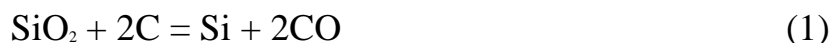
Определение центрального процессорного устройства означает специальный класс логических машин, которые используются в технологиях для выполнения различных компьютерных программ и операций. Так как это назначение с большой точностью относится и к функциям существовавших ранее компьютерных процессоров, то термин «процессор» применяется и к современным компьютерам. Данный термин и его аббревиатура начали активно применять только в 1960-е годы. Хотя архитектура процессоров и в некоторых случаях реализация неоднократно менялись, но их основные функции сохранились с прежних времён.

Основная часть

Процессорные пластины в современном производстве выполняются на основе кремния. Этот химический элемент является широко распространённым и занимает 2 место по размеру залежей в земной коре после кислорода. Использование кремния обусловлено тем, что его внутренняя атомная структура позволяет производить микросхемы, процессоры и другие сложные полупроводниковые элементы различной конфигурации. Высокое содержание кремния имеет песок, в частности кварцевый. Кремний содержится в песке преимущественно в виде диоксида кремния (SiO₂). Данный факт делает песок

фундаментальным элементом в технологической схеме производства полупроводников.

В начале производственного процесса SiO_2 в виде песка восстанавливают коксом в дуговых печах. Процесс протекает при температуре 1800°C и сопровождается выделением угарного газа. Уравнения химической реакции этого процесса имеет вид:



Полученный в результате восстановления кремний называется техническим, имеющим чистоту не менее 98%. Но на данном этапе этот кремний нельзя использовать для производства процессоров, так как необходимо более чистое сырье, именуемое «электронным» кремнием. Его чистота должна достигать не более одного чужеродного атома на миллиард атомов кремния. Для достижения такой чистоты технический кремний хлорируют, и в результате образуется тетрахлорид кремния (SiCl_4), а в дальнейшем получается трихлорсилан (SiHCl_3).

В результате реакции образуются побочные вещества, содержащие в составе кремний. Они снижают себестоимость продукта.

И только после произведённых химических реакций получается «электронный» кремний, имеющий чистоту 99,9999999%. Попутно получается водород, имеющий широкое промышленное применение.

После этого кремний начинают выплавлять, формируя цилиндрический кристалл диаметром 300 миллиметров, изображённый на рисунке 1 [2].

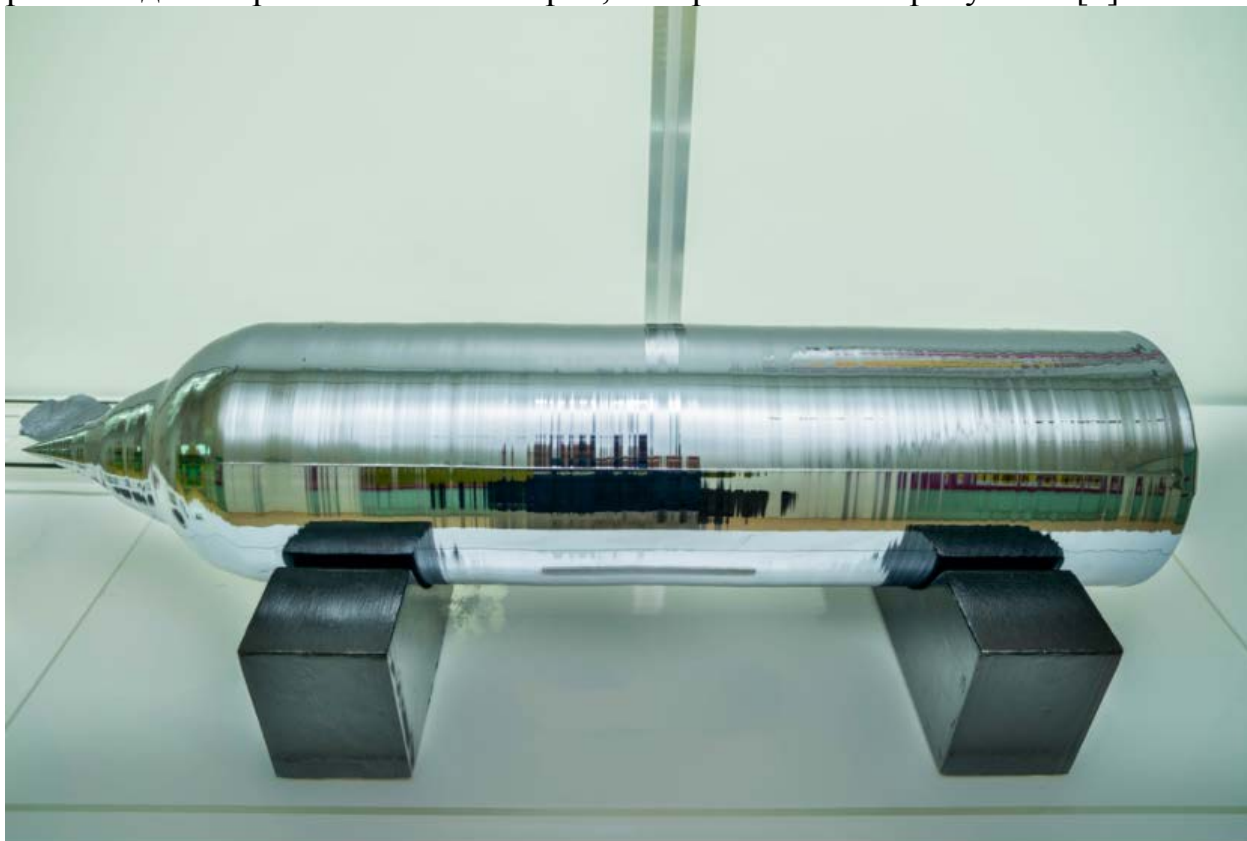


Рисунок 1 – Цилиндрический кристалл кремния

В кристалле атомы и молекулы вещества расположены в определённом порядке. Благодаря этому можно получить информацию о том, как ведёт себя это вещество при различном воздействии на него. В технологии производства процессоров применяют это свойство кристаллической решётки. Кристалл кремния разрезают на пластины с использованием алмазной нити. Толщина каждой пластины должна составлять около 1 мм, образец показан на рисунке 2 [2]. После нарезки поверхность пластины имеет некоторые неровности и зазубрины, которые устраняются путём шлифовки поверхности. В отдельных случаях может применяться химическая шлифовка пластины. Благодаря этому обеспечивается идеальная гладкость поверхности.



Рисунок 2 – Отшлифованные пластины кремния

В обработанные шлифовальной машиной кремниевые пластины необходимо внедрить структуру будущего процессора, то есть ввести в определенные фрагменты пластины примеси, в последующем образуя транзисторы. Для этого пластину покрывают тонким полимерным фоточувствительным слоем (фоторезист), изменяющим свои свойства при облучении светом. Всю поверхность пластины осаждать необходимости нет, но покрытие фоторезистом нужных участков пластины очень сложный в реализации процесс, поэтому покрывают всю пластину, а затем на ненужных участках фоторезист удаляют. Необходимый рисунок чипа экспонируют на фоторезист через маску и собирающую линзу. Толщина маски обычно в несколько раз превышает толщину пластины. Технология процесса основана на применении явления дифракция света. Оно заключается в преломлении луча при прохождении им отверстия, получая вместо одной точки серию

концентрических кругов. Производители используют обратную зависимость дифракции от длины волны, применяя свет в ультрафиолетовом диапазоне с длиной волны 195 нм. Если использовать меньшую длину волны, то такая волна не будет преломляться, линза будет пропускать ее насквозь, не фокусируясь. Собирающую способность линзы тоже нельзя увеличить из-за сферической аберрации, то есть каждый луч будет проходить оптическую ось в своей точке, нарушая фокусировку.

С помощью фотолитографии можно отобразить ширину контура не более 70 нм. Если необходимо более высокое разрешение, чем 70 нм, то их печатают с помощью нанесения 70-нанометровых контуров и протравливания схемы с последующим экспонированием через новую маску.

На следующем этапе производится покрытие пластины тонким слоем вещества, не проводящим электрический ток (диэлектрик), для исключения взаимодействия слоёв между собой. Диэлектрик имеет одинаковые с диоксидом кремния ёмкостные свойства, хотя толщина его больше. Получение более энергоэффективных процессоров можно достичь увеличением толщины слоя, так как уменьшается ток утечки через диэлектрик. Но возникает сложность в создании равномерной плёнки на поверхности пластины. Для решения этой проблемы используют технологию высокоточного температурного контроля. Процесс повторяется несколько десятков раз. Отработанный фоторезист в дальнейшем не нужен и поэтому удаляется химическим раствором вместе с частью подложки. Остальная часть подложки, закрытая от света маской, остаётся. В дальнейшем она образует проводник или будущий активный элемент. В результате получают миллионы мельчайших транзисторов, которые нужно соединить между собой.

Порядок соединения транзисторов друг относительно друга в процессоре называется процессорной архитектурой. Каждое поколение и модификация процессоров имеют собственную уникальную архитектуру. Архитектура напрямую влияет на скорость работы процессора и стоимость их производства, поэтому производители засекречивают производимую ими архитектуру.

В процессоре находится огромное количество транзисторов и между ними необходимо создать не менее большое количество связей. Для этого наносят токопроводящий слой, устанавливая фильтр, фиксируют проводники в требуемых местах. Затем наносится слой диэлектрика и второй токопроводящий слой. По итогу получается множество проводниковых слоёв, которые не контактируют, а транзисторы в свою очередь получают нужные соединения, что представлено на рисунке 3 [2].

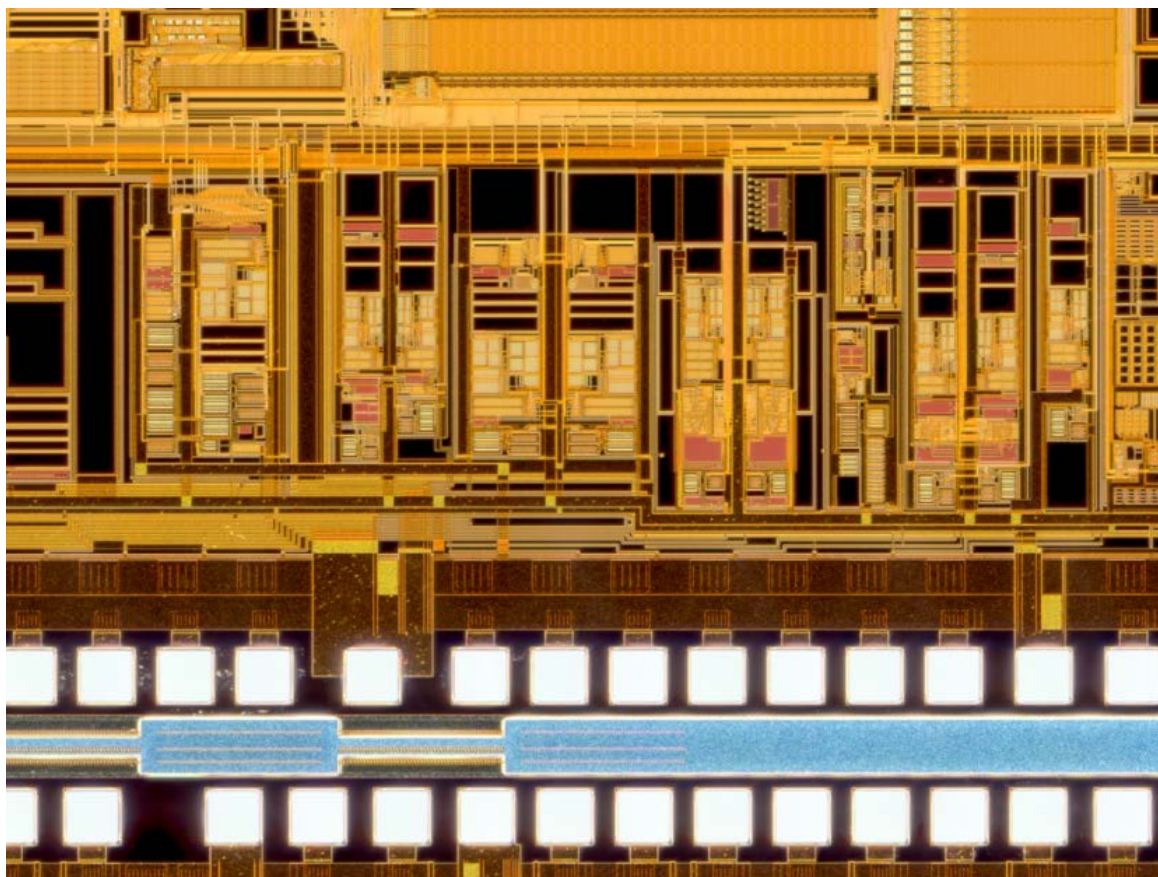


Рисунок 3 – Токпроводящие дорожки крупным планом

После этапа обработки пластин они должны пройти первое испытание, для чего их отправляют из отдела производства в монтажно-испытательный цех. Большинство пластин успешно проходят тест и поступают на установку, вырезающую их из подложки, это показано на рисунке 4 [2].

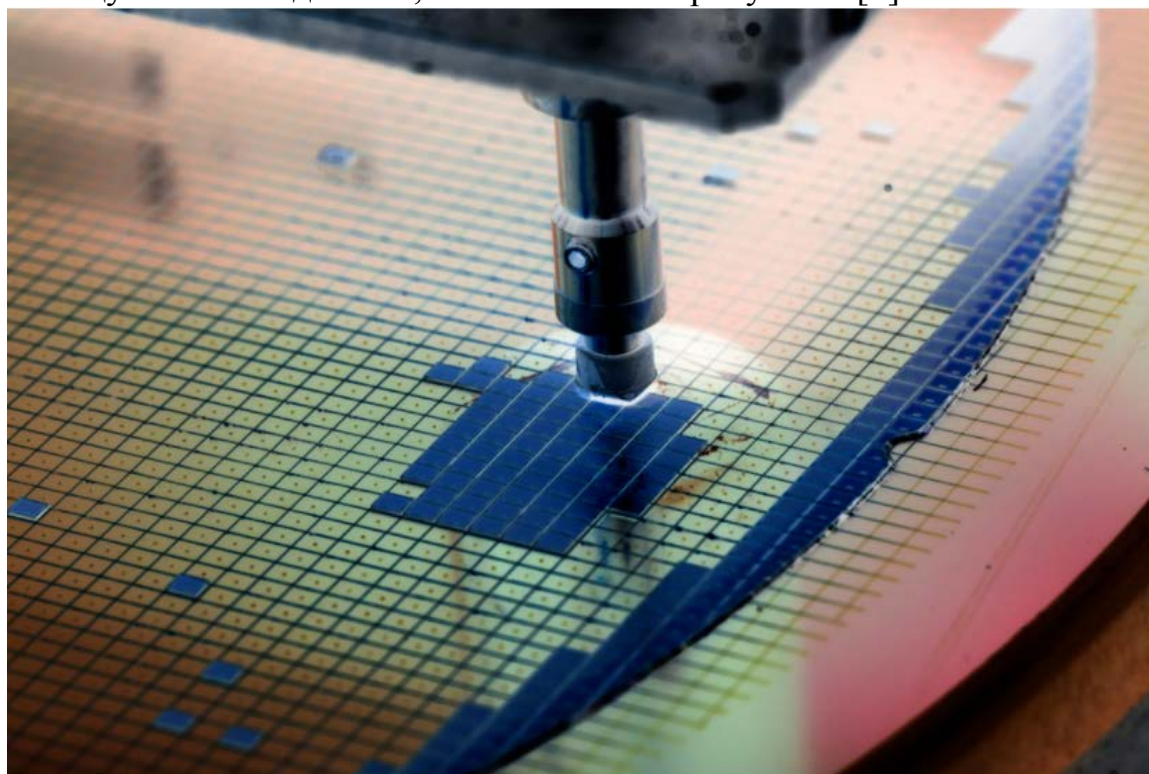


Рисунок 4 – Вырезание ядра из готовой пластины

Те процессоры, которые получились менее удачными, то есть имеют какие-то дефекты и несовершенства, в дальнейшем могут продаваться и использоваться потребителями, но дорогостоящими серверными продуктами они никогда не станут. В свою очередь те процессоры, которые не прошли испытание, отбраковываются.

Для совмещения с материнской платой в ядрах процессора создают контакты. Готовый процессор накрывают крышкой для защиты кристалла от повреждений и недопущения перегрева при работе.

Заключение

После первичных испытаний необходимо добиться соответствия основным характеристикам, для чего процессоры проходят стадию финальных испытаний.

После успешного завершения этих испытаний готовые к продаже процессоры сортируются и отправляются потребителям для OEM-продажи. Есть также ВОХ-версии, которые укомплектованы заводской системой охлаждения.

Литература

1. Как на самом деле производят процессоры [Электронный ресурс] / - Режим доступа: https://thecode.media/intel_inside/. – Дата доступа: 27.02.2021.
2. От песка до процессора [Электронный ресурс] / -Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/110234/>. – Дата доступа: 27.02.2021.

УДК629.7.02

**БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ
UNMANNED AERIAL VEHICLES**

К.Н. Кубраков, С.В. Войтова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Kubrakov, S. Voitava

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье затрагивается тема о дронах и их применение в различных отраслях, а также изложены их преимущества и недостатки .

Annotation: the article touches on the topic of drones and their use in various industries, as well as their advantages and disadvantages.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, камера, достоинства, недостатки, технологии.

Keywords: unmanned aerial vehicles, camera, advantages, disadvantages, technologies.

Введение

БПЛА аппараты развиваются очень быстро в нашем новом "цифровом" мире. Дроны-любители с каждым месяцем становятся дешевле и мощнее, и все больше и больше пилотируемых военных кораблей заменяется огромными, мощными и смертоносными БПЛА аппаратами, которые могут находиться в небе намного дольше, чем любые традиционные летательные аппараты.

Основная часть

Дроны, или беспилотные летательные аппараты (БПЛА), существуют с начала 1900-х годов. Первоначально использовались для военных операций. Они стали популярны примерно после 2010 года, когда электронные технологии стали меньше, дешевле и эффективнее.

Большинство небольших беспилотных летательных аппаратов питаются от литий-полимерных батарей, в то время как более крупные могут использовать авиационные двигатели. Многие дроны сделаны из углеродного волокна, что делает их легкими и удобными для посадки, не нарушая окружающую среду.

БПЛА аппаратам нужны дополнительные роторы, потому что они обеспечивают большую устойчивость, благодаря чему дроны могут выполнять свои автоматизированные функции.

Больше роторов означает больше подъемной силы. Подъемная сила - это толчок, который создают вращающиеся пропеллеры под летательным аппаратом. Чем больше подъемная сила у устройства, тем выше и быстрее оно может подниматься и тем больший вес может нести. Эта последняя часть жизненно важна для всех, кто хочет прикрепить камеру к дрону. Слишком низкая подъемная сила может привести к частым падениям БПЛА или к тому, что он вообще не поднимется в воздух.

Есть причина, по которой у большинства потребительских дронов время полета не превышает 15-20 минут, и эта причина связана с мощностью. БПЛА аппаратам нужны батареи для питания своих опор. Пары легких аккумуляторов хватит на короткое время в воздухе. Добавление дополнительных (или более мощных) аккумуляторов - отличная идея, но дополнительный вес, который они добавляют, фактически сокращает общее время полета.

Многие БПЛА также имеют встроенный GPS, поэтому машина «знает», где она находится. Прикажите аппарату парить в одном небольшом пространстве, и он будет делать это, при необходимости борясь с ветром.

Беспилотный летательный аппарат может быть как размером с шмеля (рисунок1) [4], так и размером с самолёт (рисунок2) [3]



Рисунок 1 – Беспилотный летательный аппарат



Рисунок 2 – Беспилотный летательный аппарат

Рассмотрим достоинства БПЛА:

Современные дроны удивительно просты в управлении и даже оснащены режимами для начинающих, которые могут помочь человеку, который никогда раньше не пользовался дроном, поднять его и запустить всего за несколько минут.

В зависимости от своей миссии они оснащаются различными полезными нагрузками или оборудованием. Цифровые камеры могут идентифицировать растения и животных и помогают создавать трехмерные карты. Они идентифицируют виды растений и выявляют болезни лесных деревьев, отслеживают морских млекопитающих, подсчитывают популяции животных.

В энергетической отрасли используются для выявления утечек метана при добыче нефти и газа, а также для мониторинга трубопроводов и ветровых и солнечных установок.

По некоторым оценкам, с помощью беспилотных летательных аппаратов в ближайшее десятилетие может быть создано более 100000 рабочих мест. Они могут поднять экономику, поскольку распространятся на секторы машиностроения, информатики, коммерческих контрактов, видеографии, лесного хозяйства и, конечно же, вооруженных сил.

Из недостатков стоит выделить большую стоимость, а также могут быть опасны в «чужих» руках. Они могут использоваться для наблюдения за зданиями и окружающей их территорией, что может вызывать проблемы с конфиденциальностью.

Заключение

Технологии развития и использования беспилотных летательных аппаратов актуальны сейчас и будут усовершенствоваться в будущем. Одним из главных преимуществ данной технологии является удобство в эксплуатации.

Литература

1. Беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс] / Беспилотный летательный аппарат -Режим доступа: <https://news.climate.columbia.edu-/2017/06/16/how-drones-are-advancing-scientific-research/>. – Дата доступа: 07.11.2021.
2. Беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс] / Беспилотный летательный аппарат -Режим доступа: <https://pilotinstitute.com/drone-pros-and-cons/>. – Дата доступа: 15.11.2021.
3. Dronomania [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://dronomania.ru-/fag/chto-takoe-dron.html>. – Дата доступа:20.11.2021.
4. Habr [Электронный ресурс] – Режим доступа:<https://habr.com/ru/post/446520/>- Дата доступа:20.11.2021.

УДК 544.015.4

**ПЕРЕКОС ФАЗ
PHASE IMBALANCE**

Е.А. Сырица, В.С. Матерн

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,

E. Syritsa, V. Matern

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Самая распространенная проблема, порождающая массу негативных последствий – перекос фаз в трехфазной сети (до 1,0 кВ) с глухозаземленной нейтралью. Термин перекос фаз используется для описания состояния сети, при котором возникают неравномерные нагрузки между фазами, что приводит к возникновению перекоса.

Abstract: The most common problem that generates a lot of destructive consequences is phase imbalance in a three-phase network (up to 1.0 kV) with a dead-grounded neutral. Phase imbalance is a term used to describe a network condition in which uneven loads occur between phases, resulting in imbalance.

Ключевые слова: Перекос фаз в трехфазной сети, суть явления перекоса фаз, выявление и устранение перекоса фаз.

Keywords: Phase imbalance in a three-phase network, the essence of the phase imbalance phenomenon, identification and elimination of phase imbalance.

Введение

В повседневной жизни мы довольно часто встречаемся с явлениями, которые не зависят от нашей деятельности, но могут привести к серьезным последствиям. Одним из таких явлений считается перекос фаз в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью. Это может привести к выходу из строя электрических устройств, стать причиной короткого замыкания и создать угрозу для жизни. Учитывая актуальность проблемы, необходимо четко понимать, что представляет собой не симметрия токов и напряжений, а также причины ее возникновения для выработки наиболее оптимальной стратегии защиты.

В этой работе рассмотрим проблему перекоса фаз в быту, как в наиболее массовом секторе, где каждый конечный потребитель в силу технических, социальных и других особенностей не может знать о её существовании. Но прежде рассмотрим суть возникновения такого явления.

Основная часть

Суть явления перекоса фаз.

Для описания явления перекоса фаз, рассмотрим способ подключения приёмника по схеме «звезда с нейтральным проводом» (рисунок 1) [1],

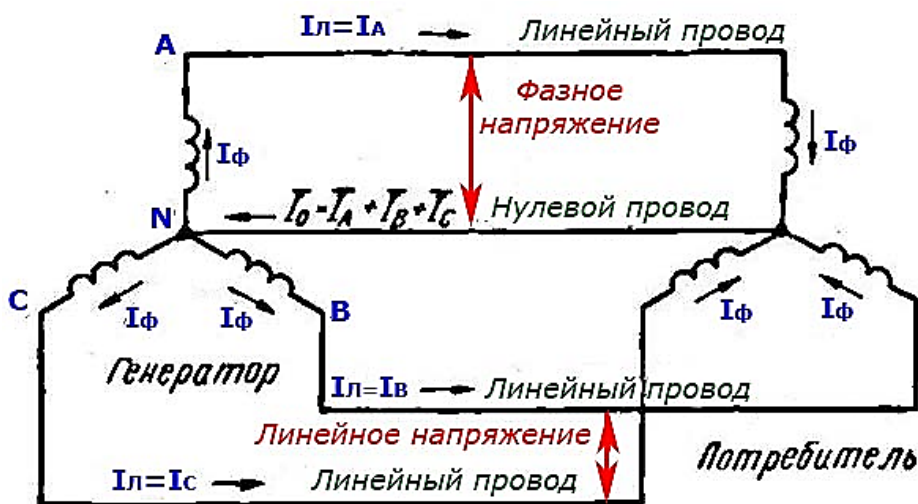


Рисунок 1 – Схема подключения приёмника «звезда с нейтральным проводом»

Векторная диаграмма напряжений будет выглядеть следующим образом (рисунок 2) [1]:

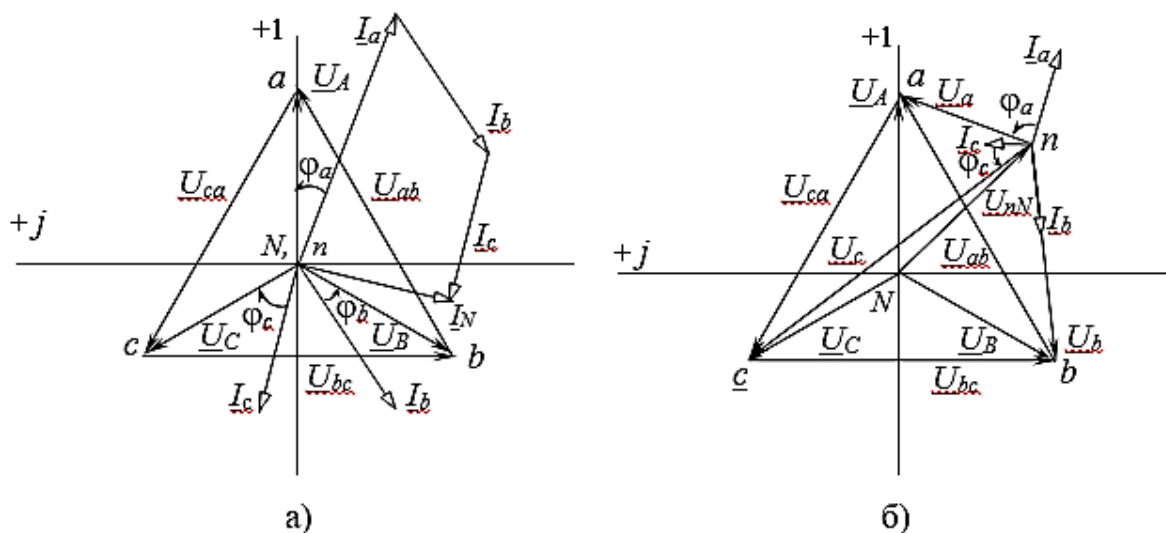


Рисунок 2 – Векторная диаграмма напряжений

При симметричной нагрузке действующие значения фазных напряжений будут равны между собой, но на практике такого добиться практически не реально, так как симметричная нагрузка фаз в жилых домах встречается крайне редко. В результате, отклонение фазных напряжений может превысить допустимый предел.

Рассмотрим некоторые основные причины возникновения явления перекаса фаз из-за неравномерного распределения нагрузки по фазам и обрыв ноля (рисунок 3) [2].

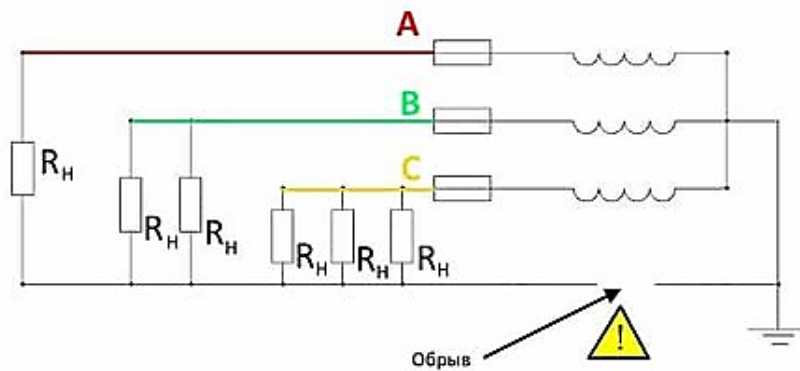


Рисунок 3 – Схема распределения тока по фазам

Из ситуации, описанной на рисунке 5 видно, что в результате обрыва нуля, у потребителей, подключенных к фазе А, напряжение превысит допустимый предел и будет стремиться к линейному напряжению (380В), в то время как у потребителей, подключенных к фазе С, напряжение упадет, вплоть до полного отключения электроприемников. Это происходит потому, что разные потребители, в одно и тоже время, используют электрооборудование разной мощности. И вот у тех потребителей, у которых в это время незначительное электропотребление или полностью отсутствует, но при этом электроприборы подключены к электросети, происходит скачек напряжения до 300-350В, что приводит к выходу или в худшем случае возгоранию оборудования. И это реальные случаи, происходящие повсеместно. Ситуацию усугубляет аварийное состояние этажных электро-щитков и не своевременное обслуживание системы электроснабжения дома.

В частном секторе, при трехпроводной системе, такая проблема решается на стадии проектирования системы электроснабжения путем равномерного перераспределения нагрузки по фазам, зная какие токоприемники, в какое время и с какой долей вероятности будут включены в сеть (рисунок 4) [3]. В многоквартирном доме сложно предугадать кто, когда и сколько приборов, или правильней сказать какой мощностью, включит в сеть.

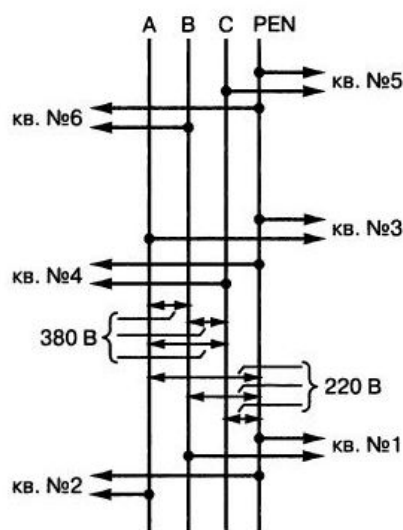


Рисунок 4 – Схема электроснабжения в жилых домах

Подключение квартир к магистральным питающим линиям производят с учетом равномерного распределения нагрузки, как показано на рис.6, что дает избежать перекоса фаз. Но это опять в теории. Никто не знает кто, в какой квартире или какой мощности поставит электрооборудование. На сегодняшний день выбор просто огромный: стиральные машины, духовые шкафы, варочные панели, микроволновые печи, кондиционеры, полы с подогревом, электрополотенце-сушители, микроволновые печи, чайники, утюги и т.д. Этот список можно продолжать до бесконечности. Конечно, для защиты от перегрузки предусмотрены автоматические выключатели с соответствующим номиналом, не превышающим проектные характеристики. Но как минимум у каждого автоматического выключателя есть своя время-токовая характеристика, при которой он отключится при нормальном режиме работы электросети. Допустим, если установлен автоматический выключатель номиналом 16А, он может отключиться при превышении номинального тока в 1,45 раза через 1 час. Теперь представим, что согласно схеме подключения, как показано на рисунке 6, в кв. 2 и 3, которые подключены к фазе А, не установлено так называемое дополнительное оборудование, а в кв. 1 и 6, которые подключены к фазе В включили все что можно и при этом одновременно. Конечно же, жилцы этих квартир оказались «продуманными» и заменили старую электропроводку на новую, чтобы она не сгорела под такой нагрузкой, но не учли много нюансов. Вот и получим перекося фаз в ВРУ жилого дома, которое показано на рисунке 5а, где видно неравномерное распределение нагрузки, которое показывают токоизмерительные клещи на рисунках 5б, 5в и 5г, где рисунок 5б – фаза А, рисунок 5в – фаза В, рисунок 5г – фаза С.



а



б

в

г

Рисунок 5 – Система электроснабжения в многоквартирном доме: а – вводно распределительное устройство; б – фаза А; в – фаза В; г – фаза С

Камера телефона запечатлела мгновенные значения токов: фаза А – 16,5А, фаза В – 0,5А, фаза С – 0,8А. В ходе измерений, значения изменялись и достигали: фаза А – 23,4А, фаза В – 9,8А, фаза С – 8,5А. По результатам измерений с уверенностью можно сделать вывод, что фаза А перегружена.

На каждой этажной площадке расположено 4 квартиры. В обследуемом в случайном порядке этажном щитке, фазировка выполнена следующим образом: фаза А – условно 1 квартира, фаза В – условно 2 квартира, фаза С условно 3 и 4 квартиры.

Из оснащения этажного электро-щитка можно видеть, что жилцы условно первой квартиры, подключенной к фазе А, выполнили реконструкцию внутренней электропроводки с устройством шести контуров электроснабжения и установкой автоматов защиты на каждый контур. С большой долей вероятности можно утверждать, что такая квартира оборудована по максимуму и имеет большое энергопотребление. Вот и получаем неравномерное распределение нагрузки и соответственно перекос фаз.

Выявление и устранение перекоса фаз.

Как выше было сказано, основными популярными причинами являются неравномерное и неграмотное распределение нагрузки по фазам сети и обрыв ноля.

Для исключения обрыва ноля необходимо правильно выбирать сечение проводника и следить за надежным его соединением. В обследуемом этажном электро-щитке, контактное соединение нулевых проводников с корпусом щитка обслужено. Для снижения последствий обрыва ноля, при котором может пострадать электрооборудования во всех 4 квартирах на площадке, каждая квартира подключена отдельным нулевым проводником.

В результате неравномерного распределения нагрузки по фазам в домах и квартирах по нулевому проводнику начинает протекать ток. Это как раз-таки связано с тем, что при симметричной нагрузке по ней вообще не будет протекать ток, а при не симметричной нагрузке ток должен быть меньше чем в фазной жиле. Но так бывает не всегда. При протекании электрического тока проводник

нагревается, это безупречная работа закона Джоуля-Ленца на практике. Он гласит, что чем больше сопротивление проводника и чем дольше протекает электрический ток, тем больше выделится тепла на нём. Также вспомним, о том, что чем меньше сечение проводника и чем больше его длина, тем больше сопротивление. Кроме того, от качества контактов на соединении клемм и проводов также зависит переходное сопротивление. Простыми словами, чем больше площадь соприкосновения контактов и чем сильнее они прижаты друг к другу – тем меньше переходное сопротивление и тем меньше их нагрев. В первую очередь ноль может отгореть в распределительном щите на вводе в здание. Это самая распространенная ситуация, потому что в этом месте на нулевой провод ложится нагрузка со всех квартир и со всех трёх фаз. Далее часто возникают проблемы на нулевой шине в подъездном электрощитке. Часто шина закреплена непосредственно на корпусе подъездного электрощита, тогда это выглядит так, как на фотографии обследуемого электро-щитка. По мере нагрева начинает подгорать и ухудшаться контакт. Ослабевают винтовые зажимы в связи с тепловым расширением и последующим охлаждением после снятия нагрузки. Это вызывает лавинообразный процесс роста сопротивления и нагрева соединения. В результате ноль рано или поздно отгорает полностью. После чего происходит то явление, о котором мы говорим – перекося фаз. О том, что ноль скоро отгорит можно косвенно судить по участвующим просадкам и возрастаниям напряжения. Если напряжения постоянно стабильны (или отклонения несущественны) – с проводкой все в порядке.

С учетом изложенного, лучший способ защиты от обрыва ноля и защиты от перепадов напряжения и 380В в розетках - это установка внутри вводного щитка модульного реле напряжения (рисунок 6) [4]. При этом оно будет защищать электробытовые приборы, как от повышенных, так и от пониженных значений.

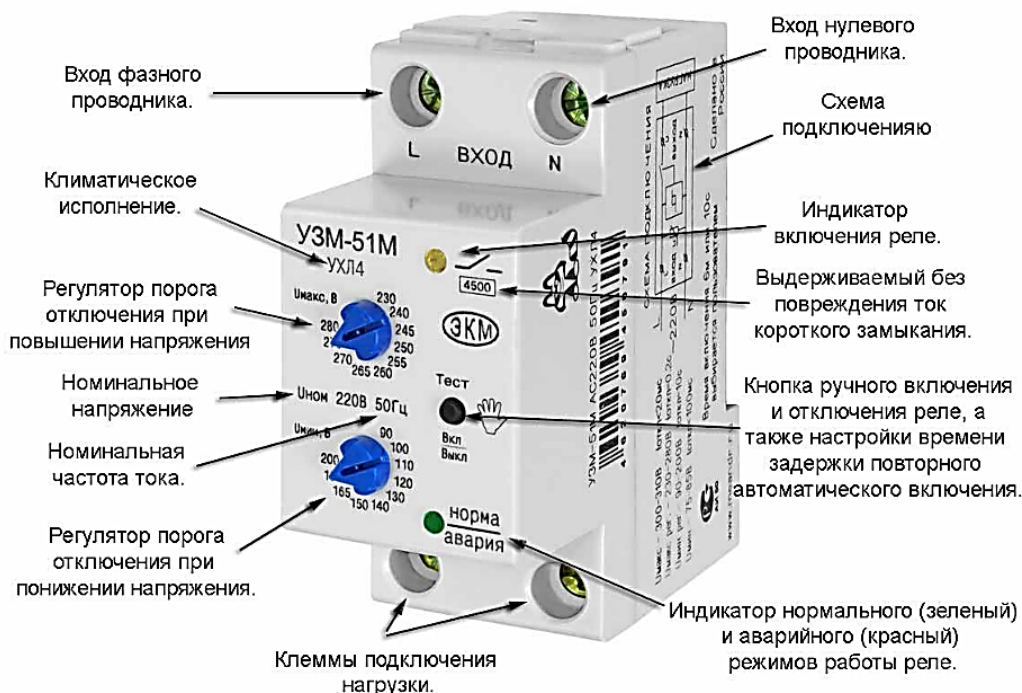


Рисунок 6 – Установка внутри вводного щитка модульного реле

Вопрос равномерного распределения нагрузки по фазам намного сложнее и требует пристального внимания со стороны обслуживающего электроустановки персонала. Визуально, даже с применением токоизмерительных клещей, которые даже в областном центре не входят в комплект экипировки электромонтера, крайне проблематично определить наиболее и наименее нагруженные конкретные участки. В тепловом хозяйстве в настоящее время повсеместно внедряется система дистанционного съема показаний с приборов учета и регулирования параметров тепловой энергии: температура, расход, давление. Это позволяет оперативно реагировать на разбалансировку системы в целом. Назрела необходимость разработки комплекса контроля, за параметрами электрической энергии на каждом доме.

Система должна представлять собой программно-технический комплекс, позволяющий выполнять следующие функции:

- контроль показания приборов учета электроэнергии;
- контроль параметров электрической сети (сила тока, напряжения), температуры токоведущих жил и нулевого проводника;
- передавать информацию о несанкционированном проникновении в этажный электро-щиток и электрощитовую.

Объем автоматизации контроля и перечень конкретных автоматизированных подсистем должен определяться техническим заданием, а также исходя из соображений целесообразности с учетом режима эксплуатации систем и оснащенности их электрифицированной арматурой и соответствующими датчиками. В процессе эксплуатации информация о мониторинге направляется диспетчеру (инженеру-энергетику) на рабочее место. Информация об аварийных ситуациях должна поступать немедленно, а другие параметры с заданным периодом или по запросу.

В состав системы должны входить:

- верхний уровень: компьютер (сервер) диспетчерского пункта с модулем связи;
- средний уровень: устанавливаемые на объектах устройства сбора и передачи данных;
- нижний уровень: оборудование учета, контроля и преобразования (электро-учета, регуляторы напряжения, вольтамперметры, датчики).

Данные от оборудования в цифровом виде поступают в устройство передачи данных, и далее по GSM/GPRS каналу, на компьютер 9 сервер диспетчерского пункта.

Заключение

Для того чтобы избежать перекоса фаз, необходимо осуществить тщательное планирование всех мощностей и рассчитать все возможные нагрузки с их правильным распределением по фазам, составлять подробный проект на дом. При эксплуатации необходимо выполнять проверку тока с помощью специальных тестеров. Если возникнет необходимость, должна быть выполнена переброска однофазных нагрузок с более загруженных фаз, на менее загруженные. Ток на каждой фазе трёхфазного автомата должен быть тщательно измерен, после чего нужно перераспределить однофазные нагрузки так, чтобы

токи на каждой фазе были приблизительно равными. Эта работа должна выполняться только профессионалом, имеющим специальное оборудование. Своевременное выявление неравномерного распределения нагрузок позволит своевременно принять меры и избежать последствий аварийных ситуаций в системе энергоснабжения дома.

Литература

1. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <https://yandex.by/turbo/asutpp.ru/s/perekos-faz-v-trehfaznoj-seti.html>
2. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/perekos-faz/>
3. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <https://inbarabin.ru/perekos-faz-i-chem-on-opasen>
4. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <https://elektrik-sam.ru/jelektrosnabzhenie/4113-что-такое-gluhozazemlennaja-nejtral-opredelenie-prostym-jazykom.html>
5. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <https://domikelectrica.ru/otkuda-v-rozetke-380v-pri-obryve-nulya/>
6. Перекос фаз [Электронный ресурс]/ Электроника <http://elektrik.info/main/sekrety/1505-pochemu-greetsya-nulevoy-provod.html>

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОГИ
ELECTRICIZED ROADS**

А.Г. Мирчук, В.С. Зуськов

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Mirchuk, V. Zuskov

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье рассказываются о последних достижениях и принципе работы электрифицированных дорог.

Abstract: the article tells the latest successes and principle of operation of electrified roads.

Ключевые слова: электромобиль, дороги, зарядка.

Keywords: electric car, roads, charger.

Введение

Электромобиль – это автомобиль, который приводится в движение одним или несколькими электродвигателями с использованием энергии, хранящейся в батареях.



Рисунок 1 – Зарядка электромобиля

Отсутствие дальности действия усугубляется временем зарядки. В автомобиле, работающем на топливе, можно добраться до заправки, заправить бак и вернуться в путь менее чем за 5 минут. В электромобиле дело обстоит иначе. Время, необходимое для зарядки (рисунок 1) [1], зависит от емкости аккумулятора автомобиля, а также от скорости зарядного устройства. Те, кто использует стандартное настенное зарядное устройство, могут столкнуться с 8 часами зарядки аккумулятора своей Tesla Model S. Есть много зарядных устройств, которым требуется не менее 2 часов для полной зарядки разряженного аккумулятора. Это намного дольше, чем 5 минут, которые потребуются автомобилю, работающему на топливе.

Основная часть

В настоящее время полностью заряженного аккумулятора BMW i3 хватает на 81 милю, а у Nissan Leaf – 84 мили на полной батарее. Это расстояние покрывает большинство ежедневных поездок на работу. Однако внедрение электрических магистралей (рисунок 2) [3] может превратить эффективные автомобили в нечто большее, чем просто средство передвижения.

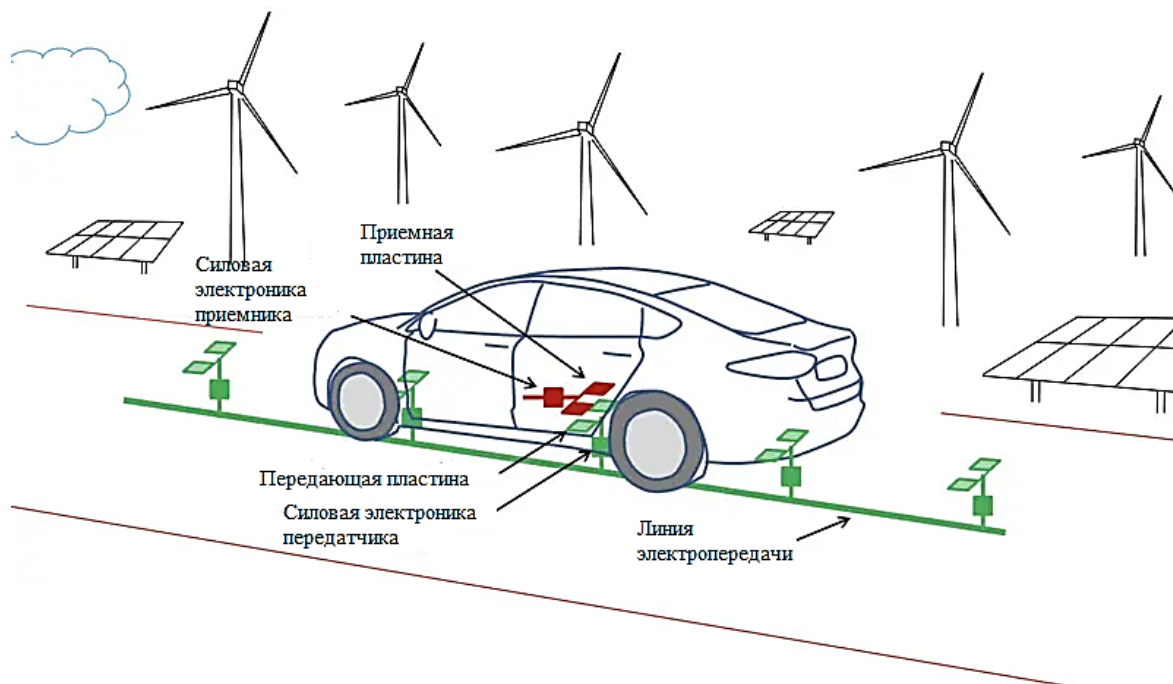
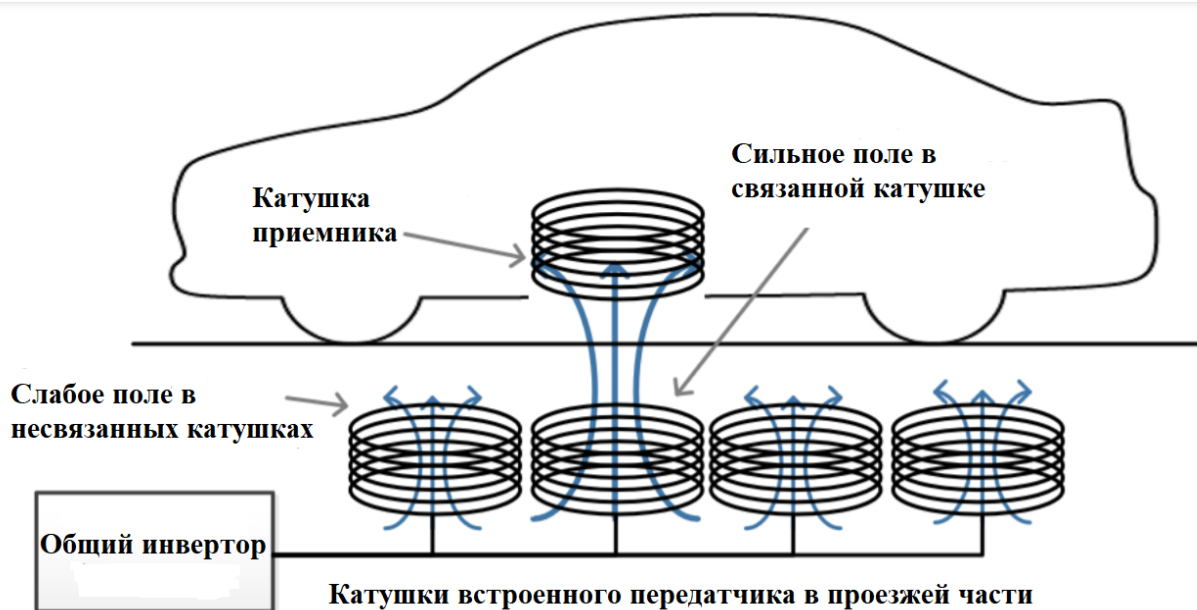


Рисунок 2 – Работа электрической магистрали 0438

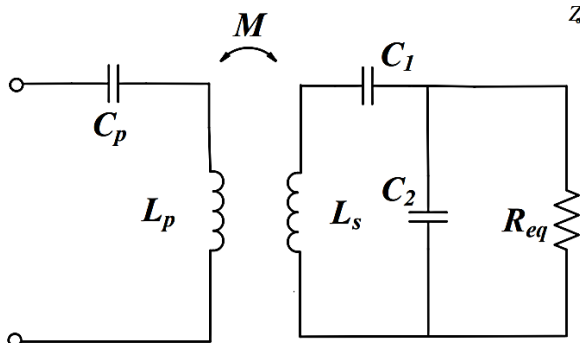
Предпосылка электрической магистрали довольно проста. Электрические кабели и электромагнитные передатчики, проложенные под поверхностью дороги, создают электромагнитные поля. Эта энергия улавливается катушкой внутри транспортного средства, вызывая напряжение, которое затем может использоваться для зарядки аккумулятора, что может увеличить дальность действия автомобиля (рисунок 3) [2].

Передача мощности потенциально может работать для любого транспортного средства, оснащенного правильным оборудованием. Поскольку все кабели проложены под дорогой, также отсутствует риск поражения электрическим током.

В мире существует множество других новаторских схем создания эффективных автомагистралей. Лос-Анджелес в настоящее время работает над прототипом автомагистрали с нулевым уровнем выбросов, в которой используются воздушные кабели, похожие на трамвай или городской поезд. В 2013 году в южнокорейском городе Гуми был запущен электрифицированный маршрут длиной 7,5 миль, но только для автобусов с установленным совместимым оборудованием.



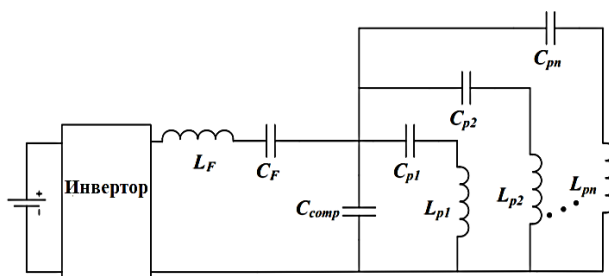
Последовательно-параллельный-LCC



$$Z_{\text{отраженный}} = \frac{(\omega M)^2}{Z_s} = \frac{M^2 R_{eq}}{L_s^2} \cdot n^2 - n \cdot j \frac{\omega M^2}{L_s} = \frac{\omega M^2}{L_s} (Q_{\text{total}} - n \cdot j)$$

Когда разъединен...

- Большая нескомпенсированная реакция в несвязанных катушках ТХ



При соединении....

- Отраженное реактивное сопротивление приводит катушку ТХ в резонанс
- Текущий поток увеличен

Позволяет использовать сегментированные катушки ТХ

Рисунок 3 – Схема работы беспроводной зарядки от дороги

Милтон Кейнс также продвинулся вперед, сделав уникальный поворот на электрическом шоссе – в городе недавно прошли испытания участок дороги, оборудованный зарядными пластинами для автобусов. Однако этот вариант означает, что автобусы должны останавливаться над пластинами для зарядки на несколько минут, чтобы получить заряд энергии, а не просто проезжать по ним.

Дороги, на которых можно заряжать автомобили, также могут получить выгоду от других разрабатываемых технологий, которые в настоящее время проходят испытания. В Голландии велодорожка SolaRoad генерирует энергию с помощью солнечных батарей на дороге, а в США аналогичная технология

испытывается на тротуарах и на парковках. Если можно будет использовать солнечную энергию, можно будет полностью отказаться от «электрического» элемента автомагистралей и получить еще более экологичное решение.

Заключение

Чтобы справиться с проблемами, связанными с малой дальностью действия электромобиля, RoadArlanda сочетает питание от батареи с прямой подачей энергии во время движения. На второстепенных дорогах, которые составляют большую часть дорожной сети, автомобили будут работать от аккумуляторов, а на основных и часто используемых дорогах аккумуляторы будут заряжаться непрерывно.

Следовательно, транспортные средства с батарейным питанием должны быть спроектированы только для движения по участку дороги с электрическим питанием. Автомобили можно заряжать в фиксированных точках внутри этих секций, например, дома, на работе или в торговом центре. Это обеспечивает оптимальную работу электромобилей, так как не потребуется дальние поездки, пока транспортное средство не выезжает на крупную проезжую часть, где оно заряжается во время работы.

Литература

1. MIT Technology Review [Электронный ресурс]/ обоснование строительства электрических дорог. -URL: <https://www.popsci.com/environment/midwest-electric-vehicle-charging-roads/?amp> – Дата доступа: 21.11.2021.
2. Революция в области электрификации [Электронный ресурс]/ Революция в области электрификации. -URL: <https://www.freedm.ncsu.edu/publications/e10-ipt-dynamic-wireless-charging-conference-presentation/>. – Дата доступа: 21.11.2021.
3. Революция в области электрофикации [Электронный ресурс]/ Революция в области электрификации. -URL: <https://www.fleetevolution.com/how-does-an-electric-highway-work/>. – Дата доступа: 21.11.2021.

УДК 681.625.7

3D-ПРИНТЕРЫ 3D-PRINTED

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Galisheva, D. Shulepov

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: В данной работе мы разберем принцип работы 3D-принтера и рассмотрим его роль в жизни человека.

Abstract: In this paper, we will analyze the principle of operation of a 3D- printer and consider its role in human life.

Ключевые слова: 3D-принтер, экструдер, рабочая платформа.

Keywords: 3D-printer, extruder, working platform.

Введение

Несмотря на то, что 3D печать появилась уже в 80-х годах прошлого века, широкое применение в разных отраслях данные устройства получают только сейчас. 3D-принтеры все чаще используются в качестве замены традиционным методам производства, на них можно создавать вещи разных размеров и предназначения. Процесс создания объекта получается намного быстрее и менее затратным, чем традиционное производство. 3D-принтер помогает решать различные задачи в промышленности, строительстве, архитектуре, медицине, образовании и других сферах жизнедеятельности [1].

Основная часть

Для начала рассмотрим принцип работы 3D-принтера.

3D-принтер состоит из рабочей платформы и экструдера (печатающей головки). Экструдер послойно создает объект выдавливая термопластик (или другой материал) в виде нити (рисунок 1) [1].

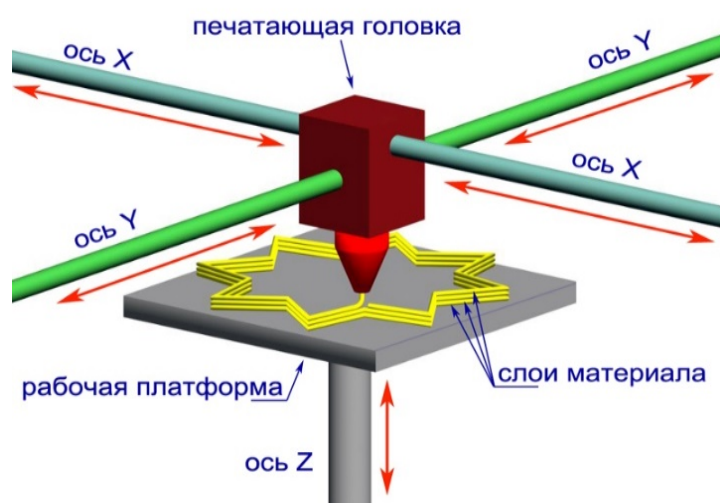


Рисунок 1 – 3D-принтер

Печатающая головка состоит из блока и сопла с нагревателем (рисунок 2) [1]. Блок представляет собой механизм для подачи нити. В блоке находится прижимной ролик и шестерня, которая соединена с электромотором. Данный механизм тянет нить, и направляет ее к соплу, где материал уже выходит на платформу в плавленном виде. У сопла находится термодатчик, который помогает следить за температурой экструдера. Плавление материала происходит благодаря нагревательному элементу, который представляет собой спираль из нихромовой проволоки и несколько резисторов [2]. При печати верхняя часть экструдера сильно нагревается и это приводит к преждевременному плавлению материала. Для предотвращения данной проблемы устанавливают теплоизоляционную прокладку между горячей и холодной частью экструдера.

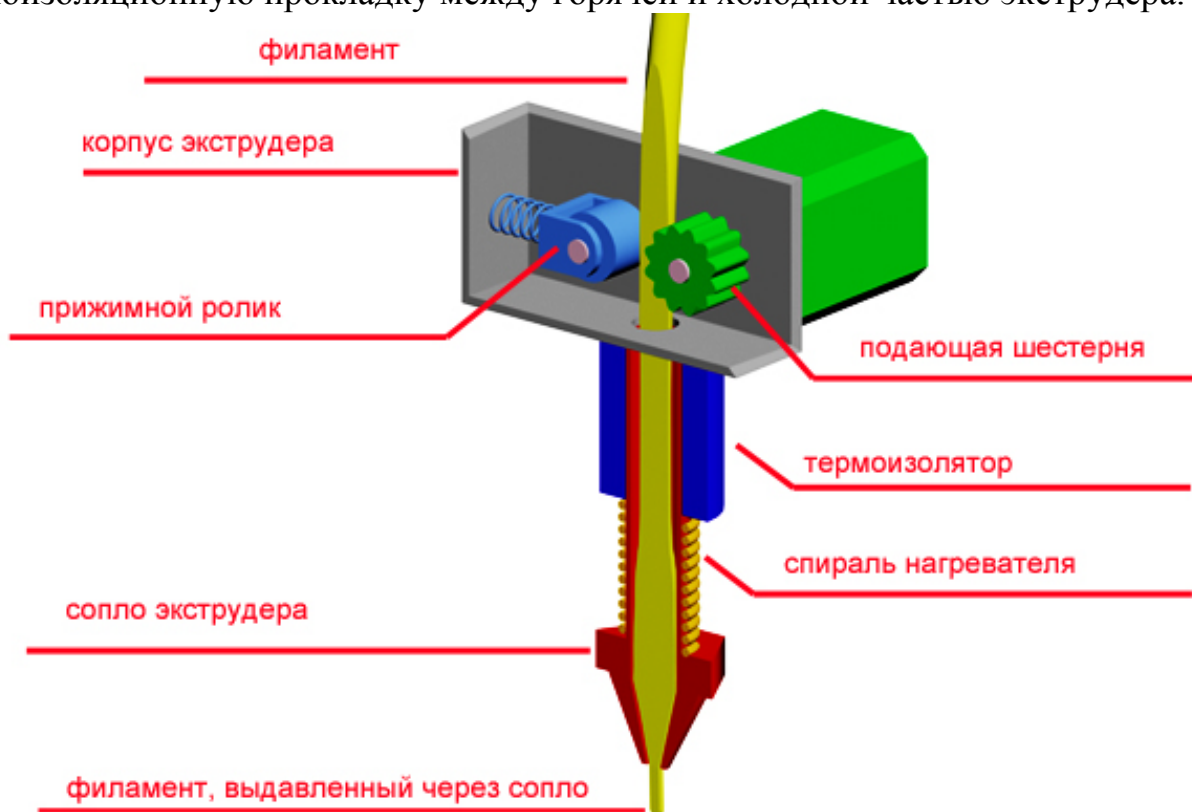


Рисунок 2 – Состав экструдера

3D-принтер с холодным экструдером в виде шприца очень популярен на данный момент. Такой принтер позволяет работать с бетонными смесями, глиной, силиконом, пластилином и т.д. Данный вид принтеров используется в строительстве.

Благодаря данной инновационной технологии медицина шагнула вперед.

С помощью 3D печати за короткий срок специалисты могут создать протезы, имплантаты, модели внутренних органов.

Так же широкое применение 3D-принтер получил в строительстве и архитектуре. Принтер работает по принципу строительного крана, который возводит стены из слоев бетона. На данный момент уже существуют построенные дома. 3D печать широко используется в создании архитектурных макетов [3].

Заключение

В заключении мы можем сказать, что данная инновационная технология позволяет сделать огромный шаг в развитии промышленной жизнедеятельности человека. Огромными плюсами 3D печати является скорость производства детали, создания изделий сложной формы, разные сферы применения и безотходное производство.

Литература

1. 3D-принтер: принцип работы и возможности [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://knowhow.pp.ua/3d_printer/. - Дата доступа: 02.11.2021
2. Экструдер 3D-принтера [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://prn3d.ru/stati/pechat-na-3d-printere/extruder.html>. - Дата доступа: 02.11.2021
3. Сферы применения 3D печати [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://3dsmart.com.ua/blog/sfery-primeneniya-3d-pechati>. - Дата доступа: 02.11.2021

УДК 621.333.4

**РЕКУПЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ELECTRICAL POWER RECOVERY**

М.А. Заруба, М.В. Рынкевич

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Zaruba, M. Rynkevch

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье затрагивается тема рекуперации электрической энергии и их применение в различных отраслях. В статье изложен принцип действия, а также достоинства и недостатки.

Abstract: the article touches upon the topic of electrical energy recovery and their application in various industries. The article outlines the principle of operation, as well as the advantages and disadvantages.

Ключевые слова: преобразователь с широтно-импульсной модуляцией, рекуперативное торможение, восстановление электроэнергии, источник, потребитель.

Keywords: converter with pulse width modulation, regenerative braking, power recovery, source, consumer.

Введение

Основным методом устранения избыточной энергии во время торможения в преобразователях частоты было рассеивание в форме тепловой энергии на резисторах. Везде, где была высокая инертность нагрузки, применялись тормозные резисторы. Например, в центрифугах, на автомобилях, на нагрузочных стендах и тому подобное. Такие резисторы, хотя и экономически не отягощали оборудование, вызывали некоторые неудобства. Резисторы имеют громоздкие габариты, достаточно быстро разогреваются, нуждаются в пыле- и влагозащите. В случае, когда мы рассматриваем крупномасштабное производство, где необходимо рассеять энергию, за которую предприятие платит не малые средства, приходят на помощь система рекуперации электроэнергии. Она помогает вернуть энергию обратно в сеть и уменьшить расходы.

Основная часть

Рекуперативное торможение – тип электрического торможения, за счет которого происходит возврат электроэнергии в сеть, производимый тяговым двигателем, работающим в режиме генератора. Применяется она мгновенно либо сохраняется до тех пор, пока она не понадобится.

Рассмотрим принцип работы системы рекуперации на примере автомобиля. При торможении, электродвигатель отключается от аккумулятора и переходит в генераторный режим, вырабатывая электрическую энергию. В таком режиме на обмотках статора и ротора возникают противоположно направленные токи, которые поступают обратно в аккумулятор, увеличивая его заряд. Для реализации этого процесса вместо

типичного выпрямителя используется преобразователь с широтно-импульсной модуляцией. Данный преобразователь может направлять потоки мощности как от источника к потребителю, так и от потребителя к источнику.

Стандартный биполярный транзистор работает в режиме восстановления, сначала используется как преобразователь тока, но при торможении, генерируется импульсный сигнал и сила тока устремляется из цепи потребителя, так как напряжение становится выше определённого уровня. После трех тестовых импульсов при помощи индуктивности, получается почти чистый синусоидальный ток.

Сфера применения

В процессе работы электротранспорта происходит рекуперация энергии электрического тока. Для каждого из видов транспорта существуют индивидуальные особенности.

Не смотря на то, что при торможении, количество вырабатываемой энергии небольшое, велосипеды с электроприводом, и электромобили оснащены системой рекуперации. Она используется для того, чтобы увеличить запас хода и продлить работу аккумулятора без подзарядки.

Рекуперативное торможение также используется и в электропоездах. Процесс торможения занимает намного больше времени, чем в электромобилях, из-за чего большее количество вырабатываемой энергии идёт в контактную сеть. Данная система часто используется в случае, когда поезд передвигается по крутому спуску. Это позволяет поддерживать заданную скорость и экономить электроэнергию, которая также может использоваться и другими поездами на этом же участке контактной сети.

Данная технология широко используется уже несколько лет. Первые вагоны метро уже обладали устройством рекуперативного торможения. Расписание поездов базируется на схеме согласования тормозного момента. Лучшего результата можно добиться, когда один из поездов прибывает на станцию в момент отъезда другого. Повторение такого цикла разгона и торможения можно соединить с несколькими локомотивами на разных ветвях, возвращая максимальное количество энергии.

На сегодняшний день можно наблюдать тенденцию у популярных производителей автомобилей. BMW, Nissan, Tesla, Hyundai производят электромобили с системой рекуперативного торможения.

Заключение

Рекуперативное торможение – одно из самых полезных изобретений. Энергия не рассеивается в окружающую среду при торможении, а возвращается в сеть с учетом параметров тока. Рекуперация, положительно влияет на эффективность технологических процессов и увеличивает экономические показатели. Возможность частично использовать потраченную на остановку энергию и последующее развитие технологии в данной сфере позволяет надеяться, что электрокары в дальнейшем будут ещё более эффективными и востребованными.

Литература

1. Рекуперация электрической энергии, и ее использование [Электронный ресурс] / Рекуперация электрической энергии, и ее использование. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/fakty/1172-rekuperaciya-elektricheskoj-energii/>.–Дата доступа 15.11.2021.
2. Рекуперация электроэнергии [Электронный ресурс] / Рекуперация электроэнергии. – Режим доступа: <https://amperof.ru/teoriya/rekuperaciya-elektroenergii/>.– Дата доступа 15.11.2021.
3. Рекуперация торможения в электромобиле [Электронный ресурс] / Рекуперация торможения в электромобиле. – Режим доступа: <https://natoke.ru/articles/184-cto-takoe-rekuperacija-tormozhenija-v-elektromobile/>.– Дата доступа 15.11.2021.

УДК 621.311

**LCD- И OLED-ТЕЛЕВИЗОРЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ
LCD AND OLED TVs. LIQUID CRYSTAL TECHNOLOGY**

А.Ю. Апанасевич, В.А. Вирко

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Apanasevich, V. Virko

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk**Аннотация:** жк-технологии и её развитие.**Abstract:** lcd-technologies and its development.**Ключевые слова:** полупроводниковый прибор, телевизор, дисплей, свет, конструкции, полимер, катод, анод, статическое изображение.**Keywords:** semiconductor device, tv, display, light, constructions, polymer, cathode, anode, static image.**Введение**

Нельзя не поспорить о значимости телевизоров в нашей жизни, сейчас это неотъемлемый элемент для людей любого поколения. Но часто ли вы задавались вопросом о принципе работы и в целом, самой технологии, на которой основана работа телевизоров?

Сегодня в любом магазине можно найти телевизоры разных размеров, яркостей и контрастов экрана и даже форм. В данной работе мы разберем современные телевизоры: их принцип работы, значимость и прогресс технологии, на базе которых, они приобрели свою значимость и преимущества, но для начала, скажем, что данные технологии применимы не только в телевизорах, они дали сильный толчок в развитии огромного количества устройств, составив основу их дисплеев: смартфоны, планшеты, цифровые часы, калькуляторы, приборные панели, стереосистемы и многое другое, мы можем повсеместно пользоваться яркими и стильными дисплеями, абсолютно везде, но начнем по порядку.

Основная часть

Абсолютно каждый слышал о жидкокристаллических телевизорах, уже из названия легко понять, на чем основан принцип их работы – LCD-дисплей (Liquid Crystal Display, жидкокристаллический дисплей), который позволил совершить скачок на новый уровень возможностей дисплеев. И так, каким же образом мы получаем конечное изображение? Рассмотрим схему устройства ЖК-телевизора (рисунок 1).

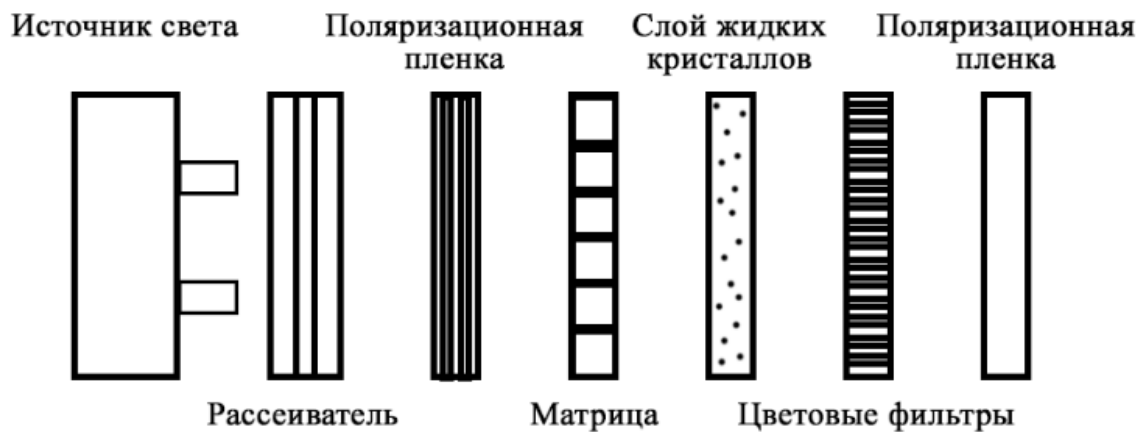


Рисунок 1 – Схема устройства ЖК-телевизора

Начнем с источника света, в данном случае это газоразрядные лампы (рисунок 2), имеющие люминофорное покрытие, способное преобразовывать ультрафиолетовое излучение в видимый человеческому глазу свет. Само же излучение образуется за счет атомов ртути, попадающих под действие потока инертного газа. В ходе этого процесса, температура электродов остаётся постоянной, отсюда и выделяется отдельная категория данных ламп – газоразрядные лампы с холодным электродом. Газоразрядные лампы требуют отдельный слой подсветки.

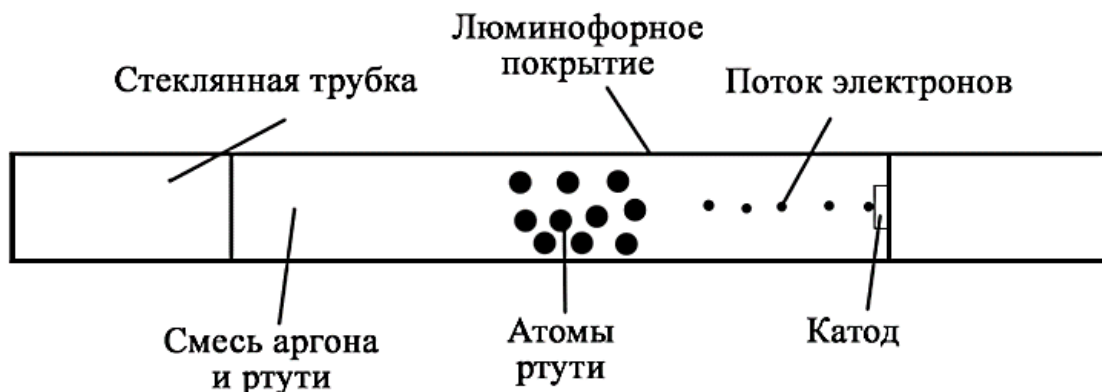


Рисунок 2 – Схема газоразрядной лампы

Дальше мы можем наблюдать многослойный рассеиватель, предназначенный для равномерного распределения света из источника. Слой из белого пластика и фольги составляет первый отражающий слой, после него следует слой, имеющий эффект полного отражения в диэлектрике - световод, но при этом, на нем можно увидеть тонкую пленку из линз, позволяющую свету добраться до поверхности этого световода и продолжить своё движение. Следующие несколько слоев составлены из рассеивающих и отражающих пленок с различным рельефом.

Следующим ключевым этапом является слой линейной поляризационной пленки, основой которой являются атомы йода, после него свет приходит в тонкопленочные транзисторы – разновидность полевых транзисторов, предназначенных для подключения запоминающих конденсаторов,

записывающих информацию о субпикселях – точки, определяющие яркость составных частей цвета и определяющих напряжение, которое действует на жидкие кристаллы субпикселей – это фазовое состояние, когда вещество имеет как свойства жидкости, так и кристалла: нетекучесть, показатель преломления, теплопроводность и др. Жидкие кристаллы организуют вращение поляризационной поверхности света из-за влияния электрического поля. Далее на пути белого света встречаются светофильтры, заставляющие его разделиться на цвета субпикселей. И вот снова мы встречаемся с поляризационной пленкой, но уже находящейся перпендикулярно к поляризатору, что позволяет сделать изображение видимым.

Безусловно, LCD-панели значительно превосходят панели кинескопных телевизоров за счет только того, что они позволяют соблюдать тонкие формы и малый вес, но есть ли в наше время телевизоры лучше привычных нашему слуху и взгляду ЖК-телевизоров. Оказывается, да и при этом, данные виды имеют буквально одно отличие в технологии – источник света. Телевизоры, основанные на OLED-дисплее, разберёмся подробнее.

OLED - полупроводниковый прибор, созданный на основе органических соединений, пропуская через себя электрический ток, они вырабатывают видимый человеческому глазу свет.

Технология OLED – это создание конструкции на тонкой плёнке, поверх которой нанесены слои полимеров с разной проводимостью.

Принцип работы основан как раз на создании светодиодов, при этом применяя описанные выше конструкции.

Простыми словами, при подаче на анод положительного относительно катода напряжения, поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Соответственно, катод начинает передавать электроны в эмиссионный слой, а анод принимать электроны из проводящего слоя или же отдаёт дырки в электропроводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой – положительный. Происходит рекомбинация дырок и электронов во время их встречи при активном движении (рисунок 3). Это происходит ближе к катоду, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью. При рекомбинации электрон утрачивает энергию, что сопровождается излучением (эмиссией) фотонов на границе видимого света.

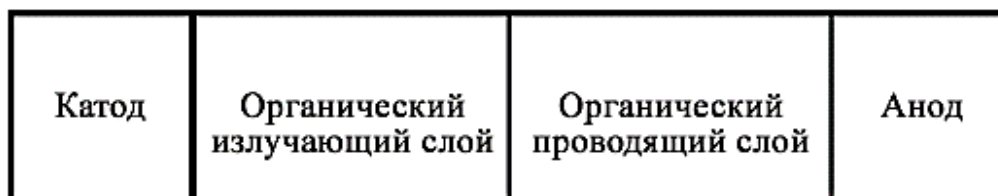


Рисунок 3 – Принципиальная схема OLED-матрицы

Основные направления:

TOLED (Transparent OLED) – прозрачный, органический светоизлучающий прибор. С технологической точки зрения возможно задание любого направления

излучения, включая двустороннее. TOLED имеет свои отличительные способности такие как, высококонтрастное изображение и прозрачностью плёнки в выключенном состоянии, что значительно расширяет область их применения в различных сферах.

FOLED (Flexible OLED) – отличается от всех функций фиксации органической плёнки между гибкими электродами, в качестве которых выступает чаще тончайшая алюминиевая фольга. Таким образом, можно создавать гибкие прозрачные экраны с широкими потенциальными возможностями. В наше время приобретают популярность телевизоры с изогнутыми экранами, использующие как раз этот подвид технологии.

SOLED (Stacked OLED) – конструкция вертикально сложенных органических светодиодов. Каждый подпиксель расположен друг над другом, что в разы разрешающую способность экрана. Особенность SOLED – это максимально возможный коэффициент заполнения цвета, равный 100% - все пиксели экрана будут гореть только заданным цветом.

Преимущества технологии OLED:

- меньший вес и размеры, за счёт малой толщины матрицы;
- низкое потребление энергии, которое в перспективе может ещё снизиться;
- отсутствие подсветки;
- контрастность, яркость и время отклика;
- возможность создания гибких и прозрачных экранов, которые будут стабильно работать в широком диапазоне температур.

Из недостатков стоит отметить дороговизну производства данных типов телевизоров, а также, время непрерывной работы органических светодиодов некоторых цветов. Но эта проблема уже нашла себе практическое решение.

Заключение

Возможно, что в скором времени мы забудем о привычных плоско-поверхностных дисплеях и будем всюду использовать только ультратонкие и максимально различные формы гаджетов и прочих устройств. Прогресс не стоит на месте, а технологии, имеющие мировые потребности, всё так же будут обходить старые проблемы, развиваясь за счёт новых проблем.

Литература

1. Как работает ЖК-экран монитора и телевизора [Электронный ресурс] /– Режим доступа: <https://club.dns-shop.ru/blog/t-114-monitoryi/39305-kak-rabotaet-jk-ekran-monitora-i-televizora/>. – Дата доступа: 20.04.2021.
2. Что такое OLED в телевизорах [Электронный ресурс]/ что такое oled в телевизорах. – Режим доступа: <https://club.dns-shop.ru/blog/t-133-televizoryi-4k/36325-chto-takoe-oled-v-televizorah/>. – Дата доступа: 20.04.2021.

УДК 631.371

**ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ
UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES**

М.В. Лесь, В.М. Терехович

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Les, V. Terekhovich

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной научной работе рассматриваются бесперебойные источники питания, описывается их принцип работы, основные проблемы, которые возникают в электросетях, а также достоинства и недостатки.

Abstract: This scientific work examines uninterruptible power supplies, describes their principle of operation, the main problems that arise in power grids, as well as advantages and disadvantages.

Ключевые слова: источники бесперебойного питания, электросеть, онлайн, офлайн.

Key words: uninterruptible power supplies, power grid, off-line, on-line.

Введение

Система бесперебойного питания (ИБП) - это технология резервного источника питания, которая обеспечивает аварийную энергию для нагрузки системы при выходе из строя основной системы электроснабжения. Основными задачами является: обеспечение резервного питания при сбоях электроснабжения, чтобы критически важное оборудование могло корректно отключиться, и никакие данные не были потеряны, либо достаточно долго, чтобы поддерживать необходимые нагрузки в рабочем состоянии до тех пор, пока не будет включен генератор. Так же существует и другое определение, в котором говорится, что ИБП - это устройство, «которое регулирует входящую мощность так, чтобы слишком часто встречающиеся провалы и скачки напряжения не повреждали чувствительное электронное оборудование».

Основная часть

Системы ИБП полезны в трех конкретных ситуациях:

- Когда компании или организации требуется упорядоченное выключение своих компьютеров. Такой случай является обычным, когда компьютеры нуждаются в упорядоченном выключении для сохранения данных.
- Когда необходимо продолжить работу при отключении электроэнергии. В таких обстоятельствах технология резервного питания ИБП может иметь обширную систему резервного питания от батарей или совместно использовать связь с генератором для обеспечения альтернативной энергии.
- Когда перебои в подаче электроэнергии могут вызвать ошибки в данных тестирования.

Такие ошибки в данных могут быть катастрофическими и дорогостоящими для организаций. Например, если компьютер считывает данные как 2000 вместо 2.000, это может вызвать серьезные операционные проблемы в организации.

Основные проблемы, из-за которых может возникать сбой, например: сбой, провал напряжения, перенапряжение, электромагнитные помехи, высоковольтные импульсы напряжения, отклонение частоты может привести к неприятным последствиям, таким как, остановка оборудования на время, выход узлов из строя, потеря данных и т.д. Источники бесперебойного питания (ИБП) устанавливаются между электросетью и защищаемым оборудованием, их можно считать наиболее эффективными и лучшими устройствами, для защиты компьютеров и другого оборудования от проблем в электросети. Основная задача ИБП состоит в том, чтобы из источника на выходе генерировать чистое синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой.

Существуют различные типы систем ИБП, которые различаются по размеру и функциональности (в зависимости от их предполагаемого использования). Например, системы ИБП, которые должны защищать отдельный компьютер, могут отличаться по размеру и функциональности от систем, которые должны защищать большие центры обработки данных или здания. Есть три основных типа:

- Системы с одним преобразованием.
- Системы двойного преобразования (байпасный трансформатор).
- Многорежимные системы.

Системы с одним преобразованием для нормальной работы. Система одиночного преобразования часто работает в нормальном режиме, когда питание переменного тока подключается непосредственно к оборудованию. Однако при колебаниях мощности в системе ИБП использует инвертор для получения энергии от батарей (постоянного тока) и стабилизации системы питания. Он также отключает питание переменного тока, чтобы инвертор не способствовал обратному току энергии в сеть. Подключение к сети переменного тока будет работать снова только после того, как батарея разрядится. Соединение переменного тока также может снова активироваться при восстановлении основного источника питания. Резервные и линейно-интерактивные соединения являются основными типами схем однократного преобразования, связанными с этим типом соединения. Как следует из названия, конструкция в режиме ожидания позволяет электросети использовать питание переменного тока до тех пор, пока ИБП не обнаружит проблему и не задействует постоянный ток (резервное питание). Ограниченное регулирование мощности также может происходить в таких системах, когда проектировщики используют трансформаторы при проектировании системы. Для сравнения, линейно-интерактивная система часто использует регулирующий механизм, который проверяет потребляемую мощность, прежде чем она будет доступна для использования коммунальной системой.

Система двойного преобразования (байпасный трансформатор). Как следует из названия, система двойного преобразования часто включает двойное преобразование мощности. Первый шаг включает преобразование мощности

переменного тока в мощность постоянного тока, которая позже подключается к выходному преобразователю. Вторая фаза преобразования энергии включает преобразование мощности постоянного тока обратно в мощность переменного тока перед ее использованием в системе электроснабжения. Основная цель системы преобразования - изолировать критические нагрузки от первичного энергоснабжения от электросети. Таким образом, коммунальная система будет получать только чистую и сырую электросеть. Нормальные операции требуют, чтобы двойное преобразование мощности происходило постоянно. В случае отключения электроэнергии или колебания мощности входной преобразователь отключится. После этого энергия будет поступать от батареи для использования в системе электроснабжения. Аккумуляторная батарея будет основным источником энергии в этом отношении до тех пор, пока не будет нормализована входная мощность переменного тока.

В период выхода за пределы частоты, которые были установлены, входного напряжения, ИБП генерирует переменное напряжение, связанное с внутренним генератором синусоидальной волны. Необходимость синхронизации с входным напряжением обусловлена тем, чтобы была возможность ИБП переключаться в режим байпаса и из него, за минимальное время. В режиме байпаса, через механический или электронный переключатель подается входное напряжение на выход ИБП. Используется тогда, когда необходимо провести ремонтные работы, не подвергаясь отключению нагрузки, а также профилактические работы. В этот режим, ИБП переключается не только в случае профилактических или ремонтных работ, но и при аварии или большой перегрузке.

Многорежимные системы. Многорежимная система представляет собой комбинацию систем с сингулярным и двойным преобразованием. Разработчики предпочитают использовать оба метода, поскольку они повышают эффективность и надежность системы. В нормальных условиях система работает в линейно-интерактивном режиме, экономя энергию и деньги, сохраняя при этом напряжение в пределах безопасных допусков и устраняя общие аномалии, обнаруживаемые в электросети. Эффективность и надежность также будут иметь место, когда система автоматически переключается в режим двойного преобразования при колебаниях мощности или при колебаниях выходного переменного тока. Этот процесс полностью изолирует питание переменного тока от системы электроснабжения. Эффективность и надежность также проявляются, когда мощность переменного тока выходит за установленные пределы системы двойного преобразования, поскольку система батарей начинает обеспечивать альтернативную мощность. При запуске генератора ИБП включит режим двойного преобразования до тех пор, пока не исчезнут колебания мощности переменного тока. После этого включается высокая эффективность и линейно-интерактивный режим, когда система стабилизируется. Многорежимная система ИБП уникальна тем, что стремится найти баланс между эффективностью и защитой. Когда система находится в нормальных условиях, появляется максимальная эффективность. Однако, когда эти условия не идеальны, некоторый уровень эффективности снижается в целях защиты. Такой компромисс может дать организациям значительную экономию средств.

Онлайн и офлайн классификации. В основном системы ИБП работают путем преобразования некоторой части мощности переменного тока в мощность постоянного тока для хранения. Всякий раз, когда системам требуется питание, преобразование происходит снова, когда мощность постоянного тока меняется обратно на мощность переменного тока. Работа инвертора объясняет, почему система ИБП может быть отключена или подключена к сети. Автономные системы ИБП дешевле и проще в обслуживании по сравнению с онлайн-системами ИБП, поскольку инвертор обычно отключен.

Однако они менее эффективны в использовании, поскольку при передаче питания от основного источника питания к батарее прерывание питания происходит на несколько миллисекунд. Большинство современного оборудования может легко выдержать такое изменение мощности, но более старое не может и может отключиться во время переключения мощности. Онлайн-система ИБП использует другую технологию и более эффективна, потому что инвертор всегда активен и передает мощность на нагрузку. Следовательно, вне зависимости от того, активна ли основная мощность, есть постоянная подача энергии. Этот постоянный источник энергии исходит от энергии, хранящейся в батареях.

Заключение

Одно из самого главного назначения источника бесперебойного питания – это обеспечение электропитанием компьютерной системы и любого другого оборудования, когда электрическая сеть по каким-либо причинам не может этого сделать. Основываясь на выводах, изложенных в этом документе, мы обнаруживаем, что в современном глобализованном мире растет распространение ИБП из-за растущей зависимости от электроэнергии и растущей важности защиты чувствительного оборудования на рабочем месте. Как правило, системы ИБП используются в различных отраслях для защиты своего оборудования. Эффективное и надежное функционирование компьютеров, центров обработки данных и телекоммуникационных сетей в основном зависит от технологии ИБП, поскольку перебои в подаче электроэнергии могут привести к повреждению оборудования или стандартов предоставления услуг в центрах обслуживания.

Литература

1. Курзуков, Н.И. Аккумуляторы. Краткий справочник / Н.И. Курзуков, В.М. Ягнятинский – М.: За рулем, 2006. – 88 с.
2. Кучеров, Д.П. Блоки питания для ПК и периферии. - СПб.: Наука и технологии, 2005. – 429с.
3. Хрусталева, Д.А. Аккумуляторы / Д.А. Хрусталева - М: Изумруд, 2003. – 224 с.
4. Хрусталева, Д.А. Химические текущие источники / Д.А. Хрусталева, И.Г. Шпак / - Саратов: СГТУ, 2003. - 95 с.
5. Ковалев, В.З. Источники химической энергии / В.З. Ковалев - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. - 66 с.

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ВАКУУМНАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ПОДПИТКИ ТЕПЛОЙ СЕТИ

Е.А. Колесень, Ю.А. Чешун

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

ВЛИЯНИЕ МАЛОРАСХОДНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПТУ

Е.И. Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗА, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ БИОМАССЫ, И ГАЗООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ

П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

ИННОВАЦИИ В СПОСОБАХ ОЧИСТКИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАН

О.Г. Сизоненко, Д.С. Соколов, И.В. Гриневич

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

КОТЛЫ НА ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЕ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.Д. Юрченко

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент

ЛОВУШКА ДЛЯ УГЛЕРОДА

С.В. Король, А.С. Голубь

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫЕ ЗАВОДЫ, КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

В.В. Клюев, А.А. Казак

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ В КОНДЕНСАТОРАХ

С.Е. Маркевич, Е.А. Савенко, Д.А. Хлопкова

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ПЕРЕВОД ТУРБИНЫ Т-45/50-90 НА РАБОТУ ПАРОМ 10 АТА

Р.И. Осташков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗА СЧЁТ ЗАМЕНЫ ПАРООХЛАДИТЕЛЯ

П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ С ВЕЕРНОСТЬЮ В СТУПЕНЯХ ТУРБИН

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА C++ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫДЕЛЯЕМОЙ ТЕПЛОТЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

З.В. Ковганов, Е.В. Таранко

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель, С.И. Ракевич, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Е.И. Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕМБРАН

Г.В. Алимов, П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель, Е.В.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕЗИНФЕКЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

В.Ю. Михалчёнок, К.С. Иванова

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА КОТЛА ТГМП-114

Ю.М. Котько, О.Г. Сизоненко

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

ТЕХНОЛОГИЯ РАСХОЛАЖИВАНИЯ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТА

М.А. Ерёменко, А.А. Стрежик

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Р.И. Осташков, Е.И. Смыкал

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**ЭЛЕКТРОПРИВОДНАЯ АРМАТУРА РАСХОДОМЕРНЫХ ДАТЧИКОВ
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ И ПОСТОЯННОЙ ПРОДУВКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА**

Е.А. Кортаев

Научный руководитель – А.Г. Герасимова, доцент, к.т.н., доцент

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

В.В. Ключев, А.А. Казак

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

А.В. Лесун, В.В. Якимцова

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

УДК 697.34

**ВАКУУМНАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ПОДПИТКИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ
VACUUM DEAERATION OF THE FEEDING
OF THE HEAT SUPPLY NETWORK**

Е.А. Колесень, Ю.А. Чешун

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kolesen, Y. Chashun

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассматриваются способы деаэрации подпиточной воды тепловых сетей закрытых систем теплоснабжения. Показаны преимущества вакуумных деаэраторов в сравнении с атмосферными. Дана гигиеническая оценка вакуумной деаэрации технической воды. Найден требуемый температурный диапазон деаэрации, обеспечивающий требуемые качества воды.

Abstract: Methods of deaeration of make-up water of heating networks of closed heat supply systems are considered. The advantages of vacuum deaerators in comparison with atmospheric ones are shown. A hygienic assessment of the vacuum deaeration of technical water is given. The required deaeration temperature range has been found to ensure the required water quality.

Ключевые слова: деаэрация, вакуумные и атмосферные деаэраторы, техническая вода, вода питьевого качества.

Keywords: deaeration, vacuum and atmospheric deaerators, technical water, drinking water.

Введение

В закрытой системе теплоснабжения для приготовления воды на горячее водоснабжение используются трубчатые секционные теплообменники, во время эксплуатации которых могут возникать неплотности в местах развальцовки трубок или их повреждения. В результате возможно попадание технической воды в нагреваемую воду питьевого качества и ее бактериальное загрязнение. Поэтому для подпитки закрытых систем теплоснабжения допускается использование технической воды, но при условии применения атмосферной деаэрации [1]. Рассмотрим возможность использования вакуумных деаэраторов с этой целью.

Основная часть

Использование на ТЭЦ вакуумных деаэраторов вместо атмосферных обеспечивает снижение издержек из-за значительного повышения экономичности работы электростанций и экономии топлива. Существенно уменьшаются капитальные затраты, поскольку атмосферные деаэраторы по сравнению с вакуумными характеризуются более низкой производительностью.

При переходе от технической воды к воде питьевого качества в несколько раз возрастает стоимость подпиточной воды.

Однако при всей целесообразности применения вакуумных деаэраторов на технической воде при закрытой системе теплоснабжения возможность их использования должна быть обоснована бактериологическими исследованиями качества подпиточной воды в эксплуатационных условиях.

Такие исследования, включающие проверку бактериологического качества воды после вакуумных деаэраторов в подающих и обратных трубопроводах тепловой сети, проводились ВТИ и Российской медицинской академией последипломного образования (РМАПО) на ТЭЦ Мосэнерго [2].

Исследуемые ТЭЦ характеризовались различным качеством исходной воды по бактериологическим показателям для подпитки тепловой сети и наличием на них вакуумных и атмосферных деаэраторов на подпиточной воде.

Приведенные в [3] данные о гибели патогенных микроорганизмов при температуре воды выше 46°C и продолжительности воздействия от нескольких минут до 1 ч не могут быть перенесены непосредственно на условия работы теплообменного оборудования на ТЭЦ (вакуумного деаэрата, сетевого подогревателя и водогрейного котла). Это связано прежде всего с тем, что результаты исследований [3] относились к неподвижной среде.

Отличительной особенностью работы вакуумных деаэраторов, сетевых подогревателей и водогрейных котлов является очень высокий темп подогрева воды в этом оборудовании. По данным расчетов [2] время нагрева движущейся подпиточной и сетевой воды до заданной температуры составляет 1,0–1,5 мин при скорости воды 1,5–2,0 м/с, что в 10–15 раз выше, чем скорость подогрева неподвижной воды в лабораторных условиях в термостате. По-видимому, высокая скорость подогрева в сочетании с движением является своеобразным температурным шоком для патогенных микроорганизмов, способствующим эффективному обеззараживанию воды.

Второй важной особенностью температурного режима тепловой сети является уровень минимальной температуры в прямой линии тепловой сети, которая в весенний, летние и осенний месяцы не бывает ниже 75°C . В остальное время она существенно выше и достигает при наиболее низкой температуре наружного воздуха $130\text{--}150^{\circ}\text{C}$. Наконец, в закрытой системе теплоснабжения расход подпиточной воды в нормальном эксплуатационном режиме составляет 1,5–3,0% расхода сетевой воды [4].

В результате подпиточная вода в 33–66 раз разбавляется сетевой водой и при обратной воде, соответствующей по бактериологическим показателям нормативу на питьевую воду, во столько же раз снижается бактериальная загрязненность смеси подпиточной и сетевой воды.

Температурный режим вакуумной деаэрации подпиточной воды на ТЭЦ может изменяться в довольно широких пределах и зависит от местных условий. Режим вакуумной деаэрации должен обеспечить эффективную дегазацию воды в пределах нормативных требований [5] и поэтому жестко не привязан к температуре подпиточной воды в деаэраторе.

Анализ полученных в [2] результатов показал, что эффект достижения нормативного качества воды (коли-индекс КИ < 3 и общее микробное число ОМЧ < 100) при атмосферной деаэрации достигается во всех случаях. После

вакуумного деаэратора вода по гигиеническому нормативу соответствует только в тех случаях, когда температура воды в деаэраторе была 56–60°C.

Заключение

Таким образом, эффективность обеззараживания воды в деаэраторе зависит только от температуры воды. При температурах от 56 до 104°C достигается полное обеззараживание воды. При более низких температурах вода по гигиеническим показателям не соответствует ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». Влияние температурного фактора на обеззараживание воды прослеживается и в тепловой сети. В тех случаях, когда не достигалось обеззараживание воды в вакуумном деаэраторе, оно заканчивалось в прямом трубопроводе после сетевого подогревателя или водогрейного котла при температуре выше 70°C. В обратных трубопроводах при низких температурах (43–53°C) не были зафиксированы отклонения показателей воды по КИ и ОМЧ по сравнению с нормативными значениями.

Литература

1. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети / Госстрой СССР, – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48 с.
2. Сазонов, Р. П. Гигиеническая оценка применения вакуумной деаэрации в подпиточном тракте тепловой сети закрытых систем теплоснабжения / Р. П. Сазонов, М. М. Гасилина // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 38–41.
3. Инфекционные болезни и эпидемиология: Учебник / В. И. Покровский [и др.]. – 2-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 816 с.
4. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М., 1996. – 288 с.

УДК 621.165

**ВЛИЯНИЕ МАЛОРАСХОДНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОВОЙ
ТУРБИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПТУ
THE EFFECT OF LOW-WASTE STEAM TURBINE OPERATION ON THE
EFFICIENCY AND RELIABILITY OF STEAM TURBINE PLANT**

Е.И Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Smykal, M. Shepelev

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассмотрено влияние малорасходного режима работы турбины на эффективность и надёжность ПТУ, а также современные методы снижения оказываемого негативного влияния. Целью изучения методов является определение достоинств использования, сравнение технико-экономических показателей, а также перспектив использования в будущем.*

***Abstract:** the article reviews the effect of low-waste steam turbine operation on the efficiency and reliability of steam turbine plant, as well as modern methods of reducing the negative impact. The purpose of methods study is to determine the advantages of use, compare technical and economic indicators, as well as prospects for use in the future.*

***Ключевые слова:** ПТУ, СЗО, паровые турбины, малорасходный режим работы, коэффициент полезного действия.*

***Keywords:** steam turbine plant, barrier cooling system, steam turbines, low-waste mode of operation, efficiency factor.*

Введение

Режимы работы паровых турбин, характеризующиеся паропропусками намного меньшими расчётных значений, являются неотъемлемой частью технологического процесса выработки тепловой и электрической энергии на станции. Они имеют место при работе турбин на холостом ходу, на режимах с вентиляционным пропуском пара в часть низкого давления теплофикационных турбин, при работе с номинальными значениями регулируемых отборов, в моторном режиме, применяемом для прохождения провала нагрузок в ночное время суток.

Основная часть

Малорасходный режим работы паровых турбин сопровождается значительным уменьшением не только КПД, но и надёжности работы как ступени, так и турбоагрегата в целом. Особые требования надёжности работы предъявляются к турбинам, имеющих большую мощность и большую длину лопаток последних ступеней. Следствием снижения расхода пара, в случае малорасходного режима работы, проходящего через ступень, является снижение перепада энтальпии на неё. Это видно из зависимости Стодолы (1).

$$P_0 = \sqrt{\frac{D}{D_p} (p_{0p}^2 - p_{2p}^2) + p_2^2}, \quad (1)$$

где p_0 – давление на входе в ступень;

p_2 – давление на выходе из ступени;

D – расход пара через ступень.

В (1) индексом «р» помечены параметры на расчётном режиме, без индекса – на любом текущем режиме работы, отличном от расчётного. Из зависимости Стодолы видно, что даже при неизменном $p_2=p_{2p}$, снижение D , по сравнению с D_p , в любом случае приведёт к снижению теплового перепада H_0 на рассматриваемый отсек. Снижение H_0 , в свою очередь, приведёт к уменьшению скорости потоков пара в проточной части турбины и изменению углов как входа в рабочую решётку (β_1), так и выхода из неё (α_2) (рисунок 1). В конечном итоге, за счёт появления этих изменений, возникают дополнительные потери энергии, связанные с наличием угла атаки $i = \beta_{1p} - \beta_1$. Кроме этого, из-за отклонения направления потока от расчётного за решёткой $\alpha_2 > \alpha_{2p}$ получим значительное увеличение потерь с выходной скоростью c_2 , в сравнении со своим минимальным значением при осевом выходе потока. Наличие отрицательного угла атаки приведёт к существенному изменению характера обтекания профилей рабочей решётки и, соответственно, возникновению тормозящего воздействия на рабочие лопатки. Течение пара в этом сегменте турбоагрегата может перейти из конфузورного в диффузорное, что приведёт к возрастанию давления за рабочей решёткой p_2 по сравнению с давлением перед ней p_1 .

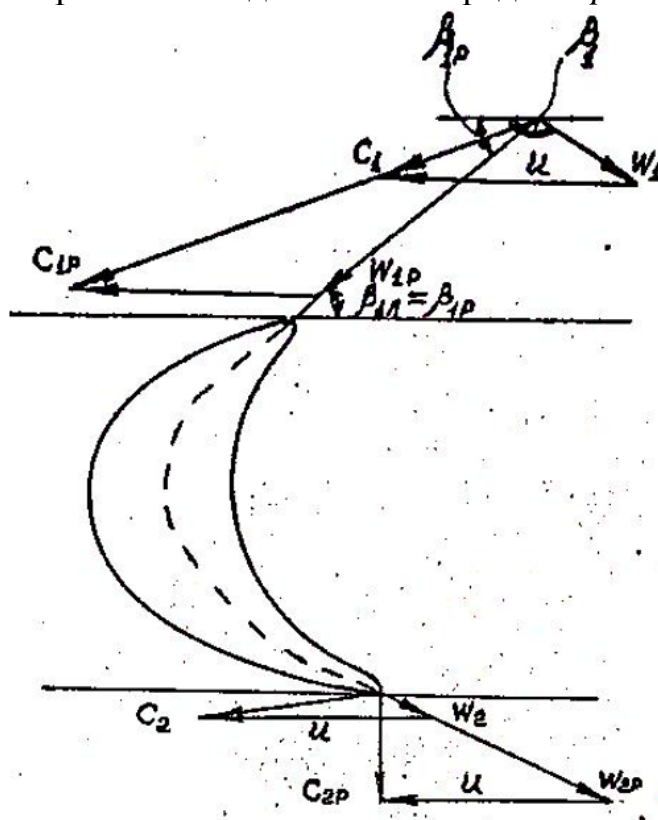


Рисунок 1 – Треугольники скоростей в ступени на расчётном (р) и малорасходном режимах

Рабочие лопатки как в последних ступенях турбоагрегата, так и в ступенях, обладающих большой веерностью, выполняются с увеличивающейся степенью реактивности, изменяющейся от корня к периферии лопатки. В свою очередь, поскольку корневые сечения активного типа лопатки оказываются чувствительней к отклонению режима работы от расчётного, чем периферийные сечения реактивного типа, происходит значительная перестройка потока пара вдоль радиуса. На режимах работы, характеризующихся малым расходом пара, большая часть потока проходит, непосредственно, через периферийную часть ступени, имеющую меньшее сопротивление, чем корневая. В результате дополнительно нарушается режим течения пара в корневых сечениях. Вышеперечисленные изменения приводят к уменьшению расхода пара через корневые сечения до нуля, а иногда и вовсе к отрицательным значениям. Отрицательный расход вызывает эжектирование отработавшего пара в корневые сечения последних ступеней не только из выхлопного патрубка турбины, но и из конденсатора, что приводит к вентиляционному режиму работы корневых сечений (рисунок 2).

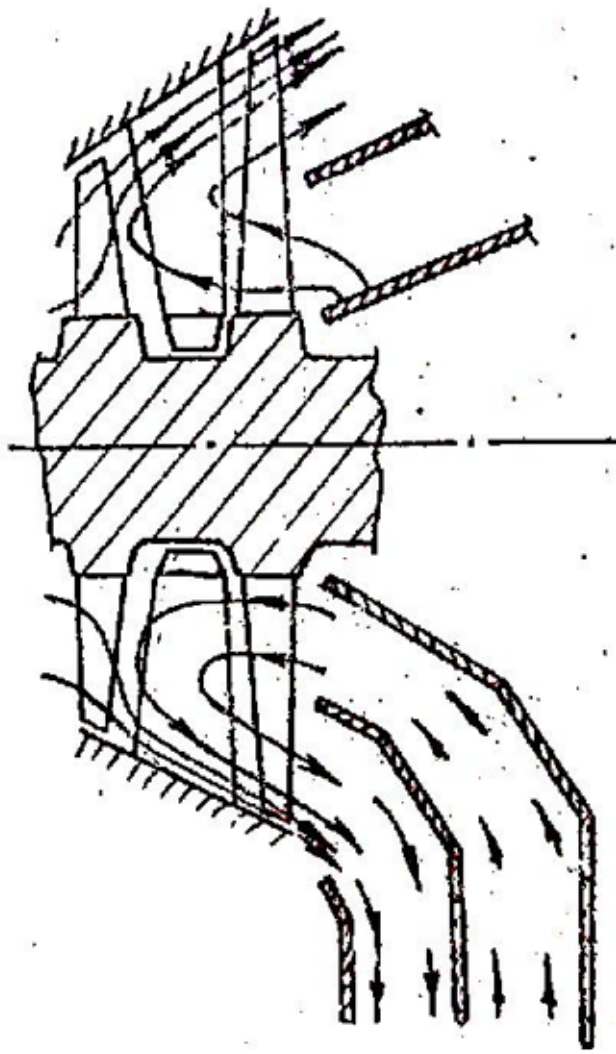


Рисунок 2 – Схема развитого вентиляционного течения в последней ступени на малорасходном режиме работы

Появление отрыва потока пара в последней ступени современных турбин начинается уже при незначительном снижении расхода. В свою очередь, лопатки

с вентиляторным течением не только перестают вырабатывать полезную мощность, но и потребляют её, что приводит к работе корневых сечений с отрицательным КПД, а периферийных сечений – с положительным значением. Результатом вышеизложенного режима работы является постепенное уменьшение коэффициента полезного действия ступени, а при больших снижениях расхода пара – изменение от нулевого значения до отрицательного значения. Кроме того, энтальпия отработавшего пара на выходе из ступени турбины становится выше, чем на входе, а это приводит к повышению температуры перегретого пара (до 200°C и более).

$$\Delta t = \frac{\Delta N}{C_p D_k}, \quad (2)$$

где $C_p \approx 2,1$ кДж/кг – средняя теплоёмкость пар

D_k – расход пара через последнюю ступень.

Из формулы (2) можно рассчитать величину разогрева, если известна величина потребляемой ступенью мощности ΔN .

В современной энергетике активно используют следующий метод решения проблемы температурной и вибрационной надежности последних ступеней ЦНД при работе на малорасходных режимах – внедрение систем заградительного охлаждения ЦНД. Система заградительного охлаждения (СЗО) представляет собой кольцевую струю сверхкритической скорости движения пара охлаждения, находящуюся за рабочими лопатками последних ступеней в корневой зоне, закрученную в сторону вращения вышеуказанных лопаток (рисунок 3).

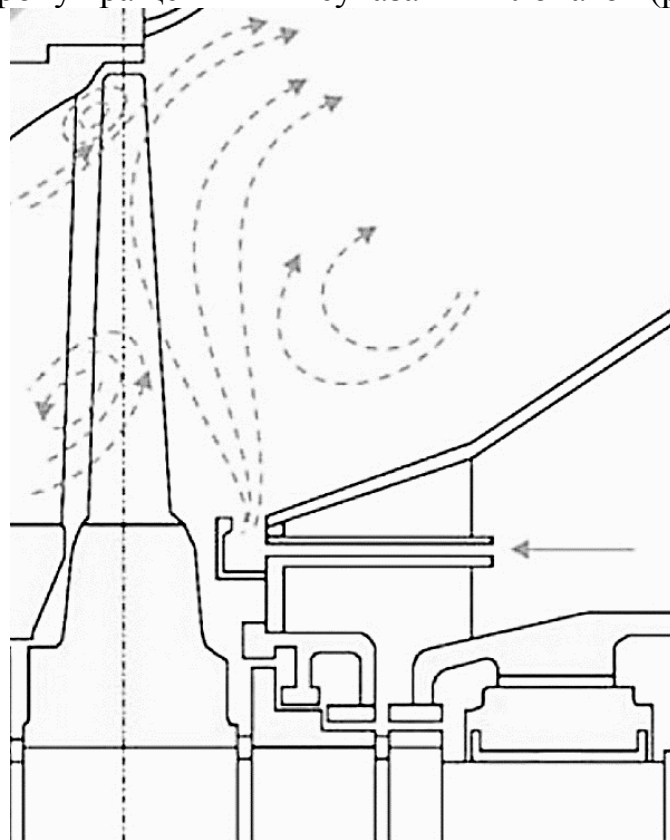


Рисунок 3 – Схема движения паровых потоков в выхлопном патрубке турбины при включении заградительного охлаждения.

СЗО служит для поддержания допустимого расчётного теплового состояния выхлопных патрубков и последних ступеней турбоагрегата, снижения динамических напряжений в лопатках, а также защиты корневых зон рабочих лопаток от эрозии, возникающей за счет эжекции влаги с паром из конденсатора. В настоящее время система заградительного охлаждения установлена на турбинах Т-250/300-240 Минской ТЭЦ-4.

Из многолетних исследований вышеуказанной системы защиты вытекают следующие выводы:

- СЗО снижает до минимума эрозионные нагрузки на выходные кромки последних рабочих лопаток ЦНД, в отличие от других охлаждающих устройств.
- Достигается эффективное охлаждение последних ступеней во время пуска и холостого хода турбоагрегата. Температура снижается с 220°C до 115°C – недостижимый результат для других охлаждающих устройств.
- Повышается надежность и экономическая эффективность работы лопаток последних ступеней при комбинированной выработке энергии.

Окупаемость капитальных вложений при реализации СЗО, при учёте только экономии топлива, составляет два года.

Заключение

Таким образом, малорасходный режим работы паровой турбины является неотъемлемой частью технологического процесса выработки электрической и тепловой энергии на станции. Намного меньший расчётного значения паропропуска в цилиндре низкого давления (ЦНД) турбины ведёт к перечисленным выше негативным последствиям, оказывающим значительное влияние на технико-экономические показатели ПТУ, в связи с чем активно разрабатываются решения по их снижению. Одним из решений проблемы температурной и вибрационной надежности последних ступеней ЦНД является система заградительного охлаждения. Разработанные в последние годы маневренные СЗО, показали высокие показатели экономичности, надежности и безопасности охлаждения последних ступеней ЦНД при длительной эксплуатации на турбинах Т-250/300-240 Минской ТЭЦ-4.

Литература

1. Перельман, Г. Р. Эрозия элементов паровых турбин. / Г. Р. Перельман, В. В. Пряхин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
2. Смоленский, А. Н. Конструкция, прочность и металлы элементов паровых турбин: Учебник для вузов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 352 с.
3. Хаимов, В. А. Охлаждение ЦНД на режимах пуска турбины Т-250/300-240 / В. А. Хаимов, О. Е. Котляр, Б. В. Ломакин [и др.] // Электрические станции. – 1998. – № 2. – С. 16–22.

УДК 662.951.23

**ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗА,
ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ БИОМАССЫ, И ГАЗООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ
GAS BURNERS USED FOR BURNING BIOMASS GAS
AND GASEOUS WASTE**

П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Bolbas, A. Yakovenko

Supervisor – V. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассмотрены новые типы горелок, используемые для сжигания газа.

Abstract: The article discusses new types of burners used for gas combustion.

Ключевые слова: Газовые горелки, биомассы, газообразные отходы, конусообразные горелки, радиальные горелки.

Key words: Gas burn, biomass, gaseous waste, cone-shaped burners, radial burners.

Введение

Использование газовых горелок для сжигания природных (почвенных) газов очень распространено. Среди этих газовых горелок реже встречаются те, которые имеют конусообразный выходной канал (конус с сужением на выходе) для сжатия образующегося пламени. Это сужение полезно для ускорения воздушного потока в зоне впуска топлива. Это усиливает турбулентное перемешивание в корне пламени, усиливая горение. Тем не менее, это может повысить давление воздуха даже при небольшом сужении выходного канала. Это возможно, если интенсивность вихря пламени не снижается из-за потери инерции вращения потока у стенок выходного канала. Однако сужение выходного канала уменьшает диаметр зоны внутреннего выброса на оси вихря пламени и снижает приток горячих газов из топки. Это приводит к снижению надежности воспламенения и сгорания топлива. Сжигание синтетических газов, полученных в результате газификации биомассы или других газов с низкой калорийностью, усугубляет проблему.

Основная часть

Анализ схем горелок и возможных режимов эффективного сжигания газа. Практика показывает, что газовые горелки с конусообразными выходными каналами в некоторых случаях очень эффективны для подавления выбросов оксида азота (NO_x). Лучшие из этих газовых горелок продемонстрировали окончательный компромисс между экологическими характеристиками и эффективностью сжигания различных видов топлива. Компромисс основан на тщательном понимании процессов, которые развиваются в вихре пламени при создании различных уровней дефицита кислорода в отдельных зонах горения. Это требует адекватного понимания турбулентного массообмена в сильно закрученных потоках. Например, горелки некоторых газовых турбин “Сименс”,

которые уже давно представлены на рынке, реализуют сложную схему, которая подразумевает последовательные технологические операции сжигания почвенного газа с различными концентрациями O_2 в пламени. В некоторых случаях они показали самый низкий возможный уровень концентраций NO_x вне турбины ($15-16 \text{ мг/м}^3$) при концентрации CO в газах сгорания не более $5-10 \text{ мг/м}^3$ (эти данные, очевидно, относятся к реальным концентрациям O_2 в выхлопных газах этих турбин).

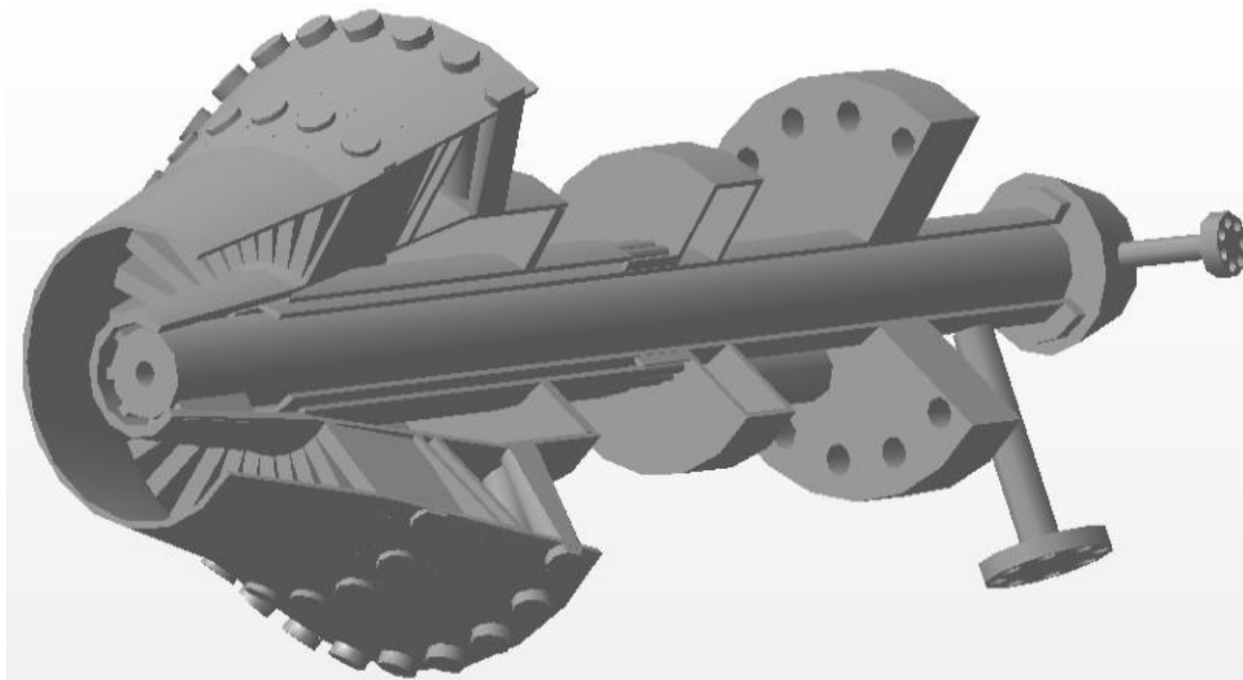


Рисунок 1 – Упрощенная схема горелки газовых турбин "Сименс", используемой для эффективного и экологически безопасного сжигания почвенного газа

Достижения этой схемы предположительно связаны с внедрением последовательных методов формирования вихрей пламени. Топливо сгорает по мере развития вихря на разных стадиях с контролируемым дефицитом кислорода и повышенными концентрациями CO и H_2 . Это управление осуществляется во всем объеме вихря пламени. Различные уровни дефицита кислорода поддерживаются в его зонах и в концентрации промежуточных продуктов сгорания, расположенных в горелках, камерах вне их и даже в канале между лопатками (в проточном канале) ранних ступеней газовой турбины. Хотя тщательный анализ такой схемы сильно затруднен, мы считаем, что ее не следует сводить к контролю диффузии и кинетического горения. Его также не следует сводить к основным схемам двух- и трехступенчатого сгорания. Наиболее адекватный способ взглянуть на эту схему сжигания газа - рассматривать ее как последовательные стадии горения с различным уровнем кислорода недостаток и восполнить его процессами, развивающимися в потоке продуктов сгорания в каналах между лопатками ранних ступеней турбины. Большое количество воздуха, образующегося при охлаждении лопастей, поступает в газовый поток между лопастями. По понятным причинам мы не располагаем данными о расходе охлаждающего воздушного потока лопастей и его соотношении с расходом воздуха, который поступает в различные каналы горелки. Мы предполагаем, что

полное сгорание газов CO и H₂ может завершиться не только в камерах снаружи турбины, но и в каналах между лопатками ранних ступеней турбины. Большую роль в такой технологии играют реакции восстановления NO_x в молекулярный азот (N₂), которые развиваются в чередующихся зонах потока с различной стехиометрией, которые сначала характерны для вихрей пламени горелок, а затем, в потоке, - для ранних стадий турбины. Именно здесь завершаются реакции восстановления NO_x и заканчивается сжигание CO и H₂. Завершение сгорания может произойти при более высоких, но не экстремальных температурах, повышая тепловую эффективность и мощность турбины. В этом случае может быть реализовано оптимальное сочетание подавления выбросов NO_x и полного сгорания топлива и промежуточных продуктов сгорания. Гипотеза о дополнительном снижении содержания NO_x в проточном канале турбины соответствует данным, приведенным в работах проф. П. Рослякова [1]. Эти данные свидетельствуют о том, что сжигание топлива сводит к минимуму образование так называемых “термических” и “быстрых” NO_x, особенно если процесс развивается чуть ниже стехиометрии. В этом случае влияние температуры горения на образование NO_x значительно уменьшается. Полное сгорание CO и H₂ между лопатками турбины произойдет одновременно с дополнительным уменьшением NO_x, которые образовались ранее, а также тех NO_x, которые образуются в процессе сгорания CO и H₂.

Технология радиальной струйной продувки. Газовые горелки с конусообразными выходными каналами, которые имеют более упрощенные схемы (рисунок 2), используются в котлах ПК-47 одной из российских электростанций и показывают отличные результаты. После 1982 года некоторые горелки были реконструированы в соответствии с новым проектом. До этого инженеры установили горелки с коническими выходами, которые были разработаны Центральным институтом котлов и турбин в шахматном расположении по бокам камер сгорания. Горелки имели тепловую мощность около 70-73 МВт, что должно было повысить температурное напряжение и температуру горения в их длинных вихрях пламени. Это, в свою очередь, должно было увеличить выбросы NO_x. Эксплуатация этих горелок с шахматным расположением показала противоположные результаты. Эти горелки позже были усовершенствованы с минимальными изменениями в конструкции. Конструкция была основана на результатах исследования нового метода управления интенсивностью вихря пламени и структурой интенсивно закрученных потоков (вихрей) [2]. Это доказало уникальный потенциал стабилизации воспламенения и управления горением топлива в вихрях пламени. В то же время ряд горелок доказал возможность управления интенсивностью вихрей пламени. Новая технология более надежна и менее затратна, чем установка распределителя выходного потока, даже слегка скрученного. На это не влияет конструкция оборудования или закручивания воздушного потока в горелках или потока в центральной зоне – на оси вихря.

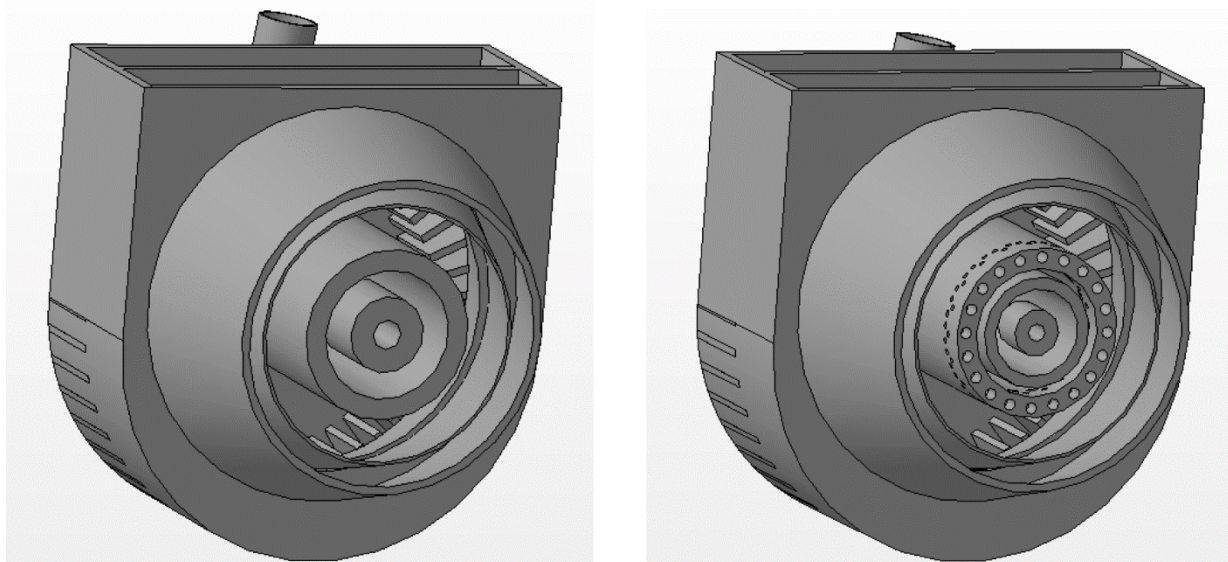


Рисунок 2 – Упрощенные схемы горелок котлов ПК 47

Благодаря этим переработанным горелкам (рисунок 2) после 1983 года концентрация NO_x за пределами топки снизилась до 100-120 мг/м³ при сжигании почвенных газов. Концентрация CO была снижена до 20-30 мг/м³. Концентрация NO_x дополнительно снизилась в два-три раза, когда котлы ПК-47 снизили нагрузку. Одной из уникальных особенностей этих схем, используемых в котлах ПК-47, было создание восстановительной атмосферы, которая заполняла почти весь объем топки с различным уровнем дефицита кислорода в разных зонах камеры. В то же время вторичная циркуляция газа в камере и поступающий через стенки воздух обеспечивали полное и свободное от сажи сгорание восстановительной атмосферы. При постоянной нагрузке содержание кислорода в газовых трубах, вне пароперегревателей, составляло не более 0,3-0,4 процента от общего объема.

Заключение

Описываемые горелки могут облегчить проблему полного сжигания смол вместе с газами в искривленном пламени на небольших энергетических установках мощностью 0,2-10 МВт. Первая попытка сжигания некоторых газов в прототипах этих горелок показала, что они способны практически полностью сжигать углеводороды. Экспериментально доказано, что можно сжигать синтетические газы в длинном пламени при температуре ниже 1000 °С или сжигать аэрозольные частицы смолы, генерируемые газом, или их пары вместе с ними без заметного повышения температуры горения.

Литература

1. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б. В. Яковлев. – М. : Новости теплоснабжения, 2008. – 488 с.
2. Лисиенко, В. Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: в 3 т. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2003. – Т. 2. – 221 с.

УДК 628.16.067.1

**ИННОВАЦИИ В СПОСОБАХ ОЧИСТКИ
ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАН
INNOVATIONS IN METHODS OF CLEANING
OF RETURN-OBSERVATION MEMBRANES**

О.Г. Сизоненко, Д.С. Соколов, И.В. Гриневич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
O. Sizonenko, D. Sokolov, I. Grinevich
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Рассмотрены известные на данный момент способы очистки обратноосмотических мембран от различных загрязнений. Более подробно затронуты исследования, проводимые для изучения всех достоинств и недостатков инновационного метода очистки – ультразвукового.*

***Abstract:** The currently known methods of cleaning reverse osmotic membranes from various contaminants are considered. The research conducted to study all the advantages and disadvantages of the innovative method of ultrasonic cleaning is discussed in more detail.*

***Ключевые слова:** мембрана, обратный осмос, ультразвук, фильтрация, очистка.*

***Keywords:** membrane, reverse osmosis, ultrasound, filtration, purification.*

Введение

Узкие поры обратноосмотических мембран эффективно адсорбируют из воды большую часть органических и неорганических примесей, а также микроорганизмов. Постепенно мембрана забивается взвешенными частицами, осадком из нерастворимых веществ. Это приводит к понижению производительности и селективности. Скорость загрязнения можно замедлить, для этого, перед подачей в мембранный аппарат, разделяемые растворы подвергают предварительной обработке: проводят коагуляцию с последующим осаждением, фильтруют на песчаном фильтре. Далее на микрофильтре подкисляют раствор, чтобы предотвратить выпадение солей жёсткости и так далее.

Однако, со временем, всё же появляется необходимость в очистке мембран от загрязнений. Используют разные методы очистки. Их разделяют на четыре группы: механические, гидродинамические, химические и физические.

Основная часть

Наиболее простым методом является механическая очистка. Метод заключается в непосредственном механическом воздействии на поверхность мембраны губкой, мыльной шваброй и т.п. Этот способ довольно эффективен, однако применяется только в некоторых аппаратах с плоскопараллельной укладкой мембран, а также в аппаратах с трубчатыми мембранами.

Аналогичным способом очищают поверхности мембран в лабораторных ячейках с мешалками.

Гидродинамические способы очистки связаны с промывкой водой или реагентами частей мембран и включают в себя: промывку напорного канала сильной струей воды, промывку напорного канала пульсирующим потоком, промывку газожидкостной эмульсией, обратную промывку пермеатом и способ резкого сброса давления.

На практике, наибольшее распространение получил способ, заключающийся в промывке напорного канала модулей сильной струей воды. Это самый простой среди всех гидродинамических способов очистки. Через мембранные аппараты разделяемый раствор, в виде промывочной воды, с большой скоростью и низким давлением прокачивается через мембранные аппараты. Чем выше скорость, тем эффективнее очистка. Единственное ограничение – это допустимый перепад давлений для модуля, из-за гидравлического сопротивления он может стать чрезмерно большим.

При подаче в напорный клапан пульсирующего потока, возникают гидравлические удары, которые вызывают отслаивание осадков от мембраны. Способ применяют только в аппаратах обратного осмоса определенной конструкции, где мембрана, подложка и опора, противостоящая давлению, прочно связаны друг с другом и образуют единое целое. Если конструкция будет другой, то мембрана очень быстро выйдет из строя и потребуются её замена.

При подаче в напорный канал газожидкостной эмульсии, эффективность очистки мембраны будет выше, чем при промывке сильной струей, однако данный метод редко задействуется на практике, так как сложнее в организации и дороже.

При обратной промывке, пермеат подается насосом под мембрану, где проходит через нее в направлении, противоположном направлению потока при фильтрации, и поступает в напорный канал. В следствии чего осадки, перекрывающие поры на мембране, отслаиваются, и удаляются загрязнения из самих пор мембраны. Этот способ также применяется в конструкциях, где мембрана, подложка и опора образуют единое целое.

В способе, заключающемся в резком сбросе давления, мембрана при резком понижении давления расширяется и в то же время возникает осмотический поток со стороны пермеата, который приводит к отслаиванию загрязнений от мембраны. Далее в напорный канал подается сильный поток воды, сопровождающийся резким сбросом давления, который и вымывает все загрязнения.

Гидродинамические методы очистки проще и дешевле по сравнению с химическими. Но с их помощью удастся удалить только концентрационный поляризационный слой, который не связан с мембраной.

Химические методы очистки мембран дороже, так как большими затратами на химические реагенты и образованием сточных вод. Также химические методы приводят к значительному уменьшению срока службы мембран с невысокой стойкостью к химическим реагентам. Однако, несмотря на это, химические методы применяются чаще всего, так как часто остаются

единственными эффективными. Для того чтобы метод работал эффективно, необходима оснащение промывочной системой установки обратного осмоса, в результате чего усложняется технологический процесс и сильно повышаются в стоимости установки.

Физические методы очистки не смогли выйти за рамки лабораторных исследований. Основой метода является использование магнитных, ультразвуковых и электрических полей для воздействия на мембрану. Такая очистка позволила бы использовать мембранный аппарат без его остановки, что невозможно при других методах очистки.

На данный момент наиболее перспективным методом удаления загрязнений с обратноосмотических мембран, является метод, использующий механические колебания ультразвукового диапазона – известные как ультразвуковые (УЗ) колебания. Основное физическое явление, которое лежит в основе воздействия ультразвука, является кавитация, то есть образование, рост и сжатие пузырьков в жидкости. Такие пузырьки или полости образуются ультразвуковыми волнами, которые проходят через среду в серии чередующихся циклов сжатия и расширения. В жидкости начинается образование горячих точек, где температура и давление газа в полости повышаются до чрезвычайно высоких значений из-за расширения и коллапса пузырьков в местах зарождения внутри жидкости. Ультразвук создаёт турбулентность вблизи поверхности мембраны и отделяет частицы под действием кавитационных пузырьков. Характеристики пузырьков, которые образуются внутри системы, имеют важное значение в оценке эффективности применения ультразвука. Отделение частиц может сильно снизить общее сопротивление потоку через мембрану, что приведёт к повышению производительности фильтрации. Рассмотрим основные положения, на которых основывались исследования ультразвукового способа очистки загрязнений по типовой номенклатуре [1, 2].

Ультразвук - это звуковая (акустическая) волна, распространяющаяся с частотой более 20 кГц, что превышает нормальный диапазон человеческого слуха. Ультразвук обладает исключительными химическими и физическими свойствами, в отличие от слышимого диапазона звука, передавая высокую механическую мощность через небольшие механические движения. Для обработки и промышленной очистки зачастую используют диапазон ультразвуковых частот от 20 до 500 кГц.

УЗ-колебания эффективно себя показывают в процессах, в которых реагенты находятся в жидком состоянии, т.к. именно в жидкостях протекает такой специфический процесс как УЗ-кавитация, который обеспечивает максимальные энергетические воздействия на вещества. В зависимости от параметров УЗ-колебаний, их воздействие на жидкие реагенты может ускорить растворение, дегазацию, обезжиривание, пропитку, измельчение; предотвратить образование накипи, химические и электрохимические реакции, эрозию.

Относительно небольшое количество исследований было посвящено использованию ультразвука для устранения или предотвращения загрязнения мембран.

В представленном исследовании ультразвук использовался для очистки мембраны обратного осмоса на основе полиамида, загрязненной как органическими, так и неорганическими загрязнителями. Во всех испытаниях использовалась дистиллированная вода. Экспериментальная установка показана на рисунке 1. Ультразвуковая очистка в режиме реального времени использовалась для удаления загрязнений с мембраны обратного осмоса на основе полиамида во время фильтрации растворов $CaSO_4$, Fe^{3+} и карбоксилцеллюлозы. В каждом случае поток проникающего вещества мембраны значительно увеличивался, при этом практически не уменьшалось отторжение в присутствии ультразвука.

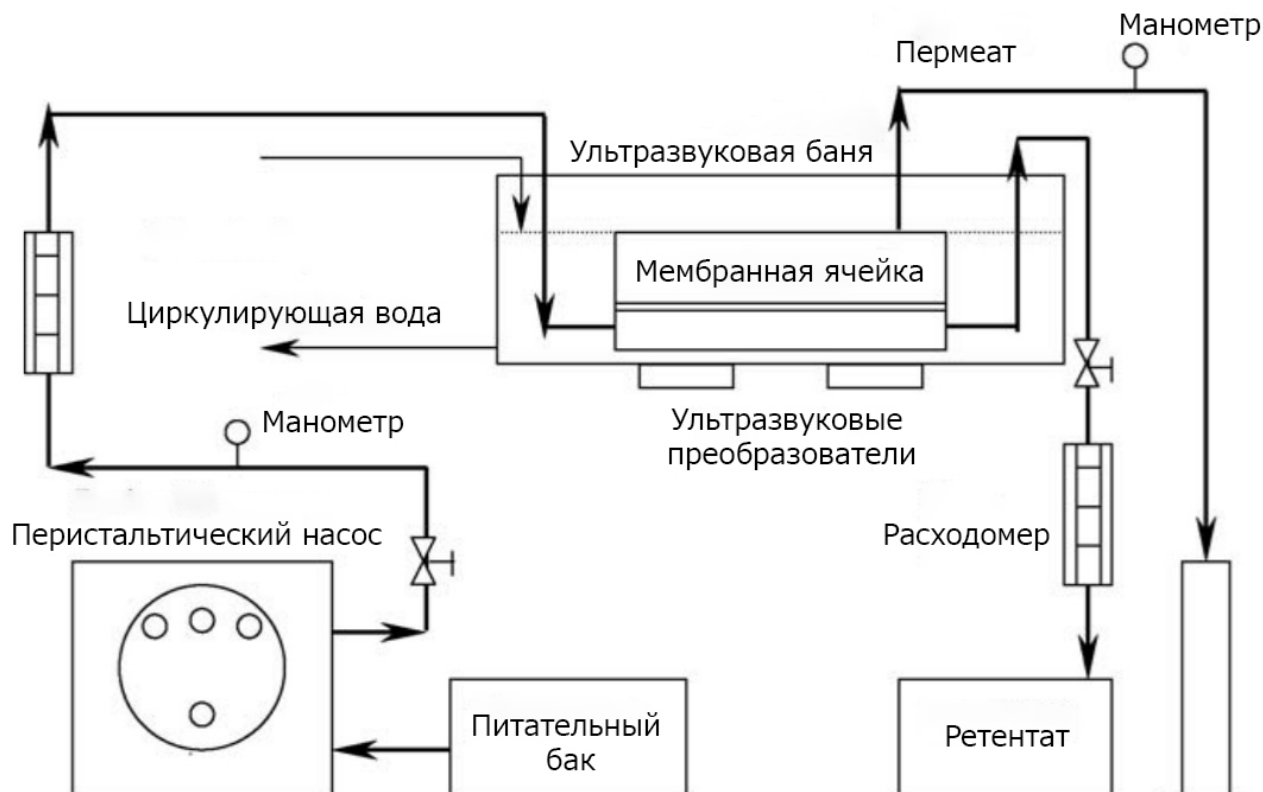


Рисунок 1 – Принципиальная схема мембранной фильтрации в ультразвуковой ванне

Мембрану помещали в блок фильтрации с поперечным потоком, который погружали в ультразвуковую ванну с водой (30 см × 24 см × 20 см). Ванна была способна генерировать ультразвук с частотой 20 кГц и интенсивностью мощности 2,8 Вт/см². Эффективная площадь мембранной фильтрации составляла 14 см × 4 см. Температура растворов в питательном баке поддерживалась на уровне 20 °С с точностью до ±1 °С. В ходе экспериментов скорость потока растворов и рабочее давление поддерживались на уровне около 5 мл/мин и 100 кПа соответственно. Все мембраны были вырезаны из одного листа мембраны для всех экспериментов по фильтрации на одних и тех же типах растворов. Все мембраны были погружены в дистиллированную воду на 24 часа перед экспериментами по фильтрации.

Ультразвуковая очистка, в режиме реального времени, мембран обратного осмоса на основе полиамида, использованных в этом исследовании, привела к значительному увеличению пропускной способности практически без потерь

при отбраковке. В среднем пропускная способность увеличилась примерно на 50,8 % для раствора CaSO_4 в дозе 500 мг/л и примерно 69,7 % для 1000 мг/л раствора CaSO_4 в течение 3 ч фильтрации в присутствии ультразвука. Аналогично, пропускная способность увеличилась примерно на 215 % для раствора FeCl_3 с 20 мг/л Fe^{3+} в течение 3 ч фильтрации в присутствии ультразвука. Исследования поверхностей мембран с использованием электронного микроскопа показали, что ультразвук может эффективно удалять как неорганические загрязнения CaSO_4 , так и гидроксид железа (III), и органические загрязнения на поверхности мембраны.

Однако, хотя исследования показали эффективность ультразвука как метода улучшения очистки мембран и потока, практическое применение ультразвука в процессах разделения, зависящих от мембраны, все еще сталкивается с рядом серьезных проблем. Одна из таких проблем связана с повреждением мембраны. При воздействии ультразвука мембраны могут стать уязвимыми для повреждения из-за интенсивного кавитационного коллапсирования, зависящего от мощности, частоты и времени облучения ультразвуком. В ряде исследований были предложены примеры потери целостности мембраны и повреждения мембраны, вследствие воздействия ультразвука. Интенсивность ультразвуковой мощности должна быть тщательно скоординирована, чтобы свести к минимуму потребление энергии и возможное повреждение мембраны. Количество исследований, посвященных исключительно повреждению мембран, вызванному ультразвуком, относительно невелико. Существует нехватка исследований мембранных материалов, которые могли бы обеспечить широкий диапазон потенциальных сопротивлений повреждению, наносимым ультразвуковой обработкой. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования для надлежащей оценки воздействия ультразвука на целостность мембран, состоящих из разнообразных материалов.

Еще одна ключевая проблема, которую необходимо решить, связана с индустриализацией мембранного процесса с помощью ультразвука. Подавляющее большинство всех исследований, по применению ультразвука для очистки мембран и улучшения потока, были проведены с помощью лабораторных установок с поперечным потоком. Несмотря на большое количество таких ультразвуковых исследований, эффективное коммерческое применение ультразвуковой технологии требует дальнейших углубленных тематических исследований, с использованием крупномасштабного мембранного процесса, однако в настоящее время они недоступны. Необходимо провести новые исследования, касающиеся актуальности ультразвука для очистки полномасштабных мембранных модулей. В научно-исследовательском сообществе существует общее мнение о том, что ультразвук является весьма обнадеживающим методом очистки мембран и улучшения потока, однако экономическая ценность и возможность промышленного применения по-прежнему являются проблемами, которые необходимо решить. В зависимости от реальных условий эксплуатации, требования к мощности ультразвука могут быть настолько высокими, что ограничат его применимость в промышленных масштабах. В настоящее время не проводилось исследований по конкретным

экономическим аспектам процессов ультразвуковой или мембранной очистки. Таким образом, экономическая целесообразность ультразвуковой очистки мембран и улучшения потока требует срочного реагирования. Точный источник ультразвука также создает еще одну проблему, когда речь заходит об эффективном применении ультразвука в крупномасштабных мембранных процессах.

Заключение

В результате исследований в области технологий, ультразвуковые преобразователи приобретают все большее значение. Дополнительная экспериментальная работа необходима для изучения эффективности ультразвука в процессах улучшения потока и промывки, для различных типов мембранных модулей. Большинство исследований было сосредоточено на плоских листовых мембранах, но лишь небольшое количество исследований посвящено спирально намотанным или полым волоконным мембранам, для которых применение ультразвука является гораздо более трудоемким из-за конфигурации мембраны.

Литература

1. Ладыгин К.В. Очистка загрязнений на обратноосмотических мембранах с использованием ультразвуковых волн / К.В. Ладыгин // Вести газовой науки. – 2017. – Спецвыпуск № 1. – С. 125–130.
2. Qasim M., et al. The use of ultrasound to mitigate membrane fouling in desalination and 960 water treatment / M. Qasim // Desalination. – 2018. – № 443. – P. 143–164.

УДК 621.1854.89

**КОТЛЫ НА ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЕ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ****WOOD CHIP BOILERS IN THE WOODWORKING INDUSTRY**

М.Д. Юрченко

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Yurchenko

Supervisor – N.V. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Проводится переработка древесных отходов в щепы, для снижения отходов. Предлагается автоматизированная система, регулирующая работу установки, подачу и поддержание температуры заданных показателей. Замена котлов, которые используют ископаемое топливо.*

***Annotation:** We are processing wood waste into chips to reduce waste. An automated system is proposed that regulates the operation of the installation, the supply and maintenance of the temperature of the specified indicators. Replacing boilers that use fossil fuels.*

***Ключевые слова:** котел, щепы, автоматизация, дешевое топливо, эффективность.*

***Key words:** boiler, wood chips, automation, cheap fuel, efficiency.*

Введение

Котел – это комплекс устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии теплоносителю за счет сжигания топлива, при преобразовании электрической энергии в тепловую.

Одним из видов топлива является древесина, без которой не обходится постройка домов, изготовление резных скульптур, постилка полов и возведение кровли. Начиная со стадии ее заготовки, образуется большое количество древесных отходов (ветви деревьев, опилки, обрезки, пни и др.), которые необходимо перерабатывать в щепы, чтобы снизить их количество [1].

Щепа – мелкофракционное топливо. Щепа, насыпанная толстым слоем в котел, создает так называемую «пробку» над зоной горения. Благодаря такой «пробке» дым практически не проникает в помещение при открытии двери котла.

Алгоритм работы котла на щепе:

- Включаем электронику
- Даем разогреться тонкому слою сухого топлива
- Заполняем всю камеру топливом

Основная часть

Котлы на древесных отработанных материалах работают по такому же принципу, как котлы на ископаемом топливе. Автоматизированная система регулирует работу установки, подачу и поддержание температуры заданных

показателей. Технологический автоматизированный характер дает большое преимущество перед традиционными котлами, которые используются на сжиженном нефтяном газу, электрическом отоплении и масле, при этом сохраняя высокий уровень комфорта. Котлы на древесной щепе грамотнее использовать на крупных промышленных предприятиях, где добавочная экономия топлива компенсирует капитальные затраты на обслуживание традиционных котлов, а так же подачу ископаемого топлива для них [2].

Некоторые универсальные котлы могут сжигать и другие древесные материалы. В регионах Республики Беларусь древесная промышленность занимает весомую долю в производстве и торговле. Исходя из этого, можно сказать, что топлива для данных типов котлов достаточно для обеспечения собственных нужд предприятия, а также вблизи лежащих коммерческих и государственных предприятий. Котел на древесной щепе представлен на рисунке 1.

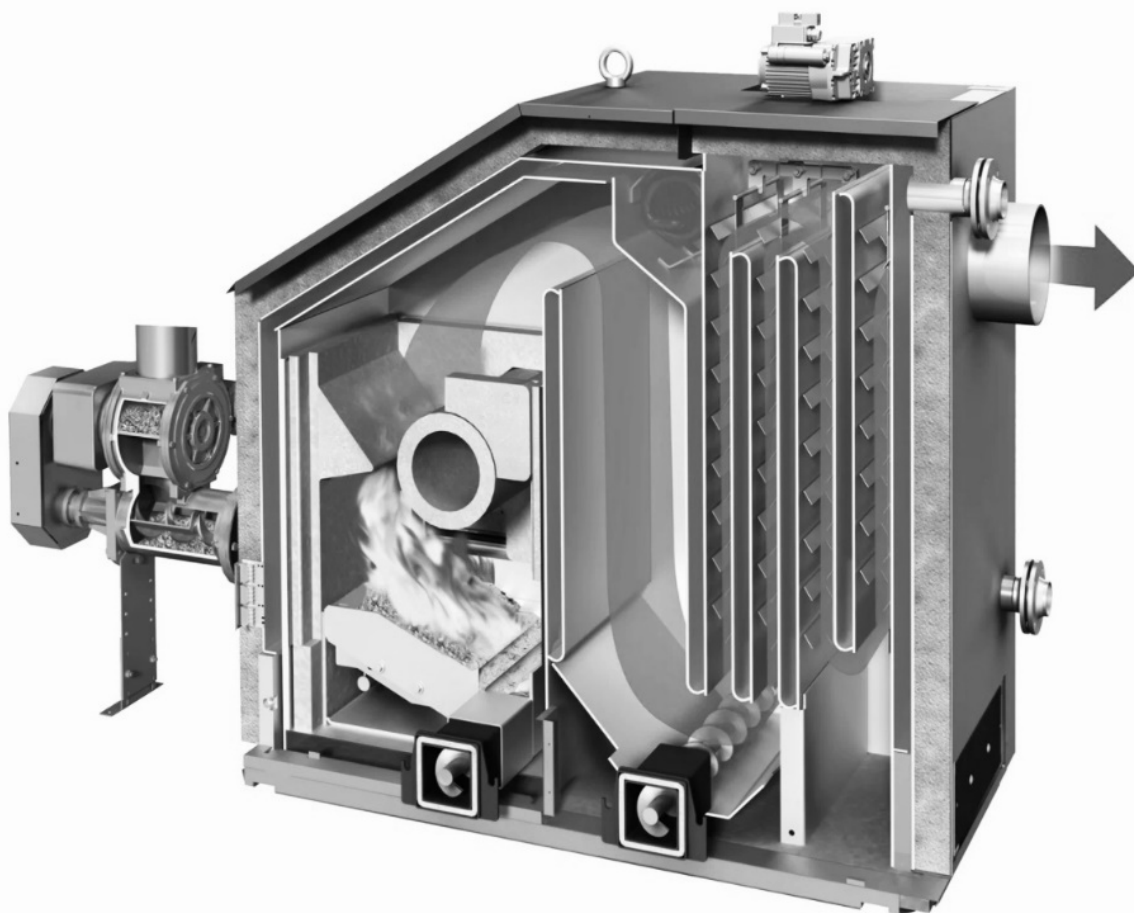


Рисунок 1 – Котел на древесной щепе

Преимущества котла:

- Автоматизированные системы управления
- Автоматическое разжигание и очистка
- Автоматизированная система компенсации погодных условий
- Сжигание на древесной щепе экономичнее, чем на древесных гранулах
- Может использовать отработанный древесный материал
- Контроллеры, которые обеспечивают эффективность до 93%

- Длительные эксплуатационные показатели
- Эффективность работы буферных баков или аккумуляторов тепла

Явным преимуществом данного котла является автоматическое управление горением. Системы считывают и преобразовывают сигналы о погодных условиях в местах установки датчиков, тем самым агрегат подбирает более приемлемую температуру для отапливаемых помещений. Схема котла BRICK XS показана на рисунке 2 [3].

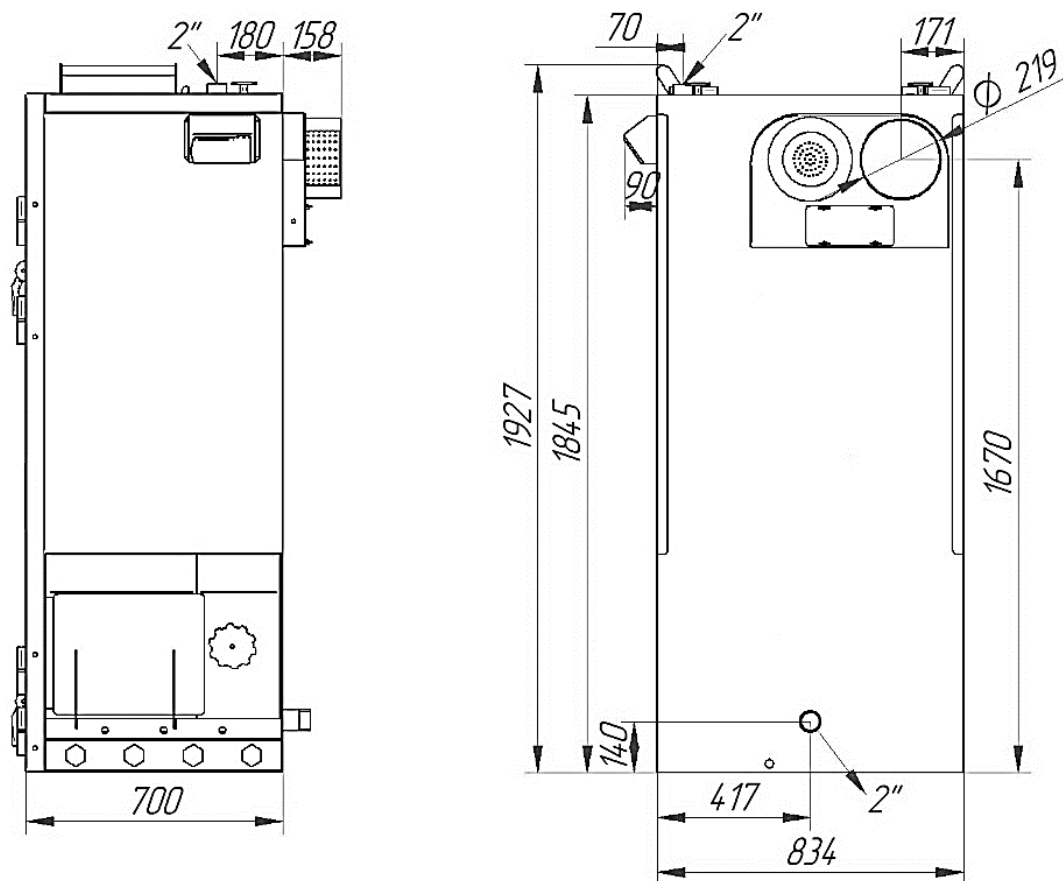


Рисунок 2 – BRICK XS

Последние модели котлов оснащены специальными датчиками, которые обеспечивают подачу и регулирование первичного и вторичного потока воздуха. Эта возможность обеспечивает максимальную эффективность и экономию твердого топлива. Контроллер обеспечивает правильные пропорции топлива, первичного и вторичного потока воздуха на всех этапах горения. Этот факт позволяет превысить значение коэффициента полезного действия более чем девяноста процентов.

На этапе хранения требуются большие объемы топлива для котлов на древесной щепе, в отличие от системы на древесных гранулах эквивалентного размера. Запасы топлива должны обеспечить бесперебойную работу котла в автономном режиме как минимум на месяц вперед, при условии минимального значения температуры в используемом регионе.

Именно буферные резервуары имеют большое значение для эффективной работы котлов на биомассе, в случаях, когда потребность тепла опускается ниже минимальной допустимой производительности котла (до 28%). Не всегда есть

возможность поддержания базовой нагрузки, в таких случаях необходимо использовать буферные резервуары. Этим будет исключена возможность аварийной ситуации, снижения эффективности и увеличение электроэнергии.

Автоматический котел, конечно же, должен в себя включать систему пожаротушения, которая расположена между корпусом котла и бункером. Система пожаротушения представляет собой обычную канистру, которая идёт на термпатрон с центром отдачи, и клапан, который при повышении температуры в шнеке открывает поток воды, с помощью которой заливается очаг горения в корпус шнека.

Котлы BRICK могут работать на щепе в 100% объеме, их можно загружать сырой щепой (влажностью 50%). Бытовой котел BRICK XS работает на щепе влажностью 10-35%, структурная схема представлена на рисунке 2. Чем меньше влажность топлива, тем больше кВт мы получим в систему, а при увеличении мощности котла время горения уменьшается.

Заключение

Котлы на древесной щепе являются достойной заменой несовременных, морально устаревших котлов, которые используют ископаемое топливо. Как явное преимущество, можно выделить высокий КПД, дешевое топливо, автономность и современность.

Автоматизация позволяет поддерживать температуру в отапливаемом помещении без регулирования рабочим персоналом.

Новейшая релейная защита не допустит работы котла в аварийном режиме. Исходя из этого, можно сказать, что программируемое оборудование для котлов выше своих предшественников.

Литература

1. Вавилов, А. В. Топочные брикеты: получение и использование: топливные древесные брикеты / А. В. Вавилов // Энергоэффективность. – 2013. – №3. – С. 32–33.
2. Работа котла на щепе [Электронный ресурс] / котел на щепе. – Режим доступа: <https://rcycle.net/drevesina/shhepa/primenenie/kotel-na-drevesnyh-othodah-dlitelnogo-goreniya>. – Дата доступа: 18.10.2021.
3. Древесная щепа [Электронный ресурс] / щепа. – Режим доступа: <https://www.bmpa.ru/drevesnaya-shchepa-othody-ili-cennyu-produkt>. – Дата доступа: 18.10.2021.

УДК 620.9

ЛОВУШКА ДЛЯ УГЛЕРОДА CARBON TRAP

С.В. Король, А.С. Голубь

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Korol, A. Holub

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: технология улавливания CO_2 как способ снижения выбросов в окружающую среду.

Abstract: carbon captures technology as a way to reduce emissions into the environment.

Ключевые слова: диоксид углерода, выбросы, улавливание, транспортировка, хранение.

Keywords: carbon dioxide, emissions, capture, transportation, storage.

Введение

Мазут, уголь и газ извлекаются из Земли для того, чтобы обеспечить мир энергией. При сжигании этого ископаемого топлива и высвобождении его энергии происходит больше всего техногенных выбросов диоксида углерода (CO_2) (рисунок 1) самого распространенного парникового газа в атмосфере Земли после водяного пара.

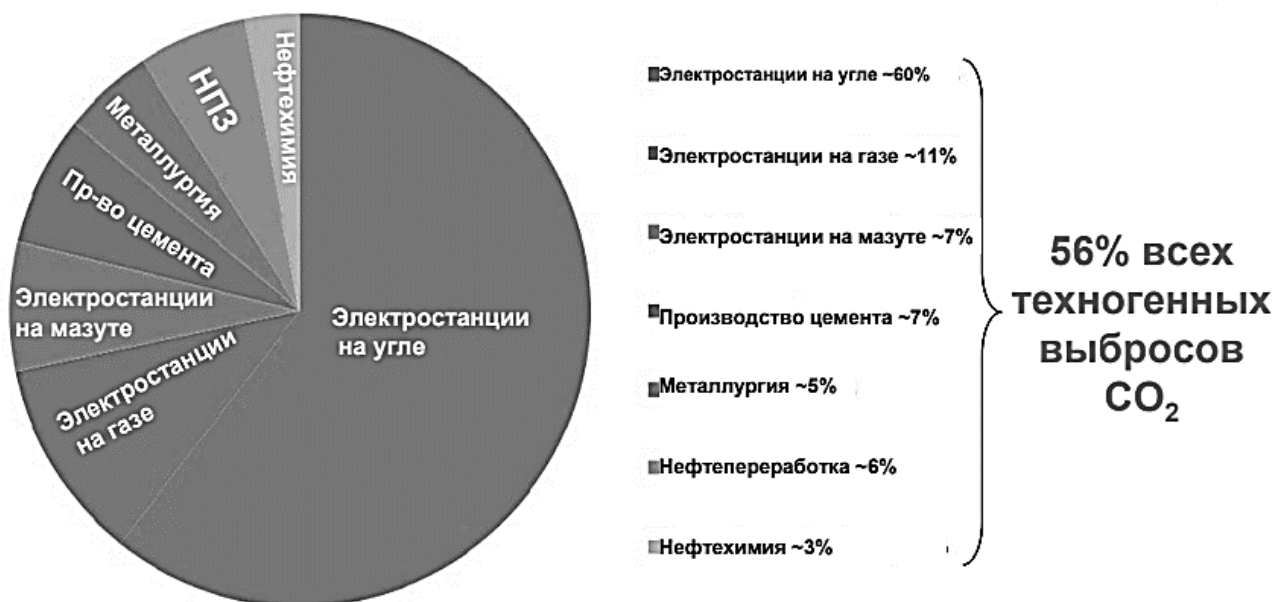


Рисунок 1 – Процент техногенных выбросов углерода

Согласно климатическим моделям, общее потепление на планете всего на $2^\circ C$ повлечёт за собой серьёзные последствия, что может быть достигнуто примерно при концентрации углекислого газа, равной $0,045\%$. По подсчётам Международного энергетического агентства масса углерода, которую нужно

сжечь, чтобы достичь критического порога, – это около 1 триллиона тонн (или 3,6 триллиона тонн CO_2). Исходя из этого, можно сделать вывод, что люди истратили уже половину дозволенного лимита и триллионную тонну могут сжечь в течение 20–30 лет. И если человечество будет бездействовать, к 2050 году на планете будет выделяться 57 гигатонн CO_2 в год.

Стабилизация климата требует снижения глобальных выбросов CO_2 на 50% к 2050. Использование технологии улавливания и хранения углекислого газа способно снизить выделения диоксида углерода на 20% и является существенным вкладом в решение глобальной проблемы [2].

Основная часть

Улавливание и хранение углерода (англ. Carbon capture and storage, или CCS) – это процесс прямого улавливания и отделения углекислого газа (CO_2) от промышленных и энергетических источников. Его основная цель заключается в создании концентрированного потока CO_2 высокого давления, его транспортировки по трубопроводам или судами к месту хранения, изолируя его от попадания в атмосферу, тем самым, уменьшая дальнейшее негативное воздействие избыточных парниковых газов.

На данный момент существует 3 пути для улавливания и хранения углерода в точечных источниках, т.е. на электростанциях: улавливание перед сжиганием, улавливание после сжигания и сжигание с обогащенным кислородом топливом.

В каждом процессе используются совершенно разные методы для снижения количества выбросов CO_2 , образующегося при сжигании ископаемого топлива, но при этом каждый из них должен включать в себя три основных этапа: улавливание, транспортировка и хранение углерода [3].

Наиболее распространенным является улавливание углерода после сжигания. Его суть заключается в отделении двуоксида углерода от других компонентов дымового газа, выходящего из котла. Это становится возможным благодаря следующим основным способам:

- улавливание на основе растворителя, где CO_2 сначала абсорбируется раствором амина, а затем происходит нагрев абсорбирующей жидкости или сброс давления в ней, вследствие чего углекислый газ высвобождается из этой жидкости. Далее происходит его сжатие и охлаждение для последующей транспортировки и хранения;
- улавливание на основе твердого сорбента, который включает физическую или химическую адсорбцию газа. После чего твердый сорбент отделяется от CO_2 путем уменьшения давления или повышения температуры;
- улавливание мембранами CO_2 , когда дымовой газ сначала охлаждается и сжимается, затем подается через мембраны, которые физически отделяют CO_2 от других составляющих дымового газа.

В системах улавливания до сжигания топливо реагирует с потоком, насыщенным воздухом или кислородом (O_2), образуя синтез-газ, из которого CO_2 удаляется с помощью тех же методов, как и в улавливании после сжигания. Происходит разделение смеси на газовый поток CO_2 и поток водорода.

Во время сжигания кислородного топлива сначала удаляется азот из воздуха, после чего остается практически чистый кислород. Именно он используется для сжигания топлива. В этом случае дымовой газ состоит в большинстве своем из водяного пара и углекислого газа, который удаляется теми же методами, как и в случае улавливания после сжигания.

Благодаря этим технологиям становится возможным уловить порядка 85–95% CO_2 . После улавливания CO_2 в виде криогенной жидкости под давлением (для избегания выбросов в атмосферу и безопасного хранения) необходимо транспортировать к месту постоянного хранения для подземной закачки. Лучше всего для этого использовать трубопроводы, но в случае небольших объемов подойдут и различные виды грузового транспорта.

Опираясь на исследования Министерства энергетики США, можно сделать вывод о том, что наиболее безопасными, устойчивыми и доступными местами хранения CO_2 являются угольные пласты, залежи нефти и природного газа, базальтовые образования, соляные образования и сланцы, водоносный горизонт (рисунок 2) [1].

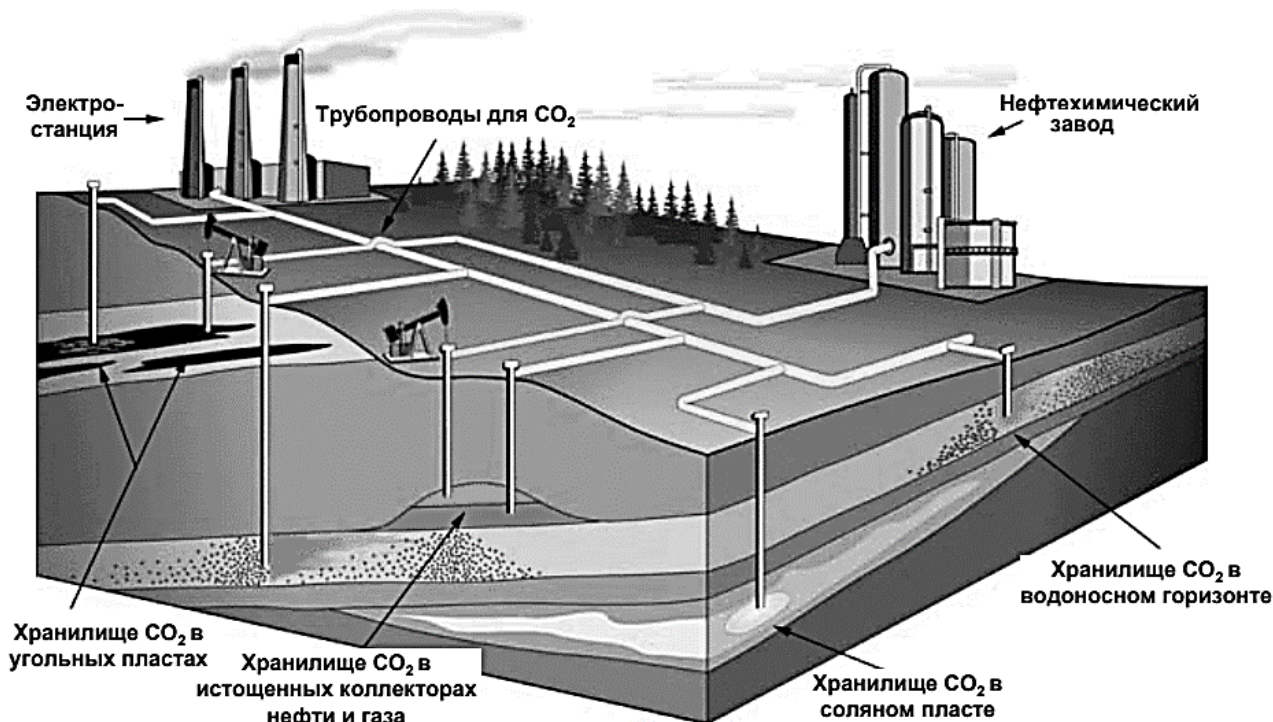


Рисунок 2 – Места хранения углерода

CO_2 закачивается через глубокую трубу на несколько километров ниже поверхности земли, где он оказывается захваченным в слоях породы и не может оказывать вредного воздействия на окружающую среду, т.к. различные физические и геохимические улавливающие механизмы не позволяют ему выйти на поверхность.

Плюсами использования технологии CCS являются:

- технологии могут снизить выбросы CO_2 от электростанций, работающих на ископаемом топливе, на 80–90% (по оценкам Агентства по охране окружающей среды США) [3];
- большая эффективность, чем при прямом захвате воздуха;

- как побочный продукт происходит удаление не только CO_2 , но и оксидов азота, серы и других тяжелых металлов.
- К минусам относятся:
- стоимость внедрения отделения, транспортировки и хранения углекислого газа;
- большой вред для окружающей среды в случае утечки CO_2 из хранилища.

Заключение

Технология CCS будет актуальна до тех пор, пока все производство не станет углероднейтральным. На сегодняшний день человечество не может полностью отказаться от производства CO_2 , но с помощью разработки новых технологий может внести существенный вклад в сокращение выбросов углекислого газа. Данная технология позволяет использовать существующую энергетическую инфраструктуру с гораздо меньшим вредом для окружающей среды. Специалисты Международного энергетического агентства сошлись во мнении, что к 2050 году доля углекислого газа, устраняемого с помощью технологии улавливания углерода, должна составлять 1/5 от общего объема снижения выбросов.

Литература

1. Best Available Technology [Электронный ресурс]/ best available technology. – Режим доступа: <https://aebrus.ru/upload/iblock/4ab/4ab6540c0371af467-e429ac892c68a30.pdf/>. – Дата доступа: 16.10.2021.
2. Технология улавливания и геологического хранения углерода [Электронный ресурс]/ технология улавливания и геологического хранения углерода. – Режим доступа: <https://helion-ltd.ru/tehnologiya-ulavlivaniya-i-geologicheskogo-hraneniya-uglekislogo-gaza/>. – Дата доступа: 16.10.2021.
3. CCS: что это, плюсы и минусы [Электронный ресурс]/ CCS: что это, плюсы и минусы. – Режим доступа: <https://znanie-svet.ru/ulavlivaniye-i-khraneniye-ugleroda/>. – Дата доступа: 16.10.2021.

УДК 621.311

**МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫЕ ЗАВОДЫ, КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ
WASTE-TO-ENERGY FACILITY**

В.В. Ключев, А.А. Казак

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Kluev, A. Kazak

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Тема мусоросжигательных является актуальной и постоянно обсуждается в мировом сообществе. Существует множество примеров реализации таких заводов в странах партнерах Республики Беларусь. Мусоросжигательные заводы рассматриваются как инструмент по улучшению экологии и преобразованию мусорных отходов ведения быта человеком в энергию. Однако мировое сообщество имеет не однозначное мнение на этот счет, публикуя исследования на тему выбросов продуктов горения в атмосферу и препятствию создания циклической системы производства и потребления. В данной статье рассматривают положительные и негативные стороны мусоросжигательных заводов и перспективы применения зарубежного опыта в Белорусских реалиях.

Annotation: The topic of waste-to-Energy facility one of the most relevant and disputed at world community. There are many examples of realizing of the same factories all over the world and at countries-partners of Belarus. Waste-to-Energy facility is look like the tool to improving ecology and transformation waste to heat and electricity energy. At the world community, a lot of different thinks about waste-to-Energy. There are many researches about emissions after combustion process. In this, article overview positive and negative sides of waste-to-Energy facility and possibilities to kipping world experience into the Republic of Belarus.

Ключевые слова: Мусоросжигательные заводы, диоксины, мусор, отходы, экология.

Key words: Waste-to-Energy facility, dioxins, waste, emissions, ecology.

Введение

Мусоросжигательные заводы – это предприятия по переработке потребительского мусора и отходов промышленности. Данные предприятия нацелены на две основные функции: решение экологической проблемы и производство электрической и тепловой энергии. В данный момент можно наблюдать большое количество заводов по переработки мусора по всему миру. Порядка шести заводов, которые заберут на себя теплофикационную планируется разместить и в Москве.

В Беларуси озабоченность избытками отходов и ростом бытовых свалок приводит к строительству перерабатывающих комбинатов. Однако первый мусоросжигательный завод планируют построить только к 2023 году. Вопросы о

том, смогут ли подобные заводы решить возложенные на них задачи по переработке мусора и выработке энергии остаются открытыми.

Основная часть

Со стороны энергетики в Республике Беларусь мусор сжигающие заводы представляют большой интерес. На данный момент для отопления населенных пунктов повсеместно используются ТЭЦ, работающие на сжигании природного газа, мазуте или сжигании древесной щепы. Вопрос по уходу от закупки природного газа и продуктов нефтепромышленности приводит к поиску аналогов. По сравнению с привычными источниками энергии, мусор при сжигании выделяет значительно меньшее количество тепла, однако компенсируя с лихвой этот недостаток своей низкой стоимостью. Стоимость мусора состоит исключительно из логистических и сортировочных затрат. А при субсидировании развития этой отрасли государством, экономятся средства на содержании мусорных свалок и иных методах утилизации.

По конструкции и оборудованию мусоросжигательные заводы крайне схоже с конструкцией ТЭС. Хорошим примером для рассмотрения является Шведский мусоросжигательный завод-ТЭС “Waste-to-Energy Facility in Burleng” (рисунок 1).

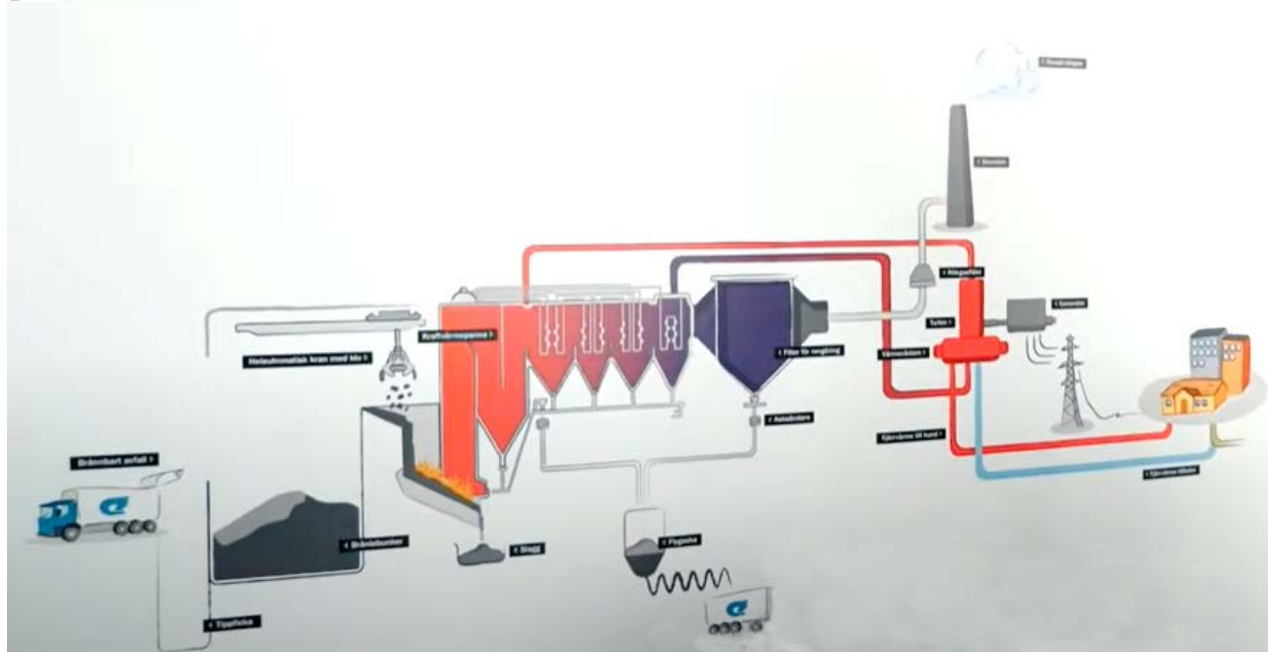


Рисунок 1 – Завод в Швеции “Waste-to-Energy Facility in Burleng”

Привезенный мусор сбрасывается в бункер-накопитель, откуда подается в топку котла, предварительно разогретого до 900 °С. Пар, подается в турбогенератор для дальнейшей выработки электроэнергии, а также отбирается для отопительных целей. Завод в Бурленге использует для собственных нужд только 10% от произведенной энергии. Избытками электроэнергии снабжают городские электросети. По технологии один килограмм мусора должен гореть не менее двух секунд при температуре более 850 °С. Нарушение температурного режима горения бытового мусора приводит к образованию диоксинов, полихлорпроизводных дибензодиоксина. Диоксины являются крайне опасными веществами. Легко накапливаясь в человеке, обладают мощным мутагенным и

канцерогенным эффектом. Образуюсь при процессе горения пластика под воздействием температуры от 200 °С до 700 °С, вызывают загрязнение среды, а период полураспада составляет 10 лет. Немаловажным фактором будет являться отсутствие простых технологий измерения диоксинов в выбрасываемых в атмосферу газов. Дело в том, что система контроля за выбросами представлена в виде ряда датчиков газоанализаторов, передающих сигнал в регулирующий орган. А для измерения количества диоксинов требуется экспертиза, стоимость которой составляет порядка полутора тысяч долларов. Поэтому содержания диоксинов просто не меряют.

Как отмечено ранее, при сжигании мусора выделяется значительно меньше энергии, по сравнению с другими не альтернативными источниками топлива. Для получения одинакового количества тепла масса сожженного бытового мусора будет более чем в два раза превышать массу угля.

Для полноценного функционирования необходимо наладить сортировку отходов. Деревянные отходы, бумажные изделия и картон отправляются в качестве втор сырья или используются для первичного горения в топке при пуске котла для вывода его на рабочую температуру. Черные и драгоценные металлы тоже подлежат предварительному отделению от общей массы и отправляются на вторичную переработку. Стекло и стекольной лом не представляет ценности при горении, поэтому должен быть отделен от общей массы. Необходимо учитывать и наличие запрещенных для сжигания отходов. К таким относятся батарейки, люминесцентные лампы, аккумуляторы и др. Для решения этой проблемы вводится отдельный сбор мусора, позволяющий отсортировать отходы по разным категориям. Для избежание попадания в топку нежелательных или опасных видов отходов является ключевой задачей сортирующей инфраструктуры. Техническую реализацию защиты от попадания таких отходов представляют в виде конвейера, проходящего через магнитные, оптические и механические сепараторы. Так же существует штат сотрудников, которые вручную отсортировывают поступающие бытовые отходы. Некачественная сортировка ведет к запеканию нежелательных для горения отходов, образованию шлаков и увеличению выбрасываемой золы.

Мусоросжигательные заводы зачастую рассматривают как безотходное производство возобновляемой энергии. Данная фраза часто звучит из презентаций строительной организации “Ростех”, занимающейся строительством мусоросжигательных заводов в Москве и Московской области по программе “Энергия из отходов”. Данное утверждение является неверным по ряду причин. Основным тип отходом подверженным сжиганию является пластик. Определение возобновляемого источника говорит о возобновлении источника за период жизни человека. Пластик – продукт, получаемый из нефтепродуктов и газа, что не является возобновляемыми источниками. Безотходность мусоросжигательных заводов тоже является исключительно маркетинговым ходом. После сжигания отходов образуется шлак, составляющий около 10% от исходного объёма сжигаемого мусора. Шлак относится к пятому классу опасности и подлежит захоронению. Стоит отметить, что существуют технологии переработки шлака. Шлаком называют оплавленную золу с

остатками стекла и металла, попавшего в топку в результате некачественной сортировки. Шлак разделяют на элементы, золу отправляют на дожег и разлагают на диоксид углерода и воду, а стекло и металл отправляют на переработку. Данная технология является дорогой, поэтому используется далеко не повсеместно. Так же выделяется 3-5% летучих зол которые относятся к третьему классу опасности. Для предотвращения выброса зол в атмосферу устанавливаются фильтры и золоуловители. К положительным моментам можно отнести возможности использования золы для вторичной переработки. Зола используется для производства строительных материалов по технологии “Carbon8”. Так же стоит отметить, что мусоросжигательные заводу противоречат созданию циклической системы производства и потребления.

Компания “Ростех” считает, что в среднем, мусоросжигательный завод способен перерабатывать 700 тыс. тонн мусора в год, снабжая при этом электричеством и тепловой энергией город с населением в 100 тыс. человек. А выработка электричества может составлять порядка 500 млн кВт/ч. Анализируя мировую практику, с учетом размещения мусор сжигающих заводов в непосредственной близости с жилыми кварталами, следует придерживаться ряда выделенных правил. Во-первых, давление воздуха в бункере-накопителе и по всему маршруту бытового мусора должно быть ниже уличного. В таком случае неприятный запах газы гниения отходов не будут распространяться, ухудшая экологию и комфортность жизни людей в ближайших кварталах. Во-вторых, необходим контроль за температурой в бункере-накопителе. Не редки воспламенения мусора в бункерах, поэтому предусматриваются баки с водой, автоматически выливающиеся в бункер-накопитель при достижении температуры критической отметки. Для котлов, как говорилось ранее, необходимо соблюдать корректный режим горения свыше 1000 °С. Для своих мусоросжигательных заводов “Ростех” производит сжигание не понижая температуру ниже 1280 °С. Высокие температуры позволяют так же перерабатывать небольшое количество нежелательных отходов, случайно попавших в топку. Единично попавшие в топку пальчиковые батарейки не нанесут большого ущерба, как и металлический лом, который будет удален вместе со шлаком.

Заключение

Проецируя зарубежный опыт на Беларусь, можно отметить высокие потенциалы строительства мусоросжигательных заводов. Полезность заводов улучшается с повышением теплофикационной нагрузки и снижением выработки электроэнергии. А в момент просадка потребления в ночной период возможен и полный отказ от производства собственной электроэнергии даже на собственные нужды в пользу потребления избытков. Сравнивая с Шведскими аналогичными заводами следует отметить потенциал высокой окупаемости. Централизованная система отопления позволяет окупаться мусоросжигательным заводам за сроки менее пяти лет. Однако необходимо учитывать создание инфраструктуры. Необходимо регулировать выброс бытовых отходов, увеличивать количество сортировочных контейнеров и

затрачивать средства на идеологическую работу с населением на тему раздельного сбора мусора.

Литература

1. Ефимова, М. Шведский путь отходов / М. Ефимова. – 2020 : Новая Газета, 2020. – 10 с.
2. "Ростех", Энергия из отходов: новейшие технологии против мусора / "Ростех". – 20 : rostec.ru, 2019. – 5 с.
3. Литвинова, А. Насколько безопасно горение и плавление пластика различных видов? / А. Литвинова. – 2014 : <https://nature-time.ru>, 2014. – 6 с.
4. К 2023 году в Минске собираются построить мусоросжигательный завод / Onliner. – 2020 : onliner.by, 2020. – 2 с.

УДК 628.5

**ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ В КОНДЕНСАТОРАХ
FORMATIONS OF DEPOSITS IN CONDENSER**

С.Е. Маркевич, Е.А. Савенко, Д.А. Хлопкова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
S. Markevich, E. Savenko, D. Khlopkova
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье рассматривается важность очистки трубок конденсатора от отложений и коррозии, а также описывается механический метод очистки и сравнение материалов труб.*

***Abstract:** this article discusses the importance of removing deposits and corrosion from condenser tubes, describes the mechanical cleaning method and a comparison of tube materials.*

***Ключевые слова:** очистка, отложения, коррозия, конденсатор, загрязнения.*

***Keywords:** cleaning, deposits, corrosion, condenser, pollution.*

Введение

Очистка и техническое обслуживание трубок конденсатора напрямую влияют на производительность и эффективность производства электроэнергии. Процесс очистки конденсатора тщательно удаляет отложения, увеличивает мощность и теплопередачу, а также снижает вероятность выхода из строя труб из-за загрязнения и коррозии.

Основная часть

Загрязнение происходит из-за различных отложений в трубках конденсатора, которые образуются из-за различных органических примесей, присутствующих в источниках вод, используемых электростанциями. Существует ряд различных возможных отложений на трубках конденсатора, которые неизбежно накапливаются и снижают способность теплопередачи, что в конечном итоге приводит к коррозии труб и преждевременным их выходам из строя.

По мере загрязнения труб конденсатора отложениями тепло передается неэффективно, процесс охлаждения нарушается и происходит заметное снижение производительности агрегата. Кроме того, в трубках конденсатора может возникать коррозия под отложениями, поскольку осаждаемый материал вызывает повреждение стенки труб. Нарушение или протечка труб могут вызвать повреждение других элементов агрегата.

Загрязнения, которые накапливаются и повреждают трубки конденсатора с течением времени, варьируются от мягких до твердых и часто зависят от источника охлаждающей воды.

Загрязнение твердыми частицами – процесс оседания примесей из источников воды на поверхности труб конденсатора. Отложения в виде твердых

частиц, которые вызывают повреждение трубок конденсатора и прилегающих компонентов, являются результатом условий низкого расхода в конденсаторе.

Не все трубки конденсатора одинаковы. Некоторые более подвержены загрязнению в зависимости от их материала. Тремя наиболее распространенными материалами, используемыми для труб конденсатора электростанций, являются медь, нержавеющая сталь и титан.

- Медные конденсаторные трубки склонны к образованию оксидных отложений, которые нарушают теплопередачу.
- Трубы из нержавеющей стали являются высокопроизводительными трубами, самым важным фактором при их обслуживании является очистка.
- Титановые конденсаторные трубки – более новое явление в производстве конденсаторов. Титан обладает хорошими характеристиками теплопередачи, трубки не подвержены коррозии.

К сожалению, электростанции сталкиваются с серьезными экономическими последствиями, когда происходит загрязнение труб конденсатора и ухудшаются рабочие характеристики труб. Повышенное противодавление турбины, увеличенная тепловая мощность агрегата, увеличенные потери в охлаждающую воду, повышенный уровень CO₂ и увеличенные выбросы NO_x могут привести к резким потерям в производительности агрегата.

Загрязнение, которое вызывает выход из строя трубы, также может привести к повреждению другого оборудования агрегата из-за попадания загрязняющих веществ в конденсат. В таком случае необходимо проводить диагностику для определения характера и серьезности условий загрязнения трубок. После того как будут получены результаты анализа, следующим шагом станет очистка трубок.

Существует четыре подхода к первичной очистке загрязненных труб, один из которых механическая очистка.

Механическая очистка производится вручную либо с помощью механических устройств. Такая очистка труб конденсатора обычно применима в большинстве ситуаций, поскольку она быстрая, эффективная, очень безопасная и простая в использовании. Что наиболее важно, она улучшает теплопередачу и обеспечивает защиту от коррозии под отложениями. После очистки труб поток воды будет восстановлен, и конденсатор вернется в первоначальное состояние.

Следующим подходом является химическая очистка конденсаторов. Суть химической очистки – обработка отложений специальными растворами. Данный метод очистки трубок конденсатора заключается в следующем: при взаимодействии с отложениями кислоты в процессе промывки растворяют их, преобразуя труднорастворимые соли в растворимые. Наиболее эффективными методами очистки являются те, которые сочетают в себе высокую скорость растворения отложений с наименьшей коррозией материалов.

В результате химической очистки возникают экономические затраты, связанные с утилизацией использованных химических реагентов, а также серьезные экологические проблемы. При использовании химикатов

используется большой объем воды для вымывания этих веществ из трубки, которая удаляет остаточные отложения.

Заключение

Увеличение надежности конденсаторов достигается путем поддержания чистоты внутренней поверхности трубок, использования коррозионностойких металлов, проверки состояния трубной системы и ее усовершенствования.

Литература

1. Загрязнение конденсаторов и способы их очистки [Электронный ресурс]/ загрязнение конденсаторов и способы их очистки: <https://msd.com.ua/ekspluataciya-paroturbinnux-ustanovok/zagryaznenie-kondensatorov-i-sposoby-ix-ochistki/>. – Дата доступа: 09.10.2021.
2. Способы очистки конденсаторных труб от отложений [Электронный ресурс]/ способы очистки конденсаторных труб от отложений: https://studbooks.net/1423952/tovarovedenie/sposoby_ochistki_kondensatornyh_trub_otlozheniy. – Дата доступа: 09.10.2021.

УДК 621.18-182.2

ПЕРЕВОД ТУРБИНЫ Т-45/50-90 НА РАБОТУ ПАРОМ 10 АТА
SHIFTING OF T-45/50-90 TURBINE TO OPERATION
WITH STEAM 10 АТА

Р.И. Осташков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

R. Ostashkov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье рассматривается перевод турбин Т-45/50-90 Светлогорской ТЭЦ на режим работы паром 10 ата.

Abstract: The article deals with transfer T-45/50-90 turbines of the Svetlogorsk CHPP to the 10 ata steam operation mode.

Ключевые слова: Светлогорская ТЭЦ, тепловая схема, турбина, реконструкция.

Key words: Svetlogorsk CHPP, thermal scheme, turbine, reconstruction.

Введение

Тепловые нагрузки Светлогорской ТЭЦ до модернизации тепловой схемы обеспечивались турбиной ПТ-60/75-130. При проведении ремонта турбины ПТ-60/75-130 включалась в работу турбина Р-50-130-1ПР1. В отопительный и межотопительный периоды при полном сжигании попутного нефтяного газа из-за существенных колебаний графика тепловых нагрузок в турбине Р-50-130-1ПР1 вырабатывалось больше пара, чем нужно для потребления, – не менее 320 т/ч. Учитывая вышеизложенное, было предложено провести изменение тепловой схемы ТЭЦ и турбин Т-45/50-90, чтобы обеспечить возможность их работы на излишках пара, сбрасываемых из турбины Р-50-130-1ПР1.

Основная часть

Установленные на станции конденсационные одноцилиндровые турбины ВК-50-3 были модернизированы в 1974 по проекту Харьковского филиала Центрального конструкторского бюро с целью организации регулируемого теплофикационного отбора пара давлением 1,2–2,5 ата, после чего они были модернизированы в турбины Т-45/50-90, имеющие следующие расчетные параметры пара:

- $P_0 = 90$ ата;
- $t_0 = 535$ °С.

Давление в конденсаторе:

- средnezимнее $P_{к\text{зим}} = 0,043$ ата;
- среднелетнее $P_{к\text{лет}} = 0,062$ ата.

Максимальный расход пара на турбину $D_0 = 220$ т/ч.

Максимальный расход пара в отопительный отбор $D_T = 150$ т/ч.

Конструктивно турбина Т-45/50-90 представляет собой одноцилиндровый агрегат, проточная часть высокого давления которого до регулируемого отбора состоит из одновенечной регулирующей ступени и 17 ступеней давления. Часть низкого давления состоит из одновенечной регулирующей ступени и 2 ступеней давления.

Схема регенерации турбоустановки состоит из трех ПВД, питающихся паром нерегулируемых отборов турбины соответственно за 11-й, 9-й и 6-й ступенями, деаэратора 6 ата, питающегося из нерегулируемого отбора за 11-й или 9-й ступенью в зависимости от нагрузки, четырех ПНД, питающихся паром из отборов турбины за 21-й, 20-й, 18-й, 15-й ступенями.

Для обеспечения возможности работы турбин Т-45/50-90 на излишках пара с параметрами 10 ата и 210 °С, сбрасываемых из турбины Р-50-130-1ПР1 при ее работе взамен турбины ПТ-60/75-130, была проведена комплексная реконструкция как самих турбин, так и их тепловых схем.

В конструкцию цилиндров и роторов турбин были внесены следующие изменения [1]:

- удалены регулирующие клапаны с кулачковым приводом, подвижная часть сервомотора части высокого давления, перепускные трубы части высокого давления, сегменты сопел и частично сопловые коробки, к которым привариваются новые перепускные трубы;
- удалены обоймы диафрагм 2–11-й ступеней с диафрагмами 2–12-й ступеней (диафрагма 12-й ступени подлежит хранению на случай восстановления в работе 12-й ступени);
- установлены заглушки на патрубки нерегулируемых отборов турбины на ПВД;
- срезаны диски рабочих колес 2–11-й ступеней;
- срезаны по корневому диаметру рабочие лопатки 1–12-й ступеней;
- произведена динамическая балансировка ротора;
- выполнена модернизация переднего концевое уплотнения;
- выполнена модернизация системы автоматического регулирования.

В ходе реконструкции в тепловую схему турбин были внесены следующие изменения [2]:

- выполнен монтаж трубопровода Ду 500 подачи на турбину рабочего пара давлением 10 ата с врезкой в трубопроводы низкой стороны РОУ-100/10 после расходомерных устройств с установкой стопорного и регулирующего клапанов, байпасного и дренажных трубопроводов с необходимой запорной арматурой;
- смонтированы перепускные трубопроводы Ду 250 от регулирующего клапана до турбины с дренажами Ду 20 на существующий расширитель дренажей;
- выполнен отсос пара из штоков стопорного и регулирующего клапанов двумя трубопроводами Ду 20, объединенными затем трубопроводом Ду 32 и далее общим трубопроводом Ду 50 в трубопровод теплофикационного отбора между цилиндром;
- трубопровод Ду 100 отсоса пара из первой камеры переднего концевое

уплотнения, ранее направленный в трубопровод нерегулируемого отбора пара на ПВД, и направлен в трубопровод теплофикационного отбора между цилиндром турбины и обратным клапаном;

- из отглушенных патрубков на ПВД проложены дренажные трубопроводы до существующего расширителя дренажей с установкой запорной и защитной арматуры.
- выполнено объединение в единую схему турбины Р-50-130-1ПР1 и реконструированных Т-45/50-90.

Схема реконструкции турбин Т-45/50-90 для работы на излишках пара 10 ата, сбрасываемых из турбины Р-50-130-1ПР1, приведена на рисунке 1.

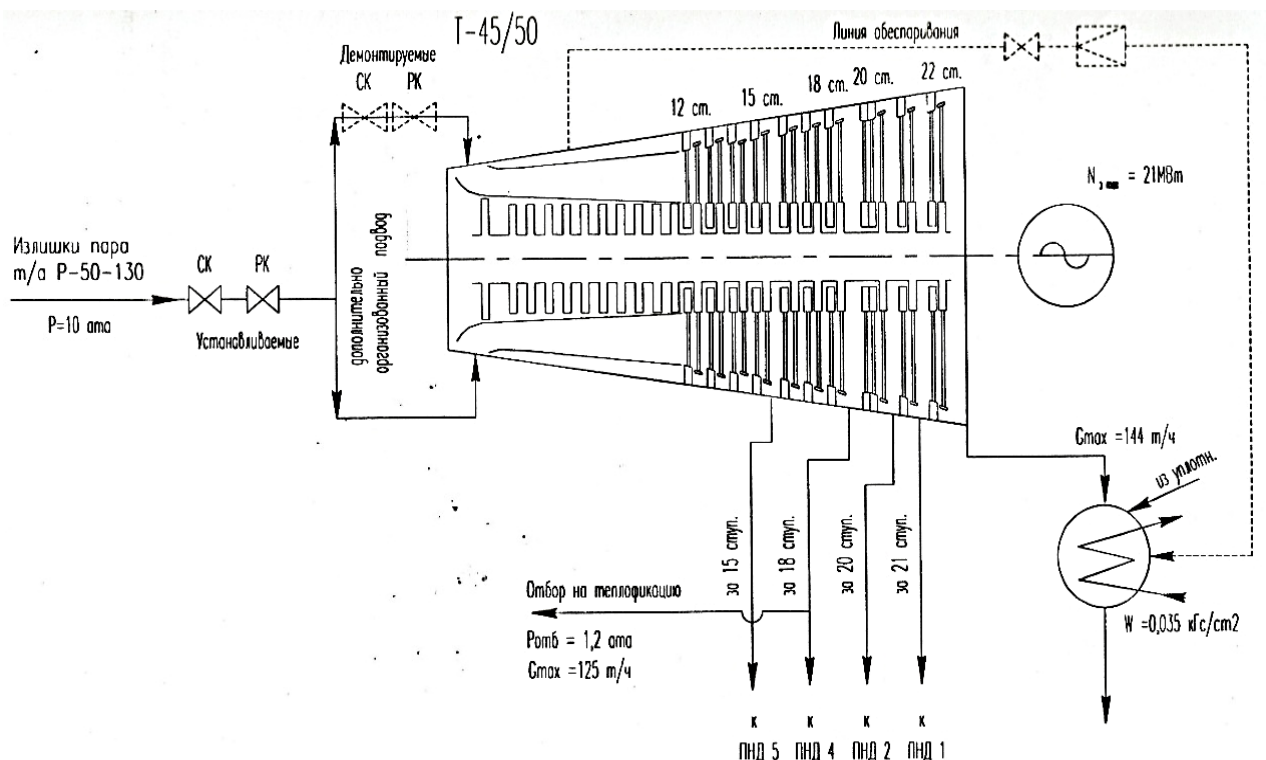


Рисунок 1 – Схема реконструкции турбин Т-45/50-90 для работы паром 10 ата

Объединенные после реконструкции в единую схему (приведена на рисунке 2) турбины Р-50-130-1ПР1 и Т-45/50-90 (перемаркированы в ТР-16-10 и Т-14/25-10) могут эффективно использоваться в работе ТЭЦ наравне с турбиной ПТ-60-130/13 и обеспечить все режимы работы, включая внезапное разгружение или отключение потребителей пара 10 ата. В осенне-зимний период в данной схеме приоритетной является работа турбины Р-50-130-1ПР1 и ТР-16-10, выполняющей роль минимальной нагрузки и первой ступени подогрева сетевой воды. Турбина Т-14/25-10 используется в летний период или как дополнительный источник пара 1,2 ата для подогрева сетевой в зимнее время.

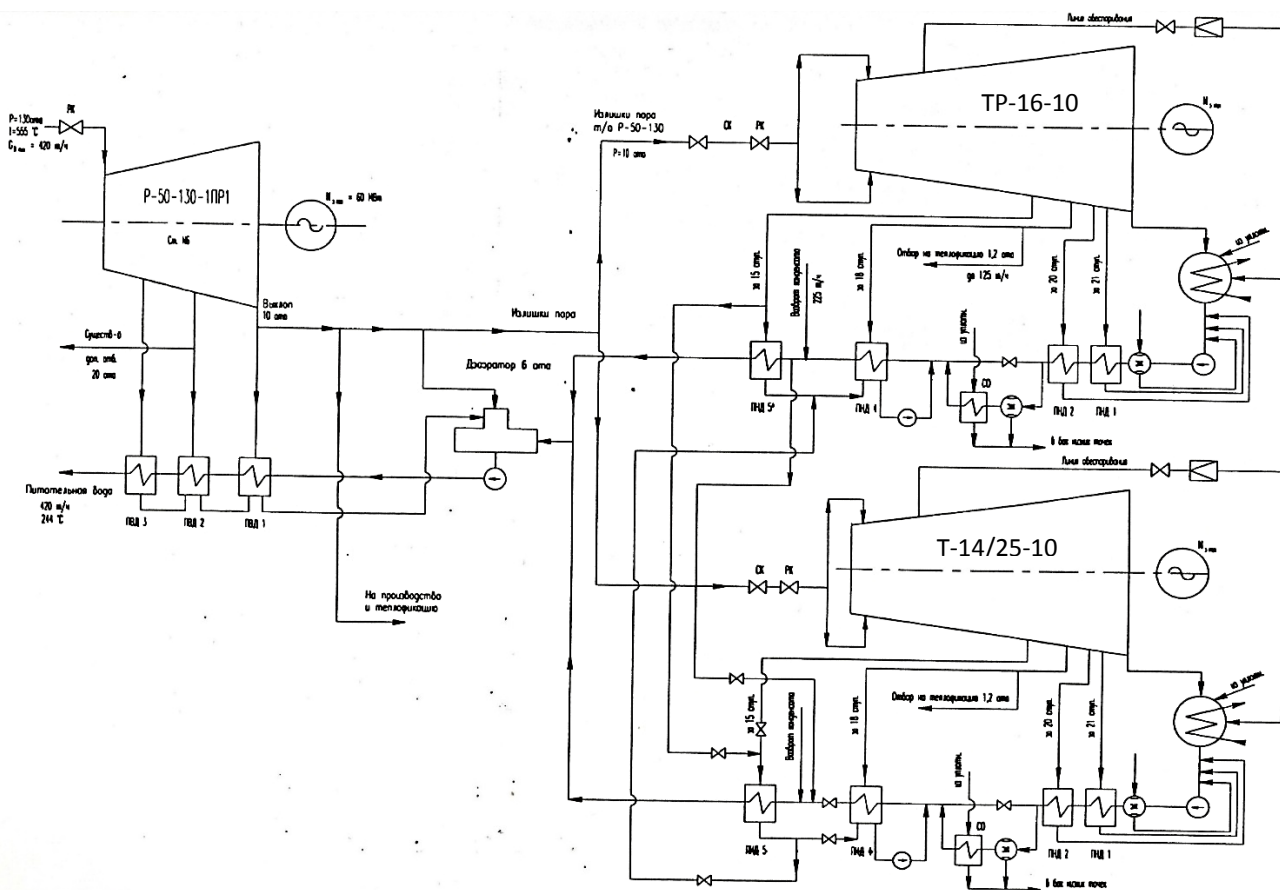


Рисунок 2 – Реконструированная схема работы турбин Т-45/50-90 и Р-50-130-1ПР1

Заключение

В результате реконструкции турбин и тепловой схемы можно выделить следующие важные изменения в работе Светлогорской ТЭЦ:

- перевод турбин Т-45/50-90 на работу паром 10 ата позволил увеличить выработку электроэнергии на ТЭЦ за счет как эксплуатации самих турбин, так и за счет увеличения расхода пара на турбину Р-50-130-1ПР1;
- перевод турбин на пониженные параметры пара позволил эксплуатировать турбину практически без ограничений по ресурсу работы;
- улучшены эксплуатационные качества турбины Р-50-130-1ПР1, ее электрическая мощность на номинальном режиме увеличена на 0,9 МВт;
- в результате реконструкции без изменения годовых объемов отпуска тепла и электроэнергии установленная мощность ТЭЦ (с 215 до 155 МВт) снижена, что повысило число часов использования установленной электрической мощности в году в 1,28 раза;
- вся ТЭЦ, за исключением турбины Р-15-90/10, переходит на повышенные параметры пара котлов второй очереди с вытеснением из работы менее экономичных котлов первой очереди, удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии после реконструкции в целом уменьшился на 3,3 г/(кВт·ч), а на отпуск тепла на 4,46 кг/Гкал.

Литература

1. Перевод турбины Т-45/50 (ВК-50-3) ст. № 4 Светлогорской ТЭЦ на работу паром 0,98 МПа из стационарного коллектора: утв. Филиал Харьковское Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром» 27.03.2003 – Санкт-петербург: ООО «Котлотурбопром». – 196 с.
2. Перевод турбины Т-45/50 (ВК-50-3) ст. № 3 Светлогорской ТЭЦ на работу паром 0,98 МПа из стационарного коллектора: утв. Филиал Харьковское Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром» 27.03.2003 – Санкт-петербург: ООО «Котлотурбопром». – 196 с.

УДК 628.16.067.1

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ ЗА СЧЁТ ЗАМЕНЫ ПАРООХЛАДИТЕЛЯ
IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COGENERATION
SYSTEM BY REPLACING THE STEAM COOLER**

П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Bolbas, A. Yakovenko

Supervisor – V. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Изучение повышение энергоэффективности в результате замены парохладителя паровоздушным подогревателем, который снижает температуру перегретого пара до температуры насыщения и увеличивает температуру воздуха перед его отправкой в котел.*

***Abstract:** An increase in energy efficiency is being studied as a result of replacing the steam cooler with a steam-air heater, which reduces the temperature of the superheated steam to the saturation temperature and increases the temperature of the air before it is sent to the boiler.*

***Ключевые слова:** Котел, теплообменник, энергетическая система, когенерация, пар.*

***Key words:** Boiler, heat exchanger, energy system, cogeneration, steam.*

Введение

Система когенерации вырабатывает как электрическую, так и полезную тепловую энергию. Пар, отбираемый из паровой турбины, обычно перегрет. Перегретый пар не так подходит для технологического нагрева, как насыщенный пар, поскольку он обеспечивает более низкую скорость теплопередачи и требует большей площади теплопередачи.

Поэтому перегретый пар необходимо охладить. Распространенным методом парохладителя является смешивание перегретого пара с охлаждающей водой для получения насыщенного пара в теплообменнике прямого контакта, известном как парохладитель.

Ранее было показано, что этот метод охлаждения не является самым энергоэффективным. Другой метод парохладителя заменяет парохладитель на бесконтактный теплообменник, известный как паровоздушный подогреватель, который увеличивает температуру воздуха от температуры окружающей среды до более высокой температуры до того, как воздух нагреется в воздухонагревателе. исследования показали, что паровоздушный подогреватель можно использовать для повышения эффективности регенеративного цикла Ренкина с двойным подогревом. Таким образом, ожидается повышение энергоэффективности в системе когенерации, интегрированной с паровоздушным подогревателем.

Основная часть

Рисунок 1 (а) иллюстрирует обычную когенерационную систему. Топливо попадает в котел (В) вместе с окружающим воздухом. Тепловая энергия от сгорания топлива производит перегретый пар, который покидает котел с массовым расходом m_s , давлением p_s и температурой T_s . Тип турбины, установленной в этой системе, - паровая турбина с отбором и конденсацией (Т). Давление пара в точке отбора составляет p_p , то есть такое же давление, которое требуется для процесса (Р). Оставшийся пар конденсируется в конденсаторе (С). Часть конденсированной воды используется для охлаждения в теплообменнике прямого контакта, известном как пароохладитель (DS), а оставшаяся вода возвращается в котел [1]. Температура отводимого пара (T_e) зависит от изоэнтропического КПД турбины. В типичной системе эта температура больше, чем температура насыщения (T_p). Следовательно, отводимый пар перегревается. Насыщенный пар при массовом расходе m_p , необходимом для процесса испарения, получается в результате смешивания извлеченного пара и охлаждающей воды в пароохладителе. Массовый расход охлаждающей воды (m_{cw}) может быть определен из массового и энергетического балансов пароохладителя.

$$m_{cw} = m_p \left(\frac{h_e - h_p}{h_e - h_c} \right) \quad (1)$$

где: h_e , h_p и h_c - энтальпии отводимого пара, насыщенного пара при давлении p_p и охлаждающей воды соответственно. Следовательно, массовый расход отбираемого пара равен

$$m_e = m_p \left(\frac{h_p - h_c}{h_e - h_c} \right) \quad (2)$$

Насыщенный пар конденсируется в процессе испарения и превращается в насыщенную жидкую воду. Затем он смешивается с конденсированной водой из конденсатора в смесительной камере (М), чтобы стать питательной водой для котла. Предположим, что повышение температуры из-за перекачки незначительно, температура питательной воды на входе в котел определяется по ее энтальпии (h_{wi}). Энергетический баланс в смесительной камере дает

$$h_{wi} = \frac{(m_s - m_p)h_c + m_p h_p}{m_s} \quad (3)$$

Рисунок 1 (b) иллюстрирует модифицированную систему когенерации. Эта система аналогична традиционной, за исключением замены пароохладителя на паровоздушный подогреватель (SP). Окружающий воздух нагревается в паровоздушном подогревателе, так что его температура повышается от T_a до T_{ai} перед поступлением в котел. Паровоздушный подогреватель представляет собой рекуперативный теплообменник. При установке подходящей площади поверхности нагрева в паровоздушном подогревателе возможно насыщение пара на выходе из паровоздушного подогревателя. Как следствие, температура пара снижается с T_e до T_p перед тем, как вступить в процесс испарения (Р).

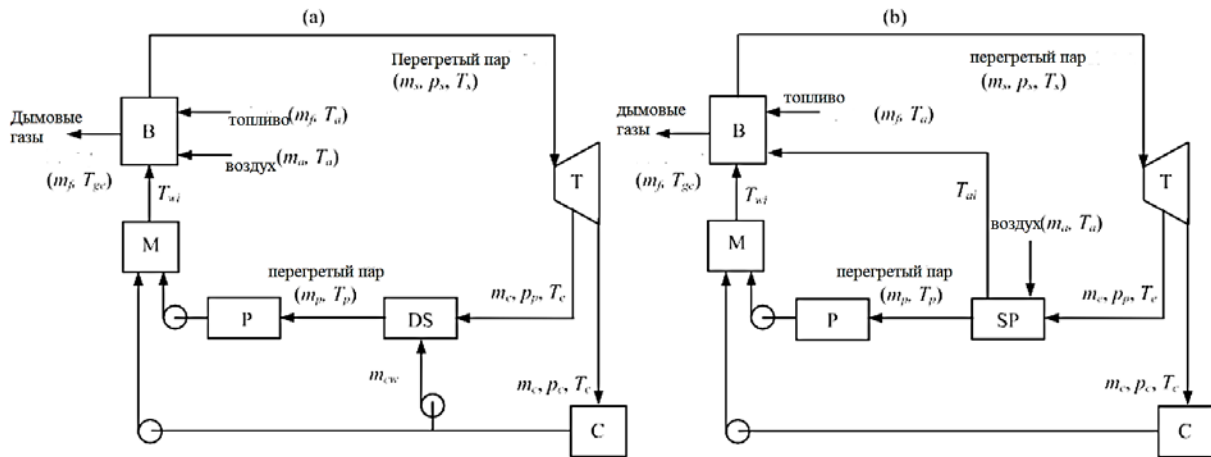


Рисунок 1 – (a) Обычная когенерационная система и (b) Модифицированная когенерационная система

Подогреватель пар-воздух моделируется как противоточный теплообменник. Следовательно, уравнения теплообмена и баланса энергии имеют вид:

$$m_p c_{pv} (T_e - T_{pv}) = U_{SP} A_{SP} \left\{ \frac{(T_e - T_m) - (T_p - T_a)}{\ln |(T_e - T_{ai}) / (T_p - T_a)|} \right\} \quad (4)$$

$$m_a c_{pa} (T_{ai} - T_a) = m_p c_{pv} (T_e - T_p) \quad (5)$$

где: c_{pa} и c_{pv} – удельные теплоемкости воздуха и пара, ASP – площадь поверхности паровоздушного подогревателя, а USP – общий коэффициент теплопередачи паровоздушного подогревателя, который принимается равным $0,03 \text{ кВт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$. В условиях, когда массовый расход топлива (m_f) и параметры технологического пара (m_p и p_p) одинаковы в обеих когенерационных системах, параметром, который может использоваться для сравнения обеих систем, является выходная мощность.

Выходная мощность традиционной когенерационной системы (P_{con}) и модифицированной когенерационной системы (P_{mod}) равна:

$$P_{con} = (m_p - m_w)(h_s - h_e) + (m_s - m_p + m_w)(h_s - h_c) \quad (6)$$

$$P_{mod} = m_p(h_s - h_c) + (m_s - m_p)(h_s - h_c) \quad (7)$$

где h_s , h_e и h_c – удельные энтальпии на входе в турбину, в точке отбора и в конденсаторе. И h_e , и h_c определяются из известного значения КПД турбины.

Рассмотрим гипотетический котел, работающий в традиционной когенерационной системе. Давление в котле (пс) составляет $4,0 \text{ МПа}$. Массовый расход топлива (m_f) $6,5 \text{ кг} / \text{с}$. Высшая теплота сгорания топлива $8796 \text{ кДж} / \text{кг}$. Массовый расход пара (т.пл.) на испарение составляет $11,11 \text{ кг} / \text{с}$ ($40 \text{ т} / \text{ч}$). Давление отбираемого пара (p_p) составляет 200 кПа , что соответствует требуемому давлению технологического пара. КПД паровой турбины составляет 75% . Следовательно, температура отводимого пара (T_e) составляет $180 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда как температура насыщенного пара (T_p) при том же давлении составляет $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Давление в конденсаторе (ПК) составляет 10 кПа, а температура охлаждающей воды, подаваемой в парохладитель, составляет 46 °С. Следовательно, массовый расход охлаждающей воды, необходимый для охлаждения, составляет 0,54 кг / с. Выходная мощность (P_{con}) 8219 кВт.

Модели модифицированной когенерационной системы и промышленного котла, описанные в разделах 2 и 3, теперь используются для прогнозирования производительности системы, когда один и тот же котел работает в модифицированной когенерационной системе. При неизменных значениях m_p и p_p в модифицированной когенерационной системе требуемая площадь поверхности паровоздушного подогревателя (ПВП) составляет 547 м². Массовый расход (m_s) и температура (T_s) пара, вырабатываемого котлом в модифицированной когенерационной системе, составляют 13,9 кг / с и 467 °С, что на 1,4% и 0,26% соответственно больше, чем m_s и T_s в обычной когенерационной системе. Выходная мощность (P_{mod}) модифицированной когенерационной системы составляет 8249 кВт, что на 0,4% больше выходной мощности (P_{con}) традиционной когенерационной системы. Температура дымовых газов на выходе из модифицированной когенерационной системы составляет 142,7 °С, что также больше, чем у традиционной когенерационной системы (118,5 °С).

КПД котла увеличивается с понижением температуры дымовых газов на выходе из котла. Следовательно, энергоэффективность модифицированной когенерационной системы может быть улучшена, а выходная мощность может быть увеличена за счет увеличения площади поверхности экономайзера. Это улучшение требует модификации котельной системы, как показано на рисунке 2.

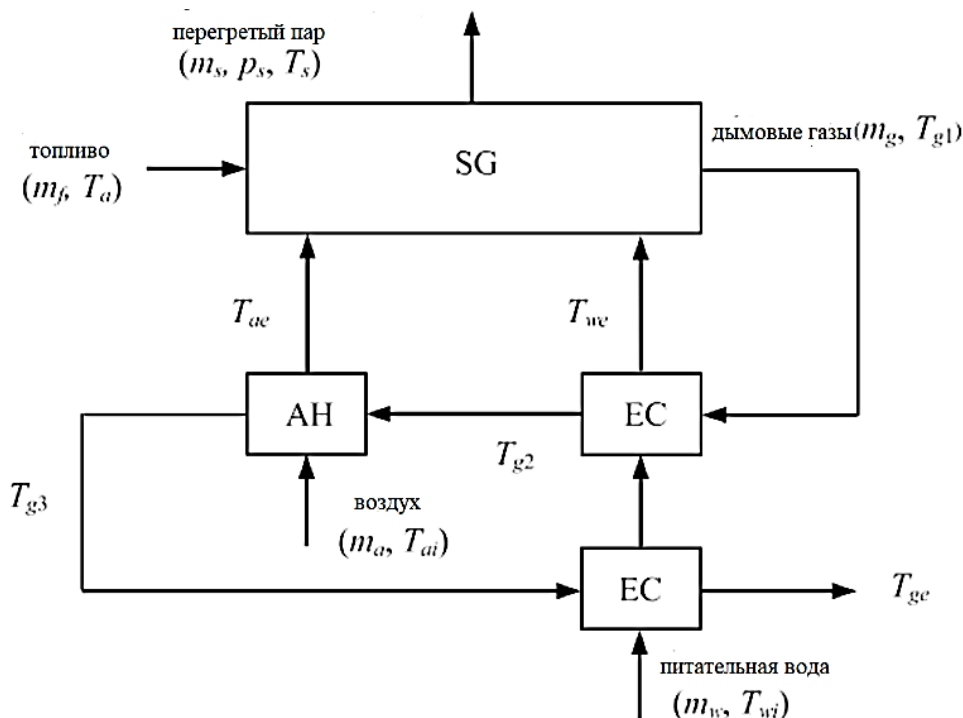


Рисунок 2 – Доработка котла за счет установки дополнительной площади поверхности экономайзера после воздухонагревателя

Можно видеть, что после воздухонагревателя устанавливается дополнительная площадь поверхности экономайзера, так что температура дымовых газов снижается с T_{gz} до T_{ge} . На рисунке 3 показано, что увеличение площади поверхности экономайзера приводит к увеличению расхода пара, увеличению выходной мощности, снижению температуры пара и снижению температуры отходящих газов.

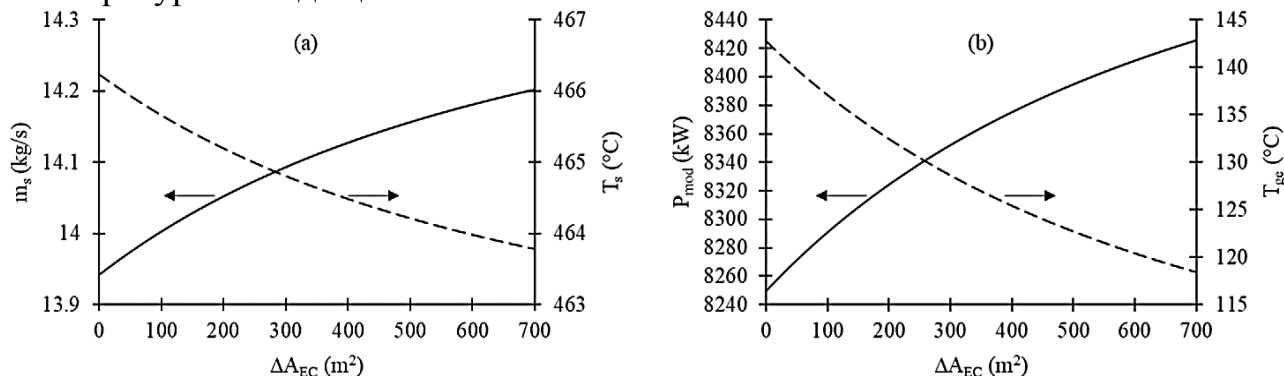


Рисунок 3 – Влияние дополнительной площади поверхности экономайзера (ΔA_{EC}) на (a) расход пара (m_s) и температуру пара (T_s), и (b) выходную мощность модифицированной когенерационной системы (P_{mod}) и температуру отходящих газов на выходе. (T_{ge})

Эта температура должна быть выше температуры точки росы дымовых газов, чтобы избежать конденсации воды в трубках воздухонагревателя, которая может привести к коррозии.[2] Если температура отходящих газов на выходе модифицированной когенерационной системы ограничена не более 118,5 $^{\circ}C$, что является температурой уходящих дымовых газов традиционной когенерационной системы, максимальная выходная мощность ($P_{mod, max}$) модифицированной когенерационной системы составляет 8425 кВт, что на 2,5% больше, чем P_{con} . Соответствующие значения площади дополнительной поверхности экономайзера и площади паровоздушного подогревателя составляют 696 m^2 и 533 m^2 .

Заключение

В типичной когенерационной установке пар, отобранный из паровой турбины, обычно перегрет, и перед подачей в процесс, требующий насыщенного пара, его необходимо охладить. Обычный метод охлаждения - это смешивание перегретого пара с охлаждающей водой в теплообменнике прямого контакта, известном как пароохладитель. Основная цель данной статьи – изучить повышение энергоэффективности в результате замены пароохладителя паровоздушным подогревателем, который снижает температуру перегретого пара до температуры насыщения и увеличивает температуру воздуха перед его отправкой в котел. Результаты моделирования эталонной когенерационной системы показывают, что установка паровоздушного подогревателя может увеличить выходную мощность на 0,4%. Увеличение выходной мощности до 2,5% достигается за счет установки дополнительной площади поверхности экономайзера.

Литература

1. Пароперегреватели. Устройство пароперегревателей [Электронный ресурс]/ пароперегреватели. – Режим доступа: <https://mechanicinfo.ru/paroperegrevateli-ustrojstvo-paroperegrevatelej/>. – Дата доступа: 27.03.2021.
2. Пароперегреватель [Электронный ресурс]/ пароперегреватель. – Режим доступа: <http://engineeringssystem.ru/p/paroperegrevatel.php/>. – Дата доступа: 27.03.2021.

УДК 621.165

**ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ С ВЕЕРНОСТЬЮ В СТУПЕНЯХ ТУРБИН
LOSSES WITH FANNING IN THE TURBINE STAGES**

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Beloziorova, V. Bayankova

Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в турбинных ступенях с большой высотой лопаток существуют потери с веерностью. Для их снижения используют закручивание лопаток по закону постоянной циркуляции.

Abstract: there are losses with fanning in the turbine stages with long turbine blades. Constant circulation law can be used for their lowering.

Ключевые слова: турбина, потери с веерностью, закон постоянной циркуляции, закон закрутки, закрученные лопатки.

Key words: turbine, losses with fanning, constant circulation law, twirling law, rolling up blades.

Введение

Электрическая и тепловая энергия чрезвычайно важны для современных людей. Без них жить и работать было бы невозможно, поэтому сфера энергетики развивается с каждым днем. Одними из главных звеньев энергетической системы являются тепловые электрические станции. Для их эффективной работы необходимо максимально увеличить КПД и свести потери тепла к минимуму. Одной из распространенных проблем являются потери от веерности.

Основная часть

Веерностью турбины называют отношение длины лопаток ступени к ее среднему диаметру l/d . Пар, проходя через проточную часть турбины, сильно расширяется, а, следовательно, его удельный объем увеличивается в тысячи раз. В связи с этим, для первых ступеней турбины высота лопаток может быть несколько сантиметров, а последних – достигать более метра. Короткие лопатки, отношение среднего диаметра облопачивания d_k расчетной длине лопаток которых составляет $d/l \geq 10$, выполняются обычно одинакового профиля во всех сечениях по высоте. Такое профилирование лопаток называют цилиндрическим [1]. Разница окружных скоростей у корня и вершины не у них велика, так что пренебрежение ей не приводит к существенным ошибкам в расчетах и практически не влияет на треугольники скоростей (рисунок 1).

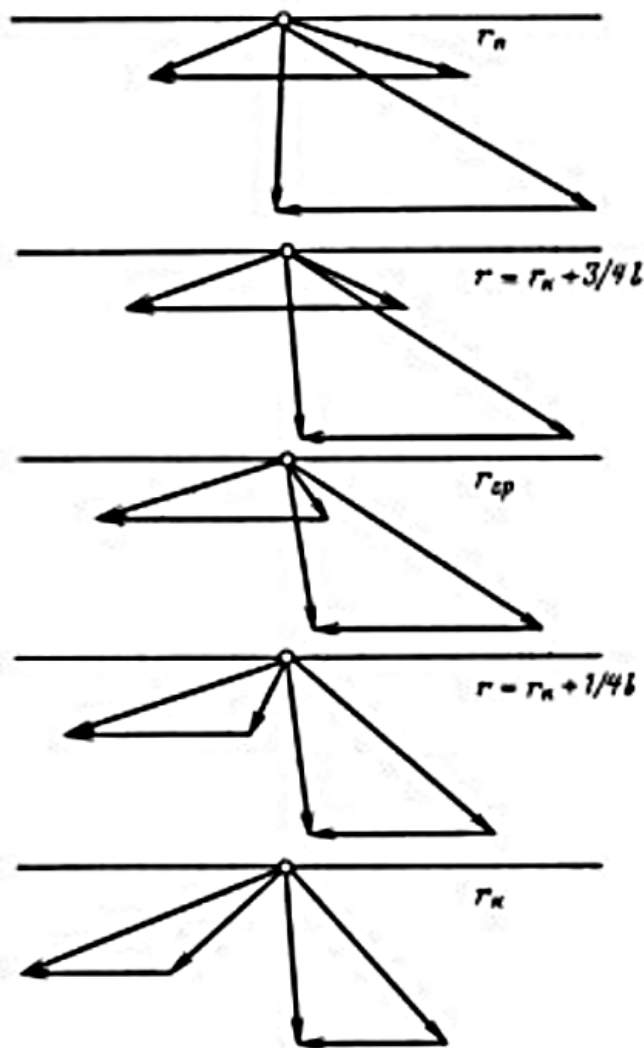


Рисунок 1 – Треугольники скоростей турбины

Но в ступенях с большой длиной лопаток при $d/l < 10$ различие в окружных скоростях вершины и корня создает абсолютно иные условия обтекания профиля в этих сечениях.

В зазоре между соплом и входной кромкой лопатки температура и давление потока изменяются по высоте. Это происходит из-за выхода потока из сопел вращающимся около оси вала турбины, вследствие чего в потоке возникают центробежные силы, действующие на каждую частицу пара и создающие разность давлений у корня и периферии (рисунок 2).

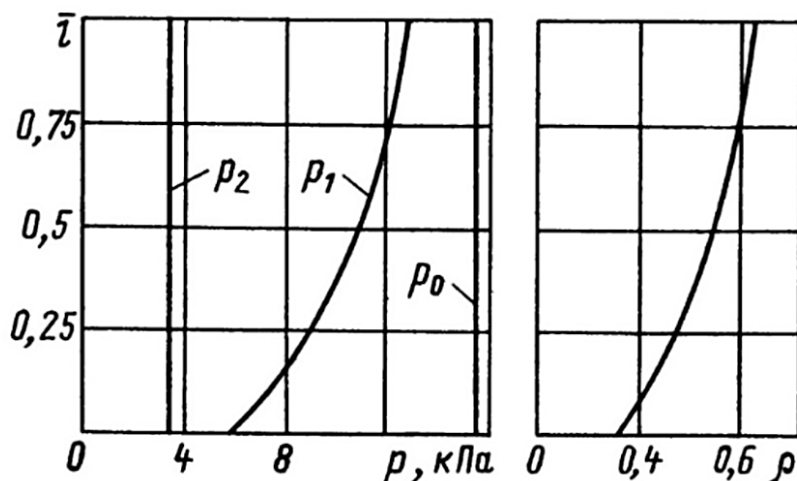


Рисунок 2 – Зависимость давлений от длины лопатки

Значит и реактивность ступени возрастает в том же направлении. Это происходит в связи с изменением треугольников скоростей у периферии ступени, где степень реактивности может достигать 70%, уменьшением вектора скорости C_1 и увеличением вектора W_2 . Из рисунка 3 видно, что окружная составляющая скорости C_2 на выходе из ступени мала, и давление p_2 практически неизменно по высоте. Постоянным будет оставаться и давление p_0 на входе в ступень.

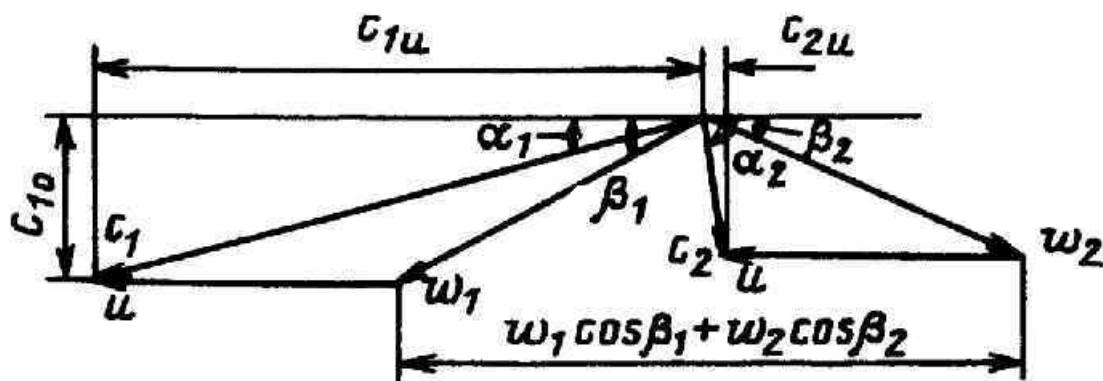


Рисунок 3 – Треугольники скоростей реактивных ступеней

Изменение реактивности обуславливается и изменением углов входа на рабочую лопатку (в корневом сечении $\beta_1=25...40^\circ$, на периферийном – $120...160^\circ$) и разности углов β_1 и β_2 . У очень высоких лопаток может нарушаться оптимальность шага вдоль радиуса лопатки, которая приводит к изменению обтекания потока.

Изменения степени реактивности и окружной скорости по высоте ступени приводят к необходимости изменения профилей рабочих лопаток по высоте. Поэтому длинные лопатки обычно выполняются закрученными. Изменяющийся вдоль радиуса, профиль (рисунок 4) позволяет исключить или заметно снизить потери с верностью.

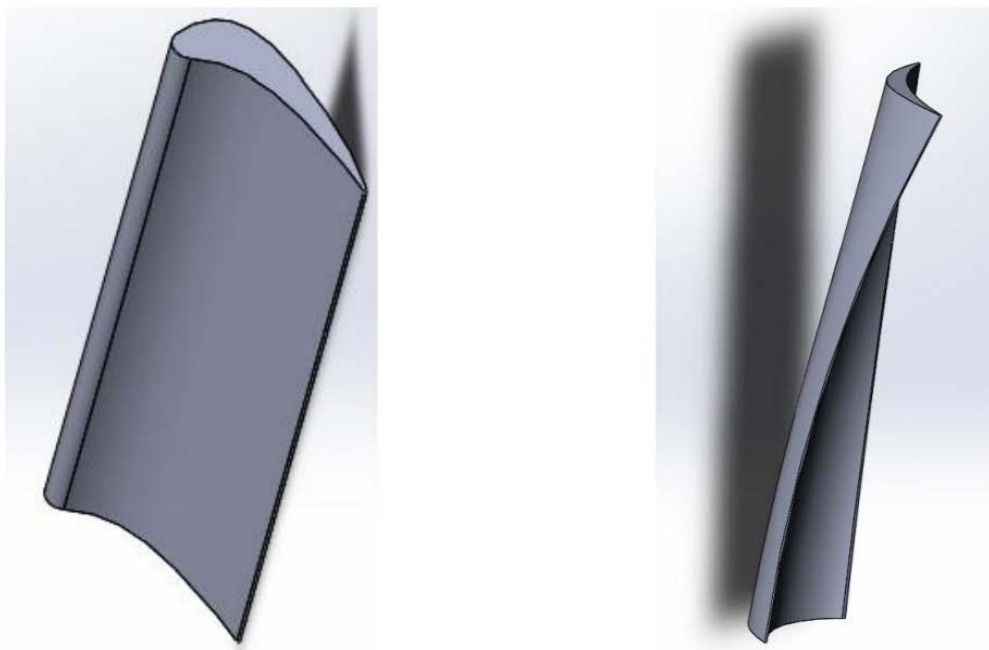


Рисунок 4 – Закрутка лопатки

Закрутка лопаток по закону постоянной циркуляции (по закону свободного вихря) получила наибольшую популярность при профилировании турбинных, компрессорных и вентиляторных ступеней. При таком течении (без вихреобразования) предполагается, что осевые составляющие абсолютных скоростей перед лопаткой C_{1a} и за лопаткой C_{2a} не изменяются на всех радиусах по высоте лопатки, откуда получается, что полное давление за рабочими лопатками и перед ними неизменно [2]. Кроме того, предполагается, что радиальная составляющая скорости потока равна нулю $C_r = 0$. Значит, нет никакого перетекания потока вдоль лопатки, а работа L_u в каждом сечении лопатки одинакова, т.е. $C_{1a} = const$; $C_{2a} = const$; $P_2 = const$; $L_u = const$. Основное дифференциальное уравнение течения потока в этом случае запишется так:

$$0 = C_u \cdot \left[\frac{C_u}{r} + \frac{dC_u}{dr} \right]. \quad (1)$$

Полагая, $C_u \neq 0$ получим:

$$\frac{dr}{r} + \frac{dC_u}{C_u} = 0. \quad (2)$$

Интегрируя, найдем:

$$\ln r + \ln C_u = \ln (2C_u) = const, \quad (3)$$

откуда

$$e^{const} = C_u \cdot r \text{ и } C_u \cdot r = const. \quad (4)$$

То есть, заданное течение возможно организовать при изменении окружных составляющих пропорционально радиусу, а именно

$$C_{1u} \cdot r = const, C_{2u} \cdot r = const \quad (5)$$

Это соотношение выражает «закон площадей» или закон постоянства циркуляции Γ по высоте лопатки ($\Gamma = 2\pi r \cdot C_{1u}$) и соответствует закону

распределения скоростей в свободном вихре. Поэтому рассматриваемый метод профилирования длинных лопаток называется методом постоянной циркуляции. Основным преимуществом ступени, выполненной по этому принципу, является постоянство удельной работы, развиваемой рабочим колесом во всех цилиндрических сечениях ступени и постоянство полной энергии в пространстве за рабочим колесом.

$$L_u = u \cdot (C_{1u} - C_{2u}) = \omega^2 r \cdot (C_{1u} - C_{2u}) = \omega(r \cdot C_{1u} - r \cdot C_{2u}) = const \quad (6)$$

Помимо этого, в корневых сечениях возможна конденсация пара из-за низких температур в прикорневой области ступени. Для правильного проектирования профилей длинных лопаток необходимо учитывать закон закрутки так, чтобы влияние жидкой фазы стремилось к минимуму. Существует несколько вариантов решений данной проблемы:

- повышение реакции в прикорневых сечениях, так как реактивные решетки не так чувствительны к влажности. Так же это снизит вероятность возникновения сверхзвуковых скоростей на выходе из сопла.
- обеспечение умеренного изменения реакции по длине лопатки, то есть применение соответствующего наклона и саблевидных сопловых лопаток МЭИ.
- выбор оптимальных относительных шагов, углов установки, толщины и формы выходных кромок с учетом их влияния на эффективность сепарации, обогрева и наддува.
- уменьшение влияния периодической нестационарности регулированием соотношения чисел сопловых и рабочих лопаток $z_1/z_2 < 1$.

Заключение

Таким образом, можно подытожить, что в настоящее время для уменьшения потерь с веерностью в лопатках с $d/l < 10$ используют их закрутку. Выбор данного метода обуславливается расчетами на основе закона постоянной циркуляции и закона закрутки.

Литература

1. Трухний, А. Д. Стационарные паровые турбины / А. Д. Трухний. – 2ое изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 640 с.
2. Кириллов, И. И. Исследование пространственной структуры потока на переменных режимах работы в ступенях большой веерности / И. И. Кириллов. – 8ое изд. – М.: Энергетика, 1974. – 418 с.

УДК 662.611.22

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА C++ ДЛЯ РАСЧЕТА
ВЫДЕЛЯЕМОЙ ТЕПЛОТЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА
APPLICATION OF C ++ LANGUAGE POSSIBILITIES TO CALCULATE
HEAT RELEASED WHEN BURNING FUEL**

З.В. Ковганов, Е.В. Таранко

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель, С.И. Ракевич,
старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Z. Kovganov, E. Taranko

Supervisors – V. Romanko, Senior Lecturer, S. Rakevich, Senior Lecturer Belarusian
national technical university, Minsk

***Аннотация:** Расчет выделяемой теплоты при сжигании разных видов химического топлива. Использование языка C++ для создания программы расчета.*

***Abstract:** the calculation of heat emitted in the process of burning different types of fuels. The use of C++ for creating the calculating program.*

***Ключевые слова:** расчет, алгоритм, топливо, тепловая энергия.*

***Keywords:** calculation, algorithm, fuel, thermal energy.*

Введение

Топливо – это горючее вещество, используемое в качестве источника получения теплоты в энергетических, промышленных и отопительных установках. Различают ядерное и химическое топливо. Ядерное топливо – это вещество, которое выделяет ядерную энергию благодаря распаду или синтезу. Химическое же в свою очередь выделяет тепловую энергию путём его сгорания в результате реакции с другими веществами, в частности при взаимодействии с кислородом.

Основная часть

Химическое топливо подразделяется на твердое (дерево, уголь, кокс, и т.д.), жидкое (бензин, дизель, керосин, мазут и т.д.), и газообразное (природный газ, водород, пропан, и т.д.). Благодаря тому, что при сжигании топлива выделяется тепловая энергия, её можно преобразовывать в другие виды энергии. Например, на тепловых станциях тепло преобразуют в электроэнергию. Чаще всего на таких станциях используют уголь, природный газ, щепу, реже – мазут. У каждого из них разный состав, а, следовательно, и разное количество выделяемой тепловой энергии при расчёте на 1 кг или 1 м³. От этого зависит эффективность тепловой станции (чем больше тепловой энергии выделяет топливо, тем эффективнее работает станция). Количество выделяемой теплоты зависит в основном от содержания в нем различных химических элементов, как органических, так и простых. Чем больше процентное содержание одного из элементов, при сжигании которого выделяется большее количество тепла по сравнению с другими в составе топлива, тем больше энергии выделяется при сжигании.

При расчёте количества выделяемой тепловой энергии твердое и жидкое топливо схожи по вычислению. И там, и там расчёт делается на единицу массы (кг), а в газообразном топливе – на единицу объёма (м³) [1]. Если мы будем знать сколько каждого вещества в процентном соотношении содержится в горючем веществе, то сможем определить сколько всего энергии выделится. Так же мы сможем рассчитать нужное количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг (1 м³) топлива.

Существуют формулы для определения количества теплоты и воздуха для твёрдого, жидкого и газообразного видов горючего. Как отмечалось ранее, что твёрдое и жидкое топливо схожи, то и нужные нам величины считаются одинаково.

Сперва разберёмся с твёрдым и жидким топливом. Формула для расчёта выделяемой тепловой энергии следующая:

$$Q_H^p = 338C^p + 1025H^p - 108.5(O^p - S^p) - 25W^p, \quad (1)$$

где C^p , H^p , O^p , S^p , W^p – процентное содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в топливе соответственно.

Размерность найденной величины – $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Для перевода в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ необходимо разделить полученное количество теплоты на 4.184.

Формула для расчёта необходимого количества воздуха (теоретическая):

$$V_0 = 0.089C^p + 0.265H^p + 0.033(S^p - O^p) \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right] \quad (2)$$

Чтобы найти действительное количество воздуха, которое требуется для сжигания 1 кг топлива, V_0 следует умножить на α (коэффициент избытка воздуха):

$$V_{\text{возд}} = V_0 \cdot \alpha \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right] \quad (3)$$

Что касается газообразного топлива, то тут все по-другому, поскольку данный вид топлива содержит в основном органические элементы. Количество теплоты здесь будет равно:

$$Q_H^p = 108H_2 + 126CO + 234H_2S + 358CH_4 + 638C_2H_6 + 913C_3H_8 + \quad (4)$$

$$+ 1187C_4H_{10} + 1461C_5H_{12} + 591C_2H_4 + 860C_3H_6 + 1135C_4H_8 + 1403C_6H_6,$$

где: H_2 , CO , H_2S , CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 , C_6H_6 – процентное содержание данных химических элементов.

Здесь Q_H^p рассчитывается на 1 м³ горючего $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$.

Теоретический объем воздуха:

$$V_0 = 0.0476 \left[0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_mH_n - O_2 \right] \left[\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} \right]. \quad (5)$$

Действительный объем воздуха:

$$V_{\text{возд}} = V_0 \cdot \alpha \left[\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} \right]. \quad (6)$$

При помощи языка программирования С++ был реализован алгоритм, который позволяет считать все необходимые величины за считанные секунды, нежели считать это вручную, позволяет избежать ошибок в расчетах. К преимуществам данной программы можно отнести удобный интерфейс, понятный пользователю. Программа позволяет автоматизировать процесс подсчета, облегчает понимание процесса, наглядно демонстрирует показатели. С++ – высокоуровневый язык программирования, изучив который, обучающийся получает широкие возможности и свободу действий [2]. В современном мире крайне актуально использовать программные продукты как на производстве, так и в процессе обучения.

При запуске программы пользователь, получивший задание, выбирает вид топлива: жидкое, твёрдое или газообразное, вводит процентное содержание каждого из элементов в составе топлива и коэффициент избытка воздуха, и, после нажатия на кнопку "Рассчитать", программа выводит все величины, которые нужны при расчетах в котельных установках. Пример окна для ввода данных и получения результата приведён на рисунке 1.

The screenshot shows a window titled "FuelCalc" with a light blue background. At the top left, it says "Вид топлива:" followed by a dropdown menu set to "Твердое". Below this, there are input fields for $\alpha = 3$ %, $V_0 = 8,655$ м³/кг, $V_{\text{возд}} = 25,965$ м³/кг, $Q_H^p = 32737,5$ кДж/кг, and $Q_H^p = 7824,450$ ккал/кг. On the left side, there is a group of input fields for elemental percentages: $C_p = 12$ %, $H_p = 30$ %, $O_p = 17$ %, $S_p = 6$ %, and $W_p = 35$ %. At the bottom right, there is a blue button labeled "Рассчитать".

Рисунок 1 – Внешний вид программы

При расчёте газообразного топлива, алгоритм аналогичен как в случае с твёрдым либо жидким топливом.

Рисунок 2 – Внешний вид программы

Заключение

Многофункциональность объектно–ориентированного языка программирования С++ позволяет создавать программы, в основе которых лежат сложные алгоритмы, которые при правильной реализации, помогают существенно снизить скорость расчётов и погрешности вычислений. Такие программы удобно использовать в образовательном процессе, при выполнении практических и лабораторных работ, так же они позволяют качественно определять нужные величины при выполнении курсовых работ. Основным преимуществом данной программы является скорость расчёта. От пользователя требуется выбрать вид топлива и ввести данные, а в результате он получит полный анализ величин, которые характеризуют процесс сгорания топлива, что крайне важно в энергетике.

Литература

1. Жихар, Г. И. Котельные установки тепловых электростанций : учеб. пособие / Г. И. Жихар. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 523 с.
2. Прата, С. Язык программирования С++. Лекции и упражнения / С. Прата. – М. : Вильямс, 2014. – 1244 с.

УДК 628.164-926.41

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ
В ТЕХНОЛОГИИ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ
APPLICATION OF SALT INHIBITORS IN WATER SOFTENING
TECHNOLOGY IN POWER ENGINEERING**

Е.И Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Smykal, M. Shepelev

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассмотрена современная альтернатива классическому способу умягчения, основанному на принципе натрий-катионирования – применение ингибиторов солеотложений. Целью рассмотрения и сравнения является определение достоинств и недостатков, а также оценка перспектив использования в отраслях энергетики в ближайшем будущем.*

***Abstract:** the article reviews a modern alternative to the classical softening method based on the principle of sodium cationization – the usage of scale inhibitors. The purpose of consideration and comparison is to determine the advantages and disadvantages, as well as to assess the prospects for usage in energy industries in the near future.*

***Ключевые слова:** ингибиторы солеотложений, реагенты, органические фосфонаты, водоподготовка, принцип действия, преимущества, недостатки.*

***Key words:** scale inhibitors, reagents, organic phosphonates, water treatment, principle of operation, advantages, disadvantages.*

Введение

Одними из наиболее перспективных элементов современной водоподготовки в теплоэнергетике являются ингибиторы солеотложений (от лат. *Mhibeo* – останавливаю, сдерживаю). Первый опыт использования вышеуказанных реагентов датируется 1975 годом, когда специалисты НИУ “МЭИ” успешно применили оксиэтилиденфосфовую кислоту (ОЭДФ) с целью предотвращения образования накипи. В первую очередь, основой необходимости применения ингибиторов солеотложений являлось желание уйти от нерентабельных, в экономическом плане, ВПУ, мощностью до 4500 т/ч, использующих классический способ умягчения воды – натрий-катионирование. Изначально в перечень ингибиторов входило лишь небольшое количество элементов: нитрилотриметиленфосфовая кислота (НТФ) и ОЭДФ (полупродукты производства фосфовых кислот), однако их первичное применение, показавшее положительные результаты, стимулировало разработку новых продуктов. В настоящее время активно используются следующие ингибиторы: жирные амины (пленкообразующий ингибитор), полифосфаты, силикаты, хроматы, нитриты, а также более сложные хромат-фосфатные ингибиторы, фосфаты цинка, хроматы цинка и другие.

Основная часть

Эксплуатация энергетического оборудования, зачатую, сопровождается образованием отложений твёрдых солей жёсткости. В свою очередь, результатом этих отложений в теплообменных аппаратах является накипь, представляющая собой соединение карбонат-ионов и ионов кальция, формирующее зародыши кристаллов карбоната кальция, в которых так же может присутствовать карбонат магния. Осаждаясь на стенках оборудования, кристаллы срастаются и происходит разрастание накипи.

Большую область применения в энергетике получили ингибиторы солеотложений класса органических фосфонатов (ОФ) – соли органических фосфоновых кислот. Принцип действия которых основан на образовании комплексов с ионами металлов (в большинстве своём с цинком), после чего образовавшиеся комплексы органофосфатов адсорбируются на: поверхности зарождающихся кристаллов карбоната кальция и препятствуют дальнейшему процессу кристаллизации; застарелых отложениях накипи, после чего накипь разрушается, превращаясь в легкоудаляемую взвесь; металлических поверхностях. Результатом адсорбции на металлической поверхности является возникновение тонкой плёнки, затрудняющей доступ кислорода и снижение скорости коррозии металла, соответственно. Иными словами, ингибитор, введённый в среду, сорбируется на зародышах кристаллов и конкурирует за центры кристаллизации, что приводит к блокировке поверхности частиц от ионов, образующих накипь. В свою очередь, сокращение числа зародышей кристаллов ведёт к практически полному предотвращению накипеобразования.

Результативность и безопасность применения ингибиторов зависят от правильно выбранных реагентов и их концентраций, поскольку содержание их по тракту подпиточной воды должно быть постоянным, равным расчётному значению. Интервал концентраций, при котором достигается наивысшая эффективность, называется интервалом “эффективных концентраций”.

Таблица 1 – Зависимость эффективности антинакипина класса ОФ в от исходной концентрации

Концентрация, мг/дм ³	Эффективность, %
0	50
1	61
2,5	73
4	95
5	98
6,5	99
13	98
26	98
39	95
65	91

Из анализа имеющихся данных (таблица 1) следует, что интервал эффективных концентраций составляет 4- 40 мг/дм³.

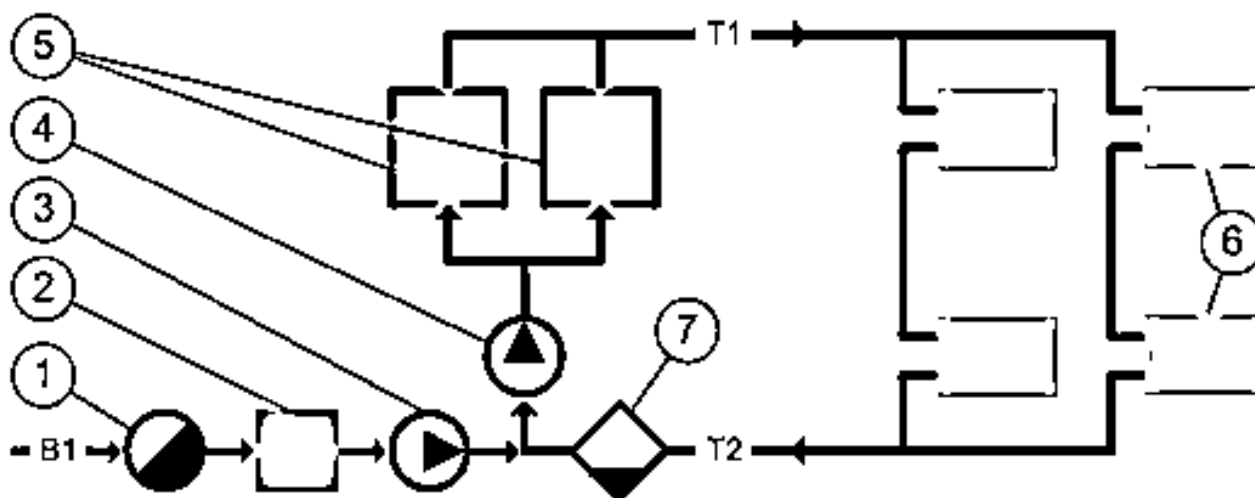


Рисунок 1 – Схема системы отопления с обработкой воды ингибитором солеотложений: 1 – узел учета подпиточной воды; 2 – дозатор ингибитора; 3 – подпиточный насос; 4 – сетевой насос; 5 – котлоагрегаты; 6 – отопительные устройства; 7 – грязевик; В1 – трубопровод водоснабжения; Т1 – прямой трубопровод теплосети; Т2 – обратный трубопровод теплосети

Схема системы отопления, включающая в себя обработку воды ингибитором солеотложений показана на рисунке 1, из которой видно, что дозатор ингибирования врезают, в большинстве случаев, в подпиточный трубопровод системы отопления между узлом учёта и подпиточным насосом.

Таким образом, если не учитывается механизм взаимодействия реагентов с компонентами среды, их термодинамические и кинетические параметры, не соблюдается интервал “эффективных концентраций” и не определяется место наилучшего внедрения реагентов солеотложений в системе водоснабжения, применение их не только не даёт ожидаемых результатов, но и может привести к отрицательным последствиям.

Ключевыми преимуществами способа умягчения воды, основанного на применении ингибиторов солеотложений, являются:

- Практически полное предотвращение отложений малорастворимых солей при соблюдении заданных технологических параметров и, соответственно, снижение затрат на текущий ремонт оборудования.
- Экономия топливных ресурсов.
- Значительное снижение потребления питательной воды.
- Интенсификация технологических процессов.

В свою очередь, весомыми ограничениями в использовании фосфонатов в энергетике являются:

- По составу исходной воды: общее содержание Fe не более 0,5 мг/л; pH среды не более 8,5; величина щелочности Щ₀ не более 7 мг-экв/л.
- По температуре подогрева: верхней границей эффективного процесса ингибирования кристаллизации карбоната кальция, для большинства антинакипинов, является температура 130°C.
- Метод использования ингибиторов солеотложений не подходит для

энергетических объектов большой мощности, поскольку конечные затраты на оборудование и реагенты увеличивают стоимость производства тепла, в следствии чего метод становится малорентабельным.

Заключение

Опыт использования ингибиторов солеотложений в процессе водоподготовки показывает, что современные антинакипины обеспечивают наиболее эффективную, в сравнении с иными способами, защиту от образования отложений минеральных солей и их пагубного влияния на металл трубопроводов водоснабжения. Ключевыми условиями достижения положительного результата являются правильное ведение водно-химического режима (дозирование реагентов и аналитический контроль), а также учитывание при выборе антинакипинов механизма их взаимодействия с компонентами растворов.

Исходя из вышеперечисленного и того, что в настоящее время активно разрабатываются новые виды реагентов, следует, что использование ингибиторов солеотложений в процессе водоподготовки на энергетических объектах в ближайшей перспективе будет иметь положительную тенденцию.

Литература

1. Балабан-Ирменин, Ю. В. Антинакипины - органофосфонаты в энергетике. История и современная практика / Ю. В. Балабан-Ирменин, Г. И. Костенко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 2. – С. 2–8.
2. Цуканова, Т. В. Правила эффективной подготовки подпиточной воды систем теплоснабжения / Т. В. Цуканова // Новости теплоснабжения. – 2012. – № 8. – С. 48.

УДК 628.16.067.1

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КАПИЛЛЯРНЫХ МЕМБРАН
USING ULTRAFILTRATION WITH THE USE OF CAPILLARY
MEMBRANES

Г.В. Алимов, П.А. Болбас, А.Д. Яковенко

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель,

Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

G. Alimov, P. Bolbas, A. Yakovenko

Supervisors – V. Romanko, Senior Lecturer, E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматриваются применение ультрафильтрации с использованием капиллярных мембран.

Abstract: The article discusses the use of ultrafiltration using capillary membranes.

Ключевые слова: Ультрафильтрация, мембранная фильтрация, капиллярная мембрана, ультрафильтрационная мембрана, питательная вода.

Key words: Ultrafiltration, membrane filtration, capillary membrane, ultrafiltration membrane, feed water.

Введение

С развитием экономики и прогресса общества уровень жизни людей постоянно повышается, и воздействие человеческой деятельности на окружающую среду также расширяется, что приводит к увеличению загрязнения окружающей среды. Она должна рассматриваться как конечный и драгоценный ресурс. В связи с нехваткой водных ресурсов появились различные виды новых, усовершенствованных и высокоэффективных технологий очистки воды. Ультрафильтрация (УФ) обладает высокой эффективностью, стабильным качеством фильтрованной воды и высокой автоматизации. УФ способна почти полностью удалять коллоидные вещества и взвешенные частицы внутри воды, которые могут быть полностью отфильтрованы. Технология имеет большой потенциал в фильтрации бытовых и промышленных вод. По сравнению с традиционным процессом очистки воды, технология УФ имеет более высокую степень эффективности и более низкое энергопотребление. Важно продолжать изучение технологии ультрафильтрации для улучшения качества воды, защиты водных ресурсов и экологической среды. В 1861 году В. Шмидт [1] впервые в лаборатории успешно завершил эксперимент по ультрафильтрации, сам термин “ультрафильтрация” был впервые предложен в 1906 году Н. Бекхолдом, а первая настоящая ультрафильтрационная мембрана появилась на свет в начале 1960-х годов. В 1970-х годах, с появлением различных видов новых материалов, ультрафильтрационные мембраны быстро вошли в коммерческий оборот. В 1990-х годах индустрия очистки воды смогла быстро развиваться.

В настоящее время ультрафильтрация широко используется в различных областях, таких как подготовка сверхчистой воды в электронной

промышленности, переработка электрофоретических красок, производство напитков и соков, водоснабжение пищевой промышленности, фармацевтическая промышленность, медицинская промышленность, очистка и переработка сточных вод и т.д. В 1970-х годах в нашей стране начали изучать ультрафильтрационную мембрану. В 70-х годах была успешно разработана ультрафильтрационная мембрана из ацетата целлюлозы, а в 80-х годах была успешно разработана ультрафильтрационная мембрана из полового волокна полисульфона (аморфный полимер, получаемый поликонденсацией дикалиевой соли дигидроксидифенилсульфона). Институтом физико-органической химии НАН Беларуси разработаны высокопроизводительные капиллярные мембраны из полисульфона, по характеристикам превосходящие известные зарубежные аналоги. Отсутствие застойных зон позволяет легко осуществлять химическую регенерацию элементов, а высокая механическая прочность - использовать режим промывки обратным потоком. Разработана альтернативная конструкция промышленного фильтрующего элемента для низконапорной тупиковой ультрафильтрации.

Основная часть

Ультрафильтрация – это процесс очистки под давлением, который отделяет твердые частицы от растворимых соединений с использованием ультрадисперсной мембранной среды. Принципиальная схема процесса ультрафильтрации показана ниже (рисунок 1).

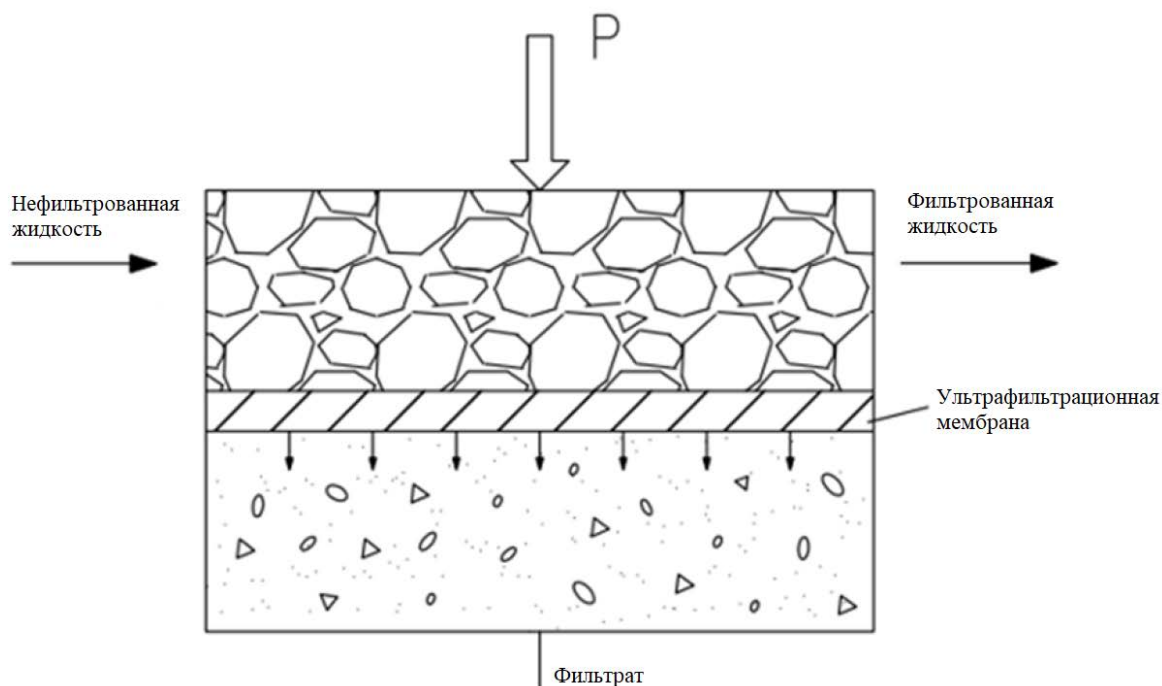


Рисунок 1 – Принципиальная схема процесса ультрафильтрации

Взвешенные твердые вещества и растворенные вещества с высокой молекулярной массой удерживаются в так называемом ретентате (жидкости до фильтрации мембраной), в то время как вода и вещества низкой молекулярной массой проходят через мембрану в пермеате (фильтрате после мембраны). Таким образом, мембрана действует как физический барьер, исключая вещества по принципу просеивания, и именно по этой причине ультрафильтрационные

мембраны производят такой высококачественный продукт. Ультрафильтрационные мембраны изготавливаются либо в виде плоских листов, либо в виде труб. Мембраны представляют собой узконаправленные трубки с наружным диаметром 1,8 мм и диаметром просвета 1,2 мм (рисунок 2).

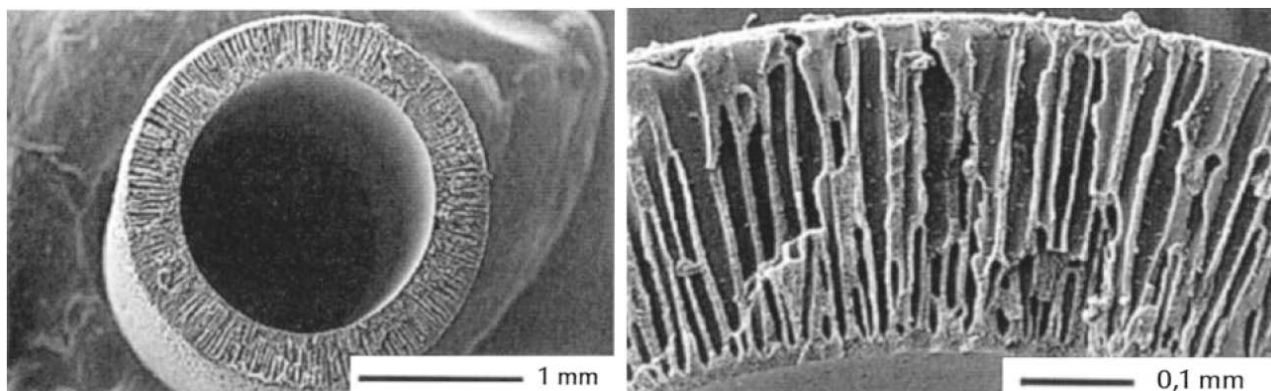


Рисунок 2 – Мембранные трубки

Они имеют внутреннюю оболочку, что означает, что предварительно обработанная питательная вода поступает в просвет, откуда она фильтруется наружу под действием силы давления. Давление через мембрану, необходимое для получения чистой отфильтрованной и обеззараженной воды, обычно составляет менее 200 кПа, обычно 120 кПа. Мембранные фильтры изготавливаются из широкого спектра синтетических материалов, включая ацетат целлюлозы, нитрат целлюлозы (коллодий), полиамид (нейлон), поликарбонат, полипропилен и политетрафторэтилен (тефлон). За исключением поликарбонатных фильтров, большинство из них образуют сложную сеть тонких взаимосвязанных каналов (рисунок 3).

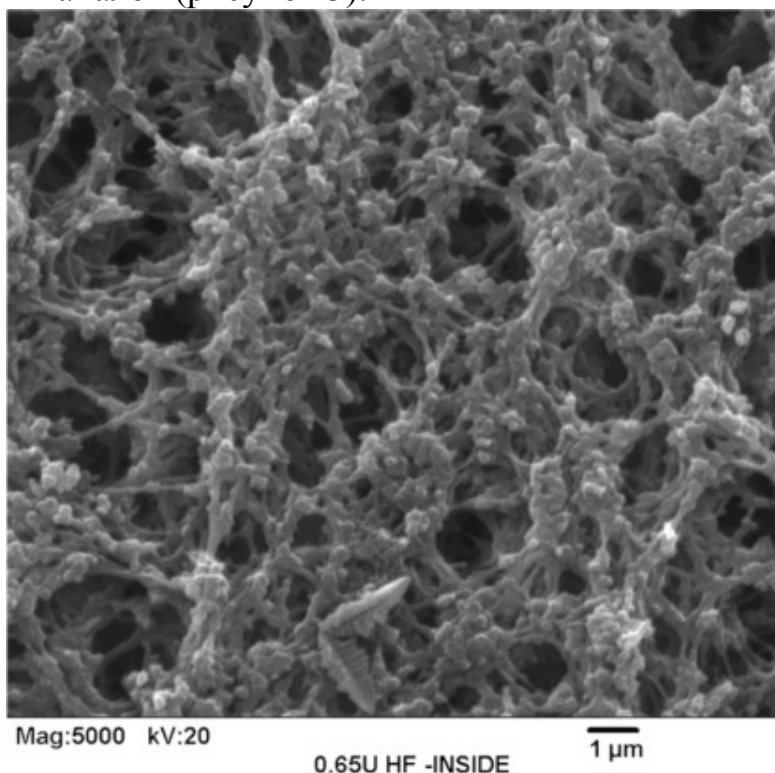
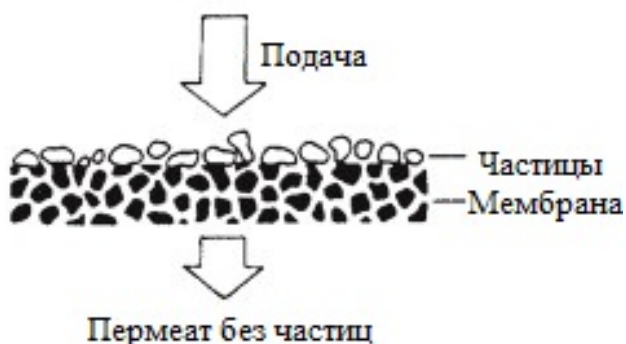


Рисунок 3 – Поликарбонатная мембрана

Фильтры из поликарбоната содержат цилиндрические поры одинакового диаметра, которые проходят непосредственно через фильтр. Поскольку поликарбонатные фильтры имеют небольшую площадь поверхности пор, они редко используются для фильтрации. Для сравнения, большинство других мембранных фильтров содержат 50-85 % фильтрующей поверхности. Таким образом, они имеют улучшенную скорость потока при том же качестве. Из-за малого диаметра пор мембранные фильтры, как правило, имеют более низкую скорость потока. Они также с большей вероятностью затыкаются, потому что большая часть фильтрации происходит на поверхности. Чтобы избежать быстрого закупоривания, можно использовать специальные направляющие, которые направляют поток жидкости параллельно фильтру, а не прямо через него (рисунок 4).

Тупиковая фильтрация



Поперечная фильтрация

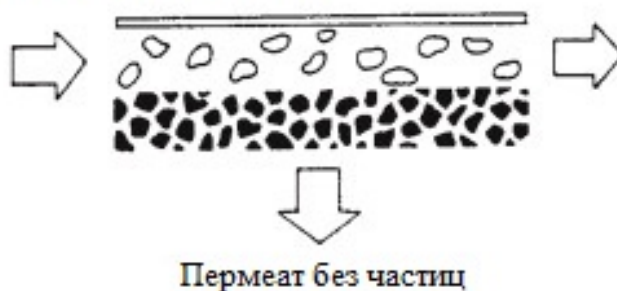


Рисунок 4 – Схема движения воды в разных системах

Параллельная система называется тангенциальной или поперечной фильтрацией потока. Обычный перпендикулярный поток называется тупиковой фильтрацией. При тангенциальной фильтрации поток воды задерживает накопление взвешенного материала на мембране, вызывая закупорку. Загрязнение может быть результатом образования поверхностного слоя. Короткая периодическая обратная промывка увеличивает срок службы фильтров.

Единственная проблема с ультрафильтрационным очистителем воды заключается в том, что он не может удалять растворенные соли в воде. Только обратный осмос может удалять тяжелые металлы и растворенные соли в воде.

УФ не может снизить жесткость воды, сохраняет минералы и оставляет тяжелые металлы, такие как свинец, мышьяк, кальций и магний, а также мелкие вирусные бактерии. В аспекте очистки воды технология ультрафильтрации позволяет удалять взвешенные твердые частицы, бактерии, вирусы и т.д. в воде. Ультрафильтрация может удалить почти все бактерии, вирусы, водоросли и водные организмы и является наиболее эффективной технологией, гарантирующей микробиологическая безопасность воды в настоящее время, и неизбежно приведет к серьезным изменениям в процессе очистки питьевой воды.

Технология УФ первоначально использовалась в химической и фармацевтической промышленности и использовалась для очистки питьевой воды в 1980-х годах [2]. С 1988 года, после строительства первой в мире станции ультрафильтрации городского водоснабжения (2300 м³/сутки) в Берне, Франция, технология ультрафильтрации, как основная технология технологии очистки городской питьевой воды третьего поколения, широко используется в области очистки воды. При обработке источников питьевой воды технология одиночной ультрафильтрации не очень эффективна, но в сочетании с другими процессами может показать хорошую производительность. Сочетание ультрафильтрации и коагуляции также является широко используемым процессом. Добавление процесса коагуляции перед процессом ультрафильтрации может повысить эффективность удаления органических и растворенных загрязняющих веществ малой молекулы, уменьшить загрязнение мембраны и поддерживать высокий поток мембраны. Коагуляция может уменьшить загрязнение мембраны, улучшить производительность мембранной фильтрации и улучшить очистку воды. В будущем следует рассмотреть возможность использования новых коагулянтов для уменьшения загрязнения мембран и повышения эффективности обработки.

Заключение

Технология ультрафильтрации скоро будет широко использоваться в различных областях очистки воды по всему миру. Поскольку эта технология соответствует концепции экологически чистых технологий и может улучшить использование энергии и ресурсов. Хотя срок службы мембран и загрязнение мембран по-прежнему являются важными ограничениями, с постоянным совершенствованием процессов сборки мембран, мембранных материалов, мембранных модулей, проектирования систем, а также технологий эксплуатации и технического обслуживания, технология ультрафильтрации, несомненно, будет получать все большее распространение в области применения для очистки воды.

Литература

1. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Изд. 2-е, перераб. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 352 с.
2. Фрог, Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – Изд. 2-е. – М. : Издательство МГУ, 1996. – 680 с.

УДК 697.34

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕЗИНФЕКЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ
THERMAL DISINFECTION OF PIPELINES**

В.Ю. Михалченок, К.С. Иванова

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

U. Mikhalchonak, K. Ivanova

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассматриваются способы дезинфекции вводимых или ремонтируемых трубопроводов открытых систем теплоснабжения и систем горячего водоснабжения. Показаны недостатки хлорирования, как способа дезинфекции. Исследованы термические способы обеззараживания трубопроводов. Показаны преимущества последних по сравнению с химической дезинфекцией.

Abstract: Methods of disinfection of introduced or repaired pipelines of open heat supply systems and hot water supply systems are considered. Disadvantages of chlorination as a method of disinfection are shown. Thermal methods of pipeline disinfection have been investigated. The advantages of the latter in comparison with chemical disinfection are shown.

Ключевые слова: дезинфекция, трубопроводы, хлорирование, термические способы обеззараживания.

Keywords: disinfection, pipelines, chlorination, thermal methods of disinfection.

Введение

Для дезинфекции вводимых или ремонтируемых трубопроводов открытых систем теплоснабжения и систем горячего водоснабжения может применяться хлорирование [1]. Дезинфекция осуществляется заполнением трубопроводов водопроводной или сетевой водой с содержанием активного хлора 75–100 мг/л при времени контакта с трубами не менее 6 ч. Однако этот способ имеет существенные недостатки, а именно: большая трудоемкость, экологические проблемы, связанные со сбросом в канализацию отработавшего раствора с высокой концентрацией активного хлора и при длительном пребывании раствора в трубах возрастает опасность внутренней коррозии. Рассмотрим термические способы обеззараживания трубопроводов.

Основная часть

В [2] показана возможность гибели санитарно-показательных микробов группы кишечной палочки и энтерококков при повышенных температурах.

Практически почти все патогенные бактерии гибнут при температуре 46–60°C и продолжительности воздействия этой температуры от нескольких минут до 30 мин.

В соответствии с [3] допускается вместо хлорирования дезинфицировать трубопроводы диаметром до 200 мм и длиной до 1 км путем их промывки горячей водой температурой не ниже 85–90°C. Однако на практике это требование в большинстве случаев невыполнимо, так как ввод сетей и их

ремонтные работы осуществляются, как правило, в летнее время, когда максимальная температура в тепловой сети и трубопроводах горячего водоснабжения не превышает 75°C.

В [4] Всероссийским теплотехническим научно-исследовательским институтом (ВТИ) совместно с Российской медицинской академией последипломного образования (РМАПО) предложен и исследован способ термической дезинфекции трубопроводов тепловых сетей и систем горячего водоснабжения при низких температурах сетевой воды (70–75°C). На основе экспериментальных исследований в лабораторных условиях были разработаны достаточные по эффективности условия для термического обеззараживания исходной технической воды с разной степенью бактериального загрязнения.

Оценка проводилась по бактериологическим показателям: общему микробному числу (ОМЧ) – количеству бактерий в 1 мл неразбавленной воды – и количеству бактерий группы кишечной палочки коли-индекс (КИ).

Экспериментальные исследования выполнялись на лабораторной установке, состоящей из термостата, в котором нагревалась и поддерживалась на заданном температурном уровне бактериально загрязненная вода из открытого водоема. Исследования проводились при температурах 50, 60 и 70°C, которые реально встречаются на практике в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения при заполнении трубопроводов после промывки. Время выдерживания воды в емкостях при заданной температуре определялось от 5 до 90 мин. При проведении эксперимента точно учитывалось (в зависимости от исходной температуры) время доведения температуры воды до необходимого значения.

Результаты исследований являются достаточно четкими в отношении основного показателя для оценки эпидемической безопасности воды – содержания кишечной палочки. Так, при температуре 60°C и времени выдерживания воды от 30 мин до 1 ч обработанная вода соответствует требованиям $КИ < 3,0$. При минимальном времени выдерживания воды (5 мин) обеззараживания воды не происходит. При низкой температуре воды 50°C независимо от продолжительности экспозиции (включая 90 мин) бактериальное загрязнение сохраняется, хотя и имеет тенденцию к снижению.

Следовательно, подогрев воды с высоким исходным загрязнением до 60°C и продолжительность выдерживания воды при этой температуре не менее 30 мин достаточны для обеспечения эпидемической безопасности процесса дезинфекции по результатам определения в воде бактерий группы кишечной палочки. Последние более устойчивы к воздействию неблагоприятных факторов по сравнению с патогенными бактериями кишечной группы. В дополнение к лабораторным исследованиям были проведены натурные наблюдения за бактериологическими показателями воды, заполняющей трубопроводы после промывки в соответствии с техническими требованиями [5].

Результаты определений коли-индекса и ОМЧ в сетевой воде по разным участкам теплотрасс позволили заключить, что качество заполняющей воды в подающих и обратных трубопроводах соответствует нормативным показателям ($КИ < 3$ и $ОМЧ < 100$) даже при более низких температурах.

Техническая возможность реализации приведенных условий (более 60°C и 30 мин) реально осуществима в тепловых сетях. При пуске открытой системы теплоснабжения в летний период после монтажа новой системы или ее капитального ремонта температура теплоносителя в подающем трубопроводе должна быть не менее 60°C и не выше 70°C. Температура 40–50°C недостаточна для перехода от химической дезинфекции к термической.

Для возможности замены хлорирования трубопроводов на термическую дезинфекцию заполнение трубопроводов должно проводиться только водой питьевого качества из подающей линии с температурой от 60 до 70°C. Что касается времени выдерживания воды в трубопроводах до полной их дезинфекции, то оно всегда практически больше 30 мин и составляет не менее 2–3 ч, так как заполнение трубопроводов и спуск воздуха до включения циркуляции, как правило, превышают 2 ч.

Осуществление термической дезинфекции трубопроводов не вносит дополнительных трудностей в технологию пуска тепловой сети и требует только заполнения трубопроводов не из обратной линии тепловой сети с температурой 40–50°C, а из подающей линии с температурой 65–70°C.

Заключение

Рассмотренный в [4] способ термической дезинфекции имеет существенные преимущества по сравнению с химической дезинфекцией:

- экологически чист, так как не связан с токсичным реагентом и сбросом отработавшего раствора в канализацию;
- не требует специальной установки для хлорирования;
- сокращает продолжительность дезинфекции с 6 до 1–2 ч.

Этот способ может применяться наряду с химическим способом для дезинфекции трубопроводов тепловых сетей открытых систем теплоснабжения и трубопроводов горячего водоснабжения при закрытой системе теплоснабжения.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М., 1996. – 288 с.
2. Бакулина, Н. А. Микробиология : [Учебник для мед. уч-щ] / Н. А. Бакулина, Э. Л. Краева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1980. – 448 с.
3. Санитарные правила устройства и эксплуатации системы централизованного горячего водоснабжения. СанПиН №4723-88. – М, 1989. – 7 с.
4. Сазонов, Р. П. Термическая дезинфекция трубопроводов тепловых сетей и систем горячего водоснабжения / Р. П. Сазонов, М. М. Гасилина // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 45–46.
5. Типовая инструкция по эксплуатации тепловых сетей. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1986. – 89 с.

УДК 621.18

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ
ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА
TECHNOLOGICAL METHODS FOR REDUCING THE FORMATION
OF FORMATION OF NITROGEN OXIDES**

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Beloziorova, V. Bayankova

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** оксиды азота являются опасными для экологии и человеческого здоровья веществами. В данной статье рассмотрены проблемы из-за возникновения NO_x и различные методы снижения их образования.*

***Abstract:** nitrogen oxides are dangerous gaseous materials for ecology and human health. This article discusses the problems due to the occurrence of NO_x and various methods to reduce their formation.*

***Ключевые слова:** оксиды азота, проблемы, методы.*

***Keywords:** nitrogen oxides, problems, methods.*

Введение

Из-за присутствия в воздухе оксидов азота, большой проблемой является их отрицательное воздействие на здоровье человека и окружающий мир. Другой проблемой, связанной с наличием в атмосфере NO_x , является образование слабых растворов азотной и азотистой кислот, приводящим к, так называемым, кислотным дождям. В связи с этим принимаются меры по уменьшению образования этих соединений.

Основная часть

В стационарных котлах обычно используются тяжелые остатки нефтепереработки - топочные мазуты или природный газ. Изменение температурного уровня и концентрации кислорода в факеле в значительной степени определяют концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания. Так же на уровень NO_x влияют дисперсность мазута, турбулентность и степень крутки факела.

На образование оксидов азота в мазутных котлах сильно влияет и температура, до которой подогревают мазут перед сжиганием. При подогреве мазута до 250°C концентрация NO_x в дымовых газах снизилась почти на 40% по сравнению с режимом нормальной температуры подогрева мазута до 130°C [1]. Этот метод оказывает определенное влияние, однако на практике использовать эти пути для защиты атмосферы удается очень редко.

Одним из методов сокращения выбросов NO_x может служить снижение азота в мазуте. На рисунке 1 приведен пример зависимости количества оксидов азота от содержания азота в топливе.

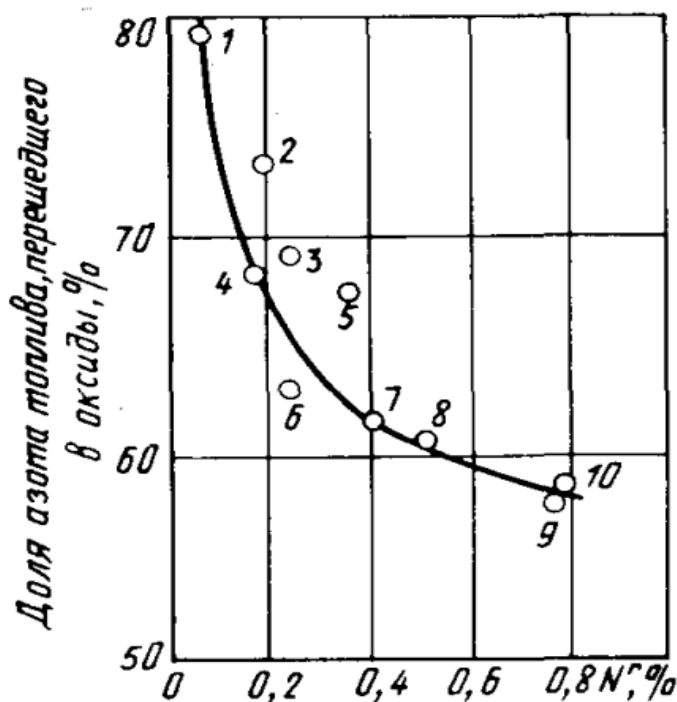


Рисунок 1 – График зависимости NO_x от содержания азота в топливе

Рециркуляция дымовых газов как метод снижения выбросов оксида азота была впервые проверена еще в 60-х годах, когда при сжигании высоковязкого мазута добились 80%-ного снижения выбросов NO_x при рециркуляции 30% охлажденных продуктов сгорания. Из результатов опытов, проведенных сотрудниками ВТИ (Всероссийский теплотехнический институт) получены следующие выводы [2]:

- Рециркуляция дымовых газов эффективна как средство подавления оксидов азота только при высокой температуре в ядре горения, т.к. она воздействует главным образом на термические NO_x .
- Степень снижения образования оксидов азота зависит не только от температуры и количества рециркулирующих дымовых газов, но и от организации их подвода в топочную камеру.

Максимальный эффект рециркуляция газов дает при введении их вместе с воздухом или по кольцевому соплу, разделяющему поток воздуха на центральный и периферийный. Последний вариант является более эффективным, так как в нем органически переплетаются метод подавления термических оксидов азота за счет снижения температуры и метод снижения топливных NO_x за счет выделения зон, обогащенной и обедненной топливом.

Еще один метод воздействия на температурный уровень при сжигании мазута состоит в подаче в камеру горения влаги в виде распыленной воды или пара. Впрыск воды в количестве 4-6% от расхода топлива через горелки нижнего яруса приводит к повышению концентрации оксидов азота на 20%. Такое же количество воды, поданное через горелки третьего яруса, приводит к снижению образования NO_x на 25-30%.

Концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания можно уменьшить путем снижения избытка воздуха, подаваемого через горелки. Это относится только к тому диапазону избытков воздуха, который применяется обычно в энергетических котлах ($1,0 \leq \alpha \leq 1,2$). Снижение возможно проводить до тех пор, пока не произойдет интенсивный рост продуктов неполного сгорания. Если продолжить уменьшение избытка кислорода, может не только уменьшаться экономичность топочного процесса, но и создастся опасность загрязнения атмосферы другими веществами.

Заключение

Сооружение новых тепловых электрических станций ставят перед энергетиками проблему по обеспечению санитарных норм по предельному содержанию оксидов азота в воздухе. Из всего описанного в данной статье, можно выделить три главных направления для решения этой задачи: переработка топлива, изменение технологии сжигания топлива и очистка дымовых газов.

Литература

1. Котлер, В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 236 с.
2. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Я. Сигал. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Педра, 1988. – 312 с.

УДК 621.18

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
КОТЛА ТГМП-114
TECHNOLOGICAL PROCESS OF OVERHAUL
OF THE TGMP-114 BOILER

Ю.М. Котько, О.Г. Сизоненко

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Kotsko, O. Sizonenko

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассмотрено устройство и особенности конструкции прямоточных котлов типа ТГМП-114. Приведены основные положения технологического процесса капитального ремонта данного котла по типовой номенклатуре. Приведена сводная ведомость трудозатрат на капитальный ремонт котла.

Abstract: The device and design features of once-through boilers of the TGMP-114 type are considered. The main provisions of the technological process of overhaul of this boiler according to the standard nomenclature are given. The summary sheet of labor costs for the overhaul of the boiler is presented.

Ключевые слова: прямоточный котел, технологический процесс, капитальный ремонт, трудозатраты.

Keywords: once-through boiler, technological process, overhaul, labor costs.

Введение

На первой очереди Лукомльской ГРЭС установлены четыре прямоточных котла типа ТГМП-114 Таганрогского котлостроительного завода «Красный котельщик» на сверхкритические параметры пара с промперегревом: $p_0 = 255$ кгс/см², $t_0 = t_{\text{пн}} = 545/545^\circ\text{C}$. Рассмотрим основные положения технологического процесса капитального ремонта данного котла по типовой номенклатуре [1, 2].

Основная часть

Котлы ТГМП-114 предназначены для работы в блоке с турбоагрегатами К-300-240 ЛМЗ по схеме «дубль-блока» и рассчитаны на сжигание двух видов топлива: природного газа и топочного мазута. Каждый корпус котла выполнен по П-образной компоновке и представляет собой самостоятельный агрегат.

Продольный разрез парового котла ТГМП-114 представлен на рисунке 1.

Технологический процесс капитального ремонта котла ТГМП-114 по типовой номенклатуре разработан на основе обобщения опыта ремонта предприятий, занимающихся ремонтом оборудования ТЭС, например ОАО «Белэнергоремналадка», чертежей завода-изготовителя ОАО «Красный котельщик», инструкций и нормативов с целью применения при ремонте наиболее рациональной формы организации работ и передовых технологических приемов, обеспечивающих высокое качество ремонта и снижение его стоимости.

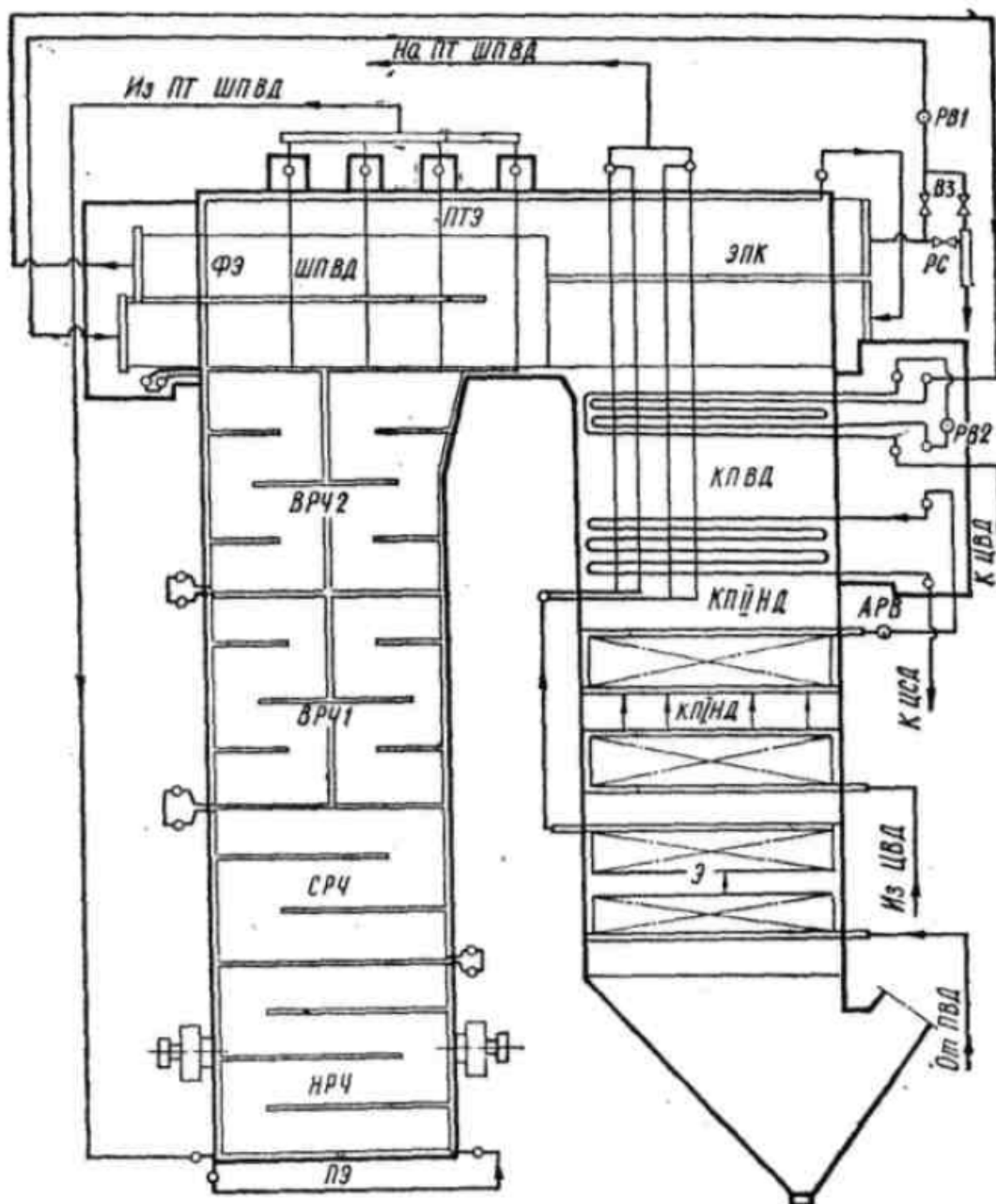


Рисунок 1 – Продольный разрез парового котла ТГМП-114: НРЧ, СРЧ, ВРЧ – нижняя, средняя и верхняя радиационные части; ШП – ширмовый пароперегреватель, ФЭ – фронтальный экран; ЭПК – экраны поворотной камеры КПВД, КПНД – конвективные пароперегреватели высокого и низкого давления

В таблице 2 приведена сводная ведомость трудозатрат на капитальный ремонт котла ТГМП-114 по технологическому процессу РК-114-00А.

В состав технологического процесса капитального ремонта котла входят следующие разделы:

- - общая часть;
- - технические условия (ТУ) на ремонт котла, содержащие величины зазоров, предельных размеров и отклонений, определяющих возможность дальнейшего использования деталей и узлов без ремонта, а также требования к отремонтированным деталям и узлам. ТУ

согласованы с заводом-изготовителем котла «Красный котельщик»

Таблица 2 – Ведомость трудозатрат на капитальный ремонт котла ТГМП-114

Наименование раздела техпроцесса	Трудоемкость н. час.	
	на 1 корпус	на котел (2 корпуса)
Предварительные, подготовительные и заключительные работы	2175,5	4351,0
Ремонт подового экрана	174,9	349,8
Ремонт экранов топки (НРЧ, СРЧ, ВРЧ) и поворотного газохода	1307,2	2614,4
Ремонт фронтного экрана	120,3	240,6
Ремонт потолочного экрана	310,6	621,2
Ремонт ширмового пароперегревателя	382,2	764,4
Ремонт конвективного пароперегревателя высокого давления	251,7	503,4
Ремонт конвективного пароперегревателя низкого давления (выходная часть)	226,8	453,6
Ремонт конвективного пароперегревателя низкого давления (входная часть)	313,3	626,6
Ремонт водяного экономайзера	251,6	503,2
Ремонт подвесной системы котла	196,2	392,4
Ремонт коллекторов котла	1437,3	2874,6
Ремонт трубопроводов	3712,7	7425,4
Ремонт горелочных устройств	927,4	1854,8
Ремонт гарнитуры котла	667,0	1334,0
Итого по техпроцессу на котел (на два корпуса)		24909,4

- - подготовка и организация ремонта. В разделе приведены ориентировочные объемы работ капитального ремонта по типовой номенклатуре и сетевой график ремонта, ориентировочный расход запасных частей на капитальный ремонт, рекомендации по подготовке организации ремонта, ведомость оргтехоснастки и оборудования, необходимого для обслуживания рабочих мест и рабочих площадок, указания по технике безопасности, рекомендуемый перечень (с приложением бланков) технической документации;
- - сводная ведомость оснастки, приспособлений инструмента. В раздел включены оснастка, приспособления и инструмент, применяемые в операционных картах техпроцесса. Количество определено из условий оптимальной организации работ по сетевому графику;
- - технология ремонтных работ разработана в виде операционных карт ремонта узлов и деталей. В операционных картах в технологической последовательности даны подробные указания по выполнению работ, указана трудоемкость каждого перехода и операции в целом, численный и квалификационный состав исполнителей, перечни оснастки, приспособлений и инструмента, необходимые для

выполнения данной операции. В приложениях к операционным картам приведены пояснительные рисунки и схемы. Операционная карта, содержащая все сведения для выполнения операции – основа для планирования работы и составления сменного задания.

Для удобства пользования технологическим процессом при ремонте все операционные карты сведены в поузловые разделы. В каждом разделе для наглядности и оперативности ведения ремонтных работ приведены маршрутная карта в табличной форме и технологическая схема ремонта данного узла, а также ведомость оснастки, приспособлений и инструмента. В маршрутную карту сведены все операции выполняемые при ремонте узла одного корпуса. Операционные карты на некоторые вспомогательные работы не разработаны, а трудоемкость, квалификационный и количественный состав исполнителей и инструмент, необходимый для выполнения этих работ указаны в маршрутной карте:

- формуляры ремонта. Выполнены в соответствии с «Инструкцией по оформлению технической документации на сварочные работы при ремонте энергетического оборудования тепловых электростанций» и являются отчетной документацией по капитальному ремонту;
- альбом оснастки и приспособлений, применяемых при ремонте.

Заключение

Как видно, ремонт котельного оборудования современных электростанций – технологический процесс, в котором участвует большое число рабочих и инженерно-технических работников и используются многие виды ремонтной техники. Поэтому большое значение имеет правильная организация и совершенствование методов ремонта установок, высокая квалификация ремонтного персонала.

Литература

1. Жилин, В. Н. Ремонт парогенераторов / В. Н. Жилин, В. М. Семенов. – М.: Энергия, 1976. – 200 с.
2. Цешковский, А. А. Ремонт оборудования котельных цехов электростанций / А. А. Цешковский. – М.: «Высшая школа», 1973. – 304 с.

УДК 621.18

**ТЕХНОЛОГИЯ РАСХОЛАЖИВАНИЯ ПРЯМОТОЧНОГО
КОТЛОАГРЕГАТА
ONCE-THROUGH BOILER COOLING TECHNOLOGY**

М.А. Ерёменко, А.А. Стрежик

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Eremenko, A. Strezhik

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рассматриваются различные способы расхолаживания прямоточных котлоагрегатов. Описана технология расхолаживания, обеспечивающая высокий темп охлаждения прямоточного котлоагрегата при поддержании термических напряжений на допустимом уровне. Приведена схема ускоренного расхолаживания. Дано описание процесса расхолаживания.

Abstract: Various methods of cooling of once-through boilers are considered. A cooling technology is described that provides a high cooling rate of a once-through boiler unit while maintaining thermal stresses at an acceptable level. The scheme of accelerated cooling is presented. A description of the cooling process is given.

Ключевые слова: прямоточный котлоагрегат, ускоренное расхолаживание, термические напряжения, промежуточный перегрев.

Keywords: once-through boiler, accelerated cooling, thermal stresses, intermediate superheat.

Введение

Опыт эксплуатации прямоточных котлоагрегатов показывает, что достаточно часто после их останова требуется глубокое охлаждение для последующего проведения ремонтно-восстановительных работ, поэтому актуальным является уменьшение времени расхолаживания котлоагрегатов до температур, обеспечивающих безопасность работ внутри топки и газоходов [1].

Основная часть

Расхолаживание котла выпуском пара и вентиляцией тягодутьевыми машинами не обеспечивает высокого темпа остывания котла. Принудительное расхолаживание водой ускоряет процесс охлаждения пароводяного тракта на отдельных этапах, но не решает комплексной задачи ускоренного вывода котла в ремонт. При отсутствии интенсивного расхолаживания тракта промежуточного перегрева пара, это увеличивает общее время охлаждения котлоагрегата. Кроме того, если расхолаживание котла от 150 до 50°C производится только вентиляцией воздухом топки и газоходов, то при этом толстостенные элементы котла, расположенные вне топки и газоходов (перепускные трубы и коллекторы), принудительно не расхолаживаются, а остывают только за счет теплопроводности по длине трубопроводов.

В [2] предложена технология расхолаживания, которая, с одной стороны, обеспечивает высокий темп охлаждения котла до температур 50–60°C, с другой –

поддерживает значения возникающих термических напряжений на уровнях, не превышающих допустимые для любого сечения пароводяного тракта.

На рисунке 1 дана схема, поясняющая данный способ расхолаживания.

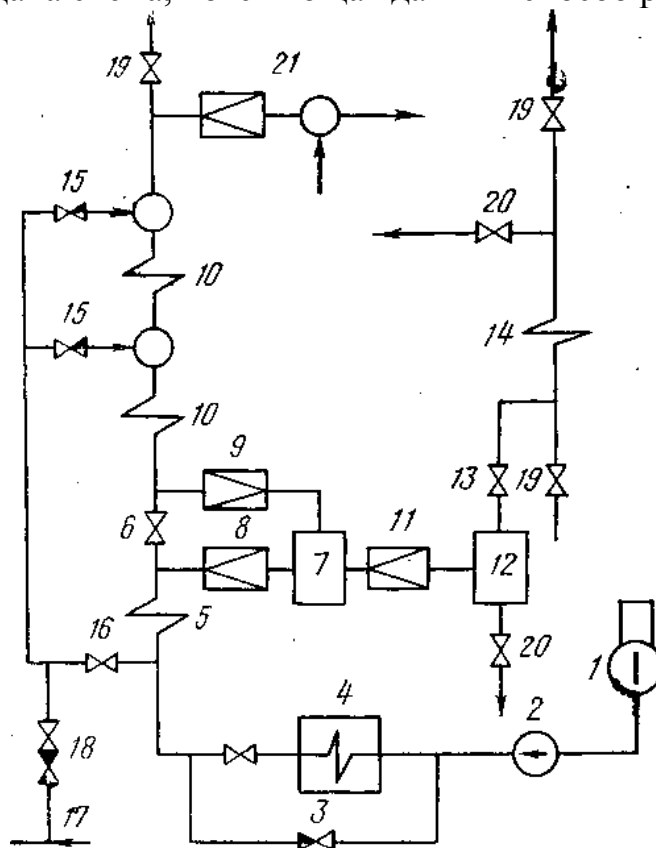


Рисунок 1 – Схема основных узлов ускоренного расхолаживания пароводяного тракта:

- 1 – деаэратор; 2 – питательный насос; 3 – обводная линия с регулирующим клапаном;
- 4 – подогреватели высокого давления; 5 – испарительные поверхности нагрева;
- 6 – встроенная задвижка; 7 – встроенный сепаратор; 8, 9, 11 – дроссельные клапаны;
- 10 – пароперегревательные поверхности нагрева; 12 – растопочный расширитель 2 МПа;
- 13, 16 – задвижки; 14 – поверхности промежуточного перегрева пара; 15 – регулирующие клапаны впрыскивающих пароохладителей; 17 – линия холодного конденсата; 18 – задвижка и обратный клапан; 19 – задвижки, отключающие котел от турбины; 20 – задвижки на сбросах в конденсатор; 21 – пускосбросное устройство

После останова котла и закрытия задвижек 19, а также встроенных задвижек (ВЗ) питательную воду расходом 8–10% номинального подают в испарительные поверхности, где поддерживают закритическое давление, и далее во встроенный сепаратор. Отсепарированный пар направляют в пароперегревательные поверхности и сбрасывают через пускосбросное устройство 21 в конденсатор. Воду из сепаратора повторно разделяют в расширителе 2 МПа. Получаемый при этом насыщенный пар подают через задвижку 13 для расхолаживания и отмывки тракта промежуточного перегрева пара. Максимально возможный темп расхолаживания тракта до ВЗ достигается увеличением расхода питательной воды через регулирующий клапан 3. Высокий темп охлаждения тракта за ВЗ поддерживается прикрытием клапанов 11. Скорость остывания тракта промежуточного перегрева пара регулируется задвижками 20. При снижении температуры металла выходного коллектора первичного пароперегревателя до 250°С включают тягодутьевые машины, прикрывают клапан 3, закрывают

клапаны 8, открывают задвижку 16 и начинают подавать питательную воду через впрыскивающие пароохладители первичного пароперегревателя обратным ходом во встроенный сепаратор с последующим сбросом среды в расширитель. Темп охлаждения тракта за ВЗ на этом этапе обеспечивается регуляторами 15. Проводят постепенное снижение температуры охлаждающей воды понижением давления в деаэраторе, а при остывании металла выходного коллектора первичного пароперегревателя до 125–130°C заменяют подачу питательной воды из деаэратора подачей конденсата 30°C, закрыв задвижку 16 и открыв задвижку 18. Расхолаживание заканчивают при охлаждении металла котла до температур 50–60°C, обеспечивающих безопасность работ внутри котлоагрегата.

Заключение

В заключение отметим, что продолжительность ускоренного расхолаживания прямоточного котла составляет примерно 3–5 ч, естественного – 6–12 ч. При расхолаживании по предложенной в [2] технологии пароводяной тракт до встроенной задвижки полностью отмывается от солей жесткости, окислов железа и кремниевой кислоты, что при последующем пуске котла исключает затраты времени и энергоресурсов на этапе горячей отмывки.

Литература

1. Жилин, В. Н. Ремонт парогенераторов / В. Н. Жилин, В. М. Семенов. – М.: Энергия, 1976. – 200 с.
2. Якубенко, И.А. Ускоренное расхолаживание прямоточного котла / И. А. Якубенко, А. А. Рябис // Теплоэнергетика. – 1980. – № 6. – С. 35–37.

УДК 621.438

**УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ
DEVICE AND OPERATION OF THE BOOSTER COMPRESSOR STATION**

Р.И. Осташков, Е.И. Смыкал

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

R. Ostashkov, E. Smykal

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Рассматривается назначение и устройство дожимной компрессорной станции парогазовой установки Минской ТЭЦ-2. Описаны основные характеристики поршневых газовых компрессоров. Приведены основные показатели винтовой компрессорной станции, устанавливаемой с целью модернизации схемы газоснабжения газовых турбин.*

***Abstract:** The purpose and arrangement of the booster compressor station of the combined cycle gas plant of Minsk CHP-2 is considered. The main characteristics of reciprocating gas compressors are described. The main characteristics of the screw compressor station installed with the aim of modernizing the gas supply scheme for gas turbines are presented.*

***Ключевые слова:** дожимной компрессор, винтовой компрессор, природный газ, давление.*

***Keywords:** booster compressor, screw compressor, natural gas, pressure.*

Введение

Назначение дожимной компрессорной станции (ДКС) – подача природного газа необходимых параметров в камеры сгорания газовых турбин [1]. Рассмотрим особенности устройства и эксплуатации ДКС парогазовой установки (ПГУ) Минской ТЭЦ-2.

Основная часть

Газодожимные компрессоры выбирают с учетом состава и расхода топливного газа; исходных давления и температуры и давления и температуры нагнетания. Также учитываются экономические характеристики: цена установки и стоимость технического обслуживания; потребляемая мощность.

Существует зависимость между давлением нагнетания и экономичностью газотурбинной установки (ГТУ) (рисунок 1) [2]. Как видно из рисунка 1, с повышением давления нагнетания КПД ГТУ увеличивается.

Дожимная компрессорная станция дубль-блока ПГУ Минской ТЭЦ-2 состоит из трех поршневых компрессоров (два рабочих, один резервный), приводимых в действие электродвигателями, и вспомогательного оборудования.

Поршневой компрессор – это компрессор, у которого поршни в цилиндрах совершают возвратно-поступательные движения. Движение поршней обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом от вала с приводным двигателем.

Компрессоры этого типа работают в широком диапазоне изменения эксплуатационных параметров, их КПД выше, чем у центробежных или винтовых. Однако, они имеют более существенные габариты и стоимость технического обслуживания.

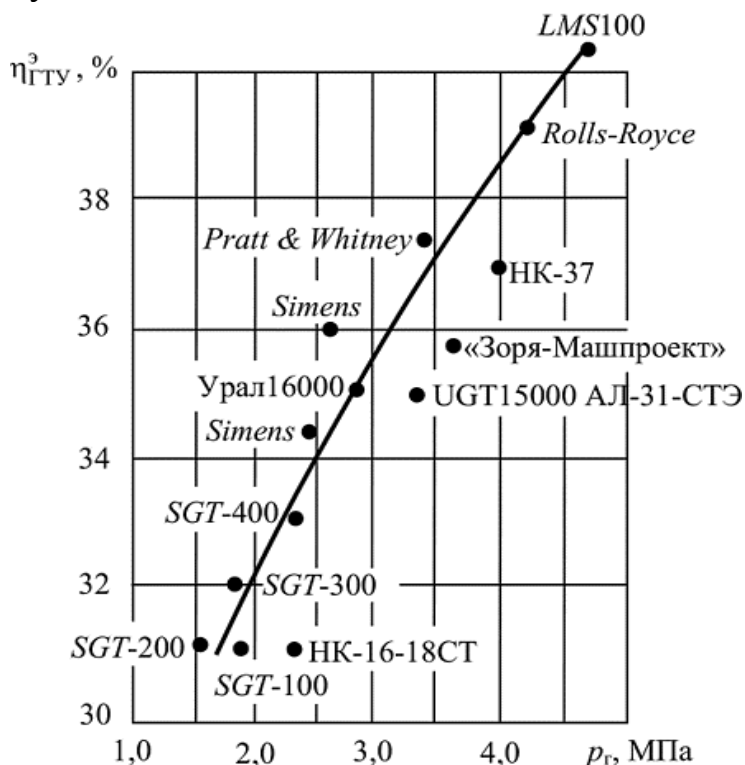


Рисунок 1 – Зависимость КПД ГТУ от давления нагнетания

Природный газ на ПГУ поступает от газопровода с рабочим давлением 0,2–0,3 МПа в один из двух параллельно установленных фильтров грубой очистки, далее в выходной коллектор после фильтров грубой очистки и на узел учета расхода газа, после чего поступает в сепаратор первой ступени компрессора, откуда газ поступает в цилиндр первой ступени компрессора, где сжимается до 0,8–0,95 МПа.

Впускные клапаны пропускают газ внутрь и предотвращают обратный выход газа во время хода сжатия. Также в цилиндры первой и второй ступеней и сальниковые уплотнения между цилиндрами и средней частью компрессора впрыскивается масло от масляного инжектора (лубрикатора), что позволяет обеспечить смазку поршней при работе компрессора и смазку штоков поршней компрессора.

После сжатия в первой ступени компрессора газ поступает в ресивер первой ступени компрессора для снижения пульсаций газа после компрессора и далее поступает в газоохладитель, где охлаждается до температуры около 40°С.

Далее газ поступает в сепаратор второй ступени, где происходит отделение газа от масла, которое впрыскивалось в цилиндр сжатия компрессора и далее во вторую ступень компрессора, где сжимается до 2,42 МПа, после чего поступает в ресивер второй ступени компрессора для снижения пульсация газа, в газоохладитель второй ступени компрессора, где газ охлаждается до примерно 50°С, и поступает в выходной сепаратор, где происходит разделение газа и

масла, впрыскиваемого в цилиндр 2-ой ступени. Далее газ поступает в фильтр тонкой очистки, где происходит окончательная его очистка, и поступает к газовым турбинам.

В 2020 году на площадке газового хозяйства Минской ТЭЦ-2 произведены работы по монтажу новой ДКС. В ее основе – винтовой маслозаполненный компрессор. Производительность установки составляет 100% от максимальной подачи природного газа на обе ГТУ, то есть происходит полное дублирование поршневых компрессоров.

Винтовой компрессор имеет два винтовых ротора. Ведущий ротор с выпуклой нарезкой соединён непосредственно или через зубчатую передачу с двигателем. На ведомом роторе нарезка с вогнутыми впадинами. Роторы расположены в разъёмном корпусе, имеющем один или несколько разъёмов. В корпусе выполнены расточки под винты, подшипники и уплотнения, а также камеры всасывания и нагнетания.

Кроме того для удовлетворения повышенных требований к чистоте топливного газа усилена система фильтрации. Помимо газо-масляного фильтра-сепаратора 1-й ступени очистки и коалесцирующего фильтра 2-й ступени, стандартно расположенных на линии нагнетания, в блок-модуль встроены дополнительный (страховочный) фильтр тонкой очистки газа.

В маслосистеме ДКС используется сложноэфирное синтетическое масло нового поколения, которое специально создано для установок, выполненных на базе винтовых компрессоров.

За контроль, управление и безопасность технологических процессов новой ДКС отвечает двухуровневая система автоматизированного управления и регулирования (САУиР), которая интегрируется в АСУ ТП Минской ТЭЦ-2.

Заключение

На Минской ТЭЦ-2 изначально была установлена ДКС с газодожимными компрессорами поршневого типа. Ввод новой ДКС винтового типа, проводимый в рамках модернизации схемы газоснабжения ПГУ, увеличит возможности существующей системы газоподготовки. Станция обеспечит стабильные расчетные значения газа по давлению нагнетания (2,481–2,581 МПа) и температуре (до +50°C).

Литература

1. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 594 с.
2. Цанев, С. В. Газотурбинные энергетические установки / С. В. Цанев [и др.]. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.

УДК 621.04(03)

**ЭЛЕКТРОПРИВОДНАЯ АРМАТУРА РАСХОДОМЕРНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ И ПОСТОЯННОЙ ПРОДУВКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА
ELECTRIC DRIVE FITTINGS OF FLOW SENSORS FOR PERIODIC AND CONTINUOUS BLOWDOWN OF THE STEAM GENERATOR**

Е.А. Коротаев

Научный руководитель – А.Г. Герасимова, доцент, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Korotaev

Supervisor – A. Gerasimova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** рассмотрена возможность замены ручных приводов арматуры, установленной в здании вспомогательного корпуса второго энергоблока Белорусской атомной электростанции для обеспечения работоспособности расходомерных датчиков периодической и постоянной продувки при отключении парогенератора на арматуру с электроприводом; определен тип арматуры, приведено её устройство и классификация; рассмотрена система продувки парогенератора.*

***Abstract:** considered the possibility of replacing the manual drives of valves installed in the building of the auxiliary building of the second power unit of the Belarusian nuclear power plant to ensure the operability of flow sensors of periodic and continuous blowdown when the steam generator is turned off for valves with an electric drive; the type of fittings is determined, its structure and classification are given; the blowdown system of the steam generator is considered.*

***Ключевые слова:** атомная станция, трубопроводная арматура, ручные приводы, электроприводы, парогенератор, система продувки.*

***Keywords:** nuclear power plant, pipeline fittings, manual drives, electric drives, steam generator, blowdown system.*

Введение

Атомная электростанция (АЭС) представляет собой современное сложное производство с высоким уровнем опасности. Существенное влияние на надежность и безопасность АЭС оказывает правильный выбор арматуры, которая должна способствовать большей надежности и гибкости эксплуатации основного оборудования и трубопроводов АЭС, давая возможность отключать аварийные участки.

Все трубопроводы АЭС и отдельное оборудование снабжают арматурой, предназначенной для управления потоками (отключения, распределения, регулирования, сброса, смешивания, фазоразделения) рабочих сред путем изменения площади проходного сечения. Арматуру можно классифицировать по ряду признаков: условиям работы (рабочая среда, температура, давление), назначению, характеру взаимодействия запирающего или регулирующего органа с рабочей средой, условному проходу.

По назначению: запорная (включение/отключение потока), предохранительная (недопущение изменения направления расхода, предупреждение чрезмерного повышения давления), регулирующая (изменение или поддержание заданных расхода, температуры, давления), контрольная (указатели уровня) и конденсатоотводчики (автоматический отвод конденсата).

Для автоматизации и механизации арматуры, управления процессами ее открытия и закрытия, определения и регулирования места положения запирающего элемента, выполнения диагностических функций используются приводы арматуры. В зависимости от вида конструктивного устройства и назначения приводы трубопроводной арматуры подразделяют на ручные и механизированные. К механизированным приводам относятся: электрические, пневматические, гидравлические и электромагнитные. На АЭС используется как ручная арматура, так и с электроприводом.

Основная часть

В процессе сооружения второго энергоблока Белорусской АЭС, была проведена замена ручных приводов арматуры 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001 на электропривод (тип МОА ОС 400-63) с арматур 20LCQ15, 25, 35, 45AA101, 20LCQ16, 26, 36, 46AA108 [1].

Арматуры 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001 установлены в здании вспомогательного корпуса второго энергоблока Белорусской АЭС и обеспечивают работоспособность расходомерных датчиков периодической и постоянной продувки при отключении парогенератора (далее – ПГ). Анализируя KKS определяем арматуры: 20LCQ15AA001, 20LCQ25AA001, 20LCQ35AA001, 20LCQ45AA001, 20LCQ16AA001, 20LCQ26AA001, 20LCQ36AA001, 20LCQ46AA001. По НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97), определяем, что данные арматуры соответствуют клапанам сильфонным запорным четвертого класса безопасности – А10821-0140-80, 4 [2].

Определение арматур. Арматуры 20LCQ15, 25, 35, 45AA101 и 20LCQ16, 26, 36, 46AA108 установлены в здании реактора второго энергоблока Белорусской АЭС и обеспечивают отсечение ПГ, в случае появления в нем активности при протечке из первого контура. Анализируя KKS определяем арматуры: 20LCQ15AA101, 20LCQ25AA101, 20LCQ35AA101, 20LCQ45AA101, 20LCQ16AA108, 20LCQ26AA108, 20LCQ36AA108, 20LCQ46AA108. По НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97), определяем, что данные арматуры соответствуют также клапанам сильфонным запорным, но второго класса безопасности – А10821-0140-80, 2. Чертеж клапана сильфонного запора приведен на рисунке 1.

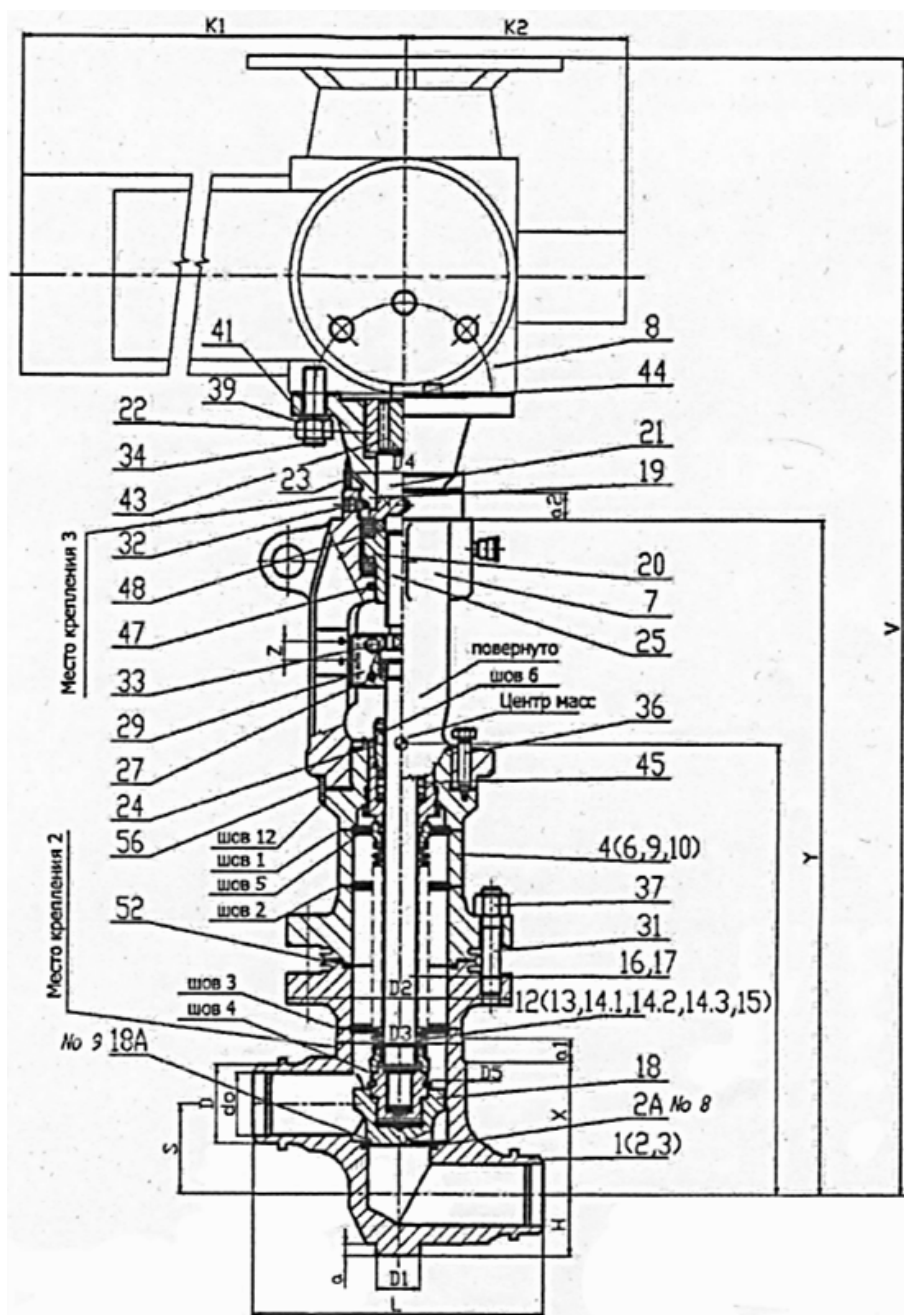


Рисунок 1 – Клапан сифонного запора А10 823-0140-80

Назначение, устройство и классификация клапана сифонного запорного А10821-0140-80.

- По области применения сифонный запорный клапан А10821-0140-80 относится к специальной арматуре, к которой относят арматуру для АЭС, судовых энергетических установок, для объектов военной промышленности и т.д. Специальная арматура конструируется и поставляется по отдельным заказам;
- По функциональному виду – запорная, предназначенная для регулирования параметров рабочей среды изменением её расхода. Это: регуляторы давления и уровня жидкости, регулирующие клапаны и т.д.;
- По конструктивному типу – вентили (клапаны), у которых

регулирующий или запорный орган перемещается возвратно-поступательно параллельно потоку теплоносителя.

- По температурному режиму – для средних температур (рабочие температуры до +455 °С);
- По условному давлению теплоносителя – высокого давления (от 10 до 80 МПа);
- По способу герметизации – сильфонная арматура. Сильфон также является силовым или чувствительным конструктивным элементом;
- По способу присоединения к трубопроводу – арматура под приварку, которая приваривается к трубопроводу или емкости;
- По способу управления: для арматур 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001 – арматура на ручном управлении; для арматур 20LCQ15, 25, 35, 45AA101, 20LCQ16, 26, 36, 46AA108 – арматура приводная. Управление осуществляется при помощи привода (дистанционно или непосредственно).
- Класс безопасности:

Для арматур 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001 – это 4-й класс. К 4 классу безопасности относятся элементы нормальной эксплуатации АЭС, не влияющие на безопасность и не вошедшие в классы безопасности 1, 2, 3. Для арматур 20LCQ15, 25, 35, 45AA101, 20LCQ16, 26, 36, 46AA108 – безопасности – это 2-й класс. Ко 2-му классу безопасности относятся следующие элементы АЭС:

- элементы, отказы которых являются исходными событиями, приводящими к повреждению ТВЭЛов в пределах, установленных для проектных аварий, при проектном функционировании систем безопасности с учетом нормируемого для проектных аварий количества отказов в них;
- элементы систем безопасности, единичные отказы которых приводят к невыполнению соответствующими системами своих функций [3].

Система продувки парогенератора. Назначение системы продувки парогенератора. Данная система предназначена для поддержания нормального водно-химического режима ПГ и работает по принципу отбора части питательной воды в местах наиболее вероятного образования продуктов коррозии, накопления солей и шлама.

На рисунке 2 представлена упрощенная схема системы продувки ПГ.

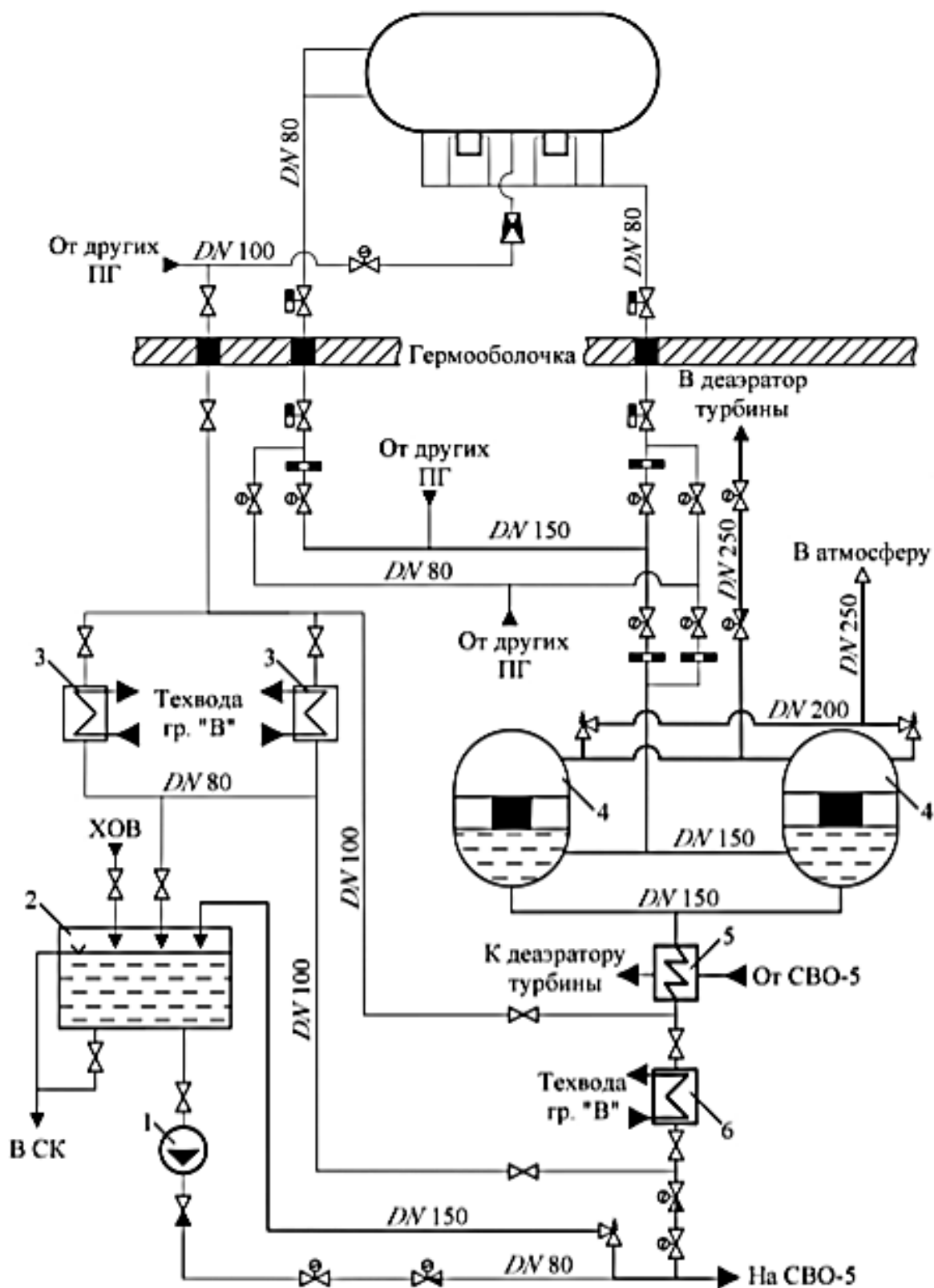


Рисунок 2 – Упрощенная схема системы продувки ПГ:

- 1 – насос откачки бака слива воды из ПГ; 2 – бак слива воды из ПГ; 3 – охладители дренажа;
- 4 – расширители продувки; 5 – регенеративный теплообменник продувки ПГ;
- 6 – доохладитель продувки

Схема отбора питательной воды из ПГ для дренирования и продувки приведена на рисунке 3.

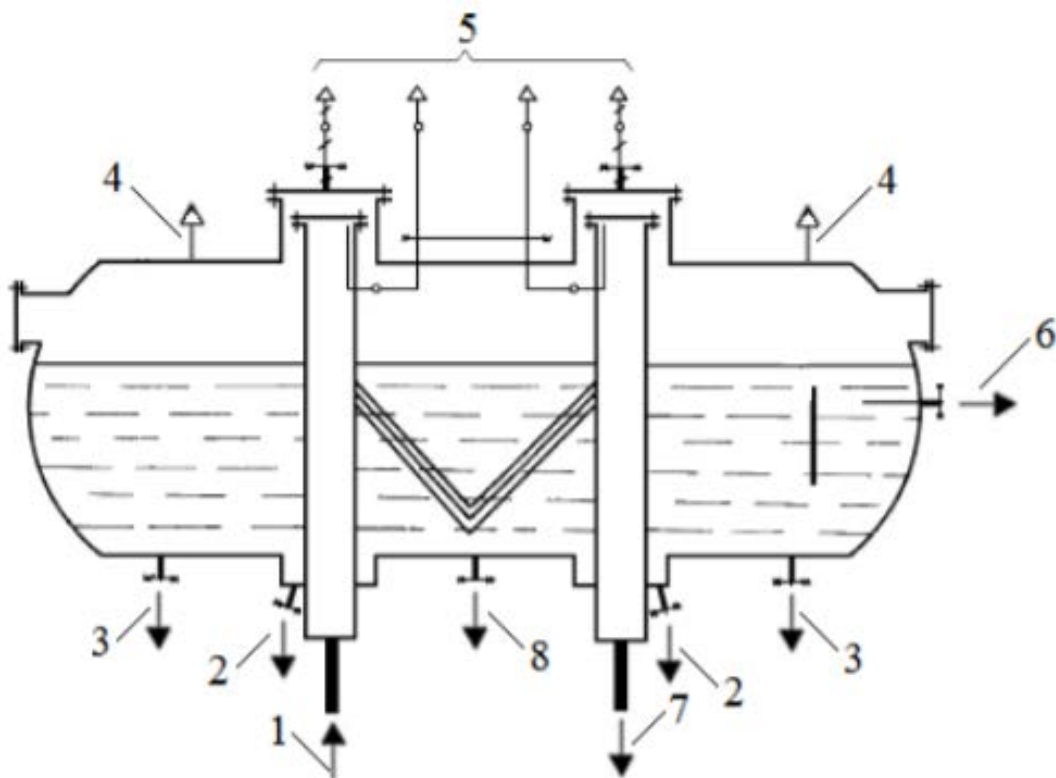


Рисунок 3 – Схема отбора питательной воды из ПГ для дренирования и продувки: 1 – от реактора; 2 – продувка из карманов коллекторов; 3 – продувка из дна; 4 – пар на турбину; 5 – воздушники; 6 – продувка из солевого отсека; 7 – к главному циркуляционному насосу; 8 – дренаж

Со стороны реакторной установки к системе продувки парогенератора предъявляются требования: обеспечение постоянной продувки с расходом 7,5 т/ч от каждого ПГ; проведение периодической продувки расходом 30 т/ч, причем суммарный расход продувочной воды от всех четырех ПГ должен составлять 60 т/ч; дренирование каждого ПГ с расходом не менее 30 т/ч при температуре питательной воды $< 100^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении в ПГ.

Система продувки ПГ очень важна для обеспечения безопасности системой нормальной эксплуатации, состоящей из двух технологических подгрупп: дренирования и продувки ПГ. При этом подгруппа продувки ПГ предназначена для поддержания качества воды ПГ и включает: трубопроводы периодической и непрерывной продувки с дроссельными устройствами; расширители продувки; регенеративный теплообменник продувки; доохладитель продувки; регуляторы уровня и давления в расширителях продувки с регулирующим клапаном; арматуру и трубопроводы, контрольно-измерительные приборы.

Заключение

Замена ручных приводов арматуры 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001 на электропривод (тип МОА ОС 400-63) с арматур 20LCQ15, 25, 35, 45AA101, 20LCQ16, 26, 36, 46AA108, обусловлена необходимостью бесперебойной работы расходомерных датчиков периодической и постоянной продувки при отключении ПГ во время проведения подэтапа А-3 «Холодно-горячая обкатка реакторной установки» этапа А «Подготовительный этап». При неверном показании расходомерных датчиков воды для продувки ПГ может быть

недостаточно. В результате накопление продуктов коррозии, шлама и солей, ПГ может прийти в непригодность. Ремонт в случае отказа работы одного из ПГ реакторной установки невозможен и требует незамедлительного останова блока для замены парогенератора.

Установка электропривода позволит увеличить срок эксплуатации ПГ и с помощью систем автоматизированного управления более корректно регулировать подачу продувочной воды.

Установка ручных приводов на арматуры 20LCQ15, 25, 35, 45AA101, 20LCQ16, 26, 36, 46AA108 целесообразна при выполнении холодно-горячей обкатки реакторной установки с имитаторами тепловыделяющих сборок без загрузки радиоактивного топлива в рамках подэтапа А-3 «Холодно-горячая обкатка реакторной установки» этапа А «Подготовительный этап» [4].

Литература

1. Техническое решение АО ИК «Атомстройэкспорт» №318-21 от 28.06.2021 «О замене приводов арматур 20LCQ15, 16, 25, 35, 36, 45, 46AA001».
2. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200048646>. – Дата доступа: 14.10.2021.
3. ГОСТ 31901-2013 Арматура трубопроводная для атомных станций. Общие технические условия.
4. Каратушина И. В., Разин В. А. Технологические системы и оборудования реакторного отделения энергоблока с реактором ВВЭР-1000. – Нижний Новгород, 2018. – 333 с.

УДК 621.31.027

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА
WASTE-TO-ENERGY FACILITY**

В.В. Ключев, А.А. Казак

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Kluev, A. Kazak

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Сейчас выработка электроэнергии за один день является наиболее важным вопросом для каждой страны. Эта мощность генерируется некоторыми тепловыми циклами. Но один цикл не может обеспечить полные требования к мощности, а его эффективность также очень низкая, так что для выполнения этих требований необходимо объединить два или более циклов в одной электростанции, тогда мы сможем повысить эффективность электростанции.*

***Annotation:** Now the generation of electricity in one day is the most important issue for each country. This power is generated by some thermal cycles. But one cycle cannot meet the full capacity requirements, and its efficiency is also very low, so to meet these requirements, it is necessary to combine two or more cycles in one power plant, then we can improve the efficiency of the power plant.*

***Ключевые слова:** газотурбинная установка, цикл Ренкина, цикл Брайтона, комбинированная электростанция, паровая турбина.*

***Key words:** gas turbine, Rankine cycle, Brighton cycle, combined power plant, steam turbine.*

Введение

Электростанция комбинированного цикла представляет собой комбинацию простой газотурбинной установки и паровой турбины. Схема комбинированной установки (рисунок 1). Электростанция с комбинированным циклом. У неё, как правило, два цикла, первый цикл – это цикл газовой турбины, а второй цикл – цикл Ренкина, такая электростанция рассчитана на максимальную выработку электроэнергии.

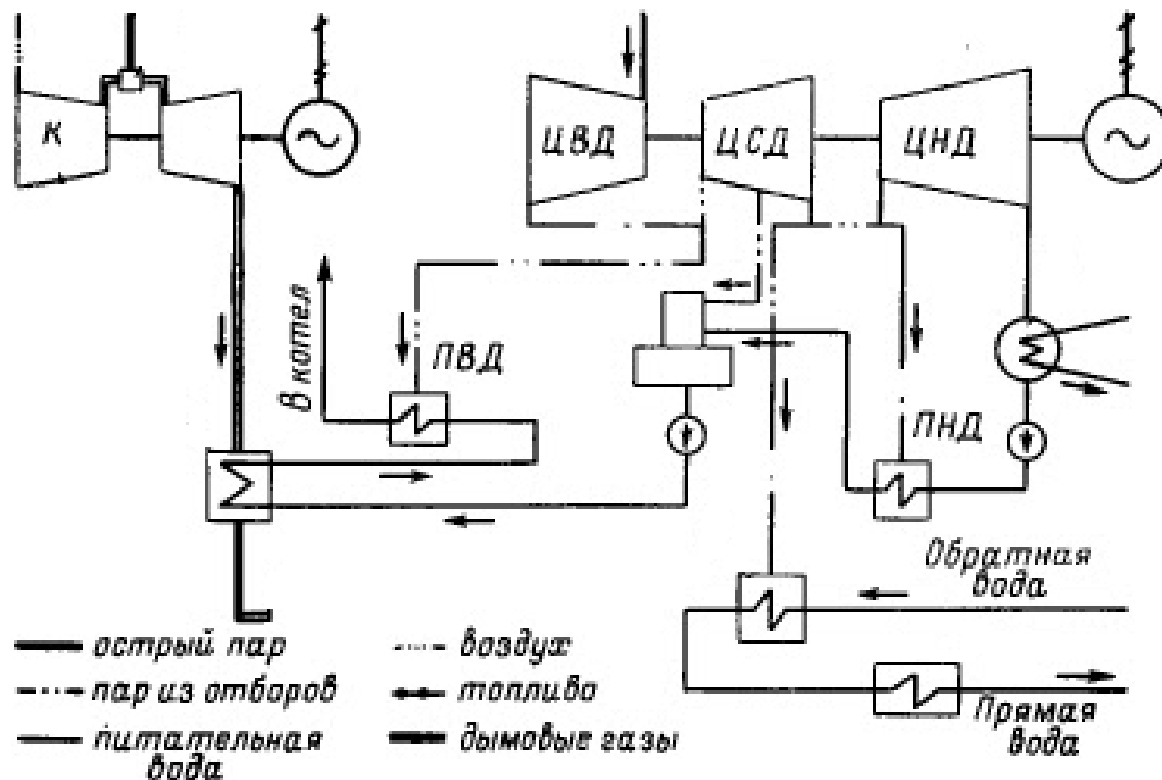


Рисунок 1 – Схема комбинированной установки

Основная часть

В данной схеме, когда тепло, подаваемое в паровую турбину, увеличивается, давление и температура пара также повышаются за счет этой операции, и возможна лучшая выходная мощность газовой турбины и паровой турбины. Это помогает, наконец, увеличить производительность установки комбинированного цикла, а также повышает эффективность практического комбинированного цикла электростанция. В этой электростанции комбинированного цикла первой операцией является работа газовой турбины, при которой, когда происходит сгорание в камере сгорания, продукты сгорания расширяются в газовой турбине, вырастает мощность на валу турбины. Вторая операция заключается в том, что когда выхлопные газы расширяются в газовой турбине, они поступают в котел-утилизатор, так что вода, находящаяся в котле, преобразуется в пар. Этот пар высокого давления и температуры расширяется в паровой турбине.

Электростанция с комбинированным циклом состоит из осевого проточного компрессора, камеры сгорания. Атмосферный воздух сначала подается в компрессор, где он сжимается до 8 бар с повышением температуры. Сжатый воздух отправляется в камеру сгорания. Природный газ с большим количеством метана (70%), этан (30%) впрыскивается через форсунки внутри камеры сгорания. При сгорании топлива образуются выхлопные газы. Эти газы попадут в газовую турбину, вращая ее вал. Выхлопные газы после выработки электроэнергии попадают в котел-утилизатор в нижнем цикле. Нижний цикл состоит из котла-утилизатора, трех цилиндров турбины, подогревателей высокого и низкого давления, деаэратора, насосов. Выхлопные газы,

поступающие из газовой турбины, используются для нагрева вода в котле-утилизаторе. Вода нагревается до необходимой температуры и отправляется в первый цилиндр. После расширения в турбине пар выходит и часть подается в питающий подогреватель. Пар производя работу в цилиндрах турбины расширяется, часть его отбирается на регенеративный подогрев, другая часть забирается отопительными отборами. Оставшейся отработавший пар поступает в конденсатор, где сконденсируется и продолжит цикл. Снятая мощность с вала газовой и паровой турбины вращает электрогенераторы вырабатывая электроэнергию.

Заключение

Комбинированные электростанции являются сейчас наиболее эффективными с точки зрения выработки электроэнергии. Такие станции обладают хорошей маневренностью, что позволяет покрывать суточные минимумы и максимумы потребления. Большим преимуществом таких блоков является быстрый пуск после остановки или с холодного состояния.

Литература

1. Цанаев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремизов ; под ред. С. В. Цанева. – 2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
2. Радин, Ю. А. Особенности эксплуатационных режимов парогазовой установки типа ПГУ-230Т Минской ТЭЦ-3 / Ю. А. Радин, В. И. Гомболевский, А. И. Чертков [и др.] // Электрические станции. – 2010. – № 3. – С. 20–26.
3. Фаворский, О. Н. Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГПУ нового поколения и ПГУ на ее основе / О. Н. Фаворский, В. Л. Полищук // Теплоэнергетика. – 2010. – № 2. – С. 2–6.

УДК 621.311

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ENERGY PROBLEMS**

А.В. Лесун, В.В. Якимцова

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Lesun, V. Yakimtsova

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье рассматриваются энергетические проблемы. Такие как нарушение природных энергетических потоков, истощение энергетических ресурсов, централизация и войны за энергоресурсы.

Abstract: This article discusses energy issues. Such as disruption of natural energy flows, depletion of energy resources, centralization and wars over energy resources.

Ключевые слова: энергия, проблемы, источники энергии, централизация, топливо.

Keywords: energy, problems, energy sources, centralization, fuel.

Введение

Энергия является основой всей деятельности. Без энергии ничто не движется и не трансформируется; и поэтому устойчивое общество может существовать только на основе устойчивой энергетической системы.

Хотя высококонцентрированные формы энергии, встречающиеся в природе, позволяют в свободное время быстро создавать все более сложные инструменты, их использование не является устойчивым.

В целом, практика добычи природно-концентрированной энергии вызывает 4 взаимосвязанные фундаментальные проблемы: нарушение природных энергетических потоков, истощение, централизацию и войны за ресурсы.

Основная часть

Природа концентрирует эти потоки энергии для своих собственных целей, и когда мы нарушаем или отвлекаем их, мы вызываем чрезвычайный хаос в природных системах – от вырубки целых лесов до обрушения рек и высвобождения химического «коктейля», который до сих пор надежно хранился под землей.

Это нарушение не должно нас удивлять, поскольку энергия необходима для всей жизнедеятельности, а концентрированные потоки энергии выполняют важнейшие функции: леса образуют важнейшие органы жизни, которые очищают воздух и воду, извлекают влагу из глубокого подполья и обеспечивают среду обитания для большинства наземных видов. Реки – это артерии, по которым циркулирует вода, необходимая для жизни. Ископаемое топливо представляет собой огромное количество углерода, который при выкапывании и сжигании нарушает тепловой баланс всего земного шара.

Эти концентрированные источники энергии являются вершиной огромной энергетической пирамиды сети и образуют ключевые камни всей сети жизни;

удаляя или разрушая их, мы рискуем разрушить всю структуру, на которой мы стоим. В этом корень экологического кризиса.

Первая проблема связана с тем, что вокруг относительно мало этих естественно сконцентрированных запасов энергии.

Это происходит потому, что для концентрации энергии требуется энергия, а для создания больших запасов концентрированной энергии требуется гораздо большее количество энергии. Все источники энергии, о которых говорилось выше, получены из солнечных процессов, и поэтому по определению во всех источниках энергии, получаемой от солнца, содержится меньше энергии, чем первичная солнечная энергия, попадающая на землю.

Например, для образования ископаемого топлива потребовались сотни миллионов лет, и все же солнце за один год дает больше энергии, чем человечество когда-либо извлечет из ископаемого топлива. Около процента солнечной энергии поглощается растениями в процессе фотосинтеза; по оценкам, мы могли бы извлечь лишь малую часть этой энергии, и опять же это игнорирует экологическое разрушение, которое не разрушило бы питательную базу лесов и в конечном итоге не превратило бы их в пустыни [1].

Общее правило состоит в том, что в естественных производных солнечной энергии гораздо меньше энергии, чем в прямой солнечной энергии. Это также относится и к энергии ветра, которая, хотя и в большем количестве, особенно в некоторых местах, чем некоторые из вышеперечисленных источников энергии, преобразуется в ветер лишь небольшая часть исходной солнечной энергии, и только небольшую часть этой энергии мы когда-либо могли бы извлечь за исключением строительства ветряных мельниц высотой с атмосферу.

Что касается производных, не связанных с солнцем, таких как геотермальные, приливные и ядерные, мы обнаруживаем, что они просто не идут ни в какое сравнение с гигантской водородной печью, которую мы называем Солнцем.

Полная исчерпывающая критика всех источников энергии, кроме прямой солнечной, но если это так, что человечество выжило в подавляющем большинстве благодаря естественным производным солнечной энергии, то, несомненно, человечество получило бы гораздо больший доступ к энергии и гораздо меньшее экологическое воздействие, концентрируя солнечную энергию напрямую, поскольку по определению доступно гораздо больше солнечной энергии.

Использование природных концентрированных форм энергии не только вызывает огромные экологические и социальные проблемы, упомянутые выше, но и преобразует структуру самого общества.

Возникающая в результате социальная структура не только усугубляет эти проблемы, но и чрезвычайно затрудняет их понимание.

Произошедшая трансформация – это переход от децентрализованного общества к централизованному обществу, от 90 процентов людей, живущих в сельской местности, к 90 процентам людей, живущих в городах.

Когда энергия эффективно извлекается в относительно небольшом количестве централизованных мест, таких как нефтеперерабатывающие заводы

и крупные электростанции, материальное общество, нуждающееся в преобразовании, находится далеко. Либо энергия должна быть доведена до материала, либо материал должен быть доведен до энергии. Наша фактическая система использует комбинацию того и другого, распределяя энергию для извлечения ресурсов, а затем транспортируя их в централизованные места для преобразования [2].

Хотя физически возможны и другие конфигурации, этот метод, вероятно, является наиболее эффективным способом преобразования нефти, основного источника энергии в промышленных масштабах, а также основных материалов.

Поскольку для транспортировки энергии требуется энергия, большая часть человеческой деятельности должна находиться в пределах физических границ, в которых эта энергия может быть эффективно транспортирована. Энергия может быть потрачена на выполнение какой-либо деятельности за пределами этой границы, например, транспортировку пропана вертолетом в горное убежище, но большая часть деятельности, связанной с созданием и обслуживанием вертолета, должна быть ближе к источнику энергии, где для транспортировки энергии не требуется больше энергии, чем стоит энергия, и большая часть всей деятельности в пределах энергетической границы.

На практике часть энергии может быть потрачена на создание высокоэффективных энергетических коридоров, таких как трубопроводы, железнодорожные пути, электрические кабели высокого напряжения и др. Но поскольку создание этой инфраструктуры требует энергии и материалов, она не может быть распространена повсеместно. В какой-то момент для создания и поддержания инфраструктуры требуется больше энергии, чем доступно энергии. И поскольку за счет сокращения инфраструктуры еще более эффективно группировать деятельность в инфраструктурных узлах в точках сети энергетических коридоров, это то, что сделало общество, хотя мы обычно называем их городами [2].

Структура централизованного общества сама по себе вызвала дополнительные экологические проблемы, выходящие за рамки чрезмерной добычи естественно сконцентрированной энергии, необходимой для ее поддержания.

В централизованном обществе транспорт между узлами, использующими ископаемое топливо, становится настолько большим, что экосистемы разрываются между нашими энергетическими коридорами, и централизованное землепользование по существу исключит всю природную экологическую систему.

Возможно, наиболее важным является то, что для децентрализованных ресурсов, таких как продовольствие и древесина, в централизованном обществе существует огромное давление, чтобы попытаться использовать все ресурсы централизованным образом. Это приводит к созданию мега-ферм и сплошным лесозаготовкам во имя повышения добычи с гектара. Однако такая максимальная добыча с гектара в краткосрочной перспективе привела к экологическому разрушению в долгосрочной перспективе.

С другой стороны, децентрализованная добыча ресурсов может снизить воздействие до уровня, при котором собственная экосистема может продолжать функционировать. Несколько тщательно отобранных деревьев и ветвей, срубленных на гектар в определенные моменты года, не увеличат эрозию и вырубку лесов. Аналогичным образом, сельское хозяйство в лесных садах, поддерживает естественную экосистему в целостности и сохранности. Однако снижение воздействия на большую площадь действительно возможно только тогда, когда люди также децентрализованы, так как в противном случае затраты и влияние транспорта на централизацию децентрализованных ресурсов в городах намного выше [1].

Сама природа централизации, приводящая к тому, что ресурсы из отдаленных мест потребляются в городах, требует, гораздо большей инфраструктуры, чем если бы ресурсы потреблялись вблизи. Но централизация инфраструктуры требует еще больше ресурсов и энергии, чем каждая из них, рассматриваемая в отдельности. Энергия и материалы, необходимые для строительства очень высокого здания, намного больше, чем для строительства такого же объема во многих небольших жилищах; вот почему разрастание пригородов является непреодолимой силой в наших обществах, поскольку строительство обходится дешево. Однако, хотя строительство пригородов обходится дешево, в долгосрочной перспективе оно очень энергоэффективно и разрушает обширные районы продуктивной экосистемы практически без какой-либо пользы.

Наконец, отходы в централизованном обществе являются неразрешимой проблемой, поскольку не только потребляется гораздо больше энергии и ресурсов, а следовательно, образуются отходы и загрязнение окружающей среды, но эти отходы нелегко вернуть в естественные циклы, из которых был заимствован материал. В то время как децентрализованное общество, сила жизни в экосистеме, от которой они зависят, почти не может избежать возвращения ресурсов в их естественную среду обитания. В краткосрочной перспективе гораздо проще просто централизовать отходы в свалки, где ценные питательные вещества смешиваются с токсинами, и долгосрочная жизнеспособность общества значительно снижается.

Хотя децентрализация сократит энергетическое, ресурсное и экологическое воздействие, необходимое обществу для выживания, она является лишь предварительным условием, а не гарантией устойчивости.

В частности, децентрализованное общество, которое использует значительное количество топлива для сжигания древесины, в долгосрочной перспективе ухудшило бы их окружающую среду напрямую, уничтожив многие деревья.

Однако прямая солнечная энергия может снизить зависимость от древесного топлива до устойчивого уровня. Прямая солнечная энергия может преобразовывать солнечную радиацию в тепловые нужды человека с эффективностью от 50 до 80 процентов с помощью элементарных методов, в то время как дерево преобразует солнечную радиацию в тепловые нужды человека с эффективностью менее 1 процента, в основном потому, что фотосинтез

эффективен только на 10 процентов с самого начала, и дерево не будет фотосинтезировать, когда слишком жарко, слишком холодно, слишком сухо, слишком влажно или отсутствует питательное вещество; но даже в этом случае дерево использует большую часть этой энергии для жизни, и влага в дереве снижает эффективность сгорания. Итак, деревья не являются эффективной солнечной тепловой технологией, но, к счастью, эффективная солнечная тепловая технология существует.

Но воздействие на общество также носит психологический характер. В централизованном обществе, где энергия и материалы являются просто входами, поступающими извне, люди живут вне природных систем, от которых они зависят, и становится чрезвычайно трудно понять эти природные системы даже базовым способом. Это выводит проблемы из поля зрения и из головы до тех пор, пока система может поддерживаться в рабочем состоянии.

Таким образом, способность к отрицанию в централизованном обществе увеличивается, поскольку уменьшается сенсорный контакт с экосистемой, но также уменьшается способность адаптироваться.

Когда деятельность централизована, транспорт между населением сокращается, что делает возможной сверхспециализацию. В то время как обычная специализация – это когда каждый человек в сообществе может заниматься различными ремесленными ремеслами, но каждый человек будет лучше в некоторых ремеслах, чем в других, супер-специализация – это когда каждый человек выполняет одну задачу. Хотя сверхспециализация повышает эффективность преобразования нефти, это радикально снижает адаптивность общества.

Овладение конкретным искусством или ремеслом поможет овладеть любым другим ремеслом, поскольку мастерство требует понимания основополагающей природы рассматриваемого материала и природных принципов. Мастерство также является очень творческой деятельностью, поскольку предыдущий опыт применяется к новым проблемам и ситуациям. Кроме того, в децентрализованном обществе вещи всегда должны быть адаптированы к органической структуре экосистемы; населенные пункты нельзя просто выровнять, чтобы создать стандартные предпосылки для стандартного механизированного процесса. Из-за этой потребности в понимании и творчестве общество ремесленников может легче адаптироваться к новым проблемам [1].

С другой стороны, в централизованном механизированном обществе запоминание серии заранее определенных жестов требует только повторения и небольшого, если таковое вообще имеется, понимания материальных или естественных принципов работы. Более того, взаимодействие с заранее определенной машиной – очень нетворческий процесс. По этим причинам каждому “функциональному агенту” трудно адаптироваться даже к новым заранее определенным задачам, гораздо труднее, если требуется, освоить ремесло, и чрезвычайно трудно понять работу и состояние общества в целом. Таким образом, обществу регулярных жестов очень трудно видеть и адаптироваться к новым ситуациям и проблемам.

Помимо этого, в настоящее время также подозревается, что централизация вызывает множество психологических и социальных дисфункций, поскольку люди приспособлены к жизни в небольших сообществах и органических структурах природы.

Вторая проблема, связанная с тем, что эти источники энергии ограничены, заключается в давлении, направленном на обеспечение безопасности этих источников с помощью насильственных средств, и после того, как они будут контролироваться, чтобы использовать их как можно быстрее.

Ибо, как только возникает энергетическая проблема, немедленным ответом будет просто усилить давление на эти ресурсы, а не уменьшить, истощая их еще быстрее.

В краткосрочной перспективе это может поддерживать работу машины на некоторое время. Однако в долгосрочной перспективе проблема становится все более и более хронической, войны становятся все более разрушительными, и остается все меньше и меньше энергии для создания альтернативной системы.

Заключение

В заключение можно сделать вывод, что современный уровень знаний, а также имеющиеся и находящиеся в стадии разработок технологии дают основание для оптимистических прогнозов: человечеству не грозит тупиковая ситуация ни в отношении исчерпания энергетических ресурсов, ни в плане порождаемых энергетикой экологических проблем. Есть реальные возможности для перехода на альтернативные источники энергии (неисчерпаемые и экологически чистые). С этих позиций современные методы получения энергии можно рассматривать как своего рода переходные. Вопрос заключается в том, какова продолжительность этого переходного периода и какие имеются возможности для его сокращения.

Литература

1. Энергетические проблемы [Электронный ресурс] / энергетические проблемы. – Режим доступа <https://www.truthmaybe.com/Energy-Problems.html>. – Дата доступа: 09.10.2021.
2. Мировая энергетическая проблема [Электронный ресурс] / мировая энергетическая проблема. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org/worlds-energy-problem>. – Дата доступа: 09.10.2021

СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ДИНАМИКА И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.М. Барщевская

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ

Е.С. Гуло

Научный руководитель – Е.А. Кравчук, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТКО И ТБО В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

П.Д. Жуковец

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СЕТЕЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

П.В. Кулик

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель

ВОДОРОД В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ: ЭКОНОМИКО- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В.В. Лесюкова

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель

ЭНЕРГОАУДИТ КАК ВАЖНЫЙ ЭТАП ПРОГРАММЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Е.А. Межень

Научный руководитель – А.М. Добриневская, старший преподаватель

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

П.Г. Назарова

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Ю.В. Озерец

Научный руководитель – Т.Ф. Манцерава, заведующий кафедрой экономики и организации энергетики

СУЩНОСТЬ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА

А.С. Щербова

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель

АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ ПРОЕКТА АЭС «ЭЛЬ ДАБАА»

Р.Р. Хадиуллина, Э.И. Гараева

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор

АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНОГО ПОДХОДА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ АЭС «АККУЮ»

А.А. Хамидуллина, В.А. Мишарова, Н.В. Андреева

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор

АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ ПРОЕКТА АЭС «ПАКШ-2»

И.И. Абдуллина, Б.Т. Хазиев

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор

ЭКОНОМИКА И НЕФТЯНОЙ СЕКТОР НИГЕРИИ

Т.Ч. Чуквучебе

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор

БАНГЛАДЕШ-НОВАЯ ТОЧКА СТАРТА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.Р. Шакирзянова

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор

УДК 338.45

**ДИНАМИКА И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В
РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ****DYNAMICS AND POTENTIAL FOR SMALL-SCALE POWER
ENGINEERING IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

В.М. Барщевская

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Barshchevskaya

Supervisor – D. Lapchenko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматриваются различные объекты малой энергетики, их преимущества и отличительные черты, отражена динамика и потенциал развития малой энергетики в Республике Беларусь.*

***Abstract:** the article discusses various small-scale energy facilities, their advantages and distinctive features, reflects the dynamics and potential of small-scale energy development in the Republic of Belarus.*

***Ключевые слова:** малая энергетика, топливно-энергетические ресурсы, возобновляемые источники энергии, ветроустановка, биогаз, биомасса.*

***Keyword:** small energy, fuel and energy resources, renewable energy sources, wind turbine, biogas, biomass.*

Введение

Большая часть всех энергоустановок и электрических станций в мире работают на органическом топливе, которое является исчерпаемым ресурсом. Республика Беларусь вынуждена покупать органическое топливо для удовлетворения потребностей населения и предприятий в энергии, что заставляет задуматься о поиске альтернативы, одной из которых может служить малая энергетика. Под малой энергетикой подразумевают малые генерирующие установки и комплексы, необязательно подключенные к централизованным электросетям, на которых используются местные топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) и которые могут работать как на традиционных видах топлива, так и на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

Основная часть

В Республике Беларусь по данным на 1 января 2021 г. установленная мощность объектов малой энергетики составляет около 11% от всех объектов энергетики в стране. В таблице 1 представлена установленная мощность объектов малой энергетики Беларуси в региональном разрезе. Данные таблицы показывают, что наиболее распространенными объектами малой энергетики являются малые ТЭЦ [1]. Особенность малых ТЭЦ заключается в том, что они работают преимущественно на местном топливе, чем снижают расходы на закупку сырья. В последнее время все более широкое распространение получают установки, работающие на ВИЭ. Такие источники энергии отличаются своей

экологичностью, однако требуют значительных капитальных затрат и характеризуются нестабильностью функционирования.

Таблица 1 – Установленная мощность объектов малой энергетики (установленная мощность менее 30 МВт) Республики Беларусь

Наименование предприятия		Установленная мощность на 1 января 2021 г., МВт
РУП "БРЕСТЭНЕРГО" Всего: 127.77 МВт	БАРАНОВИЧСКАЯ ТЭЦ	18
	ПИНСКАЯ ТЭЦ	22
	БРЕСТСКАЯ ТЭЦ	12
	ЗАПАДНАЯ МТЭЦ г. ПИНСК	3
	ПРУЖАНСКАЯ ТЭЦ	3,850
	ЛУНИНЕЦКАЯ ТЭЦ	4,654
	ЛОХОЗВИНСКАЯ ГЭС	0,09
	МИНИ ГЭС "ПАПЕРНЯ"	0,2
	ГЭС "ЩАРА"	0,09
	малые станции	63,506
	ВИЭ РУП "БРЕСТЭНЕРГО"	0,380
РУП "ВИТЕБСКЭНЕРГО" Всего: 280.125 МВт	ПОЛОЦКАЯ ТЭЦ	7.70
	ПОЛОЦКАЯ ГЭС	21.66
	БЕЛОРУССКАЯ ГРЭС	1.5
	ВОСТОЧНАЯ МТЭЦ г. ВИТЕБСК	3.5
	МТЭЦ "БАРАНЬ"	3.25
	ДОБРОМЫСЛЕНСКАЯ ГЭС	0.212
	БОГИНСКАЯ ГЭС	0.958
	БРАСЛАВСКАЯ ГЭС	0.3
	КЛЯСТИЦКАЯ ГЭС	0.52
	ГОМЕЛЬСКАЯ ГЭС	0.25
	ЛУКОМЛЬСКАЯ ГЭС	0.3
	ЛЕПЕЛЬСКАЯ ГЭС	0.32
	малые станции	175.135
	ВИЭ РУП "ВИТЕБСКЭНЕРГО"	64.520
РУП "ГОМЕЛЬЭНЕРГО" Всего: 98.136 МВт	ЖЛОБИНСКАЯ МТЭЦ	26.19
	РЕЧИЦКАЯ МТЭЦ	4.228
	малые станции	67.718
	ВИЭ РУП "ГОМЕЛЬЭНЕРГО"	0
РУП "ГРОДНОЭНЕРГО" Всего: 118.734 МВт	СЕВЕРНАЯ МТЭЦ г. ГРОДНО	9.5
	ГРОДНЕНСКАЯ ГЭС	17
	НОВОГРУДСКАЯ ВЭС	9
	ЩУЧИНСКАЯ МТЭЦ	0.288
	ГЭС НЕМНОВО	0.100
	МГЭС Ошмянских ЭС	0.4
	МГЭС Волковысских ЭС	1.599
	малые станции	52.788
	ВИЭ РУП "ГРОДНОЭНЕРГО"	28.059
РУП "МИНСКЭНЕРГО" Всего: 218.52 МВт	МОЛОДЕЧНЕНСКАЯ МТЭЦ	3.5
	СОЛИГОРСКАЯ МТЭЦ	2.5
	ВИЛЕЙСКАЯ МТЭЦ	2.4
	СЛУЦКАЯ МТЭЦ	0.75
	ЛЕБЕДЕВСКАЯ МТЭЦ	0.5
	СЕЛЯВСКАЯ ГЭС	0.11
	малые станции	208.650
	ВИЭ РУП "МИНСКЭНЕРГО"	0.11
РУП "МОГИЛЕВЭНЕРГО" Всего: 122.498 МВт	БОБРУЙСКАЯ ТЭЦ-1	12
	МОГИЛЕВСКАЯ ТЭЦ-3	19.484
	ОСИПОВИЧСКАЯ МТЭЦ	1.2
	ОСИПОВИЧСКАЯ ГЭС	2.175
	ГЭС ТЕТЕРИНО	0.37
	малые станции	83.224
	ВИЭ РУП "МОГИЛЕВЭНЕРГО"	4.045

Государством предусмотрены налоговые льготы при создании и эксплуатации установок по использованию ВИЭ: при ввозе на территорию Беларуси освобождаются от НДС установки, комплектующие и запасные части к ним по использованию ВИЭ, освобождаются от земельного налога земельные участки, занятые объектами и установками по использованию ВИЭ, а также земельные участки, предоставленные на период строительства (реконструкции) объектов и установок по их использованию [2]. Республиканские унитарные предприятия электроэнергетики могут покупать энергию, которая была произведена установками ВИЭ, у юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на условиях заключенных договоров, однако покупка излишков энергии, произведенной для собственных нужд, у физических лиц не предусмотрена.

Наиболее широко распространены в нашей стране установки, работающие на энергии солнца, ветра и воды. Динамика их развития в Беларуси за последние несколько лет представлена на рисунке 1 [3].

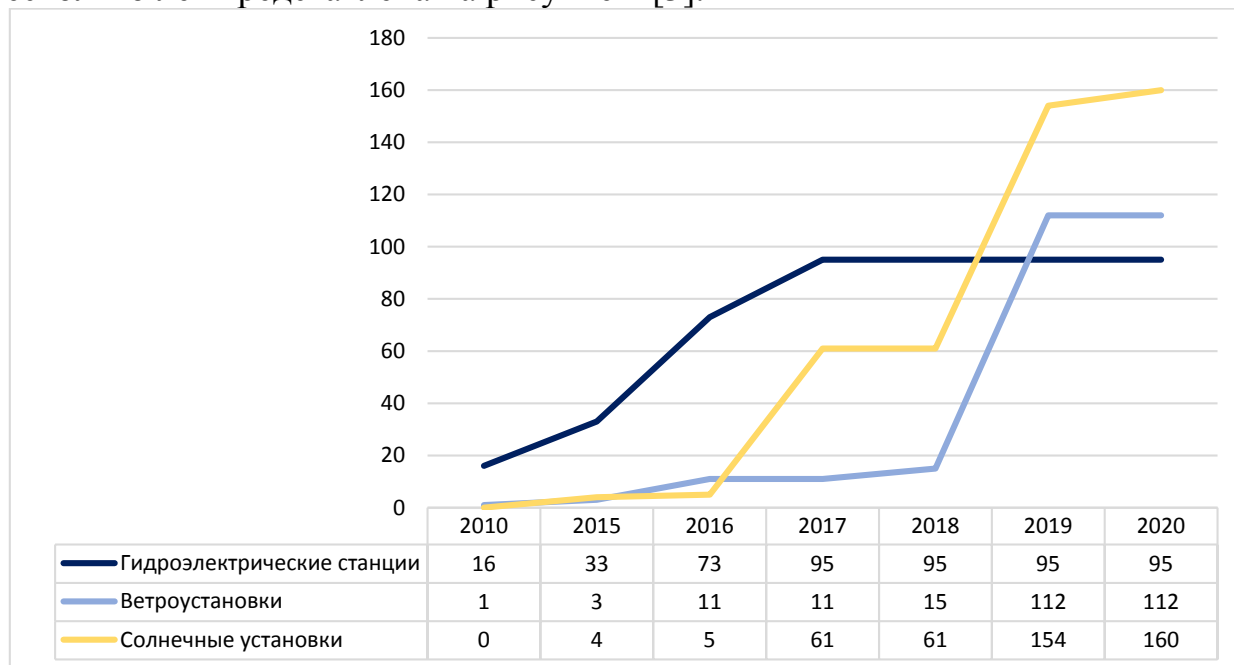


Рисунок 1 – Динамика установленных мощностей объектов малой энергетики Республики Беларусь, работающих на ВИЭ (Мегаватт)

Наибольшее развитие получили солнечные установки. Их установленная мощность возросла в 40 раз. Республика Беларусь обладает потенциалом в развитии солнечной энергии, так как по уровню получаемого солнечного света стоит наравне со странами, где солнечная энергетика уже получила широкое распространение. Однако одиночные установки вырабатывают достаточно малое количество энергии, поэтому солнечные панели для их эффективного использования необходимо устанавливать в больших количествах. Регионы с наибольшим количеством солнечного света в стране совпадают с регионами загрязнения ЧАЭС, которые являются непригодными для ведения сельскохозяйственной деятельности. Соответственно поля в данной местности могут быть использованы для установки солнечных панелей, которые не требуют постоянного человеческого присутствия и контроля.

Ветроустановки также получили стремительное развитие, их установленная мощность в 2020 г. увеличилась в 37 раз по сравнению с 2015 г. В Республике Беларусь имеется несколько регионов, имеющих потенциал к развитию ветроэнергетики. На территории страны построено несколько ветропарков. Окупаемость таких установок занимает около 10 лет. ГЭС являются одними из первых станций, использующих ВИЭ в стране. Они отличаются своей относительной стабильностью. В стране реконструируются старые ГЭС и оснащаются более современным оборудованием, однако за последние несколько лет не наблюдается изменений в их установленной мощности. Помимо данных видов ВИЭ существует и ряд менее распространенных. Помимо установок, описанных выше, значительную долю в общей структуре малой энергетики занимают энергия биомассы и биогаза. Биомассу получают из отходов лесного хозяйства растениеводства, животноводства, а также городских стоков и мусора. Наибольшие перспективы имеет в лесном и сельском хозяйствах, где из отходов производства сможет вырабатывать энергию для использования в собственных нуждах. Если говорить конкретно о биогазовой энергии, то она имеет огромный потенциал в сельском хозяйстве, так как биогазовые установки преобразуют отходы животноводства в электрическую и тепловую энергию, а также получают по итогу удобрение для выращивания сельхоз культур. На рисунке 2 можно наблюдать общую структуру объектов малой энергетики, работающих на ВИЭ [4].

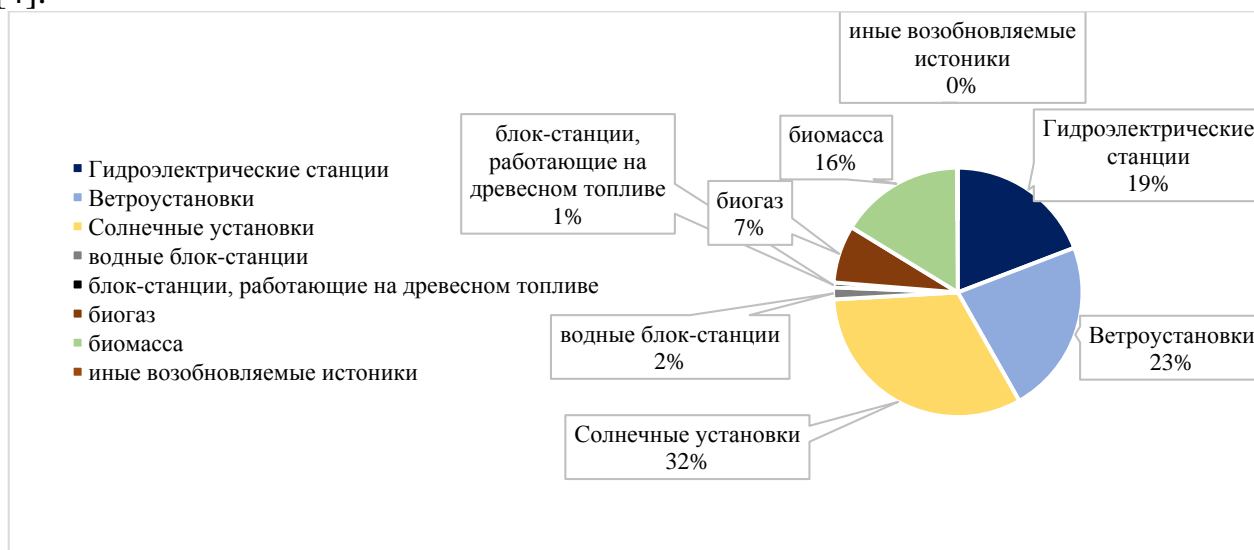


Рисунок 2 – Структура объектов малой энергетики Республики Беларусь по их установленным мощностям в 2020 г.

Однако не смотря на все плюсы, которые есть в ВИЭ, не стоит забывать и о наличии отрицательных сторон. В первую очередь не стоит забывать о непостоянстве ВИЭ, многие из которых на прямую зависят от погодных условий. Еще одним минусом является сложность утилизации установок энергетики, работающих на ВИЭ, а также их деталей и запасных частей.

Заключение

С каждым годом доля малой энергетики в энергосистеме Республики Беларусь увеличивается, снижая затраты на покупку органического топлива. Страна имеет достаточные условия для дальнейшего развития малой энергетики

и внедрения установок по использованию ВИЭ, однако для каждого вида установок стоит учитывать ряд факторов, влияющих на их эффективность.

Литература

1. Установленная мощность [Электронный ресурс]. – «Белэнерго», 2021. – Режим доступа: <https://belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/ustanovlennaya-moshchnost/>. – Дата доступа: 08.10.2021.
2. Налоговые льготы при создании и эксплуатации установок по использованию ВИЭ [Электронный ресурс]. – «Белэнерго», 2021. – Режим доступа: <https://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyаемая-energetika/nalogovye-lgoty-pri-sozdanii-i-ekspluatatsii-ustanovok-po-ispolzovaniyu-vie/>. – Дата доступа: 08.10.2021.
3. Энергетический баланс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation/index_17874/. – Дата доступа: 12.10.2021.
4. Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс]. – «Белэнерго», 2021. – Режим доступа: <https://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyаемая-energetika/>. – Дата доступа: 18.10.2021.

УДК 621

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ
FOREIGN EXPERIENCE OF PUBLIC ENERGY SAVING**

Е.С.Гуло

Научный руководитель – Е.А. Кравчук, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E.Gulo

Supervisor – E.Kravchuk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматривается опыт зарубежных стран в области энергосбережения. Дана оценка использования возобновляемых источников энергии в энергетике зарубежных стран. Одним из вариантов энергетической интеграции стран ЕС-ЕАЭС может стать общий энергетический рынок.*

***Abstract:** the article considers the experience of foreign countries in the field of energy saving. An assessment of the use of renewable energy sources in the energy sector of foreign countries is given. One of the options for the energy integration of the EU-EAEU countries can be a common energy market.*

***Ключевые слова:** энергопотребление, энергоресурсы, интеграция, возобновляемые источники энергии, рынок*

***Keyword:** energy consumption, energy resources, integration, renewable energy sources, market*

Введение

Современный этап развития энергетики Европейского союза характеризуется высокой зависимостью от импорта энергоносителей в условиях ограниченного количества крупных поставщиков энергоресурсов, нестабильностью цен на энергетические ресурсы, а также повышенным риском безопасности энергоснабжения [1].

Основная часть

Состояние экономики любых государств и жизненный уровень населения во многом определяются наличием запасов топливно-энергетических ресурсов и эффективностью их использования. Каждая страна ищет свой путь выхода из энергетического кризиса, коренным образом изменяя структуру топливно-энергетической базы экономики путём переориентации её на другие источники. Например, Франция создала систему мощных АЭС, Дания переориентировалась на собственный природный газ, каменный уголь, завозимый на огромных танкерах через океан, ветроэнергоресурсы. Данные об использовании местных ТЭР (МТЭР) в общем топливном балансе и доля различных видов МТЭР в общей выработке энергии из МТЭР в других странах приведены в таблице 1 [2, с. 30].

Таблица 1 – Использование местных ТЭР в других странах, в %

№ п/п	Страна	МТЭР	Древесина	Солома	Биогаз + жидкое топливо	Торф	Твёрдые бытовые отходы
1.	США	3,2	85	-	5,5	-	9,5
2.	Дания	6,0	35	24,7	0,3	-	40
3.	Австрия	12,0	74,2	-	-	-	18,9
4.	Швеция	18,0	83	-	-	4,8	5,2
5.	Финляндия	23,0	73	-	-	25,2	1,8

Компании AgoraEnergiewende(Германия) и Sandbag(Великобритания) опубликовали традиционный отчет о состоянии электроэнергетики в ЕС за 2019 год. Согласно его данным, потребление электроэнергии в Европе снизилось на 2% (-56 ТВт*ч), вернув спрос к уровню 2015 года. При этом ВВП вырос в 2019 году на 1,4%. Доля ЕС в мировом потреблении энергии составляет суммарно 12,5%, в том числе Германия – 2,5%, Франция – 1,8%, Великобритания – 1,4%, другие частники – 6,8%. Доля государств-членов ЕС в мировой энергетике в 2020 году приведена на рис. 1

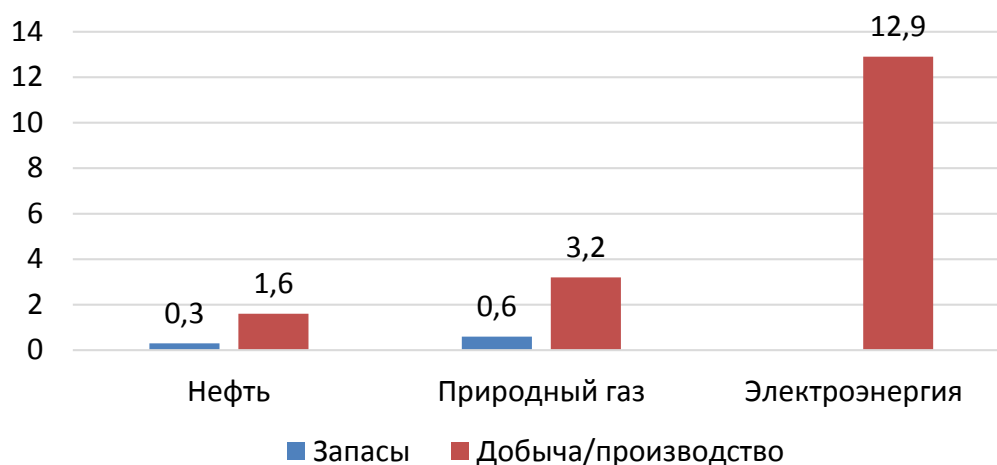


Рисунок 1 – Доля государств-членов ЕС в мировой энергетике в 2020 году, %

Доля ВИЭ в производстве европейской электроэнергии достигла рекордных 34,6%. Солнечный и ветровой секторы генерации совместно обеспечили почти 18% выработки (569 ТВт*ч) и впервые обошли угольную энергетику по этому показателю (рис. 2).

Производство электроэнергии на основе угля в Европейском союзе за год сократилось на 24%. В результате выбросы CO₂ в энергетическом секторе Европы в 2019 году снизились на 12% - это самый лучший показатель с 1990 года.

Доля ветровой и солнечной электроэнергии в топливно-энергетическом балансе Европы выросла благодаря строительству новых мощностей, а рост газовой генерации обусловлен более высокими налогами на выбросы CO₂ и низкими ценами на газ, что повысило конкурентоспособность газовых электростанций по сравнению с угольными. Эксперты отмечают, что в 2019 году

газовая генерация по объемам выработки только на 8% отстала от рекордного уровня 2010 года.

По оценкам специалистов в 2019 году мощности ветроэнергетики увеличились примерно на 14 ГВт (второй по величине прирост за всю историю развития отрасли), а солнечной энергетики – примерно на 17 ГВт, что вдвое превышает показатель 2018 года. При этом экономика продолжает меняться в пользу ВИЭ. В 2019 году были зафиксированы рекордно низкие цены на конкурсных отборах в оффшорной ветроэнергетике (Великобритания) и гелиоэнергетике (Португалия).

Европейские ассоциации ветровой и солнечной энергетики прогнозируют ускорение темпов роста ВИЭ, а ассоциация Eurelectric считает, что электроэнергетика Европы может быть полностью декарбонизирована уже к 2045 году. [3, с.9]

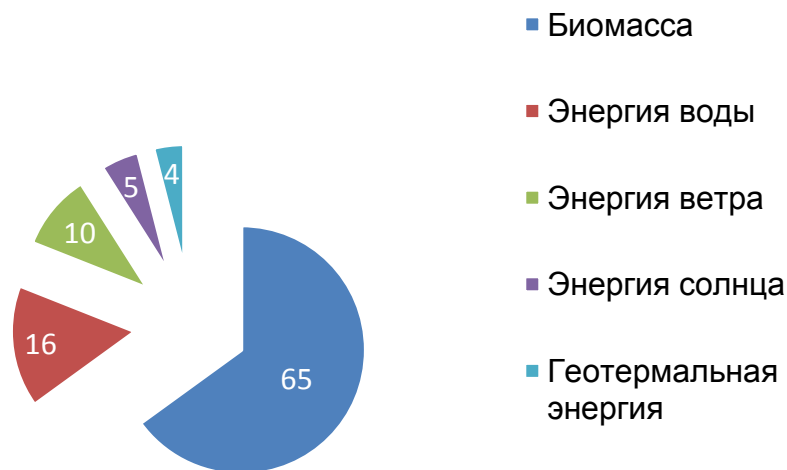


Рисунок 2 – Баланс возобновляемых источников энергии в ЕС в 2020 г.

В промышленно-развитых странах большая часть электроэнергии (около 80%) вырабатывается на ТЭС. ТЭС и АЭС работают в режиме базовых электростанций, покрывая неизменяющуюся постоянную нагрузку энергосистемы. В топливно-энергетическом хозяйстве большинства стран ЕС большую роль играют нефть и природный газ, которые в основном импортируются из ЕАЭС, но также в ограниченном количестве добываются и в самом регионе (Северное море).

Использование традиционных энергоресурсов приводит также к значительному загрязнению окружающей среды. Ограниченность энергоресурсов, влияние их в результате использования на состав атмосферного воздуха и другие негативные воздействия на окружающую среду (образование отходов, нарушение пластов земной коры, изменение климата) вызывают повышенный интерес во всём мире к нетрадиционным источникам энергии.

Заключение

Основным направлением энергетической интеграции стран Европейского союза и Евразийского экономического союза может стать общий рынок, на котором будет осуществлена торговля ключевыми ископаемыми ресурсами (нефтью, природным газом, углем), а также электрической энергией. Такое сотрудничество сможет позволить Европейскому Союзу обеспечить энергетическую безопасность всех стран-участниц в условиях истощения запасов ископаемых источников энергии, а также обеспечить стабильность цен на интересующие энергоносители. Для Евразийского экономического союза данное взаимодействие поможет обеспечить устойчивое финансовое и экономическое положение при наличии стабильных цен на энергетические ресурсы.

Литература

1. Линдер Н.В. Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы // Стратегии бизнеса. – 2017. - №1 (33). – С. 48-54
2. Дорофейчик, А. Н. Местные топливно-энергетические ресурсы и их практическое применение : учеб. пособие / А. Н. Дорофейчик. – Гродно, 2008. – 36 с.
3. Мировая энергетика. Факты. Прогнозы. Аналитика/ Энергетическая стратегия – 2019 – №1 – С.7–9.

УДК 330.341

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТКО И ТБО В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ
USE OF SOLID DOMESTIC AND MUNICIPAL WASTE IN THE ENERGY
SECTOR**

П.Д. Жуковец

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Zhukovets

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассмотрены теоретические основы понятия твердые коммунальные и бытовые отходы, их классификация. Проанализированы способы утилизации отходов, выявлен наиболее экологически безопасный.

Abstract: In this article the theoretical bases of the concept of solid municipal and domestic waste are discussed, also their classification is represented in this article. The methods of waste disposal are analysed, the most environmentally friendly method is discovered.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы; твердые коммунальные отходы; способы утилизации отходов; вторичная переработка отходов.

Keywords: solid domestic waste, solid municipal waste, waste disposal methods, recycling of waste.

Введение

На сегодняшний день мировые объёмы твёрдых бытовых отходов составляют приблизительно 2 млрд. тонн в год. В связи с естественной урбанизацией и ростом численности населения происходит колоссальный рост объёма твёрдых бытовых отходов. Данная проблема мирового масштаба приводит к ухудшению здоровья человека и к усугублению проблемы окружающей среды. Одна из причин роста количества отходов – увеличение потребления товаров растущим городским населением.

Основная часть

Твёрдые коммунальные/бытовые отходы – отходы, которые появляются в процессе потребления физическими лицами, а также товары, которые утратили свой функционал и потребительские свойства в процессе эксплуатации.

К ТКО относятся:

- Крупногабаритные отходы (мебель, бытовая техника, ремонтные составляющие);
- Стекло;
- Бумага;
- Дерево;
- Пластик (бытового назначения);
- Металл (бытового назначения);
- Пищевые отходы.

Таким образом, в странах с большой плотностью населения и с небольшой площадью ограничен вывоз ТБО на полигоны, то есть утилизация отходов путём

сжигания или иным образом, с целью получения электрической и тепловой энергии, является отличной альтернативой для подобных стран.

Полигон - это сооружение или комплекс сооружений, которые существуют для хранения, изоляции и обезвреживания ТБО.

Утилизация мусора или мусоросжигание существует на протяжении всей истории человечества. В масштабном формате данная отрасль начала развиваться в то время, когда в период индустриализации появились синтетические материалы, которые не имеют возможности разлагаться естественным образом. Первый в мире мусоросжигательный завод появился в Ноттингеме в 1874 году.

Способы утилизации отходов:

- Свалки/полигоны (складирование отходов).
- Данный метод не является решением проблемы переизбытка отходов во всём мире. Складирование отходов – это неэффективно и неэкологично. Существуют методы улавливания свалочного газа на полигонах с целью получения электрической энергии.
- Естественное гниение/разложение. Данный вариант менее опасен, чем складирование и захоронение отходов, однако в процессе разложения происходит выделение различных опасных химических компонентов. В случае, если разложение происходит без участия кислорода, существует возможность получения биогаза (анаэробное сбраживание).
- Термическая переработка. Метод переработки с помощью высоких температур включает в себя 3 способа: сжигание, пиролиз, плазменная обработка (газификация отходов). Сжигание на тепловых электростанциях – самый простой и дешёвый метод, то есть ТБО, сжигаемые на ТЭС являются самым доступным и наиболее экономически выгодным возобновляемым источником энергии на данный момент. По теплоте сгорания твёрдое бытовое топливо сравнимо с торфом и бурым углём. Также работа тепловых электростанций на твёрдых бытовых отходах практически не зависит от климатических условий и географического расположения. Метод сжигания опасен для экологии и человека. Из методов термической переработки наиболее предпочтителен метод плазменной обработки. Для данного способа термической обработки не требуется сортировка сырья, также в результате процесса получают пар, пиролизное масло и электроэнергию. Метод плазменной обработки экологически безопасен.
- Сортировка отходов. Сортировка и переработка вторичного сырья позволяет улучшить экологическую обстановку и снизить нагрузку на полигоны.

Также существует такой способ переработки отходов в энергию как совместная переработка (по-другому – совместное сжигание). Он представляет собой использование отходов в качестве замены природно-минеральных ресурсов или ископаемого топлива. В дальнейшем полученные отходы

используют в промышленных процессах на ТЭС. Данный метод активно используется в цементной, сталелитейной и известковой промышленности.

Технология совместной переработки представлена на рисунке 1:

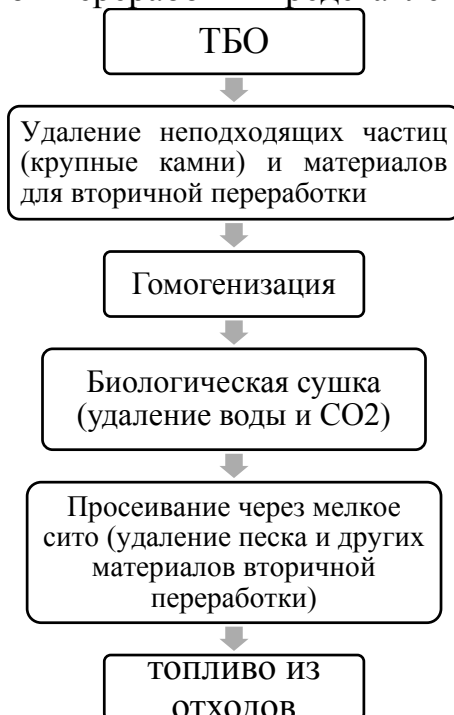


Рисунок 1 – Технология совместной переработки

Заключение

Из описания вышеперечисленных видов утилизации можно сделать вывод, что самым экономически выгодным методом является метод сжигания отходов, так как является наименее затратным и имеет привычную технологию, которую используют повсеместно на протяжении десятилетий. Самым экологически чистым методом утилизации отходов является метод переработки вторичного сырья.

Литература

1. Перспективы энергетической утилизации ТБО [Электронный ресурс] / Журнал «Энергосовет». – Режим доступа: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=473/. – Дата доступа: 23.10.2021.
2. Возможности переработки отходов в энергию в процессе управления твердыми бытовыми отходами [Электронный ресурс] / Немецким обществом по международному сотрудничеству (GIZ) ГмбХ. – Режим доступа: <https://www.giz.de/de/downloads/giz2017-ru-waste-to-energy-guidelines.pdf/>. – Дата доступа: 23.10. 2021.
3. Способы и методы переработки бытового мусора [Электронный ресурс] / Услуги по утилизации и сбору отходов. – Режим доступа: <https://datcom.by/>. – Дата доступа: 23.10.2021.

УДК 621.311.1(031)

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СЕТЕЙ И
ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА****DIGITAL POWER TRANSFORMATION OF THE REPUBLIC OF
BELARUS: INTELLECTUALIZATION OF NETWORKS AND
RENEWABLE ENERGY**

П.В. Кулик

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Kulik

Supervisor – D. Lapchenko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматриваются актуальность, перспективы цифровизации производства электроэнергии и управления энергетическими активами в Республике Беларусь, возможности применения возобновляемых источников энергии в комплексе с внедрением инструментов умных сетей.*

***Abstract:** The article discusses the relevance, prospects for digitalization of electricity production and management of energy assets in the Republic of Belarus, the possibility of using renewable energy sources in combination with the introduction of smart grid tools.*

***Ключевые слова:** цифровизация, цифровая трансформация, возобновляемые источники энергии, умные сети.*

***Keyword:** digitalization, digital transformation, renewable energies, smart grids.*

Введение

Цифровизация – современный инновационный этап экономического развития. В данный период оценка результатов функционирования стран важна для анализа эффективности их деятельности и изучения динамики развития человечества в целом в условиях цифровой адаптации [1, с. 52]. Цифровизация открывает большие перспективы для повышения уровня безопасности, производительности, эффективности и устойчивости энергетических систем во всем мире. Предприятия переживают культурный сдвиг в сторону цифровой экономики, где основные процессы переводятся в цифровую форму, отходя от традиционной бизнес-модели, требующей больших инвестиций в материальные активы.

Основная часть

Для обеспечения конкурентоспособности наличие цифровой платформы, которая позволяет активно управлять глобальными инвестициями компаний и удаленно контролировать их, является ключом к достижению инвестиционных целей клиентов. Интеллектуальная аналитика и прогнозное моделирование данных этих платформ автоматически, с точностью до минуты, обеспечивают необходимые технические и экономические ключевые показатели эффективности. Цифровизация производства электроэнергии и управления

энергетическими активами с помощью интеллектуального анализа данных открывает неожиданные возможности для динамичного расширения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Панели управления на уровне руководителей, адаптированные к индивидуальным потребностям клиентов, показывают результаты анализа данных системы, что делает процессы контроля и отчетности намного более эффективными и способствует минимизации рисков [2].

Умные сети (англ. – smart grids) – это электрические сети, которые обеспечивают двусторонний поток электроэнергии и данных с помощью цифровых коммуникационных технологий, позволяющих автоматически обнаруживать проблемы в сети и реагировать на них, а также обеспечивать быстрое восстановление после сбоев. Преимущества интеллектуальной сети включают в себя: повышение эффективности и надежности электроснабжения, интеграцию большего количества возобновляемых источников энергии в существующую сеть, новые решения для клиентов по оптимизации потребления электроэнергии и сокращение выбросов углерода. Умные сети должны не только приводить к сокращению потерь электроэнергии и повышать конкурентоспособность в электроэнергетическом секторе, но также должны быть направлены на то, чтобы дать потребителю более активное участие в рынке электроэнергии, самостоятельно или с помощью сервисной компании. Анализ преимуществ и рисков умных сетей представлен в таблице 1.

Таблица 1 – SWOT-анализ использования умных сетей

Преимущества	Слабости
Автоматизация производств, сокращение персонала	Зависимость от электроники и информационных технологий
Увеличение безопасности	В случае формирования олигопольного рынка программных и аппаратных решений – зависимость от ограниченного числа игроков и их решений
Более эффективное использование энергетических мощностей	Недостаточная безопасность и надежность. Необходимость выработки единых стандартов большим числом игроков
Возможности	Угрозы
Возможность сокращения расходов	Риск аварий и диверсий
Возможность перехода к новым, улучшенным стандартам планирования производственного процесса	Риск выведения из строя участков инфраструктуры из-за аппаратных сбоев
Возможность перехода к управлению потоками электроэнергии в масштабах крупных территорий в режиме реального времени	Риски, связанные с монопольным положением Китая на рынке редкоземельных металлов (маловероятный риск)

Единая энергетическая модель Республики Беларусь представляет собой централизованную систему, где большая часть электроэнергии вырабатывается крупными станциями и далее поставляется потребителям. Преимущество такой модели в том, что из-за ограниченного числа генераторов удается поддерживать необходимый баланс между производством и использованием электричества. При разработке программ по цифровой трансформации отечественной

энергетики должна учитываться белорусская специфика: строительство и ввод в эксплуатацию АЭС, диверсификация поставок и видов топливно-энергетических ресурсов, кардинальные меры по энергосбережению.

Актуальность цифровизации и умных сетей растет в связи с увеличением их выработки из множества возобновляемых источников энергии (ветра, солнца, воды, биомассы и т.д.), что приводит к росту комбинаций при управлении генерирующими мощностями. Развитие электроэнергетики на базе интеллектуализации сетей создает условия для расширения сферы использования альтернативных источников энергии и создания объектов малой генерации. [3, с. 154].

Для привлечения и увеличения инвестиций в развитие умных сетей необходима соответствующая система сертификации устройств и оборудования и разработка новых требований к технологиям коммуникаций, измерительной инфраструктуре гибридных электрических устройств и информации для выработки и принятия управленческих решений и автоматического управления сетями [3, с. 165]. Таким образом, развитие применения альтернативных источников энергии в энергетическом секторе Беларуси должно происходить наряду с внедрением цифровых технологий.

Заключение

Цифровая трансформация является важнейшим элементом энергетического перехода, позволяя интегрировать все больше и больше возобновляемых источников энергии в электрическую систему, повышая надежность сети и помогая лучше управлять спросом на энергию. Для достижения этого энергетические компании должны полагаться на программное обеспечение для управления, способное объединить все активы и централизовать их управление, чтобы перейти к производству энергии из возобновляемых источников.

Литература

1. Стома, Н. Оценка развития цифровизации Республики Беларусь: анализ позиций в мировых рейтингах / Н. Стома // Банкаўскі веснік. – 2020. – № 12 (689). – С. 52–61.
2. Концепция «Цифровая трансформация 2030» [Электронный ресурс] / Сайт «Россети». – Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf. – Дата доступа: 14.10.2021.
3. Ковалев, М.М. Будущее белорусской энергетики на фоне глобальных трендов / М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов. – Минск: Изд. центр БГУ, 2018. – 223 с.

УДК 620.9

ВОДОРОД В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ: ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
HYDROGEN IN THE ENERGY SYSTEM: ECONOMIC AND ECOLOGICAL ASPECTS

В.В. Лесюкова

Научный руководитель – Д.А. Лапченко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,

V. Lesyukova

Supervisor – D. Lapchenko, Senior Lecture
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассмотрены экологические и экономические показатели производства различных видов водородного топлива в сравнении с традиционными топливно-энергетическими ресурсами.*

***Abstract:** in this article the environmental and economic indicators of the production of various types of hydrogen fuel in comparison with traditional fuel and energy resources are discussed.*

***Ключевые слова:** водород, возобновляемые источники энергии, углеродная эмиссия, экология, топливно-энергетические ресурсы.*

***Keywords:** hydrogen, renewable energy sources, carbon emission, ecology, fuel and energy resources*

Введение

Переход на возобновляемые источники энергии – возможность решения множества актуальных вопросов мирового сообщества и повышения устойчивого развития энергетического сектора. Однако, каждый топливный ресурс должен быть как технически и экономически, так и экологически обоснован. Наиболее динамичное развитие в настоящее время переживает водородное топливо, являясь одновременно возобновляемым и чистым энергоисточником.

Основная часть

Объективное обоснование необходимости производства «зеленого» водорода кроется в рассмотрении углеродной эмиссии как при производстве различных энергоносителей, так и при использовании каждого их вида. Важным уточнением является изучение топливно-энергетических ресурсов в качестве не торговой единицы для получения экономических выгод на экспорте, а продукта, производство и потребление которого может благоприятно повлиять на мировое устойчивое развитие и при этом являться оптимальным при производстве в экономико-экологическом плане.

Важным аспектом выбора оптимального вида топлива является фактор возобновляемости, учитывающий возможность производства энергоисточника без привязки к природным ресурсам. Изучение первоначального этапа комплексного использования топлива, а именно добычи, становится важнейшим фактором выбора углероднейтрального топлива. Данные о себестоимости и

углеродном следе в среднем при производстве водорода в сравнении с теми же показателями природного газа и нефти представлены в сводной таблице 1:

Таблица 1 – Данные о производстве энергоносителей

Показатель	Водород			Природный газ	Нефть
	«Серый»	«Голубой»	«Зеленый»		
Себестоимость в среднем: долл./т натур. топлива	1500	2750	4850	43,55	198,83
долл./т у. т.	26,13	43,55	84,49	31,59	129,89
Углеродная эмиссия при добыче в среднем, т CO ₂ -экв. / 1 т у. т.	10	3,68	0	0,34	239,46

В экономическом плане объективным преимуществом среди представленных видов энергоносителей владеют водородное топливо и природный газ, имея достаточно большую разницу в себестоимости с нефтью [1]. Минимальной себестоимостью обладает «серый» водород, чей показатель на 17,3% меньше, чем у природного газа – следующего по рейтингу. В настоящее время именно «серое» водородное топливо является самым дешевым энергоносителем в мире, его себестоимость варьируется от 1 до 2 долл./кг натурального топлива и зависит от цен на природный газ или уголь [2]. Удорожание «голубого» водорода связано с издержками по применению технологий улавливания и хранения углекислого газа (УХУ), максимальная величина которых составляет 70 долл./т CO₂-экв. Комбинирование усовершенствованной технологии производства водородного топлива с фильтрацией повышает капитальные и операционные затраты, что приводит к росту минимальной себестоимости «голубого» водорода до 2,01 долл./кг натурального топлива без учета стоимости природного газа и угля и издержек на УХУ. Достаточно высокая цена производства «зеленого» водородного топлива связана с необходимостью использования специального энергоэффективного оборудования с применением возобновляемых источников энергии. Данные технологии требуют большого объема инвестирования для закупки и размещения многоуровневого производства как точечного, для добычи и реализации «зеленого» топлива на месте спроса, так и широкоформатного, для генерации и дистрибуции энергоносителя потребителям по трубопроводам или автотранспортом. Минимальная себестоимость экологичного энергоносителя варьируется от 4 до 5,8 долл./кг.

Важнейшим этапом анализа топливно-энергетических ресурсов является изучение выбросов углекислого газа в ходе их добычи или производства. Наиболее экологически опасным энергоносителем является нефть, содержащая растворенный попутный нефтяной газ (ПНГ), включающий в себя пары тяжелых углеводородов. В 1 т нефти количество ПНГ может колебаться от 1-2 до нескольких тысяч м³, при этом, по данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, примерно 47% добычи газа списывается на технологические потери, что означает колоссальные выбросы углеродных смесей в атмосферу [3]. Очевидно опасным для экологии является «серое» водородное топливо, получаемое посредством паровой конверсии метана, в ходе которой выделяется около 10 кг CO₂-экв. на каждый кг водорода. Использование

УХУ позволяет уменьшить углеродную эмиссию производимого «голубого» водорода, однако этого недостаточно, чтобы составлять конкуренцию некоторым видам ископаемого топлива: по данным Energy Science & Engineering суммарные выбросы парниковых газов при получении «голубого» водорода превышают более чем на 20% выбросы при сжигании природного газа или угля. Таким образом, углеродный след производства данного вида энергоносителя, как правило, имеет большее значение по сравнению с добычей и эксплуатацией того же природного газа. Система же получения «зеленого» водорода полностью исключает возможность каких-либо выбросов в окружающую среду и предполагает электролиз воды с применением возобновляемых источников энергии, чем достигается нулевая углеродная эмиссия как при производстве, так и при использовании энергоносителя.

Заключение

«Зеленое» водородное топливо – путь к повышению устойчивого развития мирового сообщества. Производство и использование данного энергоисточника сведет к нулю углеродные выбросы в энергетическом секторе, избавит страны, не обладающие собственными топливными ресурсами, от энергозависимости со стороны внешних государств, что благоприятно скажется на состоянии их экономик. Положительным глобальным аспектом станет возможность частичного отказа от ископаемых источников энергии. Так или иначе, для перехода к водородной энергетике требуется колоссальный объем инвестиций и время для реализации новых технологий. Активная декарбонизация и повсеместное внедрение «зеленого» водорода как топлива должны снизить его стоимость и сделать его более доступным для всех сфер жизнедеятельности человека.

Литература

1. Аксютин, О.Е. Экологическая эффективность производства и использования природного газа на основе оценки полного жизненного цикла / О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков // Газовая промышленность. Экология. – 2017. – спецвып. №1. - №750. – с. 18-25.
2. Лесюкова, В.В. Характеристики водорода как топлива и накопителя энергии / В.В. Лесюкова; науч. рук. Лапченко Д.А. // Энергетика и цифровая трансформация [Электронный ресурс] : материалы международной конференции «Тинчуринские чтения»: направление 1 «Электроэнергетика и электроника»: секция "Энергоресурсоэффективные и экологически безопасные технологии в энергетике и нефтегазопереработке". – Казань: КГЭУ, 2021.
3. Попутные нефтяные газы. Справка [Электронный ресурс] // Риа новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/20100201/206673791.html>. – Дата доступа: 16.10.2021.

УДК 620

ЭНЕРГОАУДИТ КАК ВАЖНЫЙ ЭТАП ПРОГРАММЫ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА
ENERGY AUDIT AS AN IMPORTANT STAGE OF THE ENERGY
MANAGEMENT PROGRAM

Е.А. Межень

Научный руководитель – А.М. Добриневская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Mezhen

Supervisor – A. Dobrinevskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье рассматриваются основные подходы к методике проведения энергоаудита. Рассмотрена нормативная база проведения энергетического обследования предприятий.

Abstract: the article discusses the main approaches to the energy audit methodology. The regulatory framework for conducting energy inspection of enterprises is considered.

Ключевые слова: энергетический менеджмент, энергетический аудит, стандарты

Keyword: energy management, energy audit, standards.

Введение

На сегодняшний день политика большинства предприятий направлена на извлечение прибыли методом эффективного управления энергосбережением. Для оценки энергетической эффективности и впоследствии для оценки прогресса в достижении целей и задач предприятиям необходимо определять энергетические показатели деятельности, т. е. проведение энергетического обследования. Оно позволяет проанализировать использование энергетических ресурсов предприятия, затраты на них, выявить места нерационального использования ресурсов, разработать программу реализации энергосберегающих мероприятий и проектов, что в конечном итоге позволит улучшить финансовое состояние предприятия за счет снижения платежей за энергоресурсы. Управление энергосбережением включает в себя внедрение эффективных технологий и разработку эффективных финансово-экономических механизмов производства, транспортирования и потребления энергетических ресурсов, проведения мероприятий по энергосбережению, внедрения систем учета.

Основная часть

За период реализации Государственной программы «Энергосбережение» на 2016 – 2020 годы проделана значительная работа по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Так, объем экономии ТЭР за счет реализации мероприятий по энергосбережению в целом по республике составил 4,1 млн. т у.т., что эквивалентно экономии потребления импортируемого топлива в объеме около 3,5 млрд. куб. метров. Основной объем

экономии ТЭР получен за счет внедрения в производство современных энергоэффективных и повышения эффективности действующих технологий, оборудования и материалов. Такие результаты достигнуты за счет проведения планомерной политики энергосбережения на всех предприятиях республики.

В энергосбережении важное место отводится этапу энергоаудита (энергетическому обследованию) как основному контрольному инструменту, в задачу которого входит проведение обследования предприятий и энергоресурсопотребляющих систем с целью получения объективной оценки эффективности их функционирования и разработки рекомендаций по ее повышению [1, с. 86]. В прошлые годы службы Энергонадзора вели постоянный контроль за рациональным использованием энергоресурсов на государственных предприятиях. По ряду причин эффективность действия этой системы контроля в настоящее время несколько ослабла. Падение уровня производства привело к тому, что многие предприятия должны обеспечивать энергоресурсами производственные площади, не соответствующие фактическим объемам производства. При этом общие непроизводственные энергозатраты для поддержания жизнедеятельности ложатся на сократившийся объем выпускаемой продукции, вследствие чего увеличиваются доли энергозатрат в ее себестоимости. Ограниченные финансовые возможности приводят к тому, что возникающие на предприятиях технические проблемы часто решаются по временной схеме, без технико-экономической проработки, а это приводит в долговременном плане к большим финансовым потерям. Увеличение стоимости энергоресурсов и отмена государственных дотаций в коммунальной сфере обостряют проблему энергосбережения в системах жизнеобеспечения населения. Возникает необходимость в ревизии и снижении потерь энергоресурсов во всех звеньях систем энергоснабжения и энергопотребления. Только так можно ограничить рост коммунальных оплат при проведении жилищно-коммунальной реформы. Стоящую задачу помогает решить энергоаудит систем энергоснабжения и энергопотребления. Энергетический аудит – это техническое обследование, анализ экономичности работы систем энергогенерирования и энергопотребления в целях определения возможной экономии затрат энергоресурсов. [2]

Задачи энергоаудита – выявить источники нерациональных энергозатрат, неоправданных потерь энергии и финансов; разработать на основе технико-экономического анализа рекомендации по их ликвидации; предложить программу по экономии энергоресурсов и рациональному энергопользованию; определить очередность реализации предлагаемых мероприятий с технико-экономическим анализом объемов затрат и сроков окупаемости [3, с. 30]. Профессиональная подготовка энергоаудитора должна быть достаточной для проведения обследования любого объекта ЖКХ и любого предприятия, выпускающего любой вид продукции. Методика проведения энергоаудита не должна зависеть от вида выпускаемой продукции, применяемой технологии и формы организации обследуемого предприятия.

Методика проведения энергоаудита проводится по стандартному (типовому) алгоритму, что сокращает общие затраты на его проведение,

позволяя эффективно подключать других аудиторов на определенных (стандартных) этапах работ. Серьезный энергоаудит – большая и трудоемкая работа. Однако из-за ее сложности и высокой стоимости необходимость и полезность энергоаудита не всегда очевидны для руководства предприятия. Сегодня энергия составляет критически важную часть затрат, которыми необходимо эффективно управлять. В настоящее время системный энергоменеджмент является одним из ключевых факторов повышения эффективности энергосберегающей деятельности организаций и обеспечения ее устойчивости [4, с. 18].

В Республики Беларусь действует СТБ ISO 50001-2013 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению», идентичный международному стандарту ISO 50001. Стандарт СТБ ISO 50001-2013 устанавливает требования к разработке, внедрению, поддержанию и улучшению системы энергетического менеджмента, которая позволяет организации применять системный подход для обеспечения постоянного улучшения энергетической результативности, включающей энергетическую эффективность, использование и потребление энергии. СТБ ISO 50001-2013 могут использовать любые организации, которые желают подтвердить выполнение своей энергетической политики и продемонстрировать это партнерам и общественности [5, с. 44].

ГОСТ ISO 50001 устанавливает требования, применимые к использованию и потреблению энергии, включая: измерение, документирование и отчетность, проектирование и закупку оборудования; системы, процессы, персонал, влияющие на энергоэффективность и потребление энергоресурсов. Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 50001 предназначен для организаций заинтересованных в повышении энергоэффективности и улучшению своей энергетической результативности независимо от размера, вида осуществляемой деятельности, географических и культурных особенностей. В соответствии с «Планом государственной стандартизации Республики Беларусь на 2019 год» (тема: 2.1.1 - 001.19), БЕЛЛИС осуществляет разработку ГОСТ ISO 50001 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по использованию». Целью разработки межгосударственного стандарта является гармонизация с международным стандартом ISO 50001:2018 требований к созданию, применению, поддержанию в рабочем состоянии и улучшению системы энергетического менеджмента [9]. В августе 2018 года издана новая версия международного стандарта ISO 50001:2018 «Системы энергетического менеджмента – Требования с руководством по применению». Вышедшее второе издание стандарта отменяет и заменяет первое издание (ISO 50001:2011), которое было переработано. Согласно правилам Международного форума по аккредитации (IAF) и Международной организации по стандартизации (ISO), после публикации новой версии стандарта объявляется 3-х летний переходный период [6]. Основные изменения в стандарте коснулись следующего:

- принятие требований ISO к стандартам на системы менеджмента, включая структуру высокого уровня, идентичный ключевой текст, а также общие термины и определения, чтобы обеспечить высокий

- уровень сопоставимости с другими стандартами на системы менеджмента;
- более высокая степень интеграции с процессами стратегического менеджмента; – более четкий язык и структура документа;
 - более строгое подчеркивание роли высшего руководства;
 - принятие смыслового порядка построения терминов и их определений в разделе 3 и уточнение некоторых определений;
 - включение новых понятий, включая улучшение энергетических показателей деятельности;
 - разъяснение по вопросу исключения видов энергии;
 - разъяснение понятия «энергетический анализ»;
 - введение понятия нормализации энергетических показателей деятельности и связанных с ними базовых значений энергетических показателей;
 - дополнительные разъяснения плана сбора энергетических данных и связанных с этих требований (ранее – план измерения энергии);
 - более четкое изложение текста, относящегося к энергетическим показателям деятельности и базовым значениям энергетических показателей в целях обеспечения лучшего понимания этих понятий [2].

Заключение

Энергосбережение предприятий возможно только при наличии достоверной информации о количестве потребляемой предприятием энергии. В этой связи особое значение приобретает организация эффективного энергоучета. Его основной целью является точное определение уровня потребления энергии предприятием в целом и его отдельными подразделениями. Это позволяет сделать максимально прозрачными взаимоотношения с поставщиками энергоресурсов. Кроме того, учет электроэнергии на предприятии дает возможность выявлять проблемные участки и технологические цепочки, где осуществляется неоправданно высокое потребление энергии. Это позволяет разрабатывать и реализовывать мероприятия по энергосбережению, а также оценивать их эффективность.

Литература

1. Экономика и управление в энергетике : учебник для магистров / под общ. ред. Н. Г. Любимовой, Е. С. Петровского. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 485 с. — Серия : Магистр.
2. Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1776-2007 – Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов.
3. Михалевич, А. А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент / А. А. Михалевич. – Мн. : БГТУ, 2002
4. Володин, В. И. Энергосбережение / В. И. Володин. – Мн., 2001.
5. Методические указания по нормированию потребления тепловой и электрической энергии в учреждениях и организациях социальной сферы, Мн.: Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь, 2003

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 марта 2016 года №216 «Об утверждении положений по вопросам энергосбережения, внесении изменений и дополнений в постановления Совета Министров Республики Беларусь от 31 июля 2006 года № 981 и от 17 февраля 2012 года № 156 и признании утратившими силу постановлений Совета Министров Республики Беларусь и структурных элементов постановлений Совета Министров Республики Беларусь».

УДК 620.9

**ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
FUEAL AND ENERGY RESOURCES OF THE REBUBLIC OF BELARUS**

П.Г. Назарова

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Nazarova

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В статье рассмотрена классификация основных топливно-энергетических ресурсов. Проанализированы запасы топливно-энергетических ресурсов Республики Беларусь. Исследованы запасы лесного фонда, бурого угля, торфа и нефти. Выделен наиболее приоритетный топливно-энергетический ресурс для Республики Беларусь.*

***Abstract:** The article considers the classification of the main fuel and energy resources. The reserves of fuel and energy resources of the Republic of Belarus are analyzed. The reserves of the forest fund, brown coal, peat and oil were studied. The most priority fuel and energy resource for the Republic of Belarus has been allocated.*

***Ключевые слова:** топливно-энергетические ресурсы, ископаемые источники, нефть, уголь, древесина, торф, энергетика.*

***Keywords:** fuel and energy resources, fossil sources, petroleum, coal, wood, peat, energy.*

Введение

Топливо-энергетические ресурсы – запасы топлива и энергии в природе, которые при помощи техники могут быть использованы человеком для производства материальных благ [1].

К топливно-энергетическим ресурсам относят:

- уголь, нефть, горючие сланцы, торф и дрова.
- энергия ветра, морских приливов, падающей воды рек.
- атомная и солнечная энергия

В Республике Беларусь собственные топливно-энергетические ресурсы представлены: древесиной, нефтью, торфом, бурым углем, горючими сланцами.

Основная часть

1. Древесина является местным ресурсом для каждого региона Беларуси, но лесистость районов неравномерна, что связано с историческим и экологическим фактором.

Состав лесов Республики Беларусь является типичным для европейских равнин и не отличается разнообразием. Большую часть от всей площади занимают сосняки— 50,3%, затем березняки —20,8%, ельники—10,0%, ольшаники—7,0%, осинники – 5,0% и дубравы—3,6%.

Что касается возрастной структуры лесов, то в Беларуси она не равномерна: средневозрастные деревья занимают 45,5%, затем молодняки – 36,6%,

приспевающие – 14,2 %, а спелые – 4,7%. Средний возраст деревьев – 45 лет, а средний запас древесины на 1 га – 205 м³.

Наиболее лесистыми районами являются – Россонский (67 %), Лельчицкий (66,5 %) и Наровлянский (58,8%). Минимальная лесопокрытая площадь — в Несвижском (11,4 %), Зельвенском (15,6 %), Берестовицком (16,4 %) районах [2].

Общий объем заготавливаемой древесины в Республике Беларусь составляет 18 млн м³ в год.

2. Добычей нефти в Республике Беларусь занимается нефтегазодобывающее управление “Речицанефть”, ведущее подразделение – “Белоруснефть”.

Промышленная добыча в Беларуси началась с 1965 года в районе Припускного прогиба, с начала было добыто около 138 млн. нефти и попутно 15,6 млрд. куб. м. нефтяного газа.

В основном запасы нефти в Республике Беларусь относятся к трудноизвлекаемым. Наиболее крупные месторождения – Речицкое, Осташковское и Вишанское.

Максимальный уровень добычи был зафиксирован в 1975 году – 7,96 млн., а затем из-за больших темпов добычи начал падать. На 2021 год планируется добыть – 1 млн. 730 тыс. т. нефти [3].

3. В Республике Беларусь располагаются одни из крупнейших запасов торфа в Европе. Особенностью данного сырья можно считать то, что он может использоваться как топливно-энергетический ресурс, так и ресурс не топливного назначения. Это может свидетельствовать о экономическом потенциале торфа для экономики Республики Беларусь.

Промышленная добыча торфа в нашей стране ведется с 1896 года. До 60-х годов XX века торф был тем ресурсом, благодаря которому работало большинство электростанций страны. В 1974 г. Было произведено строительство и ввод в эксплуатацию брикетных заводов, что позволило увеличить производство брикетов до 2,4 млн. т. Так же в этом году была и достигнута максимальная добыча торфа – 16,8 млн. т., из которых 9,1 млн. составляет топливный торф и 7,7 млн. составляет торф для нужд сельского хозяйства.

Уже с конца 70-х годов происходит постепенный переход объектов энергетики на другие виды топлива – мазут и газ. Торфяное топливо начало исключаться из теплоэнергетики, и к 1986 г. прекратилось его сжигание на ТЭЦ и электростанциях. Впоследствии добыча торфа и производства брикетов сократилась.

В последнее десятилетие производство топливных брикетов находится в диапазоне 0,7 – 1,4 млн. т. в год, а также производство топлива фрезерного (для нужд котельных и ТЭЦ). – 0,1 млн. т. в год [4].

В 2019 году было добыто 2239 тыс. топливного торфа.

4. Бурый уголь на территории Республики Беларусь добывается в 3-ех месторождениях: Бриневском, Житковичском и Тонежском. Залежи бурого угля находятся на различных глубинах – от 1100 до 20 м. Добыча угля ведется открытым способом и промышленное значение имеют угли, которые расположены ближе к поверхности земли.

В нынешней условиях производство торфобуроугольных (буроугольных)брикетов, а также использование бурого угля в качестве топливно- энергетического ресурса не целесообразно и неэффективно. Наиболее рациональное использование бурого угля в качестве не топливного назначения (биологически активных веществ, органических удобрений и различных продуктов на основе гуминовых веществ) [5].

5. Наиболее известные места добычи горючих сланцев – Любанское и Туровское. Промышленные запасы горючих сланцев оцениваются в 3 млрд..

По своему качеству белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом т.к. у них высокая зольность и низкая теплота сгорания, так же они требуют предварительную термическую обработку из с выделением жидкого и газообразного топлива, а также стоимость продукта получения выше цен на нефть в мире.

Заключение

Невзирая на нынешнее развитие альтернативных источников энергии, главную роль в топливно- энергетическом балансе все так же занимают ископаемые виды топлива, как в мире, так и в Беларуси.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что самый прибыльный топливно-энергетический ресурс – торф. Его можно использовать, как и энергетический ресурс, а также, как и не топливный ресурс. В нашей стране большие запасы торфа по европейским меркам – 2,4 млн. с геологическим запасом в 4 млрд. А также в Республике Беларусь имеется достаточное количество заводов и реализуемых проектов по созданию их, одним из них является проект Министерства Энергетики Республики Беларусь, на 2017– 2020 годы (утвержден постановлением Минэнерго от 29.12.2017 № 55) , в котором фигурируют 24 организации, которые преимущественно расположены в сельской местности[6].

Белорусские предприятия так же активно участвуют в экспорте торфа. Так, по итогам 11 месяцев 2019 года из 189,7 тыс. т. торфяного экспорта организаций ГПО “Белтопгаз” (за 2019 экспортировали более 80 % торфа в целом) 113,6 тыс.т. составило топливный торф, а 76,1 тыс. – не топливный.

Литература

1. 1.Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс]/ топливно-энергетические ресурсы Режим доступа: <https://belenergo.by/content/investoram/vozobnovlyaemaya-energetika//>. – Дата доступа: 23.10.2021
2. 2.Добыча древесины в Республике Беларусь [Электронный ресурс]/добыча древесины Режим доступа: <https://byles.by/poleznaya-informaciya/lesnye-resursy-belarusi.html> /.– Дата доступа: 23.10.2021
3. 3.Добыча нефти в Республике Беларусь [Электронный ресурс]/добыча нефти Режим доступа: <https://www.belorusneft.by/sitebeloil/ru/center/oilGas//>. – Дата доступа: 23.10.2021
4. 4. Первичный анализ торфяной промышленности [Электронный ресурс]/торфяная промышленность Режим доступа:

<https://bahna.land/ru/bolota/pervichnyj-analiz-torfyanoj-promyshlennosti-belarusi> /.–
Дата доступа: 23.10.2021

5. 5.Бурые угли [Электронный ресурс] /бурые угли Режим доступа:
<https://есоportal.gov.by/nedra/mineralno-syrevaya-baza/razvedannye-nerazrabatyvaemye-mestorozhdeniya/burye-ugli/>. – Дата доступа: 23.10.2021

6. 6.Постановление Министерства Энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс] / постановление о развитии торфяной промышленности Режим доступа:
<https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32100153&p1=1/>. – Дата доступа: 23.10.2021

УДК 338.24

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ
MODERN METHODS FOR ASSESSING THE ECONOMIC
SUSTAINABILITY OF ENERGY ENTERPRISES UNDER UNCERTAINTY
EXTERNAL ENVIRONMENT**

Ю.В. Озерец

Научный руководитель – Т.Ф. Манцорова, заведующий кафедрой экономики и
организации энергетики

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Ozerec

Supervisor – T. Mantserova

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматриваются методы оценки экономической устойчивости. На основе использования маржинального метода, финансового метода на основе EBITDA, метода показателя спреда дана оценка экономической устойчивости строительного-монтажного предприятия энергетики. Построена трехмерная модель экономической устойчивости предприятия.*

***Abstract:** the article discusses methods for assessing economic sustainability. Based on the use of the marginal method, the financial method based on EBITDA, the spread indicator method, an assessment of the economic sustainability of the construction and installation enterprise of the energy sector is given. A three-dimensional model of the economic sustainability of the enterprise has been built.*

***Ключевые слова:** экономическая устойчивость, методы, трехмерная модель экономической устойчивости предприятия.*

***Keyword:** economic sustainability, methods, three-dimensional model of the economic sustainability of the enterprise.*

Введение

Современная экономическая наука для оценки экономической устойчивости предприятий в основном использует методы количественных оценок полученных финансовых результатов деятельности предприятий. Результаты всех видов деятельности предприятий выражаются в итоговых финансовых показателях, таких как прибыль, себестоимость, рентабельность, платежеспособность и ряде других, а также производных от них, которые получают расчетным путем. [1]

Основная часть

Рассмотрим экономическую устойчивость через призму предпринимательского риска, а в её оценке будем опираться на индикаторы маржинальной безопасности (запаса финансовой прочности), силы операционного рычага, эффекта операционного рычага, оборачиваемости активов, рентабельность продаж и рентабельность активов.

Риск-менеджментом предлагаются инновационные подходы к методам оценки экономической устойчивости, позволяющие учитывать предпринимательские риски.

Первый подход – маржинальный, в основе которого лежит СVP-анализ и такие факторные показатели, как выручка, постоянные и переменные затраты, маржинальная прибыль. [2, с.3-7] Второй подход – финансовый на основе оценки предпринимательского риска и инвестиционных возможностей с помощью операционного денежного потока EBITDA. В нем в качестве факторных показателей используются: чистая прибыль, амортизация, проценты к уплате и налог на прибыль. Третий подход – устойчивого развития, построен на оценке траектории устойчивости развития с помощью показателя спреда, а также выручки, издержек, результатов от инвестиционной деятельности.

Для применения вышеуказанных методов на основе данных Отчета о прибыли и убытках ОАО «БЭСС» за 2015-2019 гг. дадим оценку экономической устойчивости ОАО «БЭСС» за 5 лет (таблица 1).

Таблица 1 – Оценки экономической устойчивости ОАО «БЭСС» за 2015-2019 гг.

Наименование	2015	2016	2017	2018	2019
<i>Маржинальный метод</i>					
Сила операционного рычага	3,46	5,75	4,97	5,27	4,12
Запас финансовой прочности	0,29	0,17	0,20	0,19	0,24
Эффект операционного рычага	0,58	0,57	0,59	0,61	0,64
Cov	0,68	0,74	0,72	0,71	0,72
<i>Финансовый метод на основе EBITDA</i>					
Сила операционного рычага	6,19	8,23	9,15	13,52	11,57
Запас финансовой прочности	0,16	0,12	0,11	0,07	0,09
Эффект операционного рычага	1,24	1,18	0,77	0,87	1,13
Cov	0,43	0,43	0,44	0,39	0,42
<i>Метод показателя спреда</i>					
Сила операционного рычага	-	-	-	-	-
Запас финансовой прочности	0,23	0,14	0,05	0,07	0,06
Эффект операционного рычага	5,06	22,05	1,00	6,86	2,97
Cov	0,62	0,54	0,63	0,6	0,65

Для построения модели экономического состояния в качестве основных параметров нами рассматриваются запас финансовой прочности, эффект операционного рычага и коэффициент ковариации. На основе этих параметров разработана трехмерная модель экономической устойчивости предприятия. Полученная модель экономического состояния помогает спрогнозировать пути экономического развития предприятия.

Используем ранее рассчитанные показатели оценки экономической устойчивости ОАО «БЭСС», представленные в таблице 1, для построения графических моделей оценки экономической устойчивости предприятия за 2019 год.

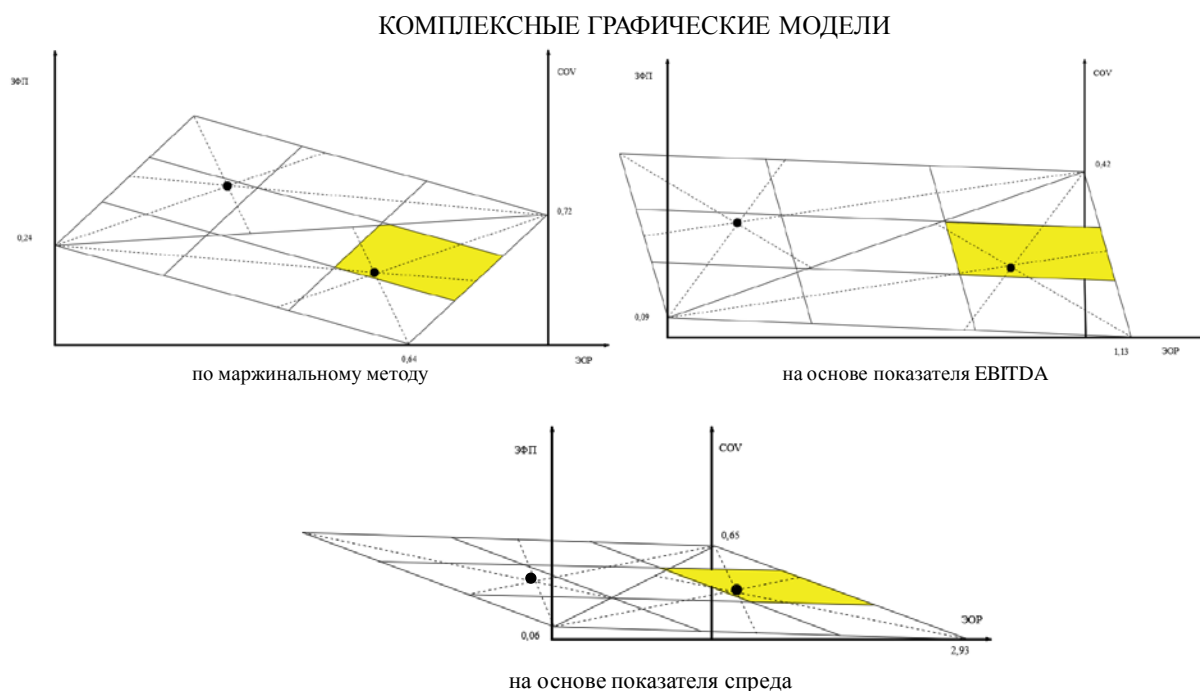


Рисунок 1 – Комплексная модель оценки экономической устойчивости строительного монтажного предприятия по маргинальному методу, на основе показателей ЕВITDA и спреда

Заключение

Применение графической модели позволяет решить следующий комплекс задач:

- получить оценку экономической устойчивости предприятия с помощью качественных показателей;
- отразить область экономического состояния предприятия.
- идентифицировать квадрат экономической устойчивости предприятия в настоящем и будущем.

Литература

1. Economic Sustainability [Электронный ресурс] // University of Mary Washington. – Режим доступа: <https://sustainability.umw.edu/areas-of-sustainability/economic-sustainability/>. – Дата доступа: 19.10.2021.
2. Kukukina, I.G. Problemy finansovogo menedzhmenta predpriyatij v usloviyakh rynochnoy ekonomiki [Issues of Financial Management of Enterprises in the Market Economy]. Vestnik IGEU, 2004, no. 1, pp. 3–7

УДК 330.341

**СУЩНОСТЬ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА
ESSENCE OF THE CLUSTER APPROACH**

А.С. Щербова

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. SHCHERBOVA

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье рассмотрены теоретические основы понятия кластерного подхода. Классификация и виды кластеров. Мировой опыт использования кластеров. Мировые лидеры по приоритетным направлениям кластерного развития.

Abstract: The paper considered the theoretical basis of the cluster approach. Classification and types of clusters. World experience of using clusters. World leaders in priority areas of cluster development

Ключевые слова: кластеры; кластерный подход; классификация кластеров; мировые кластеры.

Keywords: clusters, cluster approach, cluster classification, world clusters

Введение

В современном мире в условиях глобализации требуется применение инновационных подходов и решений. Одним из таких решений является использование кластеров. Понятие «кластер» используется в различных областях науки и отраслях деятельности, в переводе с английского обозначает (1) кисть, гроздь; (2) скопление, концентрация; (3) группа. В настоящее время однозначного понимания этого термина не существует. В традиционном представлении, сформулированным М. Портером в 1990 г., кластер – это группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций определенной сферы, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга.

Основная часть

Помимо компаний, в процессе кластеризации также участвуют институты, университеты, инфраструктурные объекты. Кластерная модель организации приводит к созданию особой формы совместного инновационного продукта, который концентрирует различные научно-технические изобретения, преобразуя их в инновации, коммерциализация которых обеспечивает достижение конкурентоспособных положительных сторон. Таким образом на сегодняшний день «кластерный подход» можно трактовать как взаимосвязь промышленного сектора, научной сферы и государственного сектора и может быть представлена в виде триллемы (рисунок 1). Существуют различные виды подходы к классификации кластеров. Для этого используется довольно широкий ряд признаков, по которым кластеры объединяются в однородные группы. Они классифицируются по таким параметрам, как: географическое положение,

наличие капитала, близость поставщиков, состояние конкурентоспособности, отраслевая принадлежность и т.д. Основная классификация кластеров представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Кластерная трилема



Рисунок 2 – Классификация кластеров

Кластеры привлекают все большее внимание во всем мире. Объединение промышленных компаний выгодно как для бизнеса, так и для государства. Благодаря внутренней конкуренции каждый участник кластера может отточить свои преимущества, а концентрация компании на одной территории привлекательна для кадров и клиентов. Существует ряд стран, в которых кластеры работают наиболее успешно:

Таблица 1 - Мировые кластеры.

Страна	Направления	Название и характеристика кластеров
Франция	-фармацевтика -косметические средства -производство продуктов питания	Cosmetic Valley. Он объединяет 600 предприятий, которые занимаются производством косметики. Участники: 7 университетов, исследовательские институты и 200 лабораторий
Великобритания	-разработка биотехнологий и биоресурсов	-Cambridge Medical Campus -eHealth Cluster
Италия	-производство потребительских товаров -пищевое производство	-Advanced Life Science in Italy (ALISEI) -Cluster of Health Innovation and Community
США	- энергетика - информационные и компьютерные технологии	-Кремниевая долина. Здесь находятся такие бренды, как AMD, Apple, eBay, Intel. - Triangle Park. Там работают фирмы, занятые разработками в области биотехнологий.
Россия	-биотехнологии; -авиастроение; -химическое производство; -автомобильная промышленность; -электроэнергетика; -информационно-коммуникационные технологии;	-«Фотоника», Пермский край. Целями являются: разработка и внедрение на рынке современной продукции фотоники. -Индустриальный ИТК в сфере нефтехимии и автомобилестроения, г. Нижний Новгород -ИТК Новые материалы, лазерные и радиационные технологии, г. Троицк

Проанализировав таблицу 1 можно с уверенностью сказать, что кластеры нужны странам, так как именно они предлагают современные инновативные пути развития и именно они определяют динамику мировой экономики.

Заклбчение

Основное развитие кластеров наблюдается в странах Северной Европы, таких как: Норвегия, Финляндия, Дания. Наиболее эффективную работу продемонстрировали кластеры, созданные в таких современных направлениях как: биотехнологии и биоресурсы, машиностроение, электроника, логистика коммуникаций, легкая промышленность и энергетика. Особенности функционирования кластеров в различных направлениях во многом зависят от географического положения стран, наличия сырьевой базы и уровня социально-экономического развития.

Литература

1. Кластер. О кластере. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cluster.polessu.by> – Дата обращения: 20.10.2021.
2. Майкл Портер. Конкуренция. М.: Вильямс, 2005. — 608 с.
3. Лысюк, Р. Н. Кластерная политика и перспективы ее применения в лесном комплексе Республики Беларусь / Р. Н. Лысюк // Перспективы инновационного развития Республики Беларусь : сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции, Брест, 25–26 апреля 2013 года / Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Брестский государственный технический университет", Кафедра экономической теории, Брестский областной исполнительный комитет, Закрытое акционерное общество "Брестский научно-технологический парк" ; редкол.: П. С. Пойта [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2013. – С. 241–242. – Библиогр.: с. 242 (3 назв.).
4. Биомедицинские кластеры в мире: факторы успеха и истории лучших / [Е. А. Исланкина, Е. С. Куценко, Ф. Н. Филина и др.]; редакционная коллегия: Л. М. Гохберг, М. Т. Югай ; Moscow international medical cluster, Высшая школа экономики-национальный исследовательский университет. - Москва : Издательский дом Высшей школы экономики, 2019. - 157 с. : цв. ил. ; 29 см. - Библиогр.: с. 151-157.

УДК 338.012

**АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ ПРОЕКТА АЭС «ЭЛЬ ДАБАА»
STAKEHOLDER ANALYSIS OF THE EL DABAA PROJECT**

Р.Р. Хадиуллина, Э.И. Гараева

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

R. Khadiullina, E. Garaeva

Supervisor – V. Kulkova, PhD in Economics, professor
Kazan state power engineering university, Kazan

Аннотация: В статье представлен анализ заинтересованных сторон (стейкхолдеров) на примере проекта египетской АЭС «Эль Дабаа», который будет располагаться в области Матрух на берегу Средиземного моря.

Abstract: The article presents a stakeholder analysis using the example of the El Dabaa NPP project in Egypt, which will be located in the Matrouh region on the Mediterranean Sea.

Ключевые слова: стейкхолдеры, проект, Эль Дабаа, АЭС, команда

Keywords: Stakeholders, project, El Dabaa, NPP, team

Введение

На сегодняшний день атомные электростанции являются одними из самых быстро развивающихся направлений в энергетике в качестве альтернативных источников энергии, что находит обоснование в концепции устойчивого развития [2]. Устойчивое развитие предусматривает значительное внимание к взаимодействиям между стейкхолдерами [1], исследуется в отечественной научной школе в отраслевом разрезе, отрасль включая энергетики [3]. Каждая страна стремится завоевать рынок и распространить свои технологии за пределами других стран. РФ развивает строительство АЭС на территории разных государств в рамках самостоятельных проектов. Кейсом такой деятельности является проект государственной корпорации «Росатом» совместно с египетской стороной по строительству АЭС «Эль Дабаа» [4],[5],[6],[7]. Целью статьи является анализ стейкхолдеров по проекту АЭС «Эль Дабаа».

Основная часть

По результатам анализа выявлено 7 стейкхолдеров и их анализ представлен в табл1:

- Министерство Египта. У министерства Египта положительное отношение и высокое влияние на данный проект, так как «Эль Дабаа» будет первой АЭС в Египте и как отмечает Мохаммед Шакер, министр электроэнергетики Египта, «... позитивная динамика... приближение к египетской ядерной мечте... команда профессионалов сможет успешно с ними справиться».[4]
- Заказчик в лице El-Dabaa NPP. Египетская сторона положительно относится к проекту, так как на данный момент проект является одним из самых амбициозных и «...даст толчок к дальнейшему экономическому развитию страны» добавил в своём обращении Амгед

- Аль-Вакиль, председатель совета директоров Управления по атомным электростанциям.[5]
- Генподрядчик АО «Атомстройэкспорт», как непосредственный участник проекта, имеет высокое влияние на проект и положительное отношение ради выполнения проекта в заданные сроки.
 - Инвесторы: со стороны России – ЦБ РФ, со стороны Египта – частные инвесторы заинтересованы в получении запланированной доходности проекта. По соглашению Россия предоставит кредит в размере 25 миллиардов долларов, который подлежит погашению по ставке 3% годовых в течение 22 лет. Остальную часть, 5 миллиардов долларов, были привлечены со стороны частных инвесторов Египта.[6]
 - Команда проекта («Росатом») имеет положительное отношение к проекту, поскольку «Эль Дабаа» является важным проектом не только для госкорпорации, но и для России в целом, а также результатом совместной работы проектных команд.
 - Население Египта имеют низкое влияние и положительное отношение к проекту, в связи с трудоустройством нескольких тысяч людей. По соглашению от 20 октября 2015 госкорпорация «Росатом» с сентября 2021 года до декабря 2028 года обучит специалистов на базе Технической академии в России и Учебного центра атомной станции в Египте. [7]
 - Экологические активисты, выступающие против этого проекта, аргументируя возможными неполадками на станции и повторение трагедии как на Чернобыльской АЭС, АЭС «Фукусима-1»

Таблица 1 – Анализ стейкхолдеров проекта АЭС «Эль Дабаа»

Стейкхолдеры	Отношение к проекту	Влияние	Причины заинтересованности
1	2	3	4
Министерство (Министерство Египта)	Положительное	Высокое	Сооружение первой в Египте атомной электростанции
Заказчик (El-Dabaа NPP)	Положительное	Высокое	Выполнение проекта и достижение целевых показателей проекта
Генподрядчик (АО «Атомстройэкспорт»)	Положительное	Высокое	Выполнение поставленного задания в срок
Инвесторы (Россия - ЦБ РФ; Египет - частные инвесторы)	Положительное	Высокое	Получение запланированной доходности проекта
Команда проекта («Росэнергоатом»)	Положительное	Высокое	Управление проектом и принятие грамотных управленческих решений
Население	Положительное	Низкое	Выгода из возможностей, предоставляемых Проектом (трудоустройство)
Экологические активисты	Отрицательное	Низкое	Охрана окружающей среды, рациональное природопользование

Заключение

От качественного выстроенного взаимодействия со стейкхолдерами зависит эффективность проекта. Взаимодействие с заинтересованными лицами помогает организации минимизировать риски, выявить новые возможности, усиливать и развивать положительные стороны, а также по возможности нейтрализовать отрицательные.

Литература

1. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность крупных предпринимательских структур как детерминантная стратегия обеспечения устойчивости экономического развития //Среднерусский вестник общественных наук. 2017. Т. 12. № 3. С. 97-107.
2. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность предпринимательских структур как форма кооперации стейкхолдеров и бизнеса //Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 4. С. 55-65.
3. Kulachinskaya A., Akhmetova I.G., Kulkova V.Y., Ilyashenko S.B. The challenge of the energy sector of Russia during the 2020 covid-19 pandemic through the example of the republic of Tatarstan: discussion on the change of open innovation in the energy sector //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Т. 6. № 3. С. 60.
4. Глава Росатома Алексей Лихачёв и министр электроэнергетики Египта Мохамед Шакер посетили площадку сооружения АЭС «Эль-Дабаа» // [Электронный ресурс]. URL: <http://rosatom-energy.ru/media/rosatom-news/glava-rosatoma-aleksey-likhachyev-i-ministr-elektroenergetiki-egipta-mokhamed-shaker-posetili-ploshch/> (Дата обращения: 21.10.2021).
5. Посол РФ в Египте посетил строительную площадку АЭС «Эль Дабаа» // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/journalist/news/posol-rf-v-egipte-posetil-stroitelnuyu-ploshchadku-aes-el-dabaa/> (Дата обращения: 21.10.2021).
6. Атомная электростанция Эль-Дабаа // [Электронный ресурс]. URL: https://www-power--technology-com.translate.google/projects/el-dabaa-nuclear-power-plant/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=nui,sc (Дата обращения: 21.10.2021).
7. В Технической академии Росатома стартовало обучение персонала АЭС «Эль Дабаа» // [Электронный ресурс]. URL: <https://rosatom.ru/journalist/news/v-tekhnicheskoy-akademii-rosatoma-startovalo-obuchenie-personala-aes-el-dabaa/> (Дата обращения: 21.10.2021).

УДК 338.012

АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНОГО
ПОДХОДА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ АЭС «АККУЮ»
ANALYSIS OF STAKEHOLDERS OF THE AKKUYU NPP PROJECT

А.А. Хамидуллина, В.А.Мишарова, Н.В. Андреева
Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
A. Khamidullina, V. Misharova, N. Andreeva
Supervisor – V. Kulkova, PhD in Economics, professor
Kazan state power engineering university, Kazan

Аннотация: В данной статье производится анализ заинтересованных сторон, принимающих участие в инициации проекта «АЭС Аккую», а также оценка их интереса к вопросам строительства и безопасности. Научная новизна исследования заключается в применении кабинетного анализа в открытой системе и метода Г.Саважжа.

Abstract: This article analyzes the stakeholders involved in the initiation of the Akkuyu NPP project, as well as an assessment of their interest in construction and safety issues. The scientific novelty of the research lies in the application of cabinet analysis in an open system.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, анализ стейкхолдеров, заинтересованные стороны, инициация проекта, реестр

Keywords: alternative energy sources, stakeholder analysis, stakeholders, project initiation, register

Введение

Проблема управления заинтересованными сторонами получает развитие в последнее время [1], потому что растет понимание роли заинтересованных сторон в деловой деятельности компании [2], включая реализацию проектного подхода. В современном мире в условиях развития ESG концепции она получает все большее и большее применение, особенно в проектах по разработке и созданию «чистой энергии» [5]. Как известно успех проекта заключается в успешном завершении и достижении поставленных целей. Однако на реализацию проекта могут оказывать влияние не только внутренние, но так и внешние заинтересованные лица.

Стейкхолдеры (заинтересованные лица) - это лица или организации, которые могут каким-то образом повлиять на исход проекта. Анализ стейкхолдеров занимает особое место в управлении проектами, так как он позволяет выявить потенциально возможные риски, связанные с проектом, а также оказывает помощь при выборе стратегий по взаимодействию с определенными стейкхолдерами.

РФ активно продвигает проекты по строительству АЭС на территории других государств. Уникальным проектом РФ на территории Турции является первый в мире проект атомной электростанции, реализованный в соответствии с моделью ВОО (строить-владеть-эксплуатировать), - турецкий проект

строительства атомной электростанции Акю . В рамках долгосрочного контракта компания несет ответственность за проектирование, строительство, техническое обслуживание, эксплуатацию и вывод завода из эксплуатации. Проект строительства АЭС "Аккую" на 100 % финансируется российской стороной [3], [4]. Росатом имеет право продать до 49 % акций проекта другим инвесторам [3], [4]. Это может быть инвестор всей 49 % доли в проекте, это может быть меньшая доля, или это может быть несколько компаний [3], [4]. Целью статьи является анализ стейкхолдеров проекта АЭС «Аккую». Методы исследования – анализ проектной документации по строительству АЭС «Аккую», составление реестра и анализ заинтересованных сторон, метод Г.Саважа.

Основная часть

В рамках цели исследования с использованием обозначенных методов проведена характеристика проекта Строительство АЭС «Аккую» с формированием реестра заинтересованных сторон (табл.1).

Таблица 1 – Реестр заинтересованных сторон проекта

Характеристика	Содержание
Наименование проекта	Строительство АЭС «Аккую»
Планируемое время начала и окончания проекта	Начало проекта: 13.12.2010 Окончание проекта:13.12.2027
Оценка бюджета проекта	20 млрд долларов
Место/ сфера реализации	Турецкая республика на берегу Средиземного моря в провинции Мерсин, г. Гюльнар
Заказчик проекта	АО «Аккуюнуклеар»
Куратор	Лихачев Алексей
Руководитель проекта	Зотеева Анастасия Геннадиевна
Ключевые заинтересованные стороны проекта	АО «Аккуюнуклеар» Госкорпорация «Росатом» Министерство энергетики и природных ресурсов Турецкой республики
Дата создания документа	18.10.2021

Для реализации проекта в Турции (Анкара) в декабре 2010 года была создана проектная компания АО «АККУYU NUCLEAR», которая взяла на себя обязательства по проектированию, строительству, техническому обслуживанию, эксплуатации и выводу из эксплуатации завода по долгосрочному контракту. Другими словами, компания АО «АККУYU NUCLEAR» выступает одним из ключевых стейкхолдеров проекта. Анализ стейкхолдеров приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованная сторона	ФИО/название организации	Отношение к проекту	Влияние	Важность	Основные интересы
Заказчик-инвестор	АО «Аккуюнуклеар»	положительное	Очень сильное	Высокая	Достижение результата проекта
Технический заказчик-акционер	АО «Концерн-Росэнергоатом»	положительное	Сильное	Низкая	Обеспечение безопасности на всех этапах
Акционер	«Росатом»	положительное	Очень сильное	Высокая	Последующий доход
Подрядчики	АО «Атомстройэкспорт»	положительное	Среднее	Низкая	Строительство и модернизация объектов АЭС, определенный доход
	АО «Титан 2»	положительное	Среднее	Низкая	Контроль безопасности и качества работ
	АО ОКБ «Гидропресс»	нейтральное	Низкое	Низкая	Получение прибыли
Генеральный директор	Зотеева А.Г.	положительное	Очень сильное	Высокое	Осуществление проекта в сроки и в рамках бюджета
Экозащита		отрицательное	Среднее	Средняя	Уменьшения влияния на окружающую среду
Поставщики		нейтральное	Низкое	Низкая	Получение прибыли
Министерство	Министерство энергетики и природных ресурсов Турецкой республики	положительное	Очень сильное	Высокая	Результат проекта
Местные жители		отрицательное	Низкое	Низкая	Предотвращение опасности

В результате поиска заинтересованных сторон с применением кабинетного анализа фактографии по проекту, приведенных в открытой системе данных [3], [4] выделены следующие лица:

- Одна из главных заинтересованных сторон это ОА « Аккуюнуклеар». Является компанией, которая специально учредилась для управления данным проектом. Основные процессы управления возлагаются на нее, чем и обуславливается очень большая сила влияния над проектом строительства АЭС «Аккую». Основным интересом АО

«Аккуюнклеар»)- достижение результатов и целей проекта, поэтому для нее преимущественен высокий уровень важности успешного исхода проекта.

- Госкорпорация «Росатом»- акционер проекта АЭС «Аккую». Данный проект реализуется на основе модели ВВО(Строй- Владей- Эксплуатируй). То есть принадлежать она будет « Росатому», чем и обусловлены высокое влияние и важность.
- Подрядчики и поставщики ориентированы на выполнение работ только в определенных этапах проекта, поэтому они не оказывают как такового влияния и не влекут особой важности для проекта.
- Экозащита и местные жители заинтересованы в вопросах влияния проекта на окружающую среду. Их не оставляют равнодушными такие катастрофы, как авария на Фукусиме, Чернобыльской АЭС и др. Вот что говорит доктор биологических наук, профессор Андрей Назаров о мерах предпринимают Госкорпорация «Росатом» и Концерн «Росэнергоатом» для предотвращения аварий на АЭС: « при оценке их экологической безопасности оцениваются не только безопасность работы реакторов и непосредственное воздействие радиации на окружающую среду. АЭС рассматриваются как антропогенная часть ландшафта, воздействующие на недра, поверхностные и грунтовые воды, на ландшафт в целом, на отдельные экосистемы, живые организмы и др.» Со стороны же местных жителей одна из самых серьёзных антиядерных акций была 17 апреля 2011 года – непрерывная человеческая цепь от Мерсина до Аккую – 157 километров.

Используя метод Г.Саважа, было выявлено позиционирование стратегий взаимодействия со стейкхолдерами, характеристика которых приведена на рис.



Рисунок 1 – Модель Г.Саважа

Так, 1 стратегия «наиболее важные стейкхолдеры» ориентирована на вовлечение в ход проекта стейкхолдеров с самым высоким уровнем важности и с самой большой силой влияния. Здесь существует острая необходимость удовлетворения всех их интересов и потребностей. Приветствуется принцип партнерства при ведении переговоров с этой группой.

К этой группе лиц относятся: АО «АккуюНуклеар», госкорпорацию «Росатом», генерального директора Зотееву А.Г. и Министерство энергетики и природных ресурсов Турецкой республики. Необходимо отметить, что одним из важнейших интересов АО «Росатом» является завоевание мирового рынка электроэнергии и налаживание международных отношений.

2 стратегия «самые сложные стейкхолдеры» используется во взаимоотношениях с стейкхолдерами с наивысшей силой влияния, но наименьшим уровнем важности.

К этой группе относится технический заказчик АО «КонцернРосэнергоатом»

Их главный интерес заключается в обеспечении безопасности на всех этапах. С этой организацией рекомендуется обсуждать только наиважнейшие решения по проекту.

3 стратегия «присмотреться к стейкхолдерам» применяется в коммуникации с стейкхолдерами с меньшей силой влияния, но с высоким уровнем важности. Эта группа лиц должна быть осведомлена с ключевыми вопросами по проекту, хотя и не принимает особого участия в принятии этих решений. В нашем случае мы к этой категории лиц отнесли всех подрядчиков (АО «Атомстрой экспорт», АО «Титан 2», АО ОКБ «Гидропресс») и поставщиков.

4 стратегия «наименее важные стейкхолдеры» применяется в отношении стейкхолдеров с низкой силой влияния и с низким уровнем важности.

К этой группе стейкхолдеров отнесли экозащиту и местных жителей.

Заключение

На основе данных анализа заинтересованных лиц проекта строительства АЭС "Аккую" были выделены ключевые лица, которые должны быть информированы о ходе проекта и определена группа лиц, которая должна вовлекаться во все этапы проекта. Также определены принципы коммуникации с каждой из заинтересованных сторон.

Литература

1. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность крупных предпринимательских структур как детерминантная стратегия обеспечения устойчивости экономического развития //Среднерусский вестник общественных наук. 2017. Т. 12. № 3. С. 97-107.
2. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность предпринимательских структур как форма кооперации стейкхолдеров и бизнеса //Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 4. С. 55-65.

3. Разработка проекта АЭС «Аккую»- [Электронный ресурс] / строительство атомной электростанции. -Режим доступа: <http://www.akkunpp.com/index.php?lang=ru>. – Дата доступа: 20.10.2021

4. Разработка проекта АЭС «Аккую» - [Электронный ресурс] / строительство атомной электростанции. -Режим доступа: <http://rusatom-energy.ru/projects/akkuu/>. – Дата доступа: 20.10.2021

5. Kulachinskaya A., Akhmetova I.G., Kulkova V.Y., Ilyashenko S.B. The challenge of the energy sector of Russia during the 2020 covid-19 pandemic through the example of the republic of Tatarstan: discussion on the change of open innovation in the energy sector// Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Т. 6. № 3. С. 60.

УДК 338.012

**АНАЛИЗ СТЕЙКХОЛДЕРОВ ПРОЕКТА АЭС «ПАКШ-2»
ANALYSIS OF STAKEHOLDERS OF THE PAKS-2 NPP PROJECT**

И.И. Абдуллина, Б.Т. Хазиев

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

I. Abdullina, B. Haziev

Supervisor – V. Kulkova, PhD in Economics, professor
Kazan state power engineering university, Kazan

Аннотация: цель исследования — анализ стейкхолдеров в реализуемом проекте по сооружению энергоблоков на АЭС «Паки-2» в Венгрии, оценка их влияния на проект, а так же причины их заинтересованности. Научная новизна исследования заключается в использовании кабинетного анализа информации из открытых источников и матрицы проектных стейкхолдеров А. Менделову.

Abstract: the purpose of the study is the analysis of stakeholders in the implemented project for the construction of power units at the Paks-2 NPP in Hungary, their attitude to the project and the influence on it, as well as the reasons for their interest. To write this article, a desk analysis of information from open sources and a matrix of project stakeholders A. Mendelow were used.

Ключевые слова: атомная станция, выработка электроэнергии, заинтересованное лицо, проектное управление, стейкхолдеры проекта.

Keywords: nuclear power plant, nuclear electric power generation, interested person, project management, project stakeholders.

Введение

Одним из вопросов, к которому привело распространение практики управления проектами, стал вопрос анализа заинтересованных сторон в проектном управлении, включая отрасль энергетики [2], [3], [5]. Проектно-ориентированные организации проводят существенный анализ уже на стадии подготовки к выполнению проекта. Проблема, которую необходимо решить перед началом работы — это идентификация и анализ всех заинтересованных лиц, которые так или иначе связаны с проектом.

Заинтересованными лицами, или же стейкхолдерами, являются те люди или группы людей, которые способны повлиять на проектный успех и затраты [1]. Для того чтобы стейкхолдеров было легче определить, существуют специальные модели анализа, которые призваны упростить эту задачу, при этом максимально обозначить каждое заинтересованное лицо.

Множественность интересов у заинтересованных лиц усложняет процесс реализации проекта, поскольку имеющиеся у стейкхолдера интересы носят разновекторный и часто завуалированный характер. Неудовлетворенные результатами работы стейкхолдеры будут оказывать давление с целью изменения ситуации в свою пользу.

Тема анализа стейкхолдеров очень актуальна на данный момент, так как этот вид исследования позволяет предвидеть и исключить возможную

конфронтацию между заинтересованными сторонами, наладить партнерские взаимоотношения для успешной деятельности и возможности дальнейшего развития, что в свою очередь повысит эффективность реализации проекта.

Анализ заинтересованности стейкхолдеров определяет, какое влияние они могут оказать на проект своим действием или бездействием.

Цель исследования – анализ стейкхолдеров в реализуемом проекте по сооружению энергоблоков на АЭС «Пакш-2» в Венгрии.

Методы исследования. Одним из подходов к классификации стейкхолдеров является матрица А. Менделоу «Влияние-значимость». В матрице отмечаются все стейкхолдеры в значимости от степени их влияния на проект и уровня вовлеченности. Воспользовавшись этим методом, мы провели анализ стейкхолдеров проекта АЭС «ПАКШ-2».

Основная часть

Характеристика проекта приведена в табл.1.

Таблица 1 – Характеристика проекта строительства АЭС «ПАКШ-2»*

Наименование проекта	«Сооружение двух энергоблоков типа ВВЭР-1200 на АЭС «Пакш-2»
Планируемое время начала и окончания	2021 г. - 2030 г.
Бюджет	12,5 млрд евро
Место реализации	Близ г. Пакш, регион Тольна, Венгрия
Генеральный проектировщик	АО «АТОМПРОЕКТ»
Директор	Александр Хазин
Заказчик	MVM PAKS II
Ключевые заинтересованные стороны проекта	Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
Дата создания документа	8 декабря 2014 года

*Источник: разработка авторов по данным [4].

Рассмотрим влияние и факторы заинтересованности каждого стейкхолдера по отдельности.

Главная причина вовлеченности заказчика (MVM PAKS II) - это основной результат проекта, которым является постройка двух новых энергоблоков для АЭС «Пакш-2» с последующей эксплуатацией этих энергоблоков для поставок безопасной, экологически чистой и доступной по цене электроэнергии. Его ключевой интерес заключается в успешном развитии проекта и получении от него последующего дохода.

Старший вице-президент ИК «АСЭ» — директор проекта Александр Хазин осуществляет руководство проектом, обеспечивая его необходимыми ресурсами. Он осуществляет оперативное ежедневное руководство, координацию и контроль реализации проекта для достижения плановых показателей, поэтому завершение проекта в указанные сроки имеет для него большое значение.

Правительство хоть и относится к проекту нейтрально, формально заинтересовано в успешности постройки «АЭС ПАКШ-2», поскольку это огромный вклад в развитие национальной экономики Венгрии, а также её независимости, так как за счет большей выработки на блоках с ВВЭР-1200 страна будет менее зависима от импорта электроэнергии.

Главным подрядчиком в проекте выступает АО ИК "АСЭ" — это инжиниринговый дивизион госкорпорации «Росатом». Он заинтересован в получении вознаграждения за выполненные работы в соответствии с договором, заключённым с заказчиком. В данном проекте генеральный подрядчик имеет среднее влияние на проект, так как АО ИК "АСЭ" хоть и является одним из ведущих на рынке строительства атомных электростанций, но не является единственным. Следовательно, заказчик всегда может заключить договор с другим подрядчиком.

На данном этапе развития проекта единственным инвестором являлась Российская Федерация, однако недавно своё желание присоединиться к проекту выразила Сербия. Белград готов вложить 5-10% от общей суммы проекта, представители со стороны Венгрии и Сербии ведут переговоры на эту тему. Инвесторы имеют высокое влияние на проект, так как именно от них зависит его жизнеспособность.

Основными поставщиками проекта являются такие компании, как GE — General Electric и Framatome-Siemens. Стимулом поставщиков, как и подрядчиков, является получение прибыли за предоставленные услуги. Поставщики имеют среднее влияние на проект, так как они могут менять стоимость своей продукции, пересмотреть сроки и условия поставок, что напрямую может повлиять на сроки выполнения проекта, однако всегда можно отказаться от одних поставщиков и нанять других.

Заинтересованность различных экологических и природоохранных организаций заключается в вопросе рационального природопользования и воздействия АЭС на окружающую среду, а также в том, какой вред она может нанести. Однако, несмотря на отрицательное отношение к проекту, повлиять на строительство АЭС они никак не могут, так как ещё в 2016 году АЭС «ПАКШ-2» получила экологическую лицензию, что свидетельствует о её безопасности по отношению к экологии.

Потребителями выступают сами жители Венгрии, или же других стран, если речь идёт об экспорте. Они имеют нейтральное отношение к проекту и в целом не могут на него повлиять, так как основная заинтересованность потребителей заключается в стабильности, качестве и надёжности поставок электроэнергии, а процесс получения этой электроэнергии, их в большей степени не беспокоит.

Заключение

Очень важно проводить анализ стейкхолдеров, поскольку их классификация по степени влияния и заинтересованности помогает выявить связи, способы взаимодействия, оценить возможные проблемы, опасности и перспективы. Результат проекта и соответствие ожиданиям во многом зависят от управления заинтересованными лицами. Негативные последствия будут уменьшены, когда взаимодействие с «опасными» участниками реализуемого проекта будет минимизировано или выстроено с пользой для компании. Управление стейкхолдерами — трудоёмкий процесс, требующий участия не только владельца проекта, но и команды профессионалов: маркетологов, риск-менеджеров, финансовых аналитиков и других специалистов.

Литература

1. Зильберштейн О. Б., Невструев К. В., Семенюк Д. Д., Шкляр Т. Л., Юрковский А. В. Анализ стейкхолдеров на примере российских предприятий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» — 2016. — № 8–3.
2. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность крупных предпринимательских структур как детерминантная стратегия обеспечения устойчивости экономического развития // Среднерусский вестник общественных наук. 2017. Т. 12. № 3. С. 97-107.
3. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность предпринимательских структур как форма кооперации стейкхолдеров и бизнеса // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 4. С. 55-65.
4. АЭС -ПАКШ 2 - [Электронный ресурс] / строительство атомной электростанции. -Режим доступа: <https://www.ase-ec.ru/about/projects/aes-paksh-2/>. – Дата доступа: 20.10.2021
5. Kulachinskaya A., Akhmetova I.G., Kulkova V.Y., Ilyashenko S.B. The challenge of the energy sector of Russia during the 2020 covid-19 pandemic through the example of the republic of Tatarstan: discussion on the change of open innovation in the energy sector // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Т. 6. № 3. С. 60.

УДК 330.562

**ЭКОНОМИКА И НЕФТЯНОЙ СЕКТОР НИГЕРИИ
ECONOMICS AND THE OIL SECTOR IN NIGERIA**

Т.Ч. Чуквучебе

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

T. Chukwuchebe

Supervisor – V. Kulkova, PhD in Economics, professor
Kazan state power engineering university, Kazan

Аннотация: В исследовании изучались экономический и энергетический секторы Нигерии путем анализа развития нефтяного сектора Нигерии. Работа была сосредоточена на сырой нефти, учитывая, что она составляет большую часть энергобаланса Нигерии.

Abstract: The study examined the economics and energy sectors in Nigeria by analysing the development of the oil sector in Nigeria. The work focused on crude oil given that it constitutes the majority of the energy mix in Nigeria.

Ключевые слова: экономика энергетики, сырая нефть, ценообразование спроса и предложения, анализ рынка, энергия, мировой рынок нефти.

Keywords: energy economics, crude oil, supply and demand pricing, market analysis, energy, global oil market.

Введение

Энергетический сектор является локомотивом экономического роста любой страны, который создает рабочие места, увеличивает производительность и доходы. Эффективный энергетический сектор обеспечивает достаточное количество энергоресурсов для облегчения экономической деятельности в промышленности, домашнем хозяйстве, транспорте и т.д.

Важность энергетики в мире свободной торговли может быть подчеркнута экономическим ростом 1990-х годов, который привел к повышению благосостояния граждан. Промышленно развивающаяся рыночная экономика требует больше энергии для увеличения своего ВВП.

В Российской экономической школе, включая региональную школу КГЭУ, экономика отрасли энергетики исследовалась в разных аспектах, включая трансформацию отрасли в условиях COVID-19 [1],[2].

В Нигерии отсутствие электрификации является серьезным подрывающим фактором, препятствующим экономическому росту и расширению индустриализации. Зарубежные исследователи [3] подчеркнули, что выработка электроэнергии для населения Нигерии является низкой, предполагая, что в передающей сети не хватает инвестиций, необходимых для удовлетворения спроса. Энергетический сектор имеет решающее значение для экономического роста и развития Нигерии. Энергетический сектор Нигерии столкнулся с множеством проблем, которые повлияли на производство, потребление и благосостояние его граждан.

Целью исследования является провести описание состояния нефтяного энергетического рынка Нигерии, выделив факторы влияния.

Основная часть

Есть факторы, которые способствовали изменчивому характеру мировых цен на нефть. На рисунке 1 показаны средние цены на сырую нефть West Texas Intermediate, Brent и Dubai Fateh по сравнению с Bonny Light.

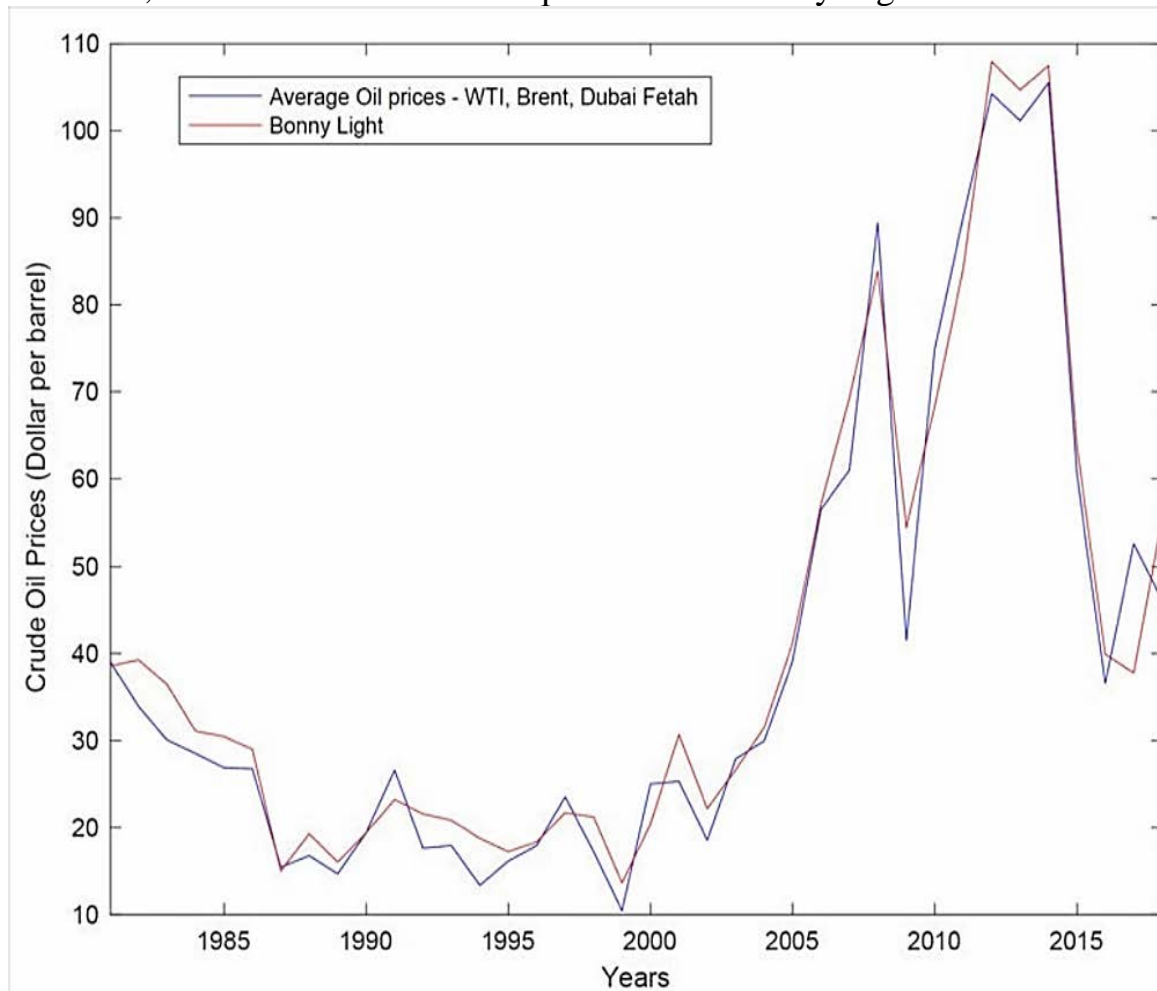


Рисунок 1 – Средняя корзина сырой нефти по сравнению с Bonny Light. Источник: Energy Information Administration

На Рисунке 1 цены на сырую нефть растут из-за увеличения спроса на нефть и энергоносители на Ближнем Востоке. Мировые цены на сырую нефть постоянно растут с \$25 за баррель до более чем \$85 за баррель. Ценовая тенденция возникла в результате увеличения спроса на сырую нефть из США, Китая и Европы. Кроме того, перебои с поставками из-за сокращения инвестиций, которые сокращают производственные мощности, политические волнения на Ближнем Востоке, спекулятивная активность стихийных бедствий, таких как ураган Катрина, способствовали резкому росту цен.

В конце квартала 2008 года был период мирового финансового кризиса, когда цены на сырую нефть резко упали. Кризисы продолжались, что привело к падению цен с 85 до 53 долларов за баррель. В середине квартала 2009 года цены восстановились на фоне резкого роста цен в результате политических волнений в Ливии, которые привели к сокращению предложения в Европе. В связи с

гражданским кризисом в Ливии упавшие цены на нефть немного упали и снова выросли, поднявшись до пикового уровня в 112 долларов США за баррель. Развитие добычи сланцевой нефти на севере Нигерии является ведущим производителем нефти в Африке, хотя на добычу влияют постоянные перебои, которые привели к неконтролируемому дефициту до 500 000 баррелей в день. Нефтяная промышленность расположена в районе дельты Нигера, который сильно пострадал от конфликта. Местное сообщество, преследующее долю нефтяных богатств, иногда разрушает инфраструктуру, такую как трубопроводы. Это приводит к потерям в производственном процессе, загрязнению окружающей среды и вынуждает компании закрыться, что приводит к увольнениям сотрудников.

Нефтяной сектор Нигерии вносит большой вклад в ВВП страны. По данным Управления энергетической информации США (EIA), совокупный доход от нефти и природного газа в 2014 году составил почти 87 миллиардов долларов, что составляет около 58% от общих государственных доходов. Выручка является основным источником биржевой торговли, на которую приходится 95% экспорта страны.

Население является основным двигателем спроса на энергию, учитывая, что по мере роста населения увеличивается потребление энергии. По оценкам EIA (2014), с 2010 по 2035 год спрос на энергию вырастет на 50%, что обусловлено экономическим бумом и ростом населения. Экспорт сырой нефти Нигерии в 2014 году составил в среднем около 1,5 млн баррелей в день, при этом Соединенные Штаты являются основным импортером нигерийской сырой нефти. Однако новая технология, внедренная для производства сланцевого масла, снизила спрос со стороны США. С 2015 года увеличение добычи сланцевой нефти в США приведет к выводу США на международный рынок в качестве крупнейшего производителя сланцевой нефти к 2020 году. Хотя спрос на сырую нефть в странах Азии; Китай и Индия по-прежнему высоки, что создает возможность для Нигерии искать новые рынки. Это важно учитывать, учитывая, что на сектор сырой нефти приходится 81% экспортной выручки Нигерии. На рисунке 2 разница между тенденциями производства и потребления показывает экспорт.

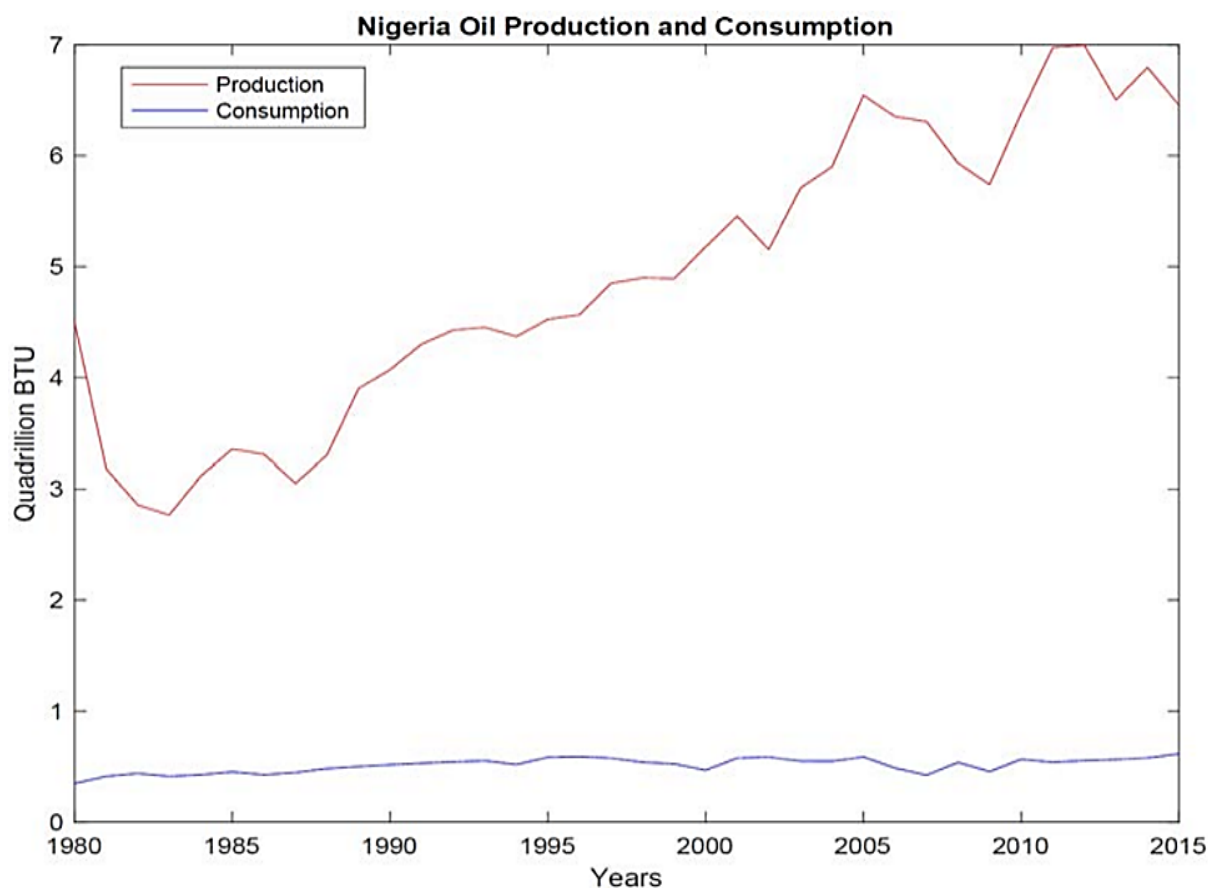


Рисунок 2 - Добыча и потребление сырой нефти в Нигерии. Источник: Energy Information Administration

Резкие скачки цен на нефть обычно сильно влияют на Нигерию, потому что экономика сильно зависит от доходов от сырой нефти. Валютная выручка в основном была получена от выручки от операций с сырой нефтью, национальный бюджет которых был подготовлен на основе прогнозов добычи в 2014 году. Однако в 2015 году мировые цены на нефть упали ниже 50 долларов США за баррель, а уровень добычи составил 2,3 миллиона баррелей в день. В то время доходы страны резко упали из-за низких валютных поступлений. Повторяющийся эффект заключается в том, что стране сложно удовлетворить потребности экономики, поскольку доходы зависят от сырой нефти. Кроме того, этого эффекта можно избежать, если существует устойчивый рынок сырой нефти, который конкурирует, как рынок сырой нефти.

Реформирование промышленности привело к появлению Национальной нефтяной комиссии Нигерии (NNPC) в 1975 году и Управления по регулированию цен на нефтепродукты (PPPRA) в 2000-х годах, но ни один из этих органов не смог в целом решить основную проблему в отрасли. Так много экологических проблем препятствовали росту отрасли, что привело к значительному изъятию капиталовложений со стороны основных производителей нефти в подсекторе, добавив к введению в 2008 году Закона о нефтяной промышленности (PIB). экологические вопросы в нефтяном подсекторе. Если бы он был введен в действие, это решило бы проблему, указанную выше, и привлекло бы новые инвестиции.

Заключение

В исследовании изучались экономика и нефтяной сектор в Нигерии путем анализа развития нефтяного сектора в Нигерии. Работа была сосредоточена на сырой нефти, учитывая, что она составляет большую часть энергобаланса Нигерии.

В документе также обсуждались факторы, которые повлияли на рынок нефти Нигерии, такие как изменения спроса и предложения сырой нефти и изменения цен. Мы установили, что население является основным фактором спроса на энергию, учитывая, что по мере роста населения увеличивается потребление энергии. Кроме того, мы обсудили негативное влияние внедрения новой технологии в США для производства сланцевой нефти, которая снизила спрос со стороны США, и рекомендовали Нигерии искать новые рыночные возможности в азиатских странах в связи с растущим спросом. В исследовании освещены различные реформы и программы в нефтяном секторе Нигерии, которые правительство проводило на протяжении многих лет.

Литература

1. Ахметова И.Г., Кулькова В.Ю. Формирование социальной сферы крупных предпринимательских структур в энергетике Республики Татарстан // Экономика в промышленности. 2020. Т. 13. № 1. С. 108-114.
2. Kulachinskaya A., Akhmetova I.G., Kulkova V.Y., Ilyashenko S.B.
3. The challenge of the energy sector of Russia during the 2020 covid-19 pandemic through the example of the republic of Tatarstan: discussion on the change of open innovation in the energy sector//Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Т. 6. № 3. С. 60.
4. Aliyu, A., Ramli, A., & Saleh, M. (2013). Nigeria electricity crises: power generation capacity expansion and environmental ramifications. 354–367.
5. Eka, I., & Jacobo, T. (2018). A means to an industrialisation end? Demand Side Management in Nigeria. Energy Policy, 1–9.
6. CEIC. (2017). Nigerian Crude Oil Price: Bonny Light Crude Oil. Retrieved from CEIC website: [https:// www.ceicdata.com/en/nigeria/crude-oil-price/crude-oil-price-bonny-light](https://www.ceicdata.com/en/nigeria/crude-oil-price/crude-oil-price-bonny-light)
7. US Energy Information Administration. (2015). Retrieved July 5, 2018, from EIA : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=NGA>

УДК 338.012

**БАНГЛАДЕШ-НОВАЯ ТОЧКА СТАРТА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
BANGLADESH IS A NEW STARTING POINT FOR NUCLEAR POWER**

А.Р. Шакирзянова

Научный руководитель – В.Ю. Кулькова, д.э.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

A.Shakirzyanova

Supervisor – V. Kulkova, PhD in Economics, professor
Kazan state power engineering university, Kazan

***Аннотация:** Данная статья посвящена рассмотрению и запуску одних из главных пунктов процесса инициации проекта АЭС «Руппур», а именно разработке анализа ее заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и обработке данных реестра. Основной упор делается на обоснование и конкретизацию анализа, путем использования различных методов и моделей. Так же вспомогательным элементом исследования является то, что для раскрытия оценки заинтересованных сторон будет использована методика кабинетного анализа, которая является «новизной» научного исследования. Прделанная работа позволит понять важность таких проектов, силу влияния и актуальность анализа стейкхолдеров.*

***Abstract:** This article focuses on reviewing and launching one of the main points of the Ruppur NPP project initiation process, namely the development of its stakeholder analysis and registry data processing. The main emphasis is on justifying and specifying the analysis by using different methods and models. As an auxiliary element of the study is that for the disclosure of stakeholder assessment will be used the methodology of desk analysis, which is a "novelty" of scientific research. The work done will allow to understand the importance of such projects, the power of influence and the relevance of stakeholder analysis.*

***Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, анализ стейкхолдеров, заинтересованные стороны, инициация проекта, реестр*

***Keywords:** alternative energy sources, stakeholder analysis, stakeholders, project initiation, register*

Введение

Развитие атомной энергетики и реализация проектов по строительству АЭС является стратегическом ориентиром РФ в освоении международных рынков. Один из таких проектов АЭС «Руппур» в Бангладеш [4]. Учитывая развитие современной парадигмы устойчивого развития, корпоративной социальной ответственности предпринимательских структур [2] и активное их вовлечение в отрасль энергетики [10] на этапе инициации проектов актуальность обнаруживает анализ интересов стейкхолдеров. Учет оценки их интересов в различных вопросах реализации проектов позволит добиться соглашения между властью и обществом, даст толчок в развитии и поможет найти точки соприкосновения в вопросе сотрудничества, а также обеспечит снижение рисков и уменьшит процент возможного срыва проекта [1],[3],[9]. Учитывая

вышеизложенное целью исследования является проведение анализ стейкхолдеров проекта АЭС «Руппур»: «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики». Методы исследования – реестор заинтересованных сторон, анализ стейкхолдеров на основе информации, приведенной в открытом доступе по проекту «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики», включая сформированный дискурс в СМИ. Для визуализации результатов анализа используются графоаналитические методы – таблицы.

Основная часть

Характеристики проекта «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики», включая описание стейкхолдеров проекта приведена в табл.1. в ключевом инструменте, используемом, как известно из управления проектами, на стадии инициации проекта, - реестре заинтересованных сторон.

Таблица 1– Реестр заинтересованных сторон проекта «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики»*

Позиции	Характеристики
Планируемое время начала и окончание	25.12.2015-01.12.2024
Бюджет	12,6 млрд. долларов США
Место реализации	Близ пос. Руппур, провинция Пабна, на восточном берегу реки Ганг, Народная Республика Бангладеш
Менеджер	Кошелев Ю.М
Заказчик	АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»
Куратор	Дерий А.А
Руководитель	Корольченко И.П
Ключевые заинтересованные стороны проекта	АО Гос. Корпорация «Росэнергоатом», АО «АТОМСТРОЙЭКСПОРТ», РФ в лице Министерства Энергетики
Дата создания документа	12.10.2015

*Источник: разработка автора

Основным и самым важным элементом инициации проекта является проведение анализа заинтересованных сторон (стейкхолдеров). Для наглядности используется методика занесения данных в таблицу, что позволяет сразу же выделять и находить ключевые лица. В рамках объекта исследования проекта АЭС «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики», результаты анализа представлены в табл.2.

Таблица 2 – Анализ стейкхолдеров проекта «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики»*

Заинтересованные сторона (ФИО/название группы заинтересованных сторон)	Отношение к проекту	Влияние	Основные интересы
--	---------------------	---------	-------------------

Заказчик (АО «АТОЭНЕРГОПРОЕКТ»)	Положительное	Высокое	Осуществление проекта и достижение поставленных целей
Инвесторы (РФ и «РОСАТОМ»)	Положительное	Высокое	Получение прибыли от инвестиций, путем спонсирования проекта
Команда проекта («РОСАТОМ»)	Положительное	Среднее	Создание и утверждение проекта
Министерство (Республика Бангладеш)	Положительное	Низкое	Поддержка идеи реализации проекта на всех этапах его становления
Генподрядчик (АО «АТОМСТРОЙЭКСПОРТ»)	Положительное	Высокое	Завершение проекта в определенные сроки, путем своевременной поставки оборудования для его реализации
Экологические организации (Центр Бангладешских исследований-руководитель Аруп Рахи и активисты РФ и РБ)	Отрицательное	Среднее	Спасение окружающей среды от колоссального урона проекта
Население (дискурс журналиста Нусрат Ислам Хан)	Отрицательное	Низкое	Увеличение силы влияния простого народа и защиты их интересов

*Источник: разработка автора

Итак, в случае с заказчиком проекта, а именно с АО "Атомэнергопроект", безусловно транслируется положительное отношение к реализации данного проекта, что обусловлено позициями будущего владельца. Основными критериями влияния и заинтересованности заказчика являются:

- отсутствие необходимости вмешиваться в ход строительства
- использование минимального количества проверенных штатных сотрудников
- фиксированная окончательная стоимость работ
- полный контроль качества выполнения работ всех подчиняющихся ему структур
- полностью самостоятельный выбор и поставка требований по качеству и стоимости работ сервисов
- возможность переманивания опытных специалистов с учётом силы влияния в кругах специализации данных проектов.

Еще одной важной и ключевой стороной проекта являются инвесторы и «команда проекта». В реализации данного проекта данной командой выступает «Росэнергоатом». В строительстве АЭС «Руппур» в спонсировании принимают участие Российская Федерация, которая является важнейшим спонсором и «Росэнергоатом». Президент РФ Владимир Путин в ходе пресс-конференции с основными лидерами, прибывшими с Республики Бангладеш, пояснил, что основной целью России, прежде всего, является сотрудничество с Бангладеш, уточнив, что сотрудничество будет реализовываться в энергетическом ключе [6]. Самой главной и первоначальной целью, которую преследует Россия становится

- сооружение и реализация данного проекта на основе российских технологий, а именно, первой в Бангладеш атомной электростанции "Руппур", реконструкция и модернизация построенных еще при советском участии тепловых электростанций [7]. Еще одной причиной сотрудничества является трудоустройство более 12 тысяч российских специалистов в сферы атомной энергетики [7]. С экономической стороны - РФ получит налоговые поступления в государственный бюджет в сумме до 8,4 млрд. долларов США на период до конца эксплуатации АЭС и погашение кредита, выданного на строительство и реализацию проекта Республике Бангладеш [7].

Главным героем и «носителем» или «родителем» АЭС «Руппур» является Республика Бангладеш, которая в таблице стейкхолдеров представлена Министерством. Первая в Бангладеш атомная электростанция "Руппур", строительством которой курирует "Росатом", обеспечит решение проблем с энергодефицитом, путем увеличения на 10% всего объема электроэнергии в стране, задействовав экономические и промышленные отрасли [8].

По экспертным оценкам [8] строительство атомной станции позволит стране получить большой потенциал, увеличив темпы роста, поможет создать большое количество новых рабочих мест, увеличит объемы экспорта высокотехнологической продукции, даст толчок развитию науки в вопросе использования активных и пассивных систем безопасности и технологий.

Ни один проект по строительству не получит свое начало, если «главные лица» не найдут генеральных подрядчиков, которые, в свою очередь, заинтересованы в реализации проекта. Основными ключевыми элементами, которыми можно привлечь подрядчиков, является то, что они сами ищут и назначают своих экс-партнеров- субподрядчиков, тем самым, освобождая от этой рутины самого заказчика.

Также АО «Атомстройэксперт» получает возможность производить услуги в едином графике, что очень удобно, так как работы будут выполняться точно в срок или даже закончиться раньше положенного срока выполнения поставленных задач.

Все эти «лица» имеют огромный интерес и силу влияния на реализацию проекта. Однако не стоит забывать о тех, кто «прячется в тени» или «не имеет права голоса». Речь идет о мирных жителях, на родной земле которых и будет производиться строительство АЭС «Руппур».

Часто такие проекты получают большую огласку со стороны журналистов. Данный проект не остался в стороне и за граждан, которых «не слышат» или просто не желают слышать, вступилась журналистка из города Пабна-Нусрат Ислам Хан [5]. Она акцентирует внимание на бедности своей страны и большого количества населения. Так же основной проблемой, которую выделила журналистка является то, что правительство республики объявило, что страна находится в энергетическом кризисе и именно поэтому нуждается в постройке собственной АЭС. Однако вопросы финансового положения и экологических последствий и нарушений не были вынесены на всеобщее обозрение и население не получило право на его обсуждение [5]. Строительство, возможно, и принесет какую-то стабильность на внешнем рынке и решение вопроса обеспечения

страны энергией, но этой энергией не сможет пользоваться почти 80% всего населения[5]. Самым главным страхом, который заставляет людей идти против правительства, Нусрат ислам Хан выделила то, что если на АЭС произойдёт авария, то пострадают именно бедные местные жители, так как они элементарно не смогут эвакуироваться и погибнут [5].

Еще одним «противником» строительства АЭС являются экологические организации на территории Республики Бангладеш. Аруп Рахи, руководитель Центра бангладешских исследований бьет тревогу и призывает местные власти одуматься, ведь на кону стоят сотни жизней и сохранность природных источников [5]. Богатство, которым владеет Республик, хотят уничтожить, построив на ее берегу реки Ганг атомную электростанцию. Данный Центр так же указывает на проблему непричастности населения в вопросе строительства АЭС [5]. Правительство без объяснений с людьми приказывает очистить землю для строительства. Большим страхом всего населения являются риски о которых никак не информировали и не проговаривали [5].

Согласно данным инициации проекта «Бангладеш- новая точка старта атомной энергетики» должна была начаться еще в далеком 2013 году. Однако проект пришлось отложить из-за массовых волнений со стороны учёных и активистов в Бангладеш, которые стали сомневаться в безопасности и экономической целесообразности проекта. Так же против проекта выступили и Российские экологические организации и активисты по аналогичным причинам.

Заключение

Проведенный анализ стейкхолдеров дает основания для вывода об угрозах со стороны местного сообщества на пути реализации проекта, что повлияла на перенос срока реализации проекта. Влияния между стейкхолдерами и остальными участниками, сложность нахождения «точек соприкосновения» между целями и ожидаемыми результатами от инициации проекта важные вопросы в процессе инициации проекта. Такие вопросы требуют обязательной проработки и включения в содержание плана реагирования на риски проекта.

Литература

1. Грабарь В. В., Салмаков М. М. Анализ заинтересованных сторон проекта: методология, методика, инструменты // ARS ADMINISTRANDI - 2014 - №2. - стр. 36-44. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ars-administrandi.com/article/Grabar_Salmakov_2014_2.pdf – Дата доступа: 21.10.2021.
2. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность крупных предпринимательских структур как детерминантная стратегия обеспечения устойчивости экономического развития //Среднерусский вестник общественных наук. 2017. Т. 12. № 3. С. 97-107.
3. Кулькова В.Ю. Корпоративная социальная ответственность предпринимательских структур как форма кооперации стейкхолдеров и бизнеса //Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 4. С. 55-65.

4. Сооружение АЭС за рубежом [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/perspektivy-sooruzheniya-rossiyskikh-aes-za-rubezhom/. – Дата доступа: 21.10.2021.
5. Жители Бангладеш просят Россию не строить у них АЭС [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://bellona.ru/2015/12/27/roopur/> - Дата доступа: 21.10.2021.
6. РФ и Бангладеш подписали соглашение о госкредите на АЭС Руппур [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/520555> - Дата доступа: 21.10.2021.
7. Заявления для прессы по итогам переговоров с Премьер-министром Бангладеш Шейх Хасиной [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/17337> - Дата доступа: 21.10.2021.
8. Шейх Хасина также поблагодарила Россию за помощь в сооружении станции [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/5373696> - Дата доступа: 21.10.2021.
9. Savage G.T., Nix T.W. Whitehead and Blair. Strategies for Assessing and Managing Organizational Stakeholders // Academy of Management Executive. - 1991. Vol. 5, No 2. P. 61-75.
10. Kulachinskaya A., Akhmetova I.G., Kulkova V.Y., Ilyashenko S.B. The challenge of the energy sector of Russia during the 2020 covid-19 pandemic through the example of the republic of Tatarstan: discussion on the change of open innovation in the energy sector// Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. Т. 6. № 3. С. 60.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСЕТЬ

Н.А. Сивцов

Научный руководитель – П.И. Климкович, старший преподаватель

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

А.Н. Мешкова, М.А. Арутюнов

Научный руководитель – И.В. Новаш, к.т.н., доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ВЕТРОГЕНЕРАТОРАМИ

А.Н. Мешкова, М.А. Арутюнов

Научный руководитель – И.В. Новаш, к.т.н., доцент

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Н.А. Сивцов

Научный руководитель – Ю.В. Гавриелок, старший преподаватель

ЦИФРОВЫЕ СЕРВИСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Н. Мешкова

Научный руководитель – П.И. Климкович, старший преподаватель

УЧЕТ АРВ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ РАСЧЕТАХ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

В.Ю. Курбан, Д.А. Куган

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ГЕНЕРАТОРАМИ С АРВ ПД ПО КОРНЯМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

И.А. Соловьев, Е.Д. Чекотовская

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ГЕНЕРАТОРАМИ БЕЗ АРВ ПО КОРНЯМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

А.Н. Мешкова

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

УДК 621.311

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСЕТЬ
SMART GRID**

Н.А. Сивцов

Научный руководитель – П.И. Климович, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Sivtsov

Supervisor – P. Klimkovich, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: в условиях современного мира умные электросети просто необходимы человечеству. Мы покажем преимущества этой технологии. Проведём сравнение традиционных электрических сетей с новейшей разработкой.

Abstract: in the modern world, smart grids are simply necessary for humanity. We will show the benefits of this technology. Let's compare traditional power grids with the latest development.

Ключевые слова: сети, технология, оптимизация, экономия, экология.

Keywords: networks, technology, optimization, economy, ecology.

Введение

Согласно последним отчётам из области демографии, к 2055 году население Земли достигнет 10 миллиардов человек. По мере того, как люди переезжают в более густонаселенные районы, города сталкиваются с проблемами обеспечения достаточного количества электроэнергии для всех при использовании устаревших электрических сетей.

Существующие электрические сети перегружены и неэффективны. Одна упавшая ветка дерева может вызвать отключение электричества во всех областях на несколько часов. Это связано с тем, что используемая в настоящее время технология очень мало изменилась с момента ее разработки. Интеллектуальная сеть может помочь сократить выбросы парниковых газов и может быть намного надежнее традиционной сети. Это то, что побуждает инвесторов вкладывать деньги в эту новую технологию. К 2023 году ожидается, что отрасль будет оценена в 740 миллиардов долларов.

По данным Министерства энергетики США, сегодняшние перебои в подаче электроэнергии в энергосистему обходятся американцам как минимум в 150 миллиардов долларов в год. По этой оценке цена составляет около 500 долларов на человека. Поскольку население мира продолжает расти, старые сети не справляются с растущими потребностями. Интеллектуальные сети предназначены для снижения долгосрочных затрат за счет интеллектуального мониторинга энергии и перенаправления источников для быстрого восстановления при обнаружении сбоя питания.

Основная часть

Интеллектуальная сеть (Smart Grid) – это современная система производства, передачи и распределения электроэнергии, которая может

автоматизировать и управлять потребностями в электроэнергии в 21 веке. Технология направлена на интеграцию и поддержку возобновляемых источников энергии. Речь идёт о солнечной, ветровой и гидроэнергетике. Такая технология способна предоставлять потребителям информацию об их энергопотреблении в режиме реального времени и помогать коммунальным предприятиям [1].

Распределительная сеть включает в себя всё оборудование, необходимое для распределения энергии, такое как провода, столбы, трансформаторы и так далее. Управление распределительной сетью в интеллектуальных сетях связано с наличием системы, «способной собирать, систематизировать, отображать и анализировать в реальном времени» по мере необходимости.

В умных сетях есть части, которые более эффективны с точки зрения дизайна и функциональности, если сравнивать с традиционными сетями. Например, существуют интеллектуальные устройства, способные решать, когда потреблять электроэнергию, на основе предварительно установленных пользовательских предпочтений. Существуют также интеллектуальные подстанции, которые контролируют критические и некритические рабочие данные, такие как коэффициент мощности, состояние выключателя, батареи и трансформатора.

Еще одним важным компонентом интеллектуальной сети является интеллектуальный счетчик электроэнергии, способный поддерживать двустороннюю связь между потребителем и поставщиком электроэнергии. Это упрощает и ускоряет обнаружение перебоев в подаче электроэнергии, выставление счетов, сбор данных и отправку ремонтных бригад.

Существует также интеллектуальное распределение электроэнергии, характеризующееся автоматизированными инструментами мониторинга и анализа, сверхпроводящими кабелями для передачи на большие расстояния, самовосстановлением, самооптимизацией и самобалансировкой.

Умная генерация – еще один ключевой компонент умной сети. Система способна «изучать» выработку электроэнергии для оптимизации производства энергии и автоматически поддерживать стандарты напряжения, частоты и коэффициента мощности на основе обратной связи из нескольких точек в сети.

Количество компаний, занимающихся технологиями интеллектуальных сетей, в мире оценивается примерно в 150, 77,4 % из которых базируются в Соединенных Штатах. Совокупная рыночная капитализация 25 крупнейших поставщиков интеллектуальных сетей составляет около 1,96 триллиона долларов. К 2020 году совокупный рынок технологий интеллектуальных сетей превысил отметку в 380 миллиардов долларов, а совокупный годовой темп роста во всем мире составит 7,5 %.

Технологии интеллектуальных сетей помогут снизить потребление энергии и затрат. Интеллектуальное освещение с помощью технологий умного города позволит отслеживать использование электроэнергии в различных областях.

Технология имеет мгновенную адаптацию к таким настройкам, как дождь, снег или туман, способна отрегулировать вывод оборудования в соответствии с

временем дня или дорожными условиями, мгновенно обнаруживать и устранять перебои в освещении.

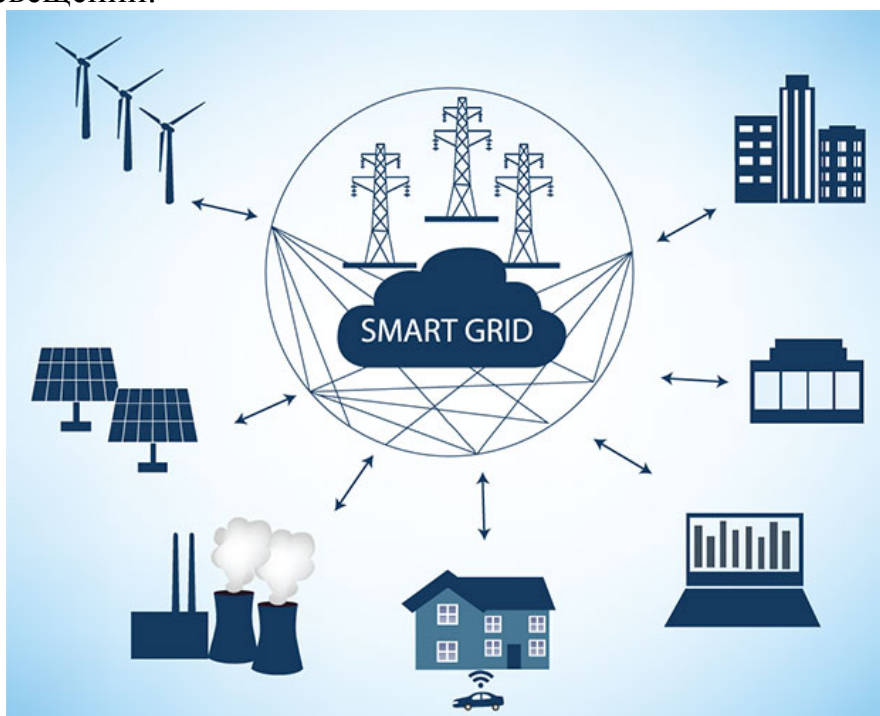


Рисунок 1 – Интеллектуальная сеть

Пользователи могут регулировать температуру своих домашних термостатов с помощью специальных приложений во время работы или в отпуске.

Умные города повышают эффективность и сокращают затраты на решения по управлению отходами и водными ресурсами. Приложения Smart Grid могут предоставлять данные в режиме реального времени для отслеживания запасов и уменьшения количества краж и потерь. Интеллектуальная энергетическая аналитика может собирать данные о расходе воды, давлении и температуре, чтобы помочь потребителям отслеживать свои привычки использования. Таймеры и модули инфраструктуры могут регулировать использование и сокращать расходы.

Оптимизированные решения для умного города означают более глубокое понимание региональных проблем. Представьте себе интеллектуальную сеть, настроенную для реагирования на региональную засуху или лесные пожары в засушливой местности. Адаптивное городское противотуманное освещение отлично подойдет для одного определенного места, но неэффективно будет в других местах. Индивидуальные технологии и более качественный сбор данных могут улучшить повседневную жизнь бесчисленного количества жителей регионов.

Переход на интеллектуальную сеть – это предоставление потребителям финансовых преимуществ, а не только улучшение управления энергопотреблением и внедрение более экологических технологий. Успешное внедрение этой технологии позволит сэкономить. Предоставляя информацию о потреблении энергии в режиме реального времени, технология заставит потребителей снизить потребление энергии на 5–10 %.

Исследования показали: когда потребители точно знают, сколько энергии они потребляют, они, вероятно, примут соответствующие меры для сокращения своего энергопотребления. По прошествии одного года общая экономия энергии, связанная с технологией интеллектуальных сетей, оценивается в 38 миллиарда долларов. Через пять лет годовая экономия увеличится до 50 миллиардов долларов. Через 20 лет сбережения увеличатся до 70 миллиардов долларов, а через 35 лет – до 110 миллиардов долларов [2].

Заключение

Интеллектуальная сеть будет состоять из миллионов элементов и деталей – средств управления, компьютеров, линий электропередач, а также новых технологий и оборудования. Прежде чем оно будет полностью запущено, потребуется некоторое время, чтобы усовершенствовать все технологии, установить оборудование и испытать системы. И это не произойдет сразу. Smart Grid будет постепенно развиваться в течение следующего десятилетия или около того. Когда умные сети станут повседневными, они, вероятно, внесут те же преобразования, которые Интернет уже внес в нашу жизнь, работу, развлечения и обучение, за этой технологией наше будущее.

Литература

1. The future of smart grid technologies [Электронный ресурс] : electrical engineering. – URL : <https://engineeringonline.ucr.edu/blog/the-future-of-smart-grid-technologies/>. – Дата доступа : 20.10.2021.
2. Building the Smart Grid [Электронный ресурс] : IoT Energy Management Systems. – URL : <https://www.telit.com/blog/iot-smart-grid-benefits/>. – Дата доступа : 27.10.2021.

УДК 621.31

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ
MODELING OF THE OPERATING MODES
OF TRANSFORMER SUBSTATIONS**

А.Н. Мешкова, М.А. Арутюнов

Научный руководитель – И.В. Новаш, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Meshkova, M. Arutsiunau

Supervisor – I. Novash, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: в MatLab-Simulink разработаны структурные модели трансформаторных подстанций с двухобмоточными и трехобмоточными силовыми трансформаторами.

Abstract: structural models of transformer substations with two-winding and three-winding power transformers is developed in MatLab-Simulink.

Ключевые слова: подстанция, трансформатор, моделирование, вычислительный эксперимент.

Keywords: substation, transformer, simulation, computational experiment.

Введение

Реализация математических моделей электроэнергетических объектов на персональных ЭВМ обеспечивает проведение всесторонних исследований режимов работы электротехнического оборудования в форме вычислительного эксперимента, близкого по результатам к эксперименту на реальном объекте при реальных условиях его работы.

Основная часть

Для расчета режимов работы подстанций с двухобмоточными и трехобмоточными силовыми трансформаторами использована система динамического моделирования (СДМ) MatLab-Simulink [1, 2].

На рисунке 1 показана, созданная в СДМ MatLab-Simulink, структура модели подстанции с двухобмоточным трансформатором. Двухобмоточный трансформатор (Three-Phase Transformer (Two Windings)) имеет связи на стороне высокого напряжения (ВН) с питающей системой (Three-Phase Source) через линию (Three-Phase Series RLC Branch1) и на стороне низкого напряжения (НН) с нагрузкой (Three-Phase Series RLC Load) и источником малой генерации (Three-Phase Source1).

Графики фазных напряжений, токов фаз на стороне ВН и токов фаз на стороне НН отображаются с помощью виртуального осциллографа Scope3 и мультиметров Multimeter, Multimeter1 и Multimeter2. Осциллографы Scope4 и Scope2 используются для отображения токов фаз A и a на стороне ВН и НН.

На рисунке 2 показана, созданная в СДМ MatLab-Simulink, структура модели подстанции с трехобмоточным трансформатором. Трехобмоточный трансформатор (Three-Phase Transformer (Three Windings)) имеет связи на

стороне ВН с питающей системой (Three-Phase Source) через линию (Three-Phase Series RLC Branch1), на стороне среднего напряжения (СН) через линию (Three-Phase Series RLC Branch) с нагрузкой (Three-Phase Series RLC Load1) и на стороне НН – через линию (Three-Phase Series RLC Branch2) с генерирующим источником малой генерации (Three-Phase Source1) и стационарной нагрузкой (Three-Phase Series RLC Load).

Графики фазных напряжений, токов фаз на стороне ВН, линейных напряжений, токов фаз на стороне СН, линейных напряжений, токов фаз на стороне НН отображаются с помощью виртуального осциллографа Scope3 и мультиметров Multimeter–Multimeter5. Осциллографы Scope2, Scope4 и Scope5 используются для отображения токов фаз A1, a2 и a3 на сторонах ВН, СН и НН.

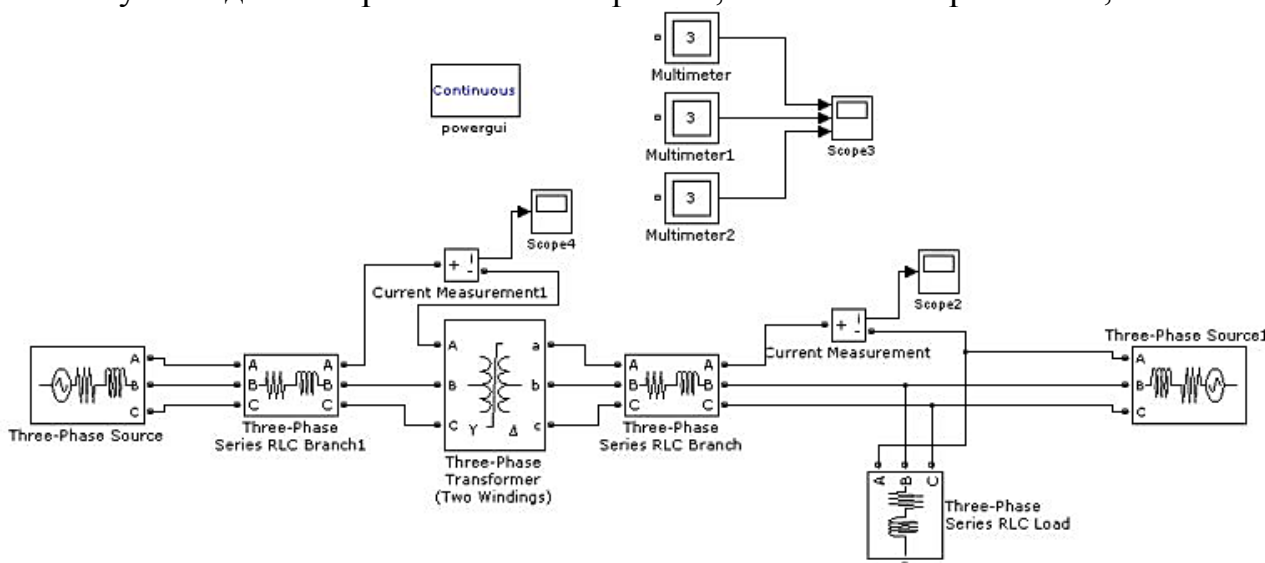


Рисунок 1 – Структура модели подстанции с двухобмоточным трансформатором

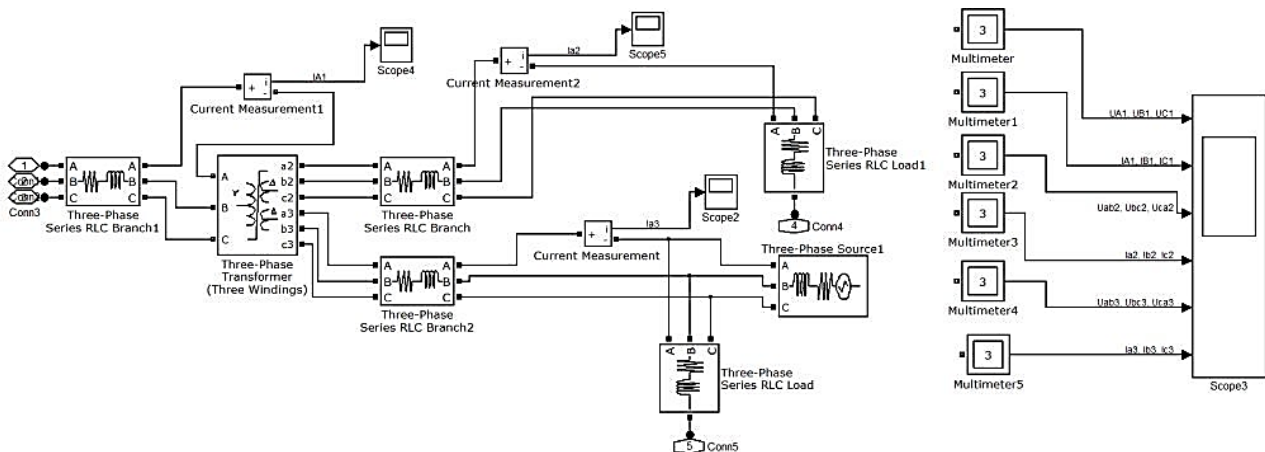


Рисунок 2 – Структура модели подстанции с трехобмоточным трансформатором

В разработанных моделях использованы модули элементов трехфазных систем из библиотеки Simulink-SimPowerSystems. Параметры моделей элементов трехфазной системы принимаются, соответствующие нагрузочному режиму и паспортным данным силового трансформатора.

В качестве примера на рисунках 3 и 4 представлены результаты расчетов нагрузочного режима подстанции с двухобмоточным трансформатором.

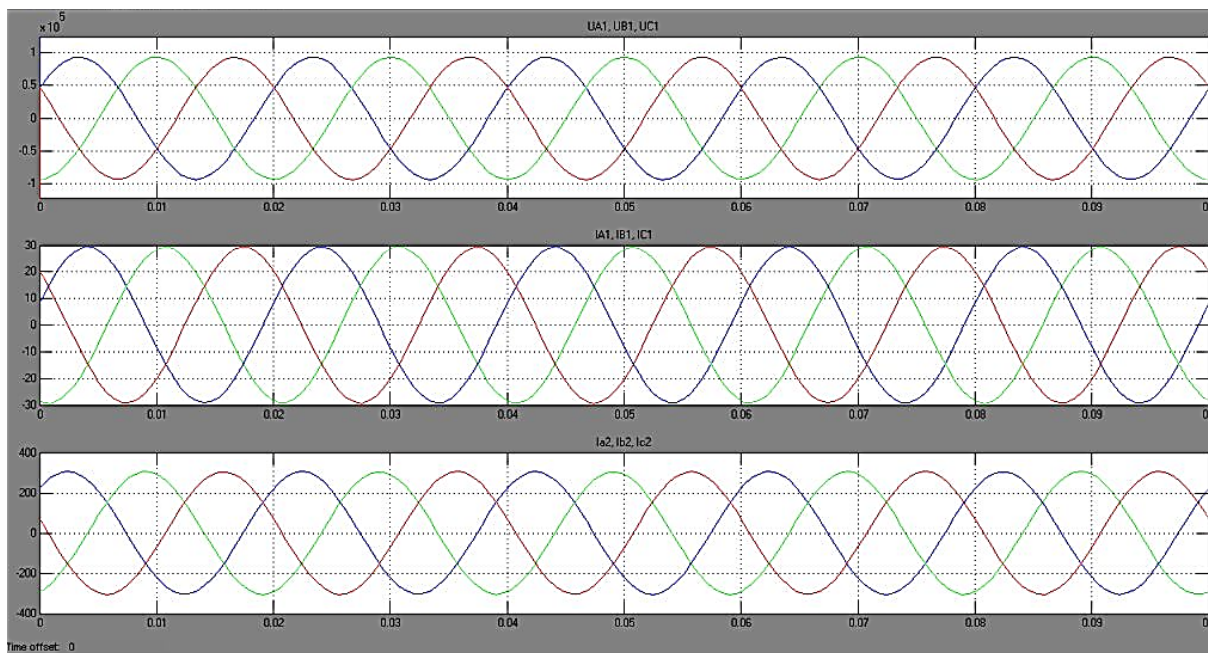


Рисунок 3 – Фазные напряжения, токи фаз на стороне ВН и НН

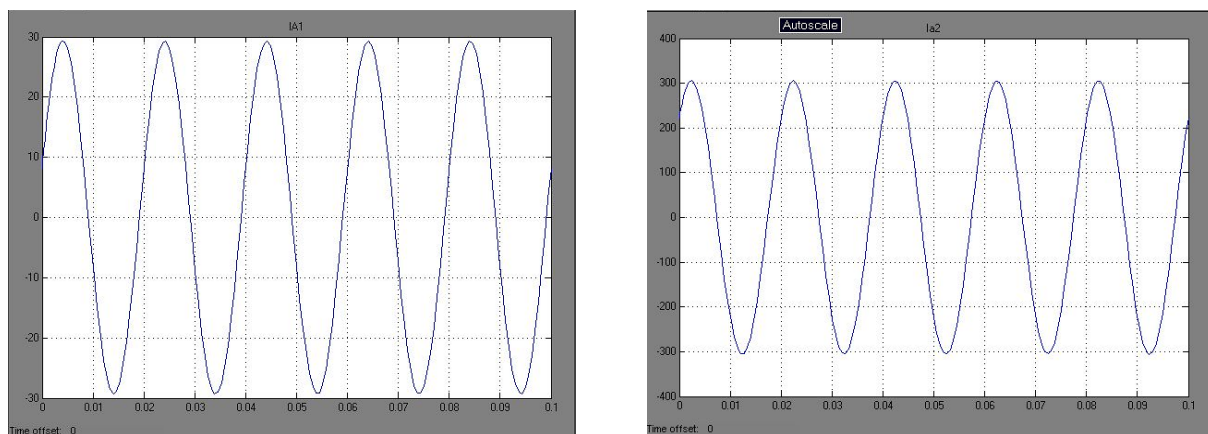


Рисунок 4 – Токи фаз А и а на сторонах ВН и НН подстанции

Разработанные модели могут быть использованы для создания модели более сложной распределительной сети с несколькими подстанциями. В общей модели распределительной сети подобные подстанции будут представлены моделью в виде созданных подсистем Trans 2w и Trans 3w.

Заключение

В системе динамического моделирования MatLab-Simulink реализован пример моделирования режимов работы подстанций с двухобмоточными и трехобмоточными силовыми трансформаторами, позволяющий проводить анализ рабочих и аварийных режимов.

Литература

1. Герман-Галкин, С. Г. MatLab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Дьяконов, В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.

УДК 621.31

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ВЕТРОГЕНЕРАТОРАМИ
MODELING OF THE OPERATING MODES
OF TRANSFORMER SUBSTATIONS WITH WIND GENERATORS**

А.Н. Мешкова, М.А. Арутюнов

Научный руководитель – И.В. Новаш, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Meshkova, M. Arutsiunau

Supervisor – I. Novash, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** в MatLab-Simulink разработана структурная модель трансформаторной подстанции с ветрогенераторами.*

***Abstract:** the structural model of transformer substation with wind generators is developed in MatLab-Simulink.*

***Ключевые слова:** подстанция, ветрогенератор, моделирование, вычислительный эксперимент.*

***Keywords:** substation, wind generator, simulation, computational experiment.*

Введение

Методом вычислительного эксперимента можно исследовать аварийные режимы оборудования, которые невозможно провести в виде натурального эксперимента, а при анализе рабочих режимов выявить особенности работы оборудования, на которые не обращали внимания в процессе его эксплуатации.

Основная часть

Для исследования режимов работы трансформаторной подстанций с ветрогенераторами использована система динамического моделирования (СДМ) MatLab-Simulink [1, 2].

На рисунке 1 показана, созданная в СДМ MatLab-Simulink с использованием библиотечных модулей элементов трехфазных систем из библиотеки Simulink-SimPowerSystems, структура модели ветроэлектростанции, подключенной через линию электропередачи к двухобмоточному силовому трансформатору, питаемому через линию связи системой конечной мощности. Модель позволяет с помощью виртуальных осциллографов и измерительных приборов проводить анализ режимов работы ветроустановок при различных внешних воздействиях.

Ветроэлектростанция мощностью 9 МВт моделируется тремя парами ветряных турбин мощностью 1,5 МВт (рисунок 2). В ветряных турбинах используются индукционные генераторы с короткозамкнутым ротором. Обмотка статора подключена непосредственно к сети, а ротор приводится в движение ветряной турбиной с регулируемым шагом. Угол наклона лопастей турбины регулируется, так чтобы ограничить выходную мощность генератора на ее номинальном значении для ветра, превышающего номинальную скорость. Для выработки энергии скорость ветряных турбин должна быть немного выше

синхронной скорости. Скорость варьируется примерно от 1 о. е. без нагрузки до 1,005 о. е. при полной нагрузке. Каждая ветряная турбина имеет систему защиты, контролирующую напряжение, ток и скорость машины.

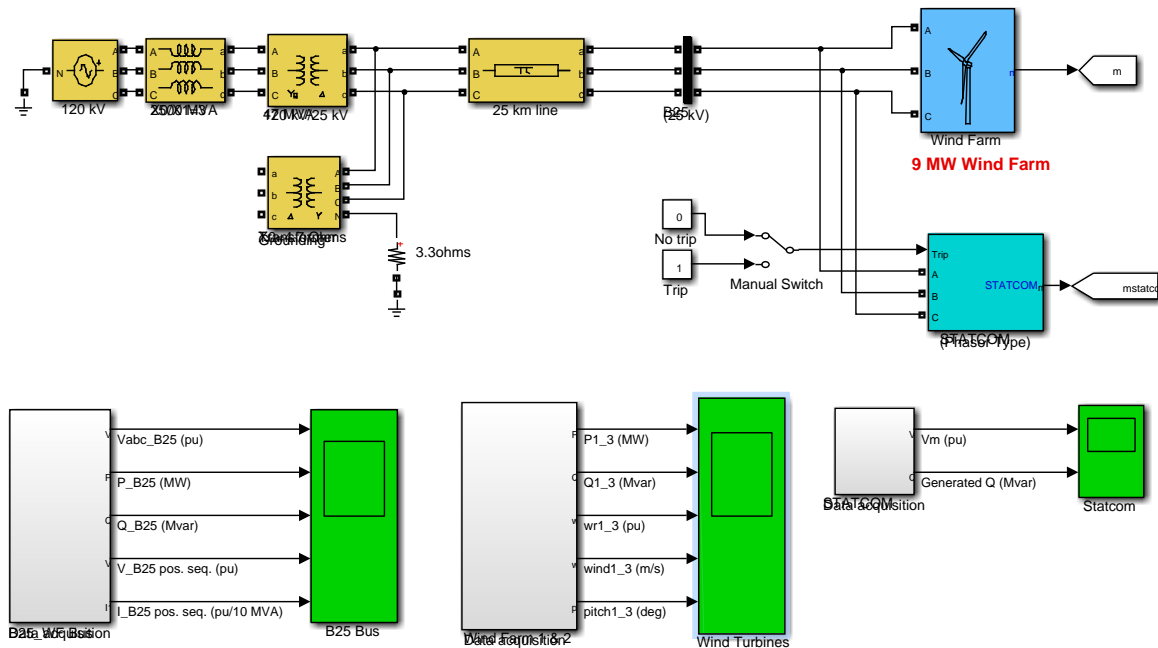


Рисунок 1 – Структура модели энергосистемы с ветроэлектростанцией

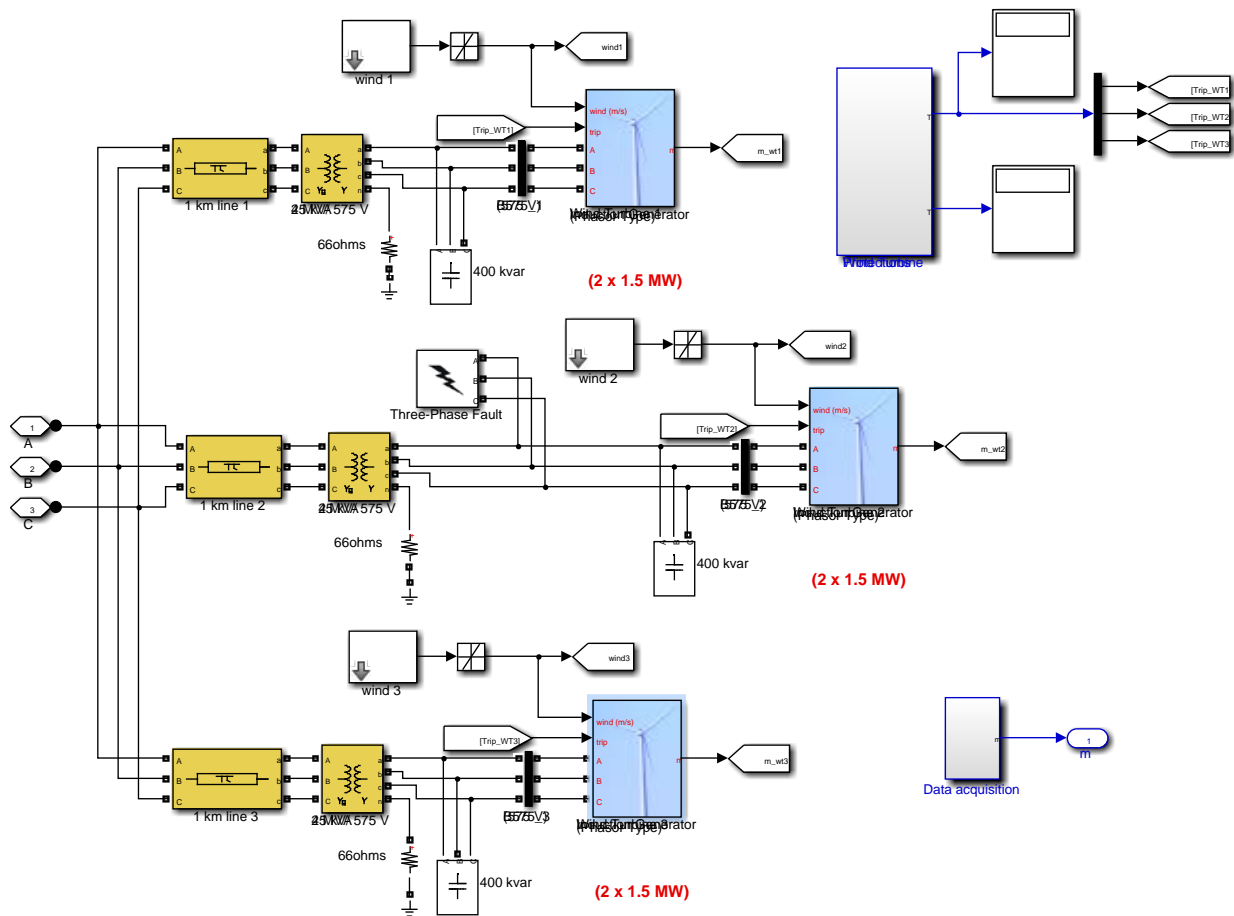


Рисунок 2 – Структура модели ветроэлектростанции

Каждый блок ветряной турбины представляет две турбины номинальной мощностью 1,5 МВт. Механическая мощность турбины, как функция скорости, изменяется при скорости ветра от 4 до 10 м/с. Номинальная скорость ветра, обеспечивающая номинальную механическую мощность, составляет 9 м/с. Модель ветряной турбины (из библиотеки FACTS) является векторной моделью, которая позволяет проводить исследования устойчивости при переходных процессах с длительным временем моделирования.

Скорость ветра турбин регулируется блоками «Wind 1»–«Wind 3». Первоначально, скорость ветра устанавливается на уровне 8 м/с, затем, начиная с $t = 2$ с для "Wind turbine 1", скорость ветра за 3 с увеличивается до 11 м/с. Такой же порыв ветра применяется к Турбине 2 и Турбине 3, соответственно, с задержками в 2 с и 4 с. Затем при $t = 15$ с возникает временная неисправность на выводах низкого напряжения «Wind Turbine 2». Визуализация этих режимов показана на рисунке 3 с расчетным временем 20 с.

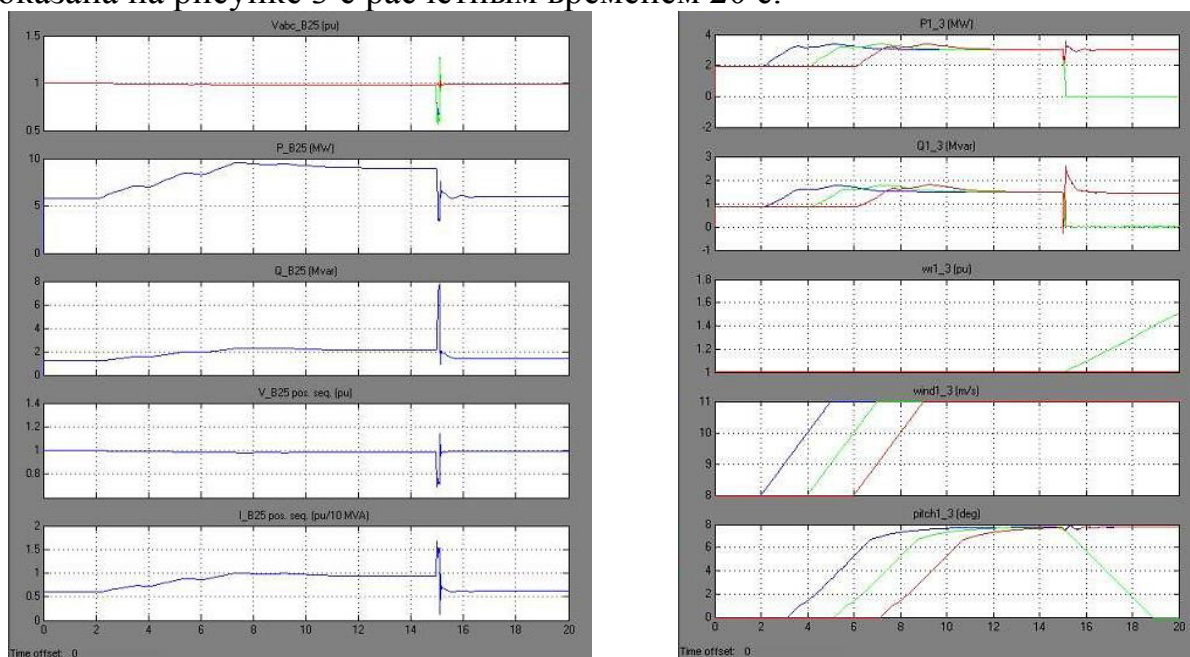


Рисунок 3 – Изменение режимов работы ветрогенераторов

Разработанная модели могут быть использована для создания модели более сложной распределительной сети с несколькими подстанциями.

Заключение

В системе динамического моделирования MatLab-Simulink реализован пример моделирования режимов работы подстанции с ветроэлектростанцией, позволяющий анализировать рабочие и аварийные режимы ветрогенераторов.

Литература

1. Герман-Галкин, С. Г. MatLab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Дьяконов, В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.

УДК 621.314

**СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ
MODERN TRANSFORMER MONITORING SYSTEMS**

Н.А. Сивцов

Научный руководитель – Ю.В. Гавриелок, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Sivtsov

Supervisor – Y. Gavriyelok, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: сегодня важно контролировать состояние автотрансформаторов дистанционно. Современный мониторинг обеспечивает непрерывность работы оборудования и снижает экономические потери. В статье мы рассмотрим примеры таких систем и обозначим их важность.

Abstract: today it is important to monitor the condition of autotransformers remotely. Modern monitoring ensures the continuity of equipment operation and reduces economic losses. In this article, we will look at examples of such systems and indicate their importance.

Ключевые слова: автотрансформаторы, технология, контроллер, оптимизация, мониторинг.

Keywords: autotransformers, technology, controller, optimization, monitoring.

Введение

Автотрансформаторы высокого напряжения – одно из самых важных и дорогих устройств в энергосистеме. Следовательно, важно дистанционно контролировать их состояние. Для удовлетворения текущих требований энергокомпаний необходимо постоянно улучшать функциональность систем мониторинга автотрансформаторов. Основной целью использования таких систем также является необходимость обеспечения непрерывности и надежности работы автотрансформаторов, снижение затрат и экономических потерь, связанных с возможными отказами.

Основная часть

Начиная с 2010 года широко используются системы мониторинга автотрансформаторов, которые построены на микропроцессорном контроллере ADAM5000 TCP. Контроллер оснащен тремя аналоговыми платами, каждая с 8 входами, и пятью платами, каждая с 16 цифровыми входами. Это позволяет контролировать до 24 аналоговых сигналов и до 80 цифровых сигналов с помощью микропроцессорного контроллера. Аналоговые сигналы поступают в основном от датчиков температуры и влажности PT100. Цифровые сигналы генерируются различными типами реле защиты и устройствами, расположенными на автотрансформаторе.

После реализации системы мониторинга автотрансформатора, необходимо было модернизировать управление системой охлаждения. При внесении

необходимых изменений был добавлен микропроцессорный контроллер WAGO. Этот контроллер выполняет различные переключения и указывает активную группу излучателей. Цифровой контроллер Qualitrol 509-300 используется в качестве тепловой модели для управления системой охлаждения. Для определения температуры масла в верхней части и обмоток в системе используются датчик PT100. С его помощью измеряется также температура окружающей среды.

Особого внимания заслуживает схема самописца работы РПН. Основным элементом здесь является программируемый контроллер ADAM5510, который собирает аналоговые и двоичные сигналы. Цифровые входы соединены с преобразователем активной и реактивной мощности – Tillquist PQ 400. Потребность в активной и реактивной мощности может быть определена на основе фактических значений от трансформаторов тока и напряжения, установленных в цепях, питающих двигатель устройства РПН. Такая информация должна масштабироваться в стандартном формате 4–20 мА, который может быть записан в контроллере ADAM5510. После получения сигнала о работе переключателя ответвлений контроллер начинает запись, сохраняя значения мощности в кэше. В то же время контроллер записывает текущее положение переключателя ответвлений. После завершения цикла изменения положения переключателя ответвлений контроллер отправляет пакет данных с собранной информацией на сервер для последующего анализа. Это позволяет определить положение, в котором устройство РПН работало чаще всего, какова была текущая нагрузка. Таким образом, можно определить, какие контакты используются чаще всего [2].

Для измерения растворенного водорода в масле использует прибор Calisto. Данные об измеряемых величинах передаются на концентраторы системы мониторинга по стандарту RS485 и протоколу MODBUS RTU.

Опционально система мониторинга может быть укомплектована приборами учета N14 производства компании Lumel. Помимо стандартных измерений токов и напряжений на обеих сторонах автотрансформатора, они позволяют получать такие электрические величины, как: действительная, реактивная и полная мощность, частота.

Сегодня широко применяется стационарная установка HYDROCAL 1005 или HYDROCAL 1008, которая предназначена для непрерывного автоматического измерения объёмной доли газов и воды в трансформаторном масле.

Наличие такой установки существенно упрощает диагностику состояния автотрансформатора, так как наличие водорода непосредственно влияет на неисправность изоляции, а увеличение содержания ацетилена и этилена может привести к перегревам и частичным разрядам.

HYDROCAL дополнительно оснащен цифровыми выходами для выполнения функций управления (например, управление охлаждением системы автотрансформатора).

Принцип действия тонкопленочного датчика для измерения объёмной доли воды в масле основан на изменении электрической емкости конденсатора.

Пространство между пластинами конденсатора заполнено диэлектрическим материалом, сформированным на основе гигроскопической полимерной пленки.

Емкость такого датчика прямо пропорциональна содержанию воды в исследуемой среде.

Принцип действия металл-оксидных датчиков основан на свойстве некоторых оксидов металлов в присутствии водорода менять свои электрические характеристики. При нагреве кристаллов до определенной температуры их поверхность начинает адсорбировать атомы кислорода, в результате чего поверхность кристаллов становится заряженной, что уменьшает ток электронов. При последующем воздействии на поверхность детектора водородом происходит снижение ее потенциала, что значительно повышает проводимость кристалла. Принцип действия инфракрасного газового датчика основан на измерении с помощью светочувствительных сенсоров с определением конкретного газа по длине волны с применением оптического фильтра.

Конструктивно анализаторы трансформаторного масла моделей HYDROCAL 1005 и HYDROCAL 1008 состоят из измерительных и микропроцессорного блоков, масляной камеры, компрессора и насоса, расположенных в едином корпусе. На передней панели расположены дисплей и органы управления анализатором. На задней панели расположены коммуникационные и системные выходы, а также адаптер для подключения анализатора к трансформатору. При подключении к трансформатору без системы охлаждения анализатор размещается на вентиле трансформаторного бака, забор масла обеспечивается входящим в конструкцию прибора насосом. Микропроцессорный блок предназначен для работы всего анализатора, а также для передачи выходной информации во внешние системы контроля. Информация о содержании объемной доли газов (метана, ацетилен, этилен, этан, монооксида углерода, диоксида углерода и водорода) и объемной доли воды отображается на передней панели анализатора.

В последнее время широко используется непрерывная система мониторинга MONTRANO, которая постоянно контролирует диэлектрическое состояние изоляции вводов и внутренних силовых трансформаторов под нагрузкой.

Система регистрирует изменения емкости, рассеиваемой мощности, частичных разрядов и переходных перенапряжений. Это основные индикаторы пробоя изоляции, что может привести к выходу трансформатора из строя. Данные о тенденциях позволяют пользователям быстро обнаруживать негативные тенденции и планировать корректирующие действия на раннем этапе до возникновения сбоев.

MONTRANO может быть реализован в любой момент в течение срока службы автотрансформатора. Модульная конструкция системы позволяет легко настраивать и расширять ее для точного соответствия требованиям мониторинга.

Nortech EasyGrid – может стать прекрасным дополнением к интеллектуальной сети электропередачи. Блок преобразования оптических сигналов предназначен для прямого и точного контроля температуры в реальном масштабе времени с целью управления и максимизации КПД трансформаторов.

EasyGrid обеспечивает получение критически важной информации об уровне теплового напряжения и управлении сроком эксплуатации любого трансформатора или реактора. Большой 7 дюймовый (800 x 480) цветной ЖК-дисплей с сенсорным экраном позволяет контролировать и конфигурировать до 18 каналов и 16 программируемых реле Form-C. Графический интерфейс пользователя обеспечивает легкую настройку по требованиям пользователя. Программа Nortech Client позволяет выполнять полное конфигурирование и текущий контроль состояния вашей системы, а также просмотр записанной информации обо всех данных в реальном масштабе времени на вашем ПК без остановки сбора данных или перегрузки любого файла [1].

Заключение

Таким образом, системы мониторинга не останавливаются в своём развитии. С каждым годом мы получаем более надёжные и удобные для пользования системы, которые позволяют следить как за качеством и состоянием различных элементов автотрансформатора, так и за параметрами другого электрооборудования.

Литература

1. Оптоволоконный монитор FISO Nortech EasyGrid [Электронный ресурс] : Многоканальный оптоволоконный монитор для контроля состояния трансформаторов. – URL : https://www.pergam.by/catalog/electrical_equipment/monitoring_transformers/temperatura-obmotok/fiso-nortech-easygrid.htm. – Дата доступа : 17.04.2021.
2. Система мониторинга автотрансформатора [Электронный ресурс]. – URL : https://www.researchgate.net/publication/318212969_Autotransformer_Monitoring_System. – Дата доступа : 17.04.2021.

УДК 621.31

**ЦИФРОВЫЕ СЕРВИСЫ
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
DIGITAL SERVICES
TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE**

А.Н. Мешкова

Научный руководитель – П.И. Климкович, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Meshkova

Supervisor – P. Klimkovich, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** представлено применение цифровых технологий для мониторинга распределительных сетей и цифровых сервисов для осуществления планово-предупредительных ремонтов.*

***Abstract:** presents the use of digital technologies for monitoring of distribution networks and digital services for the implementation of scheduled preventive maintenance.*

***Ключевые слова:** электроснабжение, энергомониторинг, цифровые сервисы, цифровые технологии.*

***Keywords:** power supply, energy monitoring, digital services, digital technologies.*

Введение

Цифровые технологии на протяжении последнего десятилетия уверенно проникли в нашу повседневную жизнь, они повсеместно применяются в быту, здравоохранении, в экономике, образовании, а также на предприятиях и производствах. Использование цифровых технологий и сервисов в энергетике позволяет повысить эффективность, надежность и безопасность электроснабжения, а также усовершенствовать работу технического персонала на предприятии, перейти от планового технического обслуживания к обслуживанию по состоянию, перейти к предиктивной аналитике, а соответственно уменьшить число отказов или поломок оборудования.

Основная часть

Электронный каталог оборудования Facility Expert [1] позволяет оцифровывать все установленные на предприятии объекты и вносить их в базу приложения, а также назначать задания техническому персоналу по обслуживанию оборудования и создавать отчеты о проделанной работе в автоматическом режиме по шаблонным формам.

Данное приложение позволяет записать всю необходимую информацию об объекте/оборудовании (рисунок 1): его тип и модель, дата ввода в эксплуатацию, место расположения на предприятии. К конкретному виду оборудования могут быть прикреплены существующие в системе или созданные самим заказчиком планы технического обслуживания, в которых будут отражены задачи, которые необходимо выполнить.

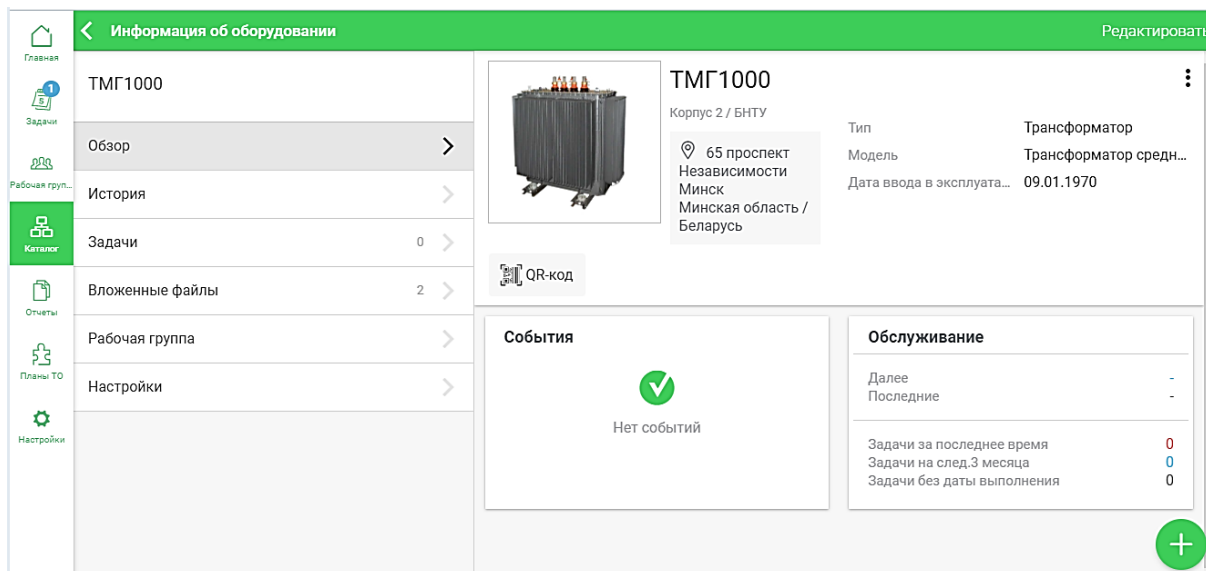


Рисунок 1 – Электронный каталог оборудования Facility Expert

Постановка задач техническому персоналу осуществляется от имени администратора рабочей группы (главный энергетик или мастер) и включает себя название оборудования, над которым следует произвести обслуживание, дату инспекции и исполнителя. Далее задача в виде push-уведомления приходит исполнителю, тот выполняя ее, также имеет возможность оставлять свои комментарии и прикреплять файлы по выполненной задаче. В последующем на основании выполненной задачи создается отчет, в котором прописано оборудование, исполнитель и его комментарии.

Использование данного приложения позволяет ускорить техническое обслуживание, упростить систему создания отчета по выполненной работе, а также позволяет полностью заменить службу планово-предупредительных ремонтов на предприятии.

Система электромониторинга Power Monitoring Expert [2] представляет собой систему энергоменеджмента предприятия, которая собирает данные от распределительной сети предприятия и представляет их в удобном для восприятия виде пользователю (рисунок 2).

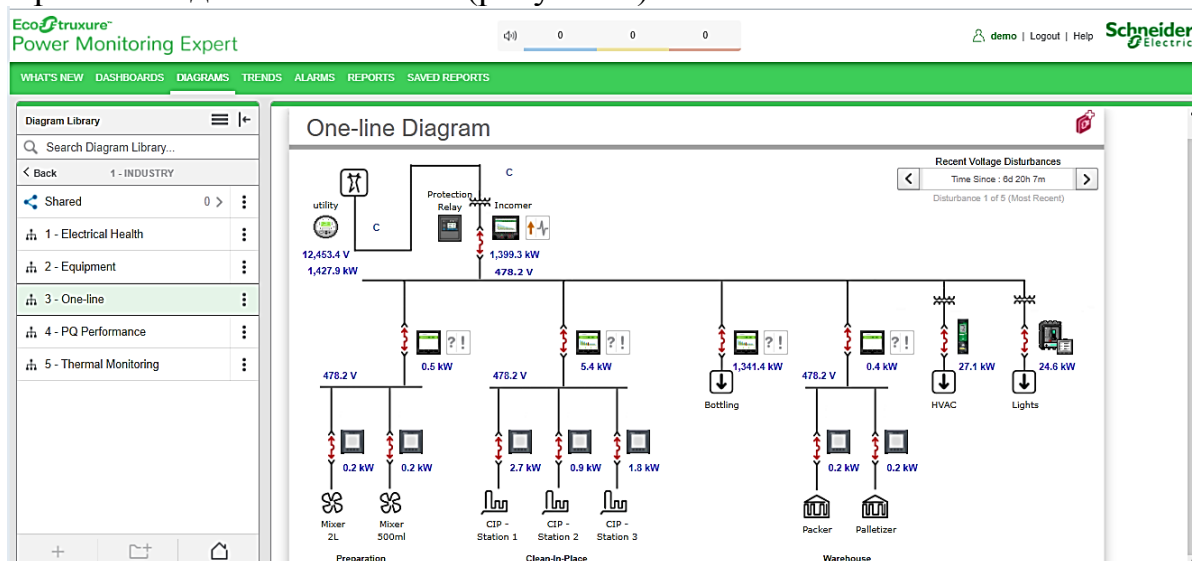


Рисунок 2 – Система электромониторинга Power Monitoring Expert

Данная система позволяет визуализировать все процессы по энергопотреблению, нагрузкам электрической сети, позволяет строить сравнительные графики по энергоэффективности различных технологических процессов производства, позволяет рассчитывать счета на электроэнергию, дает возможность настраивать системы предупредительной сигнализации, если оборудование вышло из строя, или превысилась какая-либо его электрическая характеристика. Данный сервис также позволяет создавать отчеты по работе электрооборудования, дает возможность контролировать состояние оборудования, оценивать качество электроэнергии и т. д.

Система-советчик EcoStruxure Power Advisor [3] представляет собой цифровую платформу для технического обслуживания средств автоматизации по состоянию. Данный сервис дает возможность перейти от технического обслуживания по времени, к техническому обслуживанию по состоянию, что непременно улучшает и превозносит на новый уровень обслуживание объектов/оборудования. Использование данной платформы позволяет получателю информации о проблемах в электрической сети с конкретными советами по их устранению, помимо того, что система непрерывно мониторит состояние оборудования, она еще в случае неисправности приводит список действий, которые технический персонал должен выполнить для решения проблемы, а также указывает на причины, которые привели к сбою в работе.

Заключение

Использование цифровых сервисов в энергетике это шаг на пути развития данной отрасли, шаг перехода в техническое обслуживание по состоянию, решения, которые безусловно позволяют достичь высокого уровня энергоэффективности предприятия, его безопасности и экономичности, уменьшить количество отказов и сбоев в работе объектов.

Литература

1. Приложение EcoStruxure™ Facility Expert [Электронный ресурс] // Schneider Electric. – Режим доступа : [https://www.se.com/ru/ru/product-range/63106-приложение-ecostruxure™-facility-expert/#overview](https://www.se.com/ru/ru/product-range/63106-приложение-ecostruxure-™-facility-expert/#overview). – Дата доступа : 29.10.2021.
2. EcoStruxure™ Power Monitoring Expert [Электронный ресурс] // Schneider Electric. – Режим доступа : [https://www.se.com/ru/ru/product-range/61280-ecostruxure™-power-monitoring-expert/#overview](https://www.se.com/ru/ru/product-range/61280-ecostruxure-™-power-monitoring-expert/#overview). – Дата доступа : 29.10.2021.
3. EcoStruxure™ Power Advisor [Электронный ресурс] // Schneider Electric. – Режим доступа : [https://www.se.com/ru/ru/product-range/65478-ecostruxure™-power-advisor/#overview](https://www.se.com/ru/ru/product-range/65478-ecostruxure-™-power-advisor/#overview). – Дата доступа : 29.10.2021.

УДК 621.311

**УЧЕТ АРВ ГЕНЕРАТОРОВ
ПРИ РАСЧЕТАХ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ACCOUNTING ARV GENERATORS WHEN CALCULATING
THE STATIC STABILITY**

В.Ю. Курбан, Д.А. Куган

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Kurban, D. Kugan

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: в ходе работы рассмотрены математические модели генераторов с АРВ и выполнена их оценка влияния на энергосистему.

Abstract: in the course of the work, mathematical models of generators with ARV were considered and their impact on the power system was assessed.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, АРВ, статическая устойчивость.

Keywords: electric power system, ARV, static stability.

Введение

При проектировании систем, следует учитывать наличие устройств АРВ на генераторах, так как они существенно влияют на устойчивость. Для оценки данного влияния существуют разные методы, которые позволяют произвести оценку без решения характеристического уравнения.

При отсутствии устройства АРВ, ЭДС определяется по следующему выражению:

$$P = E_{q0} \cdot U \cdot \sin(\delta) / (x_d + x_{\text{вн}}), \quad (1)$$

где E_{q0} – синхронная продольные ЭДС.

При увеличении передаваемой мощности в сеть, начинает увеличиваться угол δ . При соблюдении условия равенства модулей ЭДС, начинает уменьшаться напряжение на зажимах генератора, и его предел мощности в (1) уменьшается при $\delta = \pi / 2$. Если генератор с устройством АРВ, то изменение этого угла, приводит к изменению модуля напряжения генератора.

Основная часть

Переходный процесс (ПП) в системе с АРВ на генераторах описывается уравнениями [1]:

- уравнение относительного движения ротора генератора:

$$\left(\frac{T_J}{\omega_0} \right) \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - \frac{E_q U \sin \delta}{x_d};$$

- уравнение ПП в роторе генератора:

$$T_{d0} \cdot \frac{dE_q}{dt} + E_q = E_{q,e};$$

- уравнение ПП в цепи возбуждения возбудителя:

$$T_e \cdot \frac{dE_{q,e}}{dt} + E_{q,e} = U_p,$$

где T_J – постоянная механическая инерции генератора;

ω_0 – угловая скорость в установившемся синхронном режиме;

E_q – переходная продольная ЭДС;

Из анализа этой системы уравнений можно определить характер движения (оценить устойчивость). Для этого проводят линеаризацию нелинейных уравнений и получают характеристическое уравнение вида:

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + (a_2 + K_U \cdot \Delta_2) p^2 + a_3 p + a_4 + K_U \cdot \Delta_4 = 0,$$

где $a_0 = \frac{T_J}{\omega_0} T_{d0} T_e \frac{\partial E_q}{\partial E_q}$;

$$a_1 = \frac{T_J}{\omega_0} \left(T_e + T_{d0} \frac{\partial E_q}{\partial E_q} \right);$$

$$a_2 = \frac{T_J}{\omega_0} + T_{d0} T_e \left[\frac{\partial E_q}{\partial E_q} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial E_q}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q} \right];$$

$$a_3 = T_{d0} \left[\frac{\partial E_q}{\partial E_q} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial E_q}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q} \right];$$

$$a_4 = \frac{\partial P}{\partial \delta};$$

$$\Delta_2 = \frac{T_J}{\omega_0} \frac{\partial U_\Gamma}{\partial E_q}; \Delta_4 = \frac{\partial U_\Gamma}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial U_\Gamma}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q}.$$

В приведенных выражения приняты следующие обозначения:

T_e – постоянная времени обмотки возбуждения возбудителя (ОВВ);

T_d – постоянная времени обмотки возбуждения генератора (ОВГ) при разомкнутой обмотке статора;

X_d – синхронное реактивное сопротивление по продольной оси;

X_d' – переходное реактивное сопротивление по продольной оси.

После подстановки частных производных получим [1]:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{T_J}{\omega_0} T_d T_e; a_1 = \frac{T_J}{\omega_0} (T_d + T_e) \\ a_2 &= \frac{T_J}{\omega_0} + T_d T_e \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X_d'}{X_d X_d'} \sin^2 \delta \right) \\ a_3 &= T_d \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X_d'}{X_d X_d'} \sin^2 \delta \right) + T_e \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta \\ a_4 &= \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta; \Delta_2 = \frac{T_J}{\omega_0} \cdot \frac{X_{\text{вн}}}{X_d} \\ \Delta_4 &= \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X_{\text{вн}}}{X_d X_{\text{вн}}} \sin^2 \delta \right) \frac{X_{\text{вн}}}{X_d} \end{aligned} \right\}$$

где $T_d' = \frac{T_{d0} X_d'}{X_d}$.

Покажем пример расчета статической устойчивости на примере электроэнергетической системы, представленной на рисунке 1. Проведем два расчета при разных коэффициентах усиления $K_U^{(1)} = 30; K_U^{(2)} = 50$.

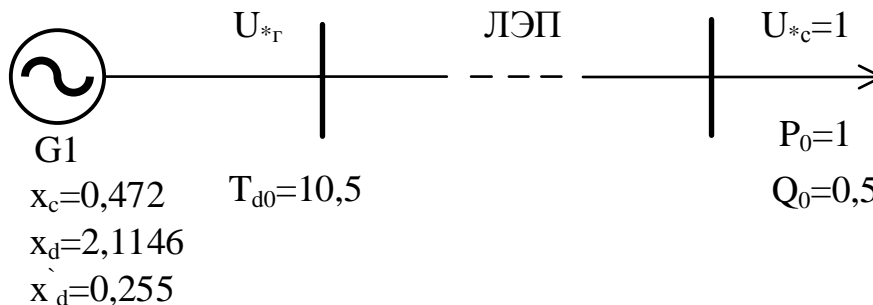


Рисунок 1 – Схема электроэнергетической системы

Необходимо найти уравнение угловой характеристики, построить график данной характеристики. Вычислить коэффициент запаса.

Решение, принимаем $K_U^{(1)} = 30$. Из расчета режима с АРВ: $\delta = 48^\circ; \delta' = 28^\circ$.

Найдем суммарные сопротивления схемы замещения СЭС:

$$X_d = x_d + x_c = 2,114 + 0,472 = 2,586;$$

$$X_d' = x_d' + x_c = 0,255 + 0,304 = 0,727.$$

Постоянная времени:

$$T_d' = T_{d0} \cdot X_d' / X_d = 10,5 \cdot 0,727 / 2,586 = 2,951.$$

Электродвижущая сила:

$$E_{q0} = \sqrt{(U^2 + Q_0 \cdot X_d)^2 + (P_0 \cdot X_d)^2} / U =$$

$$= \sqrt{(1^2 + 0,5 \cdot 2,586)^2 + (1 \cdot 2,586)^2} = 3,456.$$

Напряжение генератора:

$$U_{\Gamma} = E_{q0} \cdot x_c / X_d + U \cdot \cos(\delta_0) \cdot (X_d - x_c) / X_d = 3,456 \cdot 0,472 /$$

$$/ 2,586 + 1 \cdot \cos(48^\circ) \cdot (2,586 - 0,472) / 2,586 = 1,178.$$

Синхронная ЭДС с учетом коэффициента усиления:

$$E_q = \left[E_{q0} + K_U \cdot \left(U_{\Gamma} - U \cdot \cos(\delta) \cdot \frac{X_d - x_c}{X_d} \right) \right] / \left(1 + K_U \cdot \frac{x_c}{X_d} \right) =$$

$$= \left[3,456 + 30 \cdot \left(1,291 - \cos(\delta) \cdot \frac{2,586 - 0,472}{2,586} \right) \right] / \left(1 + 30 \cdot \frac{0,472}{2,586} \right) =$$

$$= 5,991 - 3,787 \cdot \cos(\delta).$$

Уравнение угловой характеристики с АРВ $K_U = 30$:

$$P = E_q \cdot U \cdot \sin(\delta) / X_d = (5,991 - 3,787 \cdot \cos(\delta)) \cdot 1 \cdot \sin(\delta) / 2,586 =$$

$$= 2,317 \sin(\delta) - 0,732 \sin(2\delta).$$

Получив результат, проведем расчет еще раз при $K_U = 50$.

Синхронное ЭДС с учетом коэффициента усиления:

$$E_q = \left[E_{q0} + K_U \cdot \left(U_{\Gamma} - U \cdot \cos(\delta) \cdot \frac{X_d - x_c}{X_d} \right) \right] / \left(1 + K_U \cdot \frac{x_c}{X_d} \right) =$$

$$= \left[3,456 + 50 \cdot \left(1,291 - \cos(\delta) \cdot \frac{2,586 - 0,472}{2,586} \right) \right] / \left(1 + 50 \cdot \frac{0,472}{2,586} \right) =$$

$$= 6,716 - 4,938 \cdot \cos(\delta).$$

Уравнение угловой характеристики с АРВ $K_U = 50$:

$$P = E_q \cdot U \cdot \sin(\delta) / X_d = (6,716 - 4,938 \cdot \cos(\delta)) \cdot 1 \cdot \sin(\delta) / 2,586 =$$

$$= 2,597 \sin(\delta) - 0,955 \sin(2\delta).$$

Так же, имея схожее уравнение угловой характеристики для генераторов с АРВ запишем его, и по нему построим угловую характеристику (рисунок 3), а после сравним полученные результаты:

$$P = \frac{E_d \cdot U}{X_d} \sin(\delta) - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{x_q - x_d}{X_q \cdot X_d} \sin(2\delta) = 2,04 \sin(\delta) - 0,42 \sin(2\delta).$$

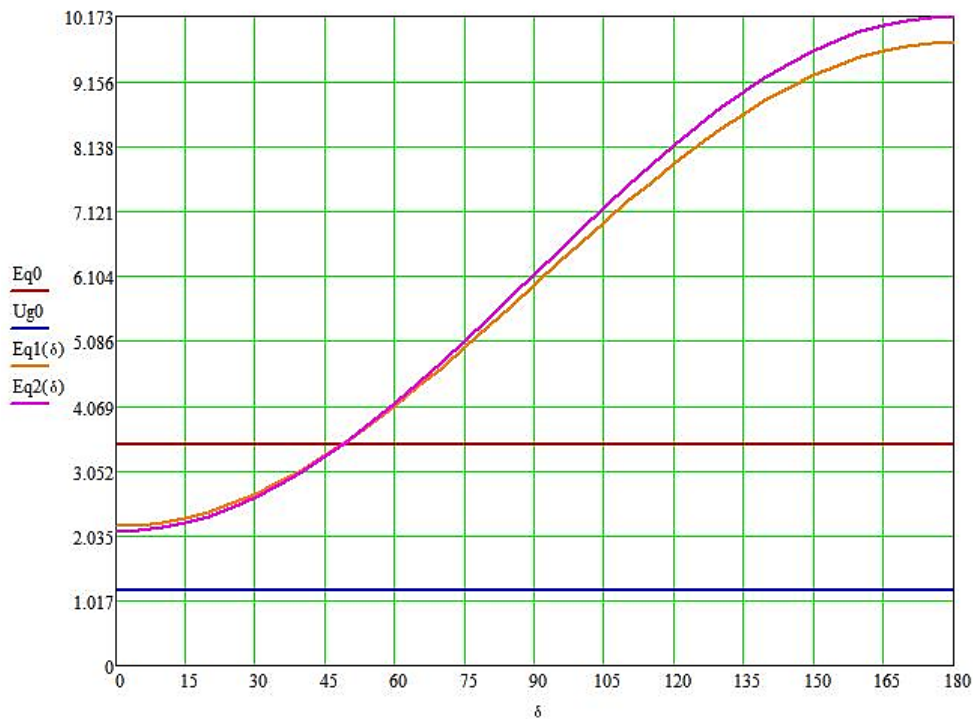


Рисунок 2 – Совмещенные графики ЭДС

На рисунке 2 представлены зависимости ЭДС и напряжения на шинах генератора. При увеличении передаваемой мощности и угла дельта для поддержания напряжения на шинах генератора на требуемом уровне необходимо увеличивать ЭДС генератора.

Для сравнения кроме полученных характеристик с учетом коэффициента усиления представлены зависимости без АРВ, с АРВ ПД и АРВ СД.

Построим совмещенную угловую характеристику (рисунок 3).



Рисунок 3 – Совмещенные угловые характеристики

Заключение

При анализе расчетов, было выявлено:

- при генераторе без АРВ предел передаваемой мощности равен $P_{\max} = 1,266$ при $\delta_n = 90^\circ$;
- при генераторе с АРВ ПД $P_{\max} = 2,1$, $\delta_n = 108,86^\circ$;
- при генераторе с АРВ СД $P_{\max} = 2,741$, $\delta_n = 117,21^\circ$;
- при коэффициенте усиления $K_U^{(1)} = 30$ $P_{\max} = 2,65$, $\delta_n = 117^\circ$;
- при коэффициенте усиления $K_U^{(2)} = 50$ $P_{\max} = 2,916$, $\delta_n = 117,45^\circ$;

Изменяя коэффициент усиления можно получить графики эквивалентные рассчитанным характеристикам без АРВ, с АРВ ПД и АРВ СД. Так при коэффициенте усиления $K_U^{(0)} = 0$ получаем характеристику без АРВ на генераторе.

Анализ устойчивости системы с автоматическим регулятором пропорционального типа показывает, что действие АРВ генератора позволяет увеличить пределы передаваемой мощности и расширить область статической устойчивости системы.

Литература

1. Гуревич, Ю.Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
2. Винославский, В.Н. Переходные процессы в системах электроснабжения / В. Н. Винославский. – Киев : Выша школа, 1989. – 424 с.

УДК 621.311

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ
С ГЕНЕРАТОРАМИ С АРВ ПД ПО КОРНЯМ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ
ANALYSIS OF THE STATIC STABILITY OF THE SYSTEM
WITH GENERATORS WITH ARV PD BY ROOTS
CHARACTERISTIC EQUATION

И.А. Соловьев, Е.Д. Чекотовская

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Solovev, E. Chekotovskaia

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: проведены расчеты и анализ статической устойчивости электроэнергетической системы с генераторами с АРВ ПД по корням характеристического уравнения при разных коэффициентах усиления KU и углах δ .

Abstract: Calculations and analysis of the static stability of an electric power system with generators with ARV PD by the roots of the characteristic equation at different gains KU and angles δ have been carried out.

Ключевые слова: статическая устойчивость, регулятор возбуждения генератора, анализ системы, характеристическое уравнение, критерий Гурвица.

Keywords: static stability, generator excitation regulator, system analysis, characteristic equation, Hurwitz criterion.

Введение

Все генераторы современных систем снабжены автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ) [1].

Различают автоматические регуляторы пропорционального типа (АРВ ПД) и автоматические регуляторы сильного действия (АРВ СД). АРВ ПД реагируют на отклонение одного или нескольких параметров режима от контролируемых значений. АРВ СД в свою очередь дополнительно реагируют на скорости и ускорения изменения параметров режима. Введение производных изменения параметров в законы регулирования не только стабилизируют систему регулирования, но и значительно повышает предельную передаваемую мощность (предел устойчивости). АРВ ПД обеспечивают устойчивость режима в меньшем диапазоне изменения угла и передаваемой мощности, по сравнению с АРВ СД [2].

Основная часть

Анализ статической устойчивости режима выполним для простейшей электрической системы с генератором, оснащенным автоматическим регулятором пропорционального действия по отклонению напряжения и

работающим на шины с неизменным напряжением (рисунок 1). Переходный процесс описывается системой уравнений, включающей в себя:

- уравнение относительного движения ротора генератора:

$$(T_J / \omega_0) \cdot d^2 \delta / dt^2 = P_0 - E_q U \sin \delta / x_d ; \quad (1)$$

- уравнение переходного процесса в роторе генератора:

$$T_{d0} \cdot dE'_q / dt + E_q = E_{q,e} ; \quad (2)$$

- уравнение переходного процесса в цепи возбуждения генератора:

$$T_e \cdot dE_{q,e} / dt + E_{q,e} = U_p . \quad (3)$$

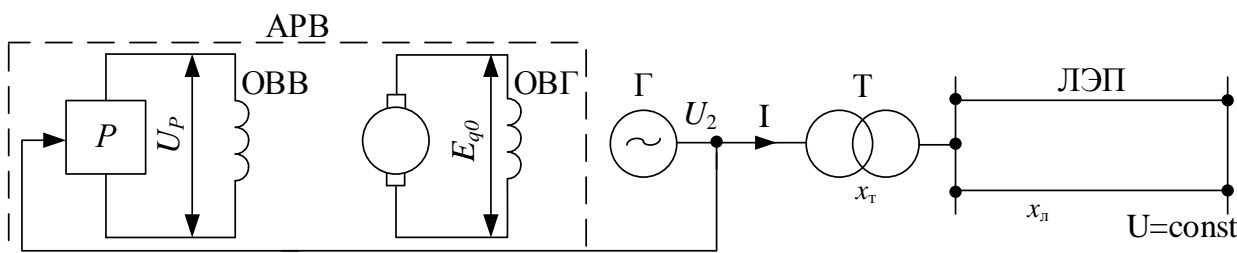


Рисунок 1 – Схема простейшей электрической системы с генератором с АРВ ПД

Величины, входящие в данные уравнения, означают:

- T_{d0} – постоянная времени обмотки возбуждения генератора (ОВГ) при разомкнутой обмотке статора;
- T_J – постоянная механической инерции генератора;
- x_d – индуктивное сопротивление генератора в относительных единицах;
- E'_q и E_q – переходная и синхронная продольные ЭДС;
- $E_{q,e}$ – ЭДС в установившемся режиме (равна в относительных единицах измерению напряжению возбуждателя);
- T_e – постоянная времени обмотки возбуждения возбуждателя (ОВВ);
- U_p – установившееся значение напряжения ОВВ (равно в относительных единицах измерению напряжению на выходе регулятора).

Уравнение идеального автоматического регулятора напряжения пропорционального типа, мгновенно изменяющего напряжение на ОВВ пропорционально отклонению напряжения на зажимах генератора:

$$U_p - U_{p,0} = -K_U \cdot (U_\Gamma - U_{\Gamma,0}) . \quad (4)$$

Характеристическое уравнение имеет следующий вид [1]:

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + (a_2 + K_U \Delta_2) p^2 + a_3 p + a_4 + K_U \Delta_4 = 0 , \quad (5)$$

где:

$$a_0 = \frac{T_J}{\omega_0} T_{d0} T_e \frac{\partial E'_q}{\partial E_q}; \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{T_J}{\omega_0} \left(T_e + T_{d0} \frac{\partial E'_q}{\partial E_q} \right); \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{T_J}{\omega_0} + T_{d0} T_e \left(\frac{\partial E'_q}{\partial E_q} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial E'_q}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q} \right); \quad (8)$$

$$a_3 = T_{d0} \left(\frac{\partial E'_q}{\partial E_q} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial E'_q}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q} \right); \quad (9)$$

$$a_4 = \frac{\partial P}{\partial \delta}; \quad (10)$$

$$\Delta_2 = \frac{T_j}{\omega_0} \cdot \frac{\partial U_\Gamma}{\partial E_q}; \quad (11)$$

$$\Delta_4 = \left(\frac{\partial U_\Gamma}{\partial E_q} \cdot \frac{\partial P}{\partial \delta} - \frac{\partial U_\Gamma}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial P}{\partial E_q} \right). \quad (12)$$

Подставив в формулы (6)–(12) частные производные, получим:

$$a_0 = \frac{T_J}{\omega_0} T'_d T_e; \quad (13)$$

$$a_1 = \frac{T_J}{\omega_0} (T'_d + T_e); \quad (14)$$

$$a_2 = \frac{T_J}{\omega_0} + T'_d T_e \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X'_d}{X_d X'_d} \sin^2 \delta \right); \quad (15)$$

$$a_3 = T'_d \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X'_d}{X_d X'_d} \sin^2 \delta \right) + T_e \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta; \quad (16)$$

$$a_4 = \frac{E_q U}{X_d} \cos \delta; \quad (17)$$

$$\Delta_2 = \frac{T_j}{\omega_0} \cdot \frac{X_{BH}}{X_d}; \quad (18)$$

$$\Delta_4 = \left(\frac{E_q U}{X_d} \cos \delta + U^2 \frac{X_d - X_{BH}}{X_d X_{BH}} \sin^2 \delta \right) \frac{X_{BH}}{X_d} \quad (19)$$

где:

$$T'_d = T_{d0} \frac{X'_d}{X_d};$$

$$E_q = \frac{E_{q0} + K_U \left(U_{Г,0} - U_C \cos \delta \frac{X_d - X_{BH}}{X_d} \right)}{1 + K_U \frac{X_{BH}}{X_d}};$$

$$X_{BH} = x_T + \frac{x_{II}}{n_{II}}.$$

Полученная система уравнений (13)–(19), являющаяся совокупностью корней характеристического уравнения (5), основой всего исследования.

Итоговые параметры электрической системы (рисунок 2), на базе которых производится исследование, сведены в таблицу 1 и 2.

В качестве генератора с АРВ ПД возьмем ТГВ-300-2У3 [3] с постоянной времени T_{d0} равной 7,0 с.

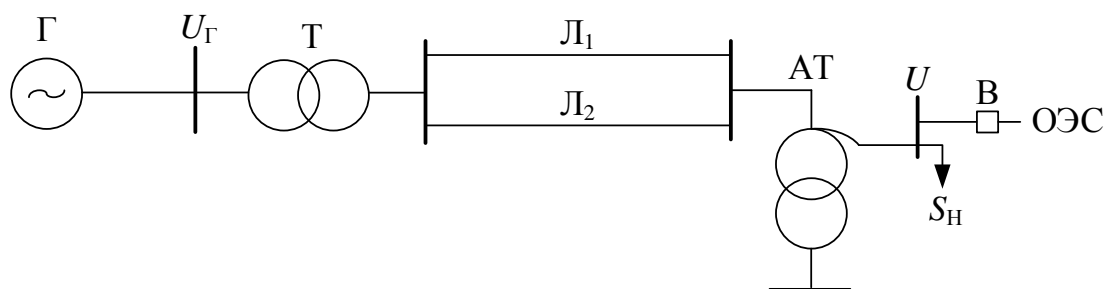


Рисунок 2 – Схема электрической системы

Таблица 1 – Параметры электрической системы

$T_j, с$	$T_e, с$	$T'_d, с$	U	E_{q0}	X_d	X''_d	X_{BH}	ω_0
12,5	2,0	2,08	1	2,909	2,076	0,617	0,411	314,0

В характеристическом уравнении (5), исходя из системы (13)–(19) видно, что коэффициенты a_0 – a_4 не зависят от регулирования возбуждения, а значит они определяют устойчивость режима нерегулируемой электрической системы. Единичные прибавки Δ_2 и Δ_4 к соответствующим по индексу коэффициентам характеристического уравнения, пропорциональные коэффициенту усиления, отображают воздействие устройства АРВ ПД. Для упрощенного применения критерия Гурвица в (5) заменим отношения коэффициентов a_i с соответствующими им Δ_i на эквивалент a'_i , который является коэффициентом, отражающим получаемое воздействие от регулятора возбуждения, и будем подставлять его при поиске определителя матрицы:

$$a'_2 = a_2 + K_U \Delta_2; \tag{20}$$

$$a'_4 = a_4 + K_U \Delta_4. \tag{21}$$

Из вышеперечисленного следует, что определители Гурвица будут иметь следующий вид:

$$\Delta_{\text{Гур1}} = a_1; \tag{22}$$

$$\Delta_{\text{Гур2}} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a'_2 \end{vmatrix}; \tag{23}$$

$$\Delta_{\text{Гур3}} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a'_2 & a'_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \tag{24}$$

$$\Delta_{\text{Гур4}} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a'_2 & a'_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a'_2 & a'_4 \end{vmatrix}. \tag{25}$$

Результаты расчетов коэффициентов характеристического уравнения при различных коэффициентах усиления и выбранных ранее углах δ , сведены в таблицы 2–4 соответственно.

Таблица 2 – Значения коэффициентов характеристического уравнения при $K_U = 0$

угол $\delta, ^\circ$	a_0	a_1	a'_2	a_3	a'_4
80	0,166	0,162	5,647	3,290	0,243
90	0,166	0,162	4,778	2,369	0
110	0,166	0,162	2,230	0,137	-0,479

Таблица 3 – Значения коэффициентов характеристического уравнения при $K_U = 30$

угол $\delta, ^\circ$	a_0	a_1	a'_2	a_3	a'_4
80	0,166	0,162	6,517	3,912	9,306
90	0,166	0,162	5,014	2,369	6,780
110	0,166	0,162	-0,011	-2,293	-1,494

Таблица 4 – Значения коэффициентов характеристического уравнения при $K_U = 100$

угол $\delta, ^\circ$	a_0	a_1	a'_2	a_3	a'_4
80	0,166	0,162	7,140	3,982	30,410
90	0,166	0,162	5,566	2,369	22,60
110	0,166	0,162	0,264	-2,563	-3,841

Таблица 5 – Значения определителей Гурвица при $K_U = 0$

угол δ , °	$\Delta_{Гур1}$	$\Delta_{Гур2}$	$\Delta_{Гур3}$	$\Delta_{Гур4}$
80	0,162	0,369	1,207	0,293
90	0,162	0,381	0,902	0
110	0,162	0,339	0,059	-0,028

По полученным данным из таблиц 2–4 составлены определители Гурвица. Полученные значения определителей при K_U равных 30 и 100 и различных углах δ сведены в таблицы 5–7 соответственно.

Таблица 6 – Значения определителей Гурвица при $K_U = 30$

угол δ , °	$\Delta_{Гур1}$	$\Delta_{Гур2}$	$\Delta_{Гур3}$	$\Delta_{Гур4}$
80	0,162	0,406	1,345	12,521
90	0,162	0,419	0,815	5,524
110	0,162	0,379	-0,830	1,239

Таблица 7 – Значения определителей при Гурвица $K_U = 100$

угол δ , °	$\Delta_{Гур1}$	$\Delta_{Гур2}$	$\Delta_{Гур3}$	$\Delta_{Гур4}$
80	0,162	0,496	1,176	35,752
90	0,162	0,508	0,611	13,817
110	0,162	0,468	-1,099	4,222

Сравнительный анализ результатов расчета значений коэффициентов характеристического уравнения и определителей Гурвица показывает, что:

- при нулевом коэффициенте усиления (без АРВ ПД) при угле δ равном 90° наблюдается граница устойчивости. Это выражено коэффициентами a'_4 и $\Delta_{Гур4}$, которые равняются нулю. При дальнейшем повышении угла δ система становится неустойчивой (таблицы 2 и 5);
- при коэффициенте усиления АРВ ПД K_U равном 30 проявление отрицательного знака у коэффициентов характеристического уравнения начинаются с a'_2 , при угле δ равном 110° , а при $K_U = 100$ проявление отрицательного знака проявляется, начиная с a_3 при том же угле δ ;
- влияние угла δ распространяется на полиномы a'_2 , a_3 и a'_4 , т. к. согласно уравнениям (13)–(19) именно его изменение в большую или меньшую сторону изменяет значение данных коэффициентов характеристического уравнения.

Заключение

В ходе работы был проведен анализ статической устойчивости электроэнергетической системы с генератором ТГВ-300-2УЗ с АРВ ПД по корням характеристического уравнения при коэффициентах усиления K_U равных 30 и 100, а также при различных углах δ .

Устройства АРВ позволяют увеличить предел передаваемой мощности и положительно влияют на устойчивость электроэнергетической системы.

При отсутствии у генератора АРВ предельный режим имеет место при угле $\delta = 90^\circ$, а при наличии возможности регулирования возбуждения устойчивость повышается:

- при $K_U = 30$ предел устойчивости достигается при угле $\delta = 100,3^\circ$;
- при $K_U = 100$ предел устойчивости достигается при угле $\delta = 97,5^\circ$.

Литература

1. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников. – Изд. 4-е. – М. : Высш. шк., 1985. – 536 с.
2. Переходные процессы в системах электроснабжения: учебник для вузов / Г. Г. Пивняк [и др.]. – Изд. 3-е. – М. : Энергокомиздат : Днепропетровск : НГУ, 2003. – 548 с.
3. Неклепаев, Ю. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Ю. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – Изд. 4-е. – М. : Энергостандарт, 1989. – 608 с.

УДК 621.311

**АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ
С ГЕНЕРАТОРАМИ БЕЗ АРВ ПО КОРНЯМ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ
ANALYSIS OF THE STATIC STABILITY OF THE SYSTEM
WITH GENERATORS WITHOUT ARV ON THE ROOTS
OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

А.Н. Мешкова

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A.Meshkova

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: проведены расчеты и анализ статической устойчивости электроэнергетической системы с генераторами без АРВ по корням характеристического уравнения при разных коэффициентах демпфирования k_d и углах δ .

Abstract: calculations and analysis of the static stability of an electric power system with generators without ARV are carried out on the basis of the roots of the characteristic equation at different damping coefficients k_d and angles δ .

Ключевые слова: статическая устойчивость, анализ системы, характеристическое уравнение.

Keywords: static stability, system analysis, characteristic equation.

Введение

Под устойчивостью системы понимают ее свойство возвращаться в исходное состояние равновесия при снятии возмущения, которое повлекло к нарушению этого состояния [1].

Известны следующие способы анализа устойчивости:

- по корням характеристического уравнения;
- по критериям устойчивости.

При анализе по корням характеристического уравнения пользуются методом малых возмущений. Суть этого метода заключается в анализе дифференциальных уравнений движения системы при незначительном изменении ее первоначального состояния и исследования, возникающих при этом, свободных колебаний мощности и скорости. В данном подходе не учитывается ни природа возмущающих воздействий, ни их величина, а анализ устойчивости сводится к выяснению характера изменения возмущений.

Основная часть

Движение системы после небольшого возмущения (свободное движение системы) описывается следующим выражением [2]:

$$\Delta y(t) = \sum_{i=1}^m C_i \cdot e^{\alpha_i t} + \sum_{i=m+1}^m C_i \cdot e^{\alpha_i t} \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_i) \quad (1)$$

где Δy – отклонение параметра режима от положения равновесия;

t – время;

C_i и α_i – константы.

В данном уравнении $C_i \cdot e^{\alpha_i t}$ – аperiodическая составляющая, а $C_i \cdot e^{\alpha_i t} \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_i)$ – колебательная.

Характер движения определяется знаками всех коэффициентов α_i : если все α_i меньше нуля, то величина Δy стремится к нулю при $t \rightarrow \infty$ – режим возвращается в равновесное состояние, а значит устойчив. Если хотя бы одно значение α_i больше нуля, то устойчивость нарушается.

Таким образом, при оценке устойчивости по корням характеристического уравнения достаточно определить знаки всех коэффициентов α_i в выражении, которое описывает изменение параметра режима после снятия возмущения.

При отсутствии на генераторе АРВ переходным процессам соответствует следующая система уравнений:

$$\tau_J \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_r, \tag{2}$$

$$s = \frac{d\delta}{dt}, \tag{3}$$

$$P_{ac} = k_d \cdot s, \tag{4}$$

где τ_J – механическая постоянная инерции генератора с турбиной.

Переменными параметрами здесь являются угол δ , скольжение s и активная мощность генератора P_r . При возмущениях именно эти параметры отклоняются от своих первоначальных значений.

Проведем линеаризацию и исключим из уравнений все переменные, кроме угла δ , в результате чего получим дифференциальное уравнение, описывающее систему при малых возмущениях:

$$\tau_J \cdot \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + k_d \cdot \frac{d \Delta \delta}{dt} + P_{max} \cdot \cos \delta_0 \cdot \Delta \delta = 0. \tag{5}$$

Для решения этого уравнения применим операторный метод, по которому осуществим переход от дифференциального уравнения, содержащего производные переменной величины по времени, к эквивалентному уравнению в операторной форме. То есть заменим $\frac{d}{dt}$ на p , $\frac{d^2}{dt^2}$ на p^2 и т. д.

Получаем уравнение относительно p :

$$\tau_J \cdot p^2 + k_d \cdot p + P_{max} \cdot \cos \delta_0 = 0. \tag{6}$$

Это уравнение называют характеристическим. При более сложной системе дифференциальных уравнений повышается степень относительно p :

$$\alpha_0 \cdot p^n + \alpha_1 \cdot p^{n-1} + \alpha_2 \cdot p^{n-2} + \dots + \alpha_{n-1} \cdot p + \alpha_n = 0 \quad (7)$$

В краткой записи:

$$D \cdot (p) = 0 \quad (8)$$

Искомые значения α_i определяются как действительные части корней p_j характеристического уравнения. Число корней равно порядку n характеристического уравнения [3]. Корни могут быть действительными $p = \alpha$, тогда каждому из них соответствует апериодическая составляющая, или комплексно-сопряжёнными $p = a + j \cdot \omega$ и $p = a - j \cdot \omega$, тогда каждой паре таких корней соответствует колебательная составляющая.

В нашем случае уравнение относительно p является квадратным и его корни имеют следующий вид:

$$p_{1,2} = \frac{-k_d \pm \sqrt{k_d^2 - 4 \cdot \tau_J \cdot P_{\max} \cdot \cos \delta_0}}{2 \cdot \tau_J} \quad (9)$$

В зависимости от рассматриваемого режима, то есть значения k_d и δ_0 возможны три случая:

- подкоренное выражение положительно, но меньше k_d – оба корня действительны и отрицательны $\alpha_1 < 0$, $\alpha_2 < 0$, то есть система устойчива и возвращается к положению равновесия апериодически;
- подкоренное выражение отрицательно – корни комплексно-сопряжённые, $\alpha < 0$, система устойчива, и возвращается к положению равновесия затухающими колебаниями;
- подкоренное выражение положительно и больше, чем k_d^2 – оба корня действительны и положительны $\alpha_1 > 0$, $\alpha_2 > 0$ – система неустойчива и отклонение угла нарастает апериодически, без колебаний.

Колебательной неустойчивости соответствует $k_d < 0$.

Проведем исследование влияния коэффициента демпфирования k_d и угла δ_0 на устойчивость системы, описанной следующим характеристическим уравнением:

$$10 \cdot p^2 + k_d \cdot p + 1,419 \cdot \cos \delta_0 = 0 \quad (10)$$

Результаты расчетов коэффициентов характеристического уравнения при изменении угла δ_0 и коэффициента демпфирования k_d сведены в таблицу 1.

Заключение

Устойчивость электроэнергетической системы можно оценить по значениям корней характеристического уравнения. Такой метод оценки устойчивости эффективен в системах, которые описываются дифференциальными уравнениями малых порядков. Для систем с дифференциальными уравнениями высоких порядков применяются критерии устойчивости.

Изменение коэффициента демпфирования k_d и угла δ_0 приводит к изменению характера переходного процесса. При коэффициенте демпфирования $k_d = 0$ и угле δ_0 до 90 градусов колебания режимных параметров носят незатухающий характер. При коэффициенте демпфирования $k_d = 0$ и угле δ_0 свыше 90 система теряет устойчивость.

Таблица 1 – Значения коэффициентов характеристического уравнения

δ_0	k_d		
	0	1	-1
0	$p_1 = j \cdot 0,377$ $p_2 = -j \cdot 0,377$ Незатухающие колебания (система устойчива)	$p_1 = -0,05 + j \cdot 0,373$ $p_2 = -0,05 - j \cdot 0,373$ Затухающие асимптотические колебания (система устойчива)	$p_1 = 0,05 + j \cdot 0,373$ $p_2 = 0,05 - j \cdot 0,373$ Система неустойчива
40	$p_1 = j \cdot 0,33$ $p_2 = -j \cdot 0,33$ Незатухающие колебания (система устойчива)	$p_1 = -0,05 + j \cdot 0,326$ $p_2 = -0,05 - j \cdot 0,326$ Затухающие асимптотические колебания (система устойчива)	$p_1 = 0,05 + j \cdot 0,326$ $p_2 = 0,05 - j \cdot 0,326$ Система неустойчива
90	$p_1 = j \cdot 2,948 \cdot 10^{-9}$ $p_2 = -j \cdot 2,948 \cdot 10^{-9}$ Незатухающие колебания (система устойчива)	$p_1 = 0$ $p_2 = -0,1$ Граница устойчивости	$p_1 = 0,1$ $p_2 = 0$ Система неустойчива
100	$p_1 = 0,157$ $p_2 = -0,157$ Система неустойчива	$p_1 = 0,115$ $p_2 = -0,215$ Система неустойчива	$p_1 = 0,215$ $p_2 = -0,125$ Система неустойчива

При коэффициенте демпфирования $k_d = 1$ и угле δ_0 до 90 градусов колебания режимных параметров носят затухающий характер. При коэффициенте демпфирования $k_d = 1$ и угле δ_0 свыше 90 система становится неустойчивой. При коэффициенте демпфирования $k_d = -1$ система всегда неустойчива. Таким образом, демпфирование положительно влияет на устойчивость системы и превращает незатухающие колебания, возникающие при возмущениях в системе, в затухающие.

В случае, когда электропередача работает на большое активное сопротивление коэффициент демпфирования может принимать отрицательное значение, что негативно сказывается на устойчивости системы, так как любое малое возмущение такой системы вызывает нарушение ее статической устойчивости.

Литература

1. Калентионок, Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем / Е. В. Калентионок. – Минск : Техноперспектива, 2008. – 376 с.
2. Гуревич, Ю.Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
3. Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников. – Изд. 4-е. – М. : Высш. шк., 1985. – 536 с.