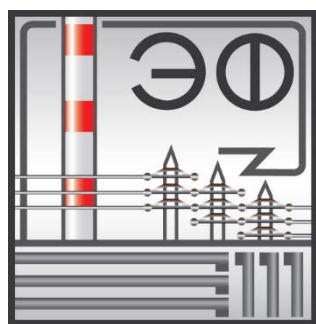


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический
университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ 2019



Материалы студенческой
научно - технической
конференции

*Электронный учебный
материал*

Минск 2019

УДК 620.9(06)

ББК 31 я 43

А 43

С о с т а в и т е л и:

И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская,

Р е ц е н з е н т

Заместитель главного инженера по ЭТО АСУ ТП, РУП «БЕЛТЭИ»,
к.т.н. Ю.В. Сенягин

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

<http://www.bntu.by/ef.html>

Регистрационный № БНТУ/ЭФ43 – 107.2019

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

© БНТУ ЭФ, 2019

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Исследование методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А., Журкевич В.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

Влияние уровня тока короткого замыкания на форму траектории гибких проводов распределительных устройств

Васильева А.А., Зарихта К. С., Башаркевич Е.К., Туманов П.С.
Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И., БАРАН А.Г.

Реализация математической модели броска тока намагничивания в MatLab Simulink

Каченя В.С.
Научные руководители – член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., профессор РОМАНЮК Ф.А.

Влияние расположения емкости в электрической цепи при исследовании переходных процессов в простейших цепях с постоянным источником питания

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

Определение токов электродинамической стойкости гибких шин распределительных устройств высокого напряжения по условию максимально допустимого сближения фаз

Баран А.Г., Васильева А.А., Туманов П.С.
Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И.

Сравнение точности решателей с переменным шагом решения в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

Определение токов электродинамической стойкости гибких шин распределительных устройств высокого напряжения по условию допустимого тяжения провода при коротком замыкании

Баран А.Г., Башаркевич Е. К., Туманов П.С.
Научные руководители – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И., к.т.н., доцент
ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Сравнение точности решателей с фиксированным шагом решения в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

Динамический расчет опорных конструкций распределительных устройств

Зарихта К. С., Башаркевич Е.К.
Научный руководитель – к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Влияние расположения компенсирующих устройств на распределение потоков мощности в электрической сети

Волов Р. А., Русецкий К.И.
Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Влияние расположения емкости в электрической цепи при исследовании переходных процессов в простейших цепях с переменным источником питания

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Высоковольтные выключатели низкого и среднего напряжения

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.
Научный руководитель – КОНОХОВ М.С.

Трансформаторы напряжения UG-145

Науменко В.И., Никитин Е.А.
Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Преимущества программного продукта Revit над AutoCAD

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научный руководитель – КОЛОСОВА И.В.

Высоковольтный выключатель высокого напряжения

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.
Научный руководитель – КОНОХОВ М.С.

«Трансформаторные» инновации в энергетике

Иселёнок Е.Б.
Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Плагин от компании Schneider Electric для программного комплекса автоматизированного проектирования Revit

Русецкий К.И., Волов Р.А.
Научные руководители – КОЛОСОВА И.В., ЛАЗАРЕВ О.Е.

УДК 621.3

Исследование методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А., Журкевич В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

При сопоставлении результатов моделирования переходного процесса при вычислениях в различных программных продуктах [1] для схемы сети представленной на рисунке 1, мы столкнулись с проблемой расхождения результатов расчета в программе MatLab Simulink.

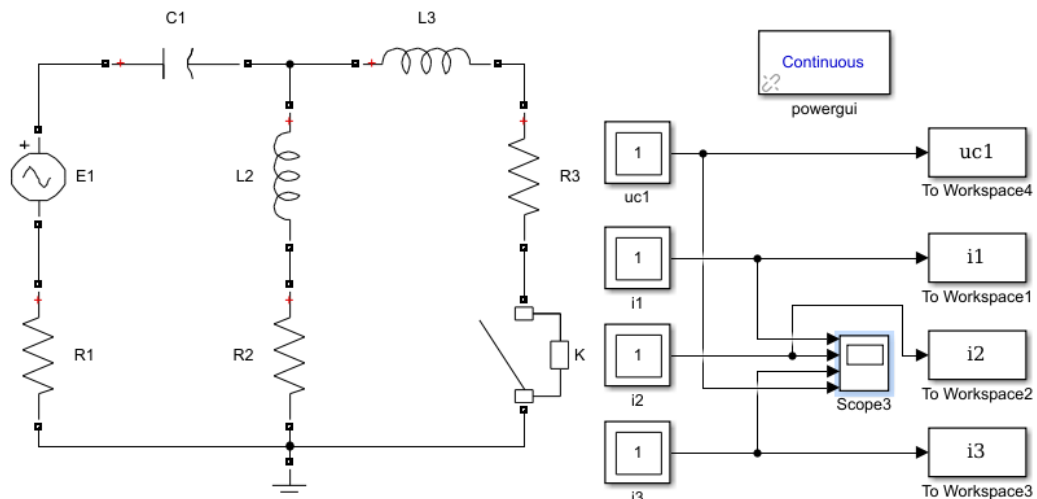


Рисунок 1 – Модель расчетной схемы

На рисунке 2 представлена осциллограмма тока i_3 в ветви с катушкой L_3 – решатель автоматически выбран программой. После изменения решателя на «ode45», были получены результаты моделирования (рисунок 3), которые достаточно точно совпадают с результатами в других программных средах [1].

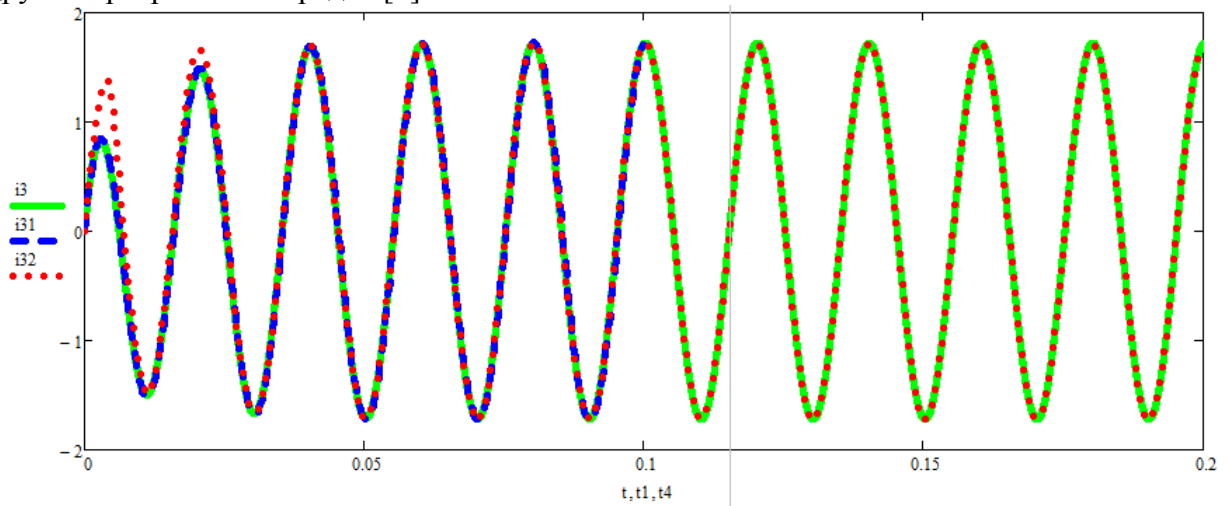


Рисунок 2 – Осциллограмма тока i_3 в ветви с катушкой L_3 , смоделированная автоматически выбранным решателем

При расчете переходного процесса в электрических цепях программой MatLab Simulink составляются системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Данные системы ОДУ могут решаться различными методами, их реализации названы решателями ОДУ. В MatLab Simulink имеется окно настроек Solver options (Параметры решателя), где выбираются параметры решателя (рисунок 4).

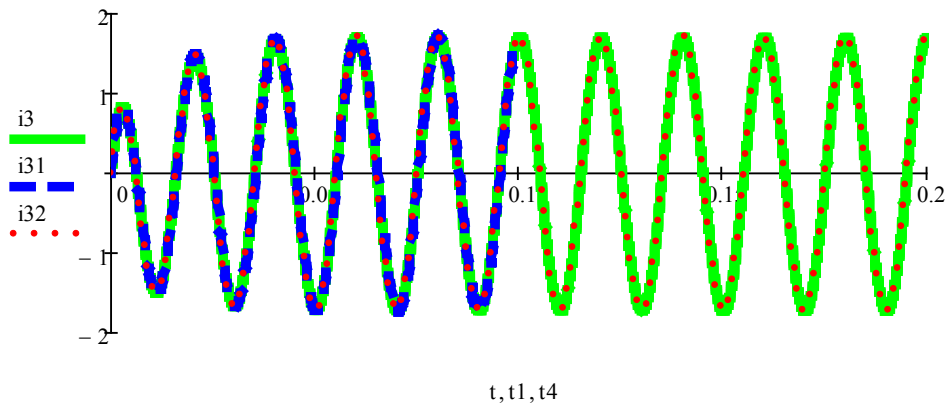


Рисунок 3 – Осциллограмма тока i_3 в ветви с катушкой L_3 смоделированная решателем ode45



Рисунок 4 – Solver options

Как можно заметить (рисунок 4), различают два типа решателя:

- Variable-step – с переменным шагом;
- Fixed-step – фиксированным шагом.

При моделировании аналоговых систем принципиально можно использовать любой тип решателя, однако желательным является выбор решателя с переменным шагом моделирования. Это обеспечивает автоматическое подстраивание шага моделирования в зависимости от характера поведения решений ОДУ.

При моделировании дискретных систем обычно выбирают решатель с фиксированным шагом моделирования.

После определения типа решателя имеется возможность выбора самого решателя из предлагаемого разработчиками MatLab Simulink перечня. При открытии списка Solver для решателей с переменным шагом моделирования, реализующих методы численного интегрирования ОДУ, программой предлагается перечень, представленный на рисунке 5, а при открытии списка для решателей с фиксированным шагом – перечень, представленный на рисунке 6.

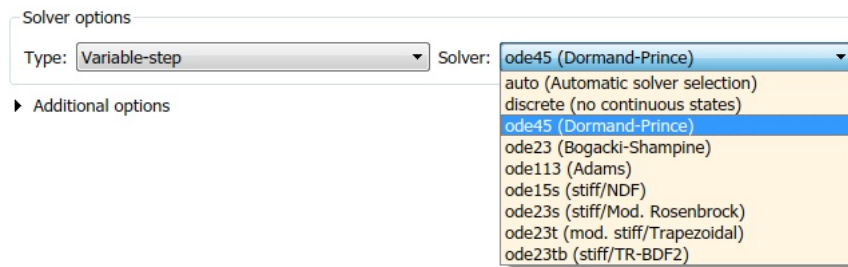


Рисунок 5 – Решатели при переменном шаге моделирования

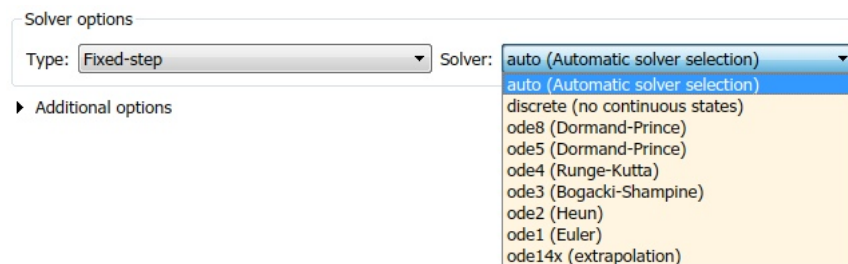


Рисунок 6 – Решатели при фиксированном шаге моделирования

Если пользователь выбирает любой тип решателя, то сам решатель может быть автоматически подобран программой (при желании).

Как видим, существует два типа решателей (с переменным и постоянным шагом моделирования), в свою очередь данные типы имеют свои методы для решения ОДУ. В дальнейшем будет интересно рассмотреть применение различных решателей при расчете электрических цепей.

Литература

1. Русецкий, К. И. Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 427–432.

УДК 621.316

Влияние уровня тока короткого замыкания на форму траектории гибких проводов распределительных устройств

Васильева А.А., Зарихта К. С., Башаркевич Е.К., Туманов П.С.
 Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И., БАРАН А.Г.

Оценка влияния уровня тока короткого замыкания (КЗ) на траекторию движения провода выполнена с помощью разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ компьютерной программе BusEf.

Расчетным видом КЗ принято двухфазное, т. к. максимальное сближение соседних фаз гибких шин наблюдается при данном виде повреждения, когда они сближаются после отключения КЗ в результате колебаний проводов.

Анализ траекторий движения проводов после отключения КЗ показывает, что в зависимости от длины пролета и стрелы провеса провода могут быть две траектории движения, при которых возможно недопустимое сближение фаз. Первая характерна для средних значений токов КЗ, когда провод после того как поднялся на определенную высоту, начинает свое падение под некоторым углом к своему первоначальному положению. Вторая обусловлена действием больших токов КЗ, когда импульса ЭДУ достаточно для того, чтобы заставить провод двигаться по круговой траектории. Сказанное выше продемонстрируем на примере траекторий движения провода АС-800/105 в пролете длиной 45 м при разных значениях двухфазных токах КЗ (время КЗ 0,3 с). Геометрические размеры пролета приняты для распределительного устройства 330 кВ. Траектории движения проводов соседних фаз представлены на рисунках 1–5.

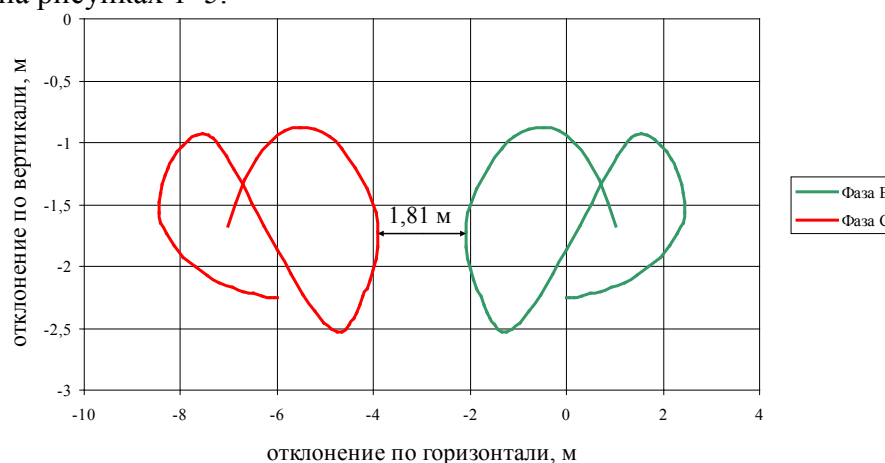


Рисунок 1 – Траектория движения под действием тока КЗ 45 кА

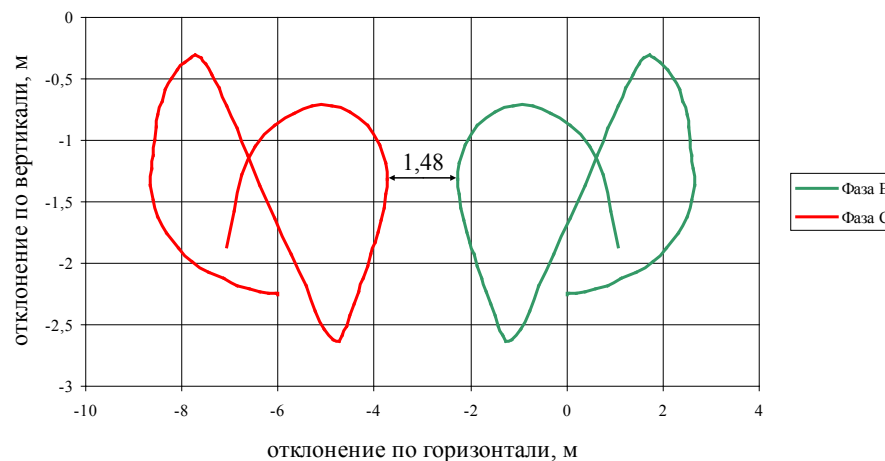


Рисунок 2 – Траектория движения под действием тока КЗ 50,1 кА

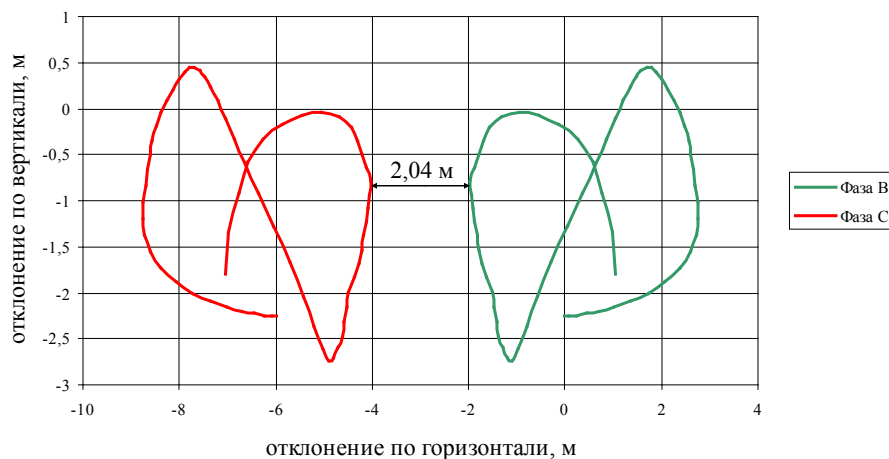


Рисунок 3 – Траектория движения под действием тока КЗ 55 кА

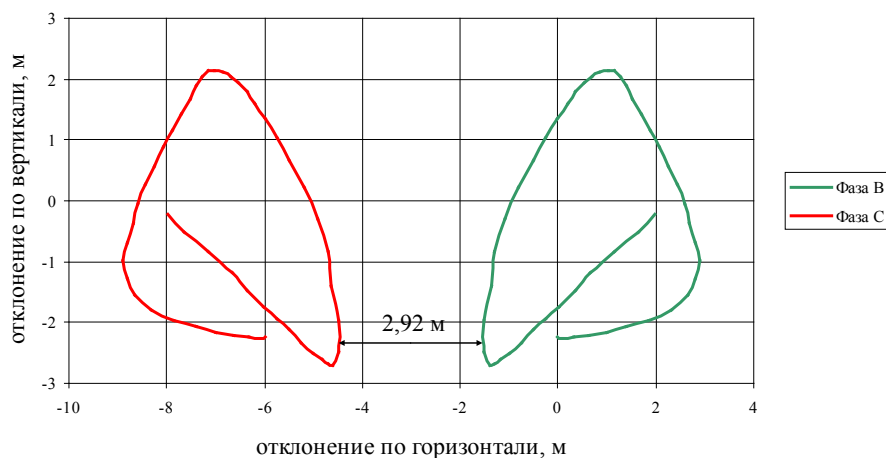


Рисунок 4 – Траектория движения под действием тока КЗ 65 кА

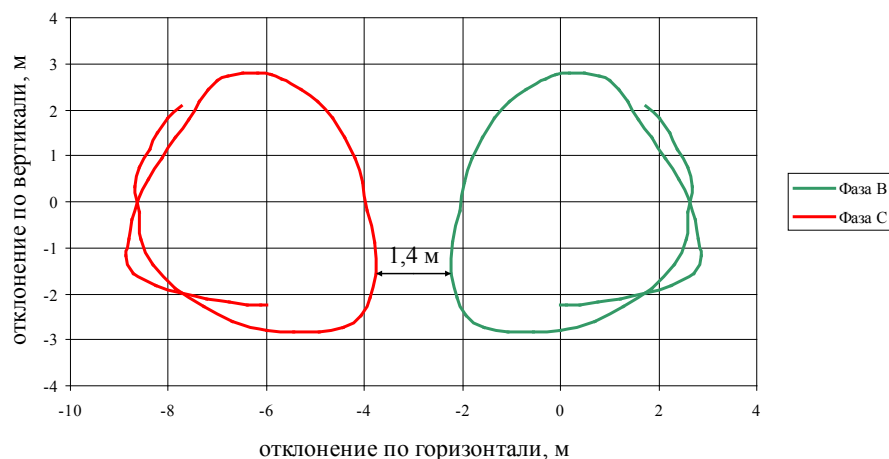


Рисунок 5 – Траектория движения под действием тока КЗ 73,1 кА

Рисунок 5 также демонстрирует потерю электродинамической стойкости исследуемого пролета, т. к. для класса напряжения 330 кВ минимально-допустимое расстояние между соседними фазами составляет 1,4 м [1].

Литература

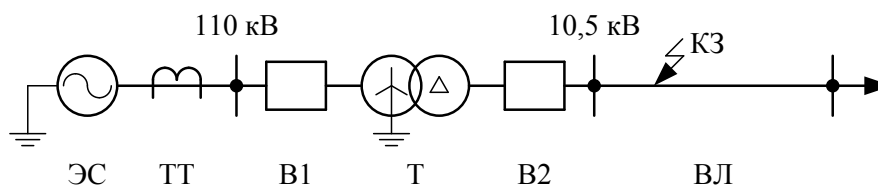
1 Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
УДК 621.316.925

Реализация математической модели броска тока намагничивания в MatLab Simulink

Каченя В.С.

Научные руководители – член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., профессор РОМАНЮК Ф.А.

Стоит задача получения мгновенных значений броска тока намагничивания (БТН) для наиболее распространённого класса силового трансформатора. Моделирование участка электрической сети (рисунок 1) произведем с использованием среды математического моделирования – MatLab Simulink. При использовании в расчёте ступенчатой модели времени выходные сигналы модели могут быть некорректными. Поэтому для получения корректного выходного сигнала необходимо использовать непрерывную модель времени. Наиболее оптимальное время расчёта в таком случае получается при автоматическом выборе способа решения дифференциальных уравнений, но оно всё ещё достаточно большое и для расчёта выходного сигнала длительностью в 1 с может потребоваться 60 мин реального времени. Компромиссом может стать использование дискретной модели времени с малым шагом дискретизации порядка 10^{-6} – 10^{-8} с.



ЭС – энергосистема; ТТ – трансформатор тока;
 В1, В2 – выключатели высокого и низкого напряжения соответственно;
 Т – силовой трансформатор; ВЛ – воздушная линия электропередачи;
 КЗ – точка короткого замыкания
 Рисунок 1 – Первичная схема модели

Для создания модели электрической сети использовались стандартные элементы библиотеки SimPowerSystems. Для корректной работы функциональных блоков этой модели необходимо настроить «Solver» блока powergui, который отвечает за моделирование электрических величин. Таким образом для параметра «Simulation type» выбрано значение «Discrete», а для «Sample time(s)» – $1e-7$ с. В таблице 1 приведено соответствие элементов рисунка 1 и стандартных блоков библиотеки SimPowerSystems.

Таблица 1 – Соответствие элементов сети и элементов библиотеки SimPowerSystems

Обозначение на схеме	Наименование SimPowerSystems	Обозначение на схеме	Наименование SimPowerSystems
ЭС	Voltage Source	ТТ	Three-Phase Measurement
В1, В2	Breaker (3ph)	ВЛ	RLC Branch
Т	Transformer (3ph)	КЗ	Three-Phase Fault

Моделирование насыщения ТТ произведено в соответствии с [1]. Реализация схемы рисунок 1 в MatLab Simulink представлена на рисунке 2.

На основании изложенного выше для блока Voltage Source выбраны следующие настройки: – Yg; Phase-to-phase voltage (Vrms): – $115e3$; Frequency (Hz): – 50; Base voltage (Vrms ph-ph): – $1000e6$; X/R ratio: – 7. Для регулирования мощности КЗ (Skз) ЭС в диапазоне от 100 МВА до 1000 МВА необходимо изменять параметр «3-phase short-circuit level at base voltage(VA):» в пределах от $100e6$ до $1000e6$.

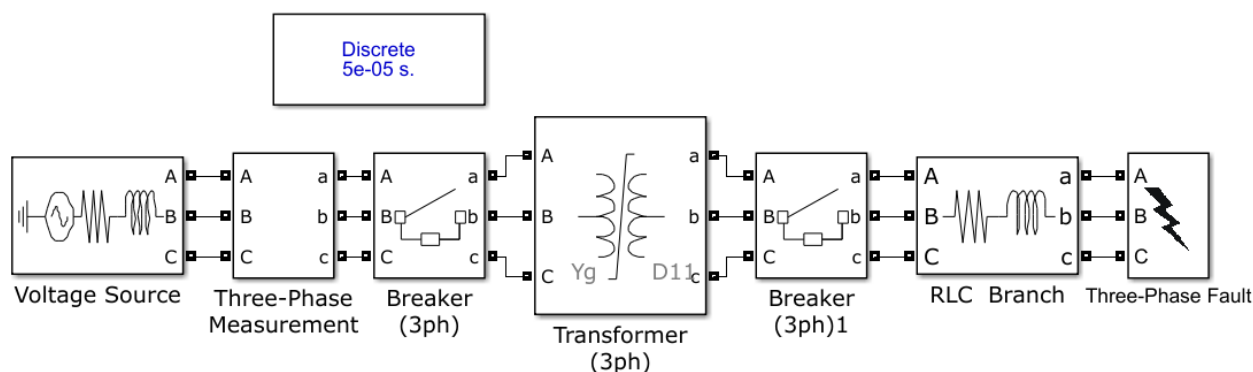


Рисунок 2 – Реализация первичной электрической схемы модели БТН в MatLab Simulink с использованием библиотеки SimPowerSystem

Расчёт параметров блока «Transformer (3ph)» с учётом насыщения магнитного сердечника приведён в [2].

Блок «RLC Branch» представляет собой упрощённую модель ЛЭП. Конфигурация параметра «Branch type» – RL. Параметр «Resistance R (Ohms):» определяет активное сопротивление ВЛЭП. Исходя из l и r_0 рассчитывается как $l \cdot r_0 = 6,33$ Ом. Параметр «Inductance L (H):» определяет индуктивное сопротивление ВЛЭП. Исходя из l и x_0 рассчитывается как $l \cdot x_0 / (2 \cdot \pi \cdot f) = 0,021$ Гн.

Также в модели имеются коммутирующие элементы: Breaker (3ph), Breaker (3ph)1, Three-Phase Fault. Для данных блоков имеются свойства «Initial status» (начальное положение) и «Switching times» (времена переключения). Манипулируя данными свойствами можно произвести эксперименты описанные выше. Настройки коммутирующих элементов для проведения описанных выше экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Таблица настройки коммутирующих элементов

Название свойства	Breaker (3ph)	Breaker (3ph)1	Three-Phase Fault
Включения Т под напряжение производится			
Initial status	Open	Open	Open
Switching times	$[t_1^*]$	[inf]	[inf]
Восстановление уровня напряжения после отключения внешнего КЗ			
Initial status	Close	Close	Open
Switching times	[inf]	$[t_3^{***}]$	$[t_2^{**}]$

Примечания:

* t_1 – время включения силового трансформатора под напряжение;

** t_2 – время возникновения внешнего КЗ;

*** t_3 – время отключения внешнего КЗ ($t_2 + 30 \text{ мс} > t_3$).

Результат моделирования БТН приведены на рисунках 3 и 4. На указанных рисунках представлены первичный (верхняя часть рисунка) и вторичный (нижняя часть рисунка) токи фазы А. Сигналы, представленные на рисунке 3 получены путём моделирования бросков токов намагничивания при включении силового трансформатора Т, работающего на холостом ходу, при мощности КЗ энергосистемы ЭС равной 1 ГВА. Сигналы, представленные на рисунке 4 получены путём имитации ликвидации внешнего КЗ, которое возникает в близости от Т и приводит к глубокому снижению напряжения. Мощность КЗ энергосистемы при этом составляет 100 МВА.

Разработанная математическая модель участка электрической сети позволяет воспроизводить различные режимы БТН силового трансформатора и может быть использована в качестве инструмента для исследования поведения блокировки токовой защиты.

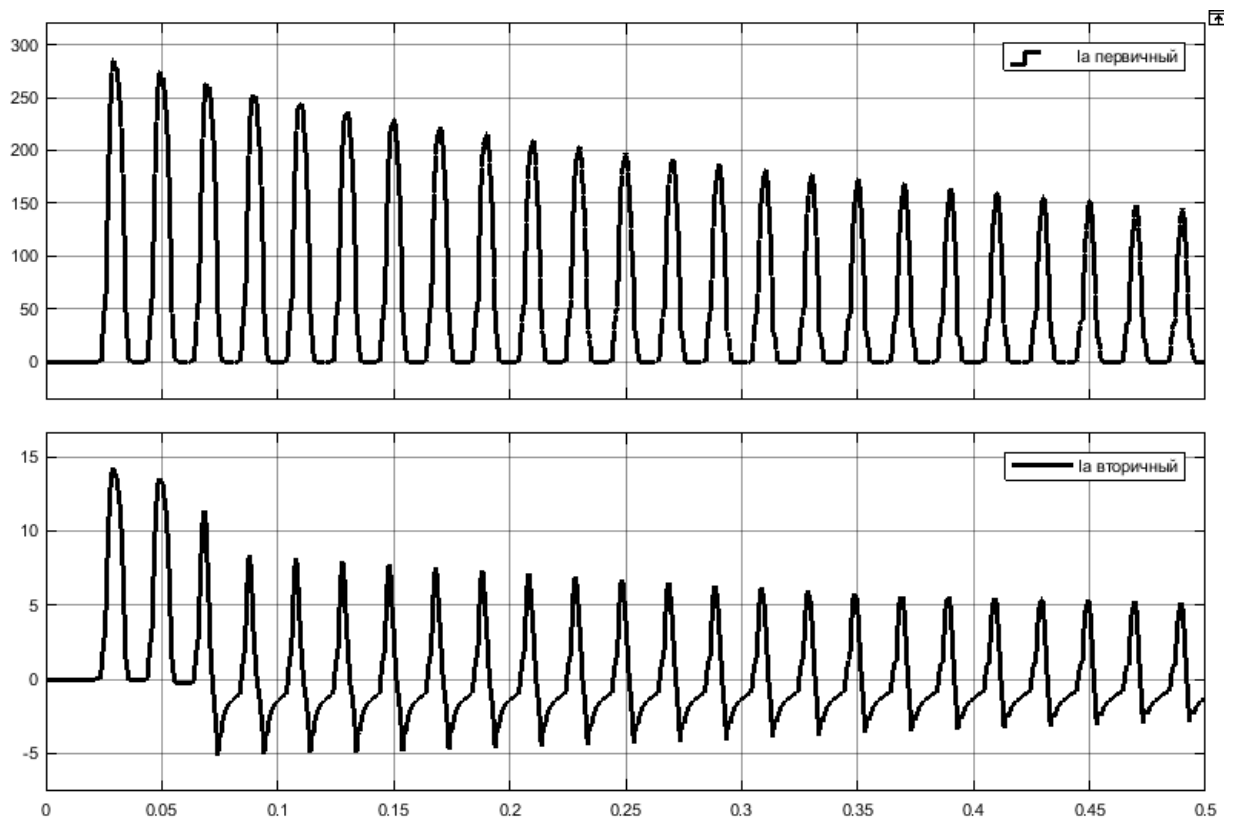


Рисунок 3 – Бросок тока намагничивания фазы А силового трансформатора мощностью 16 МВА в первичных и вторичных значениях при насыщении трансформаторов тока

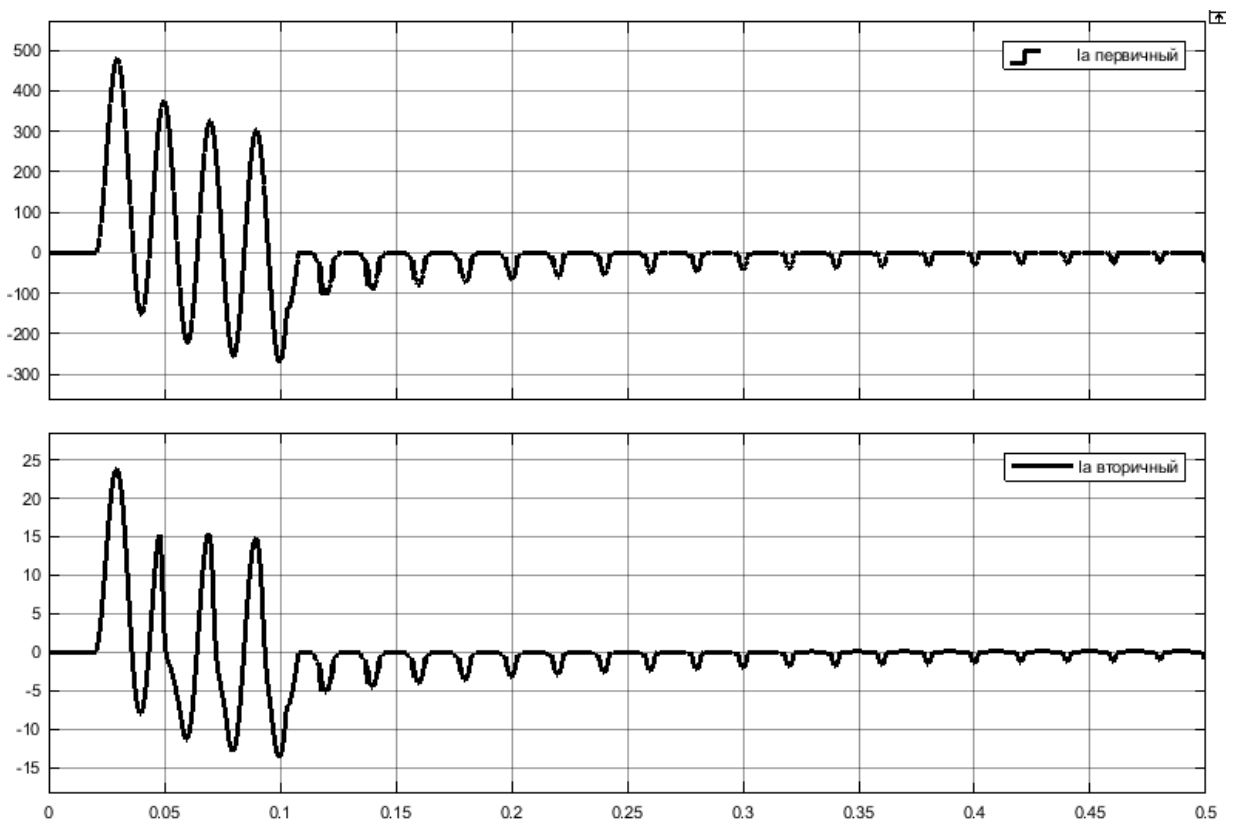


Рисунок 4 – Первичные и вторичные значения токов фазы А при ликвидации внешнего КЗ, возникшего за силовым трансформатором с глубоким уровнем просадки напряжения

Литература

1. Новаш, И. В. Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки MatLab-Simulink с учетом насыщения магнитопровода / И. В. Новаш, Ю. В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2015. – № 1. – 12–24.
2. Новаш, И. В. Упрощенная модель трехфазной группы трансформаторов тока в системе динамического моделирования / И. В. Новаш, Ю. В. Румянцев // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2015. – № 5. – 23–38.

УДК 621.3

Влияние расположения емкости в электрической цепи при исследовании переходных процессов в простейших цепях с постоянным источником питания

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

В [1] проводилось исследование переходных процессов в электрической цепи с переменным источником питания. В настоящей работе рассмотрим протекание переходных процессов при ненормальных режимах в электрической цепи с постоянным источником питания (рисунок 1). При выполнении исследований будем изменять месторасположение конденсатора в схеме. Также рассмотрим влияние расположения ключей в исследуемой схеме и их первоначального состояния.

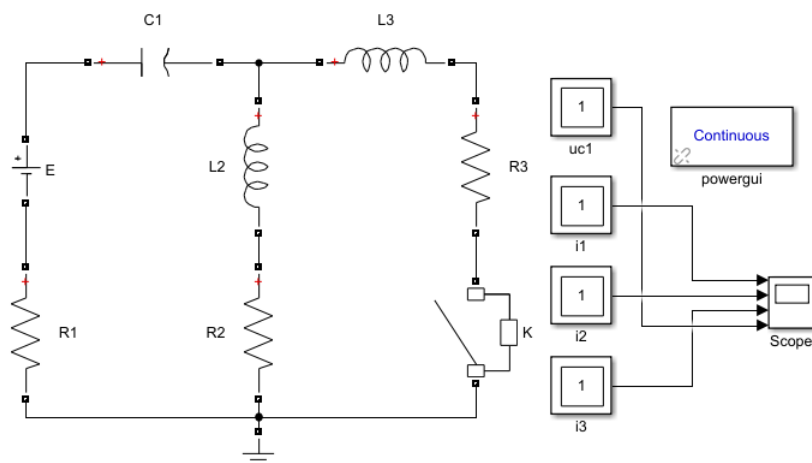


Рисунок 1 – Расчетная схема с постоянным источником питания

Как видно из схемы, конденсатор расположен в ветви источника питания, а из курса теоретических основ электротехники известно, что конденсатор при протекании постоянного тока имеет сопротивление, стремящееся к бесконечности, а катушка имеет сопротивление, стремящееся к нулю. Проверим это при исследовании данной схемы.

На схеме (рисунок 1) ключ замыкается при $t = 0$, т. е. в момент включения источника питания. Осциллограммы токов на реактивных элементах и напряжения на конденсаторе для рассматриваемого сценария представлены на рисунке 2. Как было изложено выше, ток в цепи после завершения переходного процесса устанавливается на минимальном значении.

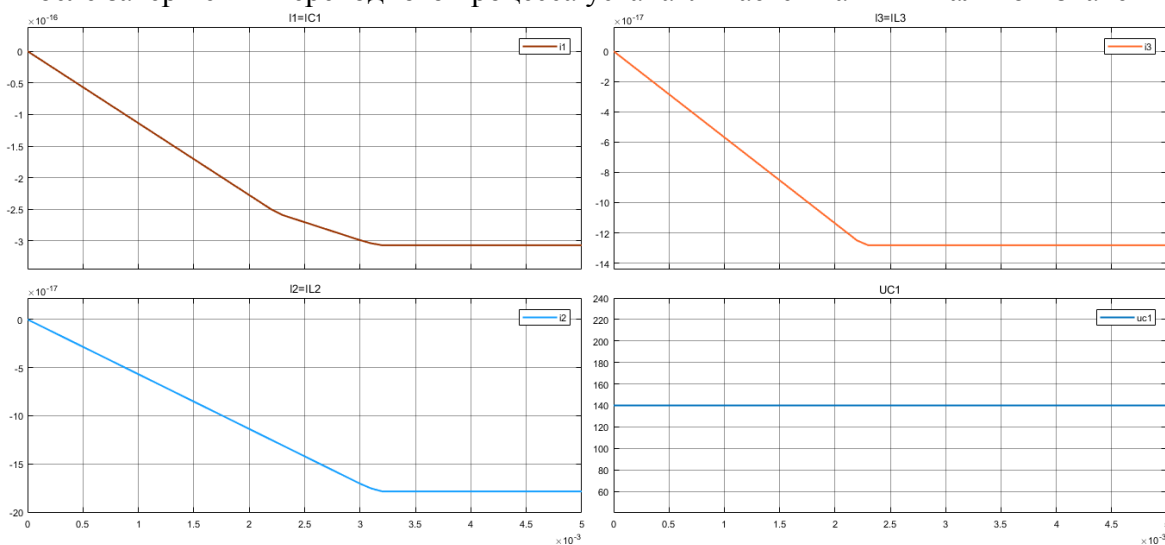


Рисунок 2 – Осциллограммы токов на реактивных элементах и напряжения на конденсаторе при протекании переходного процесса

Внесем изменения в исходную схему. Поменяем местами конденсатор C_1 и катушку L_2 (рисунок 3). Произведем расчет и получим токи в ветвях реактивных элементов и напряжение в ветви конденсатора, который представлены на рисунке 4.

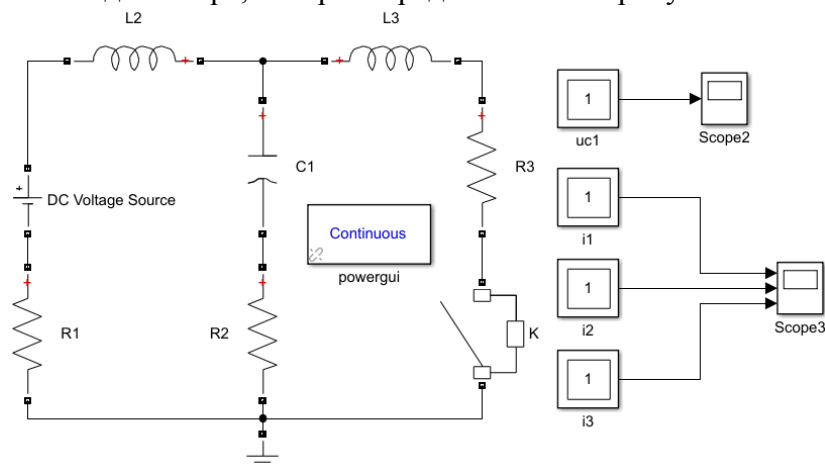


Рисунок 3 – Расчетная схема с измененным расположением элементов

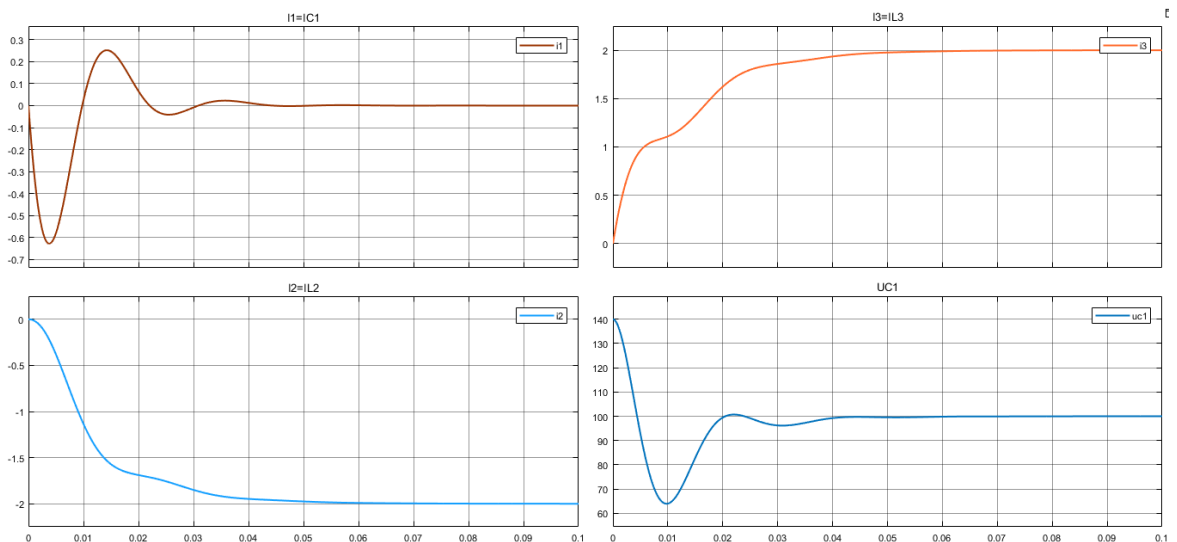


Рисунок 4 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе

Анализ осциллограмм показывает, что переходный процесс в цепи с конденсатором имеет колебательный характер. Это связано с тем, что перед замыканием ключа конденсатор заряжен (с одним видом полярности), а после замыкания ключа он разряжаться и перезаряжаться, тем самым ток изменяет направление и в цепи наблюдаются небольшие колебания.

Преобразуем вариант схемы (рисунок 3) так, чтобы ветвь конденсатор после завершения переходного процесса шунтировалась (рисунок 5).

Для осуществления переходного процесса ключ K замыкаем в момент включения схемы. По осциллограммам, представленным на рисунке 4, определяем примерное время окончания переходного процесса, которое равно 0,7 с. В это же время замыкаем ключ $K1$ шунтируя ветвь с конденсатором. Полученные осциллограммы токов на реактивных элементах и напряжения на конденсаторе представлены на рисунке 6.

Как видно из осциллограммы ветви тока i_1 конденсатора C_1 при ее шунтировании происходит резкое возрастание тока, далее происходит сам переходный процесс при шунтировании ветви, который затухает по экспоненте. После завершения переходного процесса ток и напряжение на конденсаторе установились в нулевом значении.

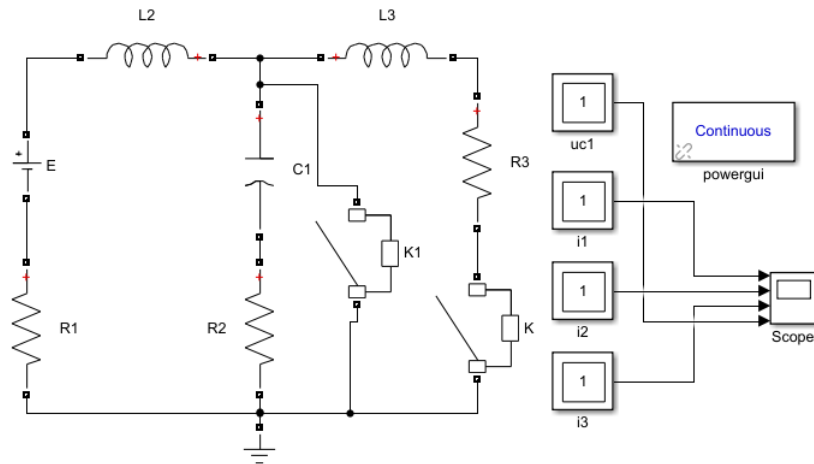


Рисунок 5 – Схема с шунтированием ветви конденсатора

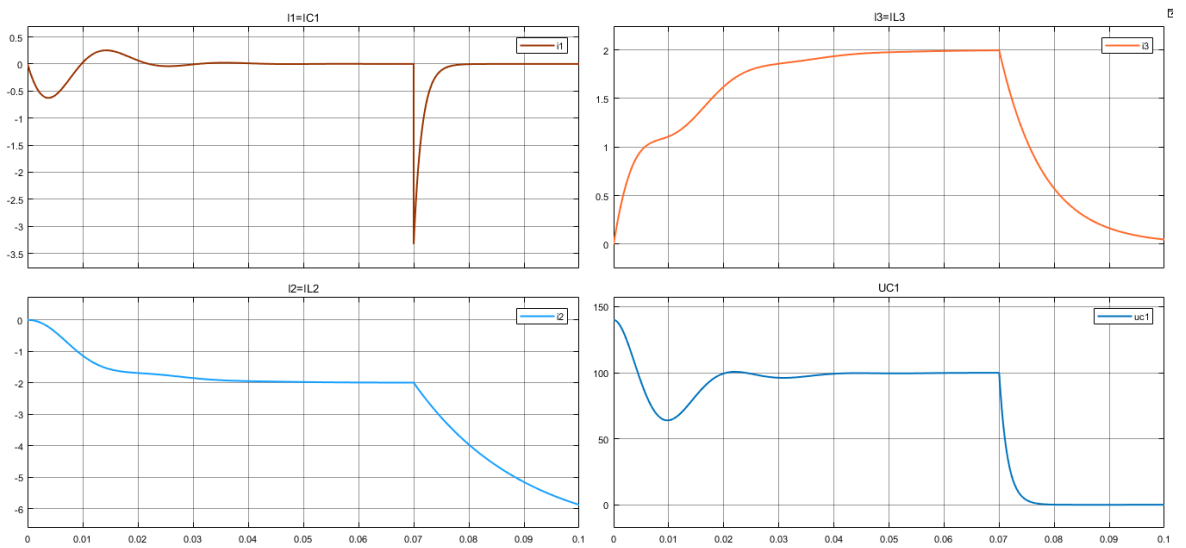


Рисунок 6 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе

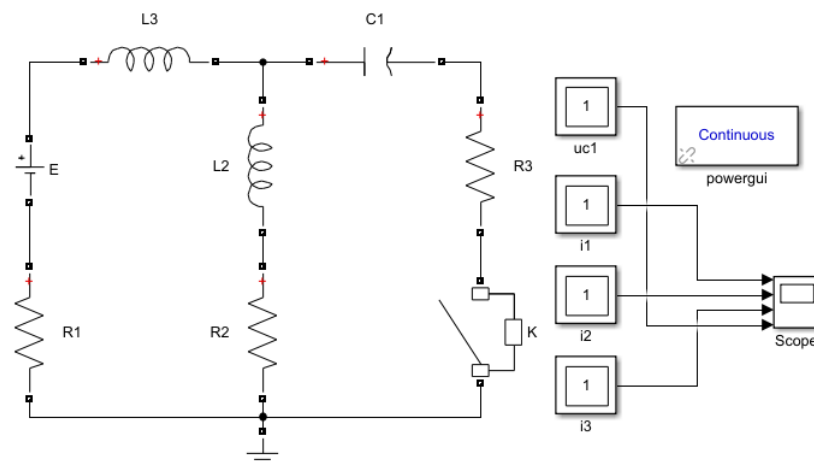


Рисунок 7 – Измененная расчетная схема

Далее внесем следующие изменения в схеме (рисунок 1) – поменяем местами конденсатор $C1$ и катушку $L3$ (рисунок 7). Процесс протекания переходного процесса приведен на рисунке 8.

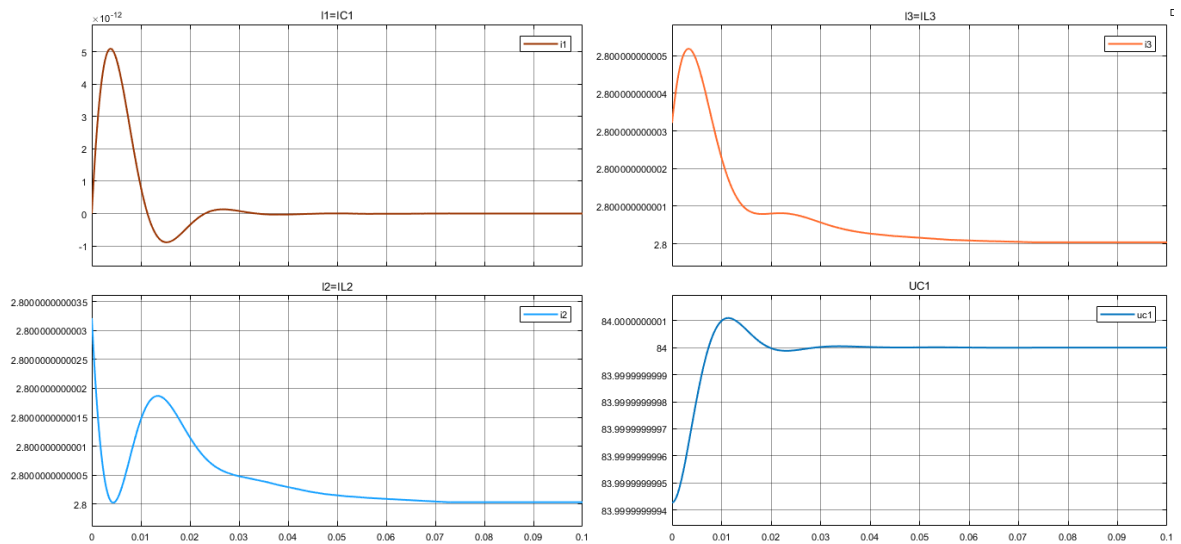


Рисунок 8 – Осциллограммы токов в ветвях катушек и конденсатора, а так же напряжения на конденсаторе

Как видно из осциллограмм, небольшие изменения токов в ветвях и напряжения на конденсаторе, которыми можно пренебречь, т. к. при замыкании ключа через конденсатор начинает «протекать» постоянный ток, пока конденсатор не зарядится, после разрядки конденсатора ток равен нулю.

Литература

1. Русецкий, К. И. Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 427–432.

УДК 621.316

Определение токов электродинамической стойкости гибких шин распределительных устройств высокого напряжения по условию максимально допустимого сближения фаз

Баран А.Г., Васильева А.А., Туманов П.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И.

Согласно ГОСТ оценка электродинамической стойкости гибких проводов должна производиться по двум условиям [1]:

$$s_{\max} \leq s_{\text{доп}},$$

$$T_{\max} \leq T_{\text{доп}},$$

где s_{\max} , T_{\max} , $s_{\text{доп}}$, $T_{\text{доп}}$ – соответственно максимальные и допустимые отклонения и тяжения гибких проводов при КЗ.

Оба параметра непрерывно связаны с током КЗ. Поэтому, изменяя ток КЗ, можно добиться совпадения максимальных и допустимых значений и тем самым установить максимально допустимое значение тока КЗ. Эти значения по двум условиям могут не совпадать, поэтому из двух полученных значений выбирается наименьшее, которое и будет являться током электродинамической стойкости.

Вычислительный эксперимент проводился по КП BusEf. Исследования проводились для пролетов различной длины: 20–30 м соответствуют напряжению 110 кВ, 35–40 м – 220 кВ и 45–60 м – 330 кВ. Междупазное расстояние согласно [2] при напряжении 110 кВ равно 3 м, при 220 кВ – 4 м и при 330 кВ – 6 м. Расчеты велись для проводов наиболее часто встречаются в распределительных устройствах: АС-185/29, АС-500/27 и АС-800/105. Параметры рассматриваемых проводов представлены в таблице 1. При проведении исследований учтены гирлянды изоляторов (таблица 2). Влияние гибкости порталов в расчетах не учитывалось.

Таблица 1 – Параметры проводов

Марка провода	Вес одного метра провода, даН/м	Площадь поперечного сечения, мм ²	Диаметр провода, мм	Модуль упругости материала провода, даН/мм ²
АС-185/29	0,729	210,0	18,8	8193,0
АС-500/27	1,538	507,6	27,4	7018,0
АС-800/105	3,093	926,0	39,7	7853,0

Таблица 2 – Данные о гирляндах изоляторов в зависимости от номинального напряжения

Марка изолятора	Длина гирлянды изоляторов, м	Вес гирлянды изоляторов, даН	Число изоляторов в цепи, шт	Число цепей, шт
ПС 6А – 110 кВ	1,5	41	9	1
ПС 6А – 220 кВ	2,4	69	16	1
ПС 6А – 330 кВ	3,3	204	22	2

За расчетное принято двухфазное КЗ, т. к. при нем наступает максимальное сближение соседних фаз. За максимально допустимый ток электродинамической стойкости гибких шин принималось значение тока КЗ, соответствующее минимально допустимому расстоянию между проводниками соседних фаз при их сближении после отключения КЗ (таблица 3).

Таблица 3 – Минимально допустимые расстояния между проводами [2]

Напряжение, кВ	6–10	110	220	330
Минимально допустимое расстояние a_{\min} , м	0,15	0,45	0,95	1,40

Таблица 4 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию недопустимого сближения проводов для провода АС-185/29

Время КЗ, с	Длина пролета, м	$U_{\text{ном}} / a_{\text{мин}}$, кВ / м	1-ая траектория		2-ая траектория	
			$I_{\text{КЗ}}^{(2)}$, кА	$a_{\text{откл}}$, м	$I_{\text{КЗ}}^{(2)}$, кА	$a_{\text{откл}}$, м
0,1	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	33,38	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	27,15	0,45
	35	220 / 0,95	27,21	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	25,4	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	43,0	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	45,81	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	49,36	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	37,02	1,4	–	–
0,2	20	110 / 0,45	20,9	0,45	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	29,15	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	23,5	0,45
	35	220 / 0,95	22,65	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	20,93	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	35,78	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	38,78	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	42,12	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	32,23	1,4	–	–
0,3	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	26,85	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	21,8	0,45
	35	220 / 0,95	20,05	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	18,35	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	31,52	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	34,78	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	37,95	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	27,25	1,4	–	–
0,4	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	17,00	0,45	–	–
	30	110 / 0,45	12,6	0,45	–	–
	35	220 / 0,95	18,4	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	16,65	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	29,75	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	32,68	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	35,58	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	25,61	1,4	–	–
0,5	20	110 / 0,45	17,55	0,45	–	–
	25	110 / 0,45	15,8	0,45	–	–
	30	110 / 0,45	11,2	0,45	–	–
	35	220 / 0,95	17,3	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	15,45	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	28,05	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	31,69	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	35,17	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	25,19	1,4	–	–

Таблица 5 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию недопустимого сближения проводов для провода АС-500/27

Время КЗ, с	Длина пролета, м	$U_{ном} / a_{мин}$, кВ / м	1-ая траектория		2-ая траектория	
			$I_{КЗ}^{(2)}$, кА	$a_{откл}$, м	$I_{КЗ}^{(2)}$, кА	$a_{откл}$, м
0,1	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	36,62	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	33,52	0,45
	35	220 / 0,95	–	–	46,67	0,95
	40	220 / 0,95	30,6	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	54,4	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	54,7	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	51,35	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	39,45	1,4	–	–
0,2	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	31,05	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	27,87	0,45
	35	220 / 0,95	27,47	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	24,97	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	45,19	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	44,19	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	43,38	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	33,15	1,4	–	–
0,3	20	110 / 0,45	–	–	39,65	0,45
	25	110 / 0,45	–	–	29,05	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	25,65	0,45
	35	220 / 0,95	23,45	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	22,1	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	40,75	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	39,95	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	38,34	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	28,98	1,4	–	–
0,4	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	28,05	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	24,42	0,45
	35	220 / 0,95	21,22	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	20,0	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	37,48	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	36,5	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	34,5	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	27,2	1,4	–	–
0,5	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	–	–
	30	110 / 0,45	–	–	24,5	0,45
	35	220 / 0,95	19,8	0,95	–	–
	40	220 / 0,95	18,55	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	35,74	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	33,98	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	32,1	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	24,78	1,4	–	–

Таблица 6 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию недопустимого сближения проводов для провода АС-800/105

Время КЗ, с	Длина пролета, м	$U_{\text{ном}} / a_{\text{мин}},$ кВ / м	1-ая траектория		2-ая траектория	
			$I_{\text{КЗ}}^{(2)},$ кА	$a_{\text{откл}},$ м	$I_{\text{КЗ}}^{(2)},$ кА	$a_{\text{откл}},$ м
0,1	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	47,58	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	–	–
	35	220 / 0,95	–	–	58,1	0,95
	40	220 / 0,95	42,53	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	–	–	94,8	1,4
	50	330 / 1,4	–	–	89,3	1,4
	55	330 / 1,4	–	–	84,85	1,4
	60	330 / 1,4	–	–	80,25	1,4
0,2	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	40,05	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	38,97	0,45
	35	220 / 0,95	–	–	48,28	0,95
	40	220 / 0,95	34,68	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	–	–	77,85	1,4
	50	330 / 1,4	–	–	73,65	1,4
	55	330 / 1,4	–	–	70,32	1,4
	60	330 / 1,4	–	–	65,7	1,4
0,3	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	37,55	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	36,25	0,45
	35	220 / 0,95	–	–	44,45	0,95
	40	220 / 0,95	30,76	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	–	–	73,1	1,4
	50	330 / 1,4	–	–	67,6	1,4
	55	330 / 1,4	–	–	63,9	1,4
	60	330 / 1,4	–	–	59,25	1,4
0,4	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	37,4	0,45
	30	110 / 0,45	–	–	35,18	0,45
	35	220 / 0,95	–	–	42,3	0,95
	40	220 / 0,95	28,2	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	45,16	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	–	–	64,95	1,4
	55	330 / 1,4	–	–	60,64	1,4
	60	330 / 1,4	–	–	55,15	1,4
0,5	20	110 / 0,45	–	–	–	–
	25	110 / 0,45	–	–	–	–
	30	110 / 0,45	24,9	0,45	–	–
	35	220 / 0,95	–	–	41,85	0,95
	40	220 / 0,95	26,6	0,95	–	–
	45	330 / 1,4	41,6	1,4	–	–
	50	330 / 1,4	39,7	1,4	–	–
	55	330 / 1,4	38,0	1,4	–	–
	60	330 / 1,4	–	–	52,8	1,4

Анализ траекторий движения проводов после отключения КЗ показывает, что в зависимости от длины пролета и стрелы провеса провода могут быть две траектории движения, при которых возможно недопустимое сближение фаз. Первая характерна для средних значений токов КЗ, когда провод после того как поднялся на определенную высоту, начинает свое падение под некоторым углом к своему первоначальному положению. Вторая обусловлена действием больших токов КЗ, когда импульса ЭДУ достаточно для того, чтобы заставить провод двигаться по круговой траектории.

Результаты расчета тока электродинамической стойкости для гибких шин ОРУ, исходя из рассмотрения минимально возможных расстояний между проводами при их сближении после отключения КЗ, представлены в таблицах 4–6.

Из таблиц 4–6 видно, что для пролетов небольшой длины (20, 25 м), где междуфазное расстояние более чем в два раза превышает стрелу провеса провода, опасное сближение фаз не наступает. Поэтому в этом случае ток электродинамической стойкости будет однозначно определяться из рассмотрения максимально допустимого тяжения провода при КЗ.

Литература

1. ГОСТ Р 50254-92. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.01.94. – М. : Госстандарт России, 1993. – 57 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.3

Сравнение точности решателей с переменным шагом решения в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОБАШ И.В.

Изучив наличие в программе MatLab Simulink большого количества видов решателей [1], мы задались целью рассмотреть каждый решатель при моделировании простейшей электрической цепи (рисунок 1) [2]. В данной работе рассмотрим решатели с переменным шагом вычислений и сопоставим результаты моделирования для различных решателей.

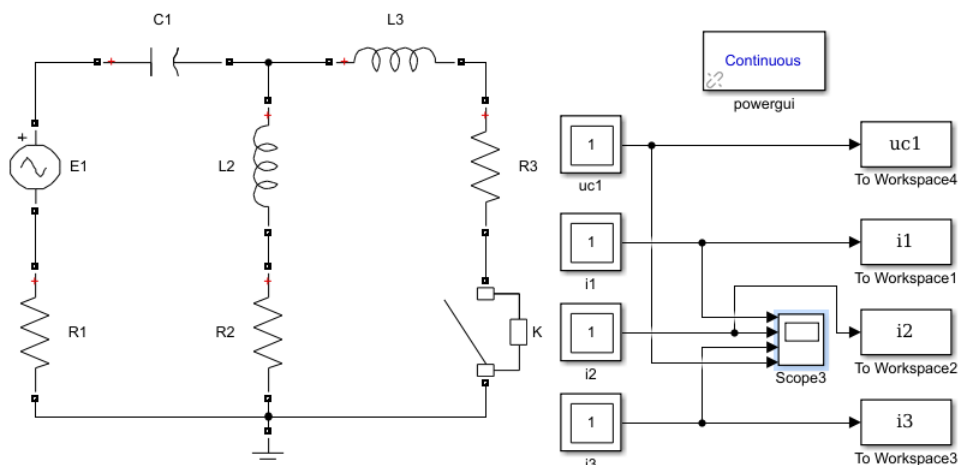


Рисунок 1 – Модель расчетной схемы

Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе выводим на экран с помощью блоков Scope. Для наглядного сравнения вариантов, т. е. наложения всех осциллограмм соответствующих токов и напряжения, воспользуемся блоками To Workspace, в которые выводятся данные осциллограмм.

В списке выбора решателей [1] есть автоматический решатель, т. е. программа подберет необходимый решатель под определенную задачу и дискретный, используемый при моделировании дискретных процессов.

Теперь более подробно остановимся на следующих по списку решателях. Отметим, что жёсткой системой ОДУ называется такая система, численное решения которой явными методами является неудовлетворительными из-за резкого увеличения числа вычислений или из-за резкого возрастания погрешности при недостаточно малом шаге. Для таких систем характерно то, что явные методы дают результат хуже, чем неявные методы.

Коротко опишем назначение каждого решателя переменного шага моделирования и на каких методах они основаны:

- решатель ode45 – одношаговые явные методы Рунге-Кутты 4-го и 5-го порядка;
- решатель ode23 – одношаговые явные методы Рунге-Кутты 2-го и 3-го порядка. При умеренной жёсткости системы ОДУ и низких требованиях к точности этот метод может дать выигрыш в скорости решения;
- решатель ode113 – многошаговый метод Адамса-Башворта-Мултона переменного порядка. Это адаптивный метод, который может обеспечить высокую точность решения;
- решатель ode15s – многошаговый метод переменного порядка (от 1-го до 5-го), использующий формулы численного дифференцирования. Это адаптивный метод, его стоит применять, если решатель ode45 не обеспечивает решения (для жёстких систем);
- решатель ode23s – одношаговый метод, использующий модифицированную формулу Розенброка 2-го порядка. Данный решатель может обеспечить достаточно высокую скорость вычисления при низкой точности (для жёстких систем);

– решатель ode23t – метод трапеций с интерполяцией. Данный метод дает хорошие результаты при решении задач, описывающих осцилляторы;

– решатель ode23tb – неявный метод Рунге-Кутты в начале решения системы, а дальше решатель использует формулы обратного дифференцирования 2-го порядка. При низкой точности этот метод может оказаться эффективнее, чем ode15s.

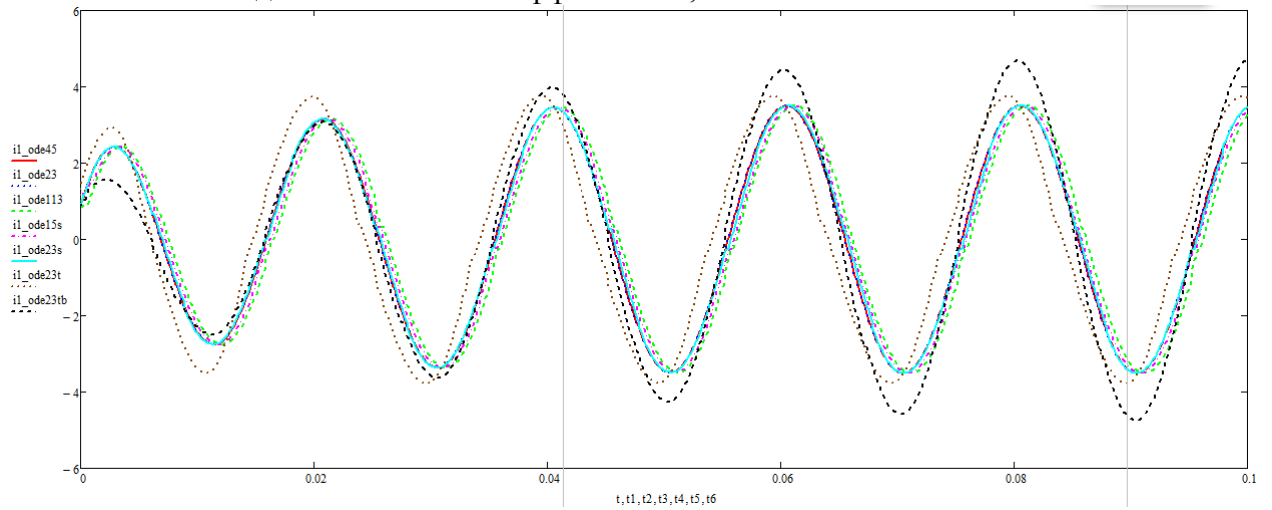


Рисунок 2 – Осциллограммы тока i_1 для различных вариантов решателей

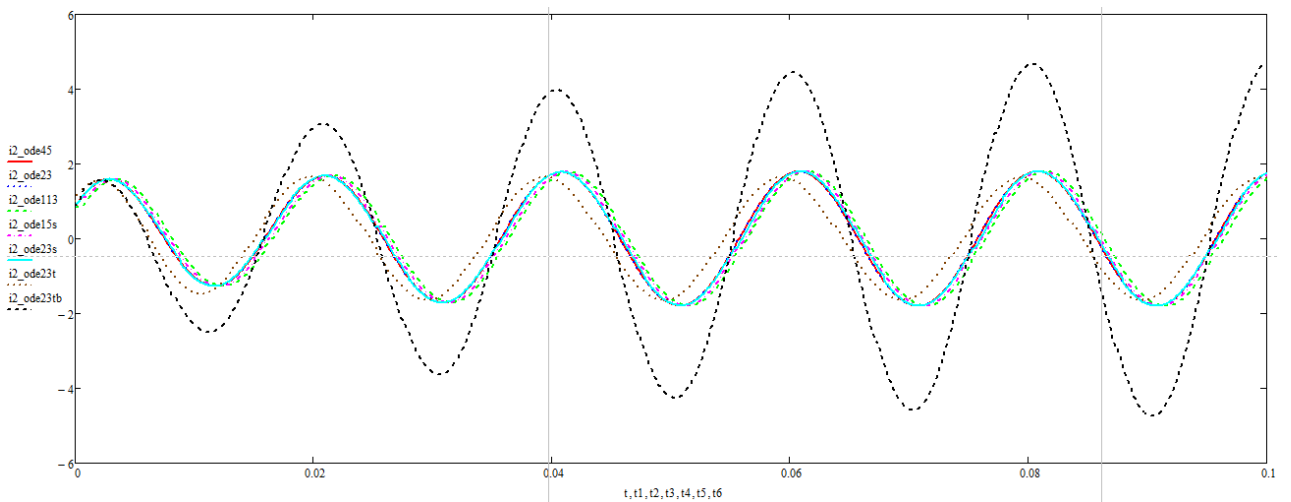


Рисунок 3 – Осциллограммы тока i_2 для различных вариантов решателей

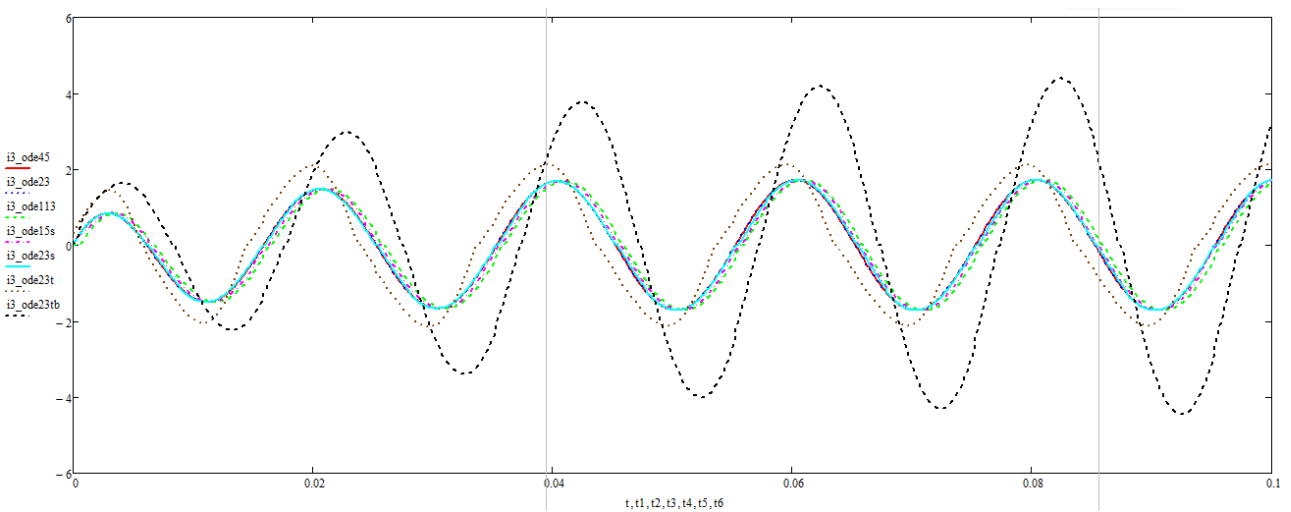


Рисунок 4 – Осциллограммы тока i_3 для различных вариантов решателей

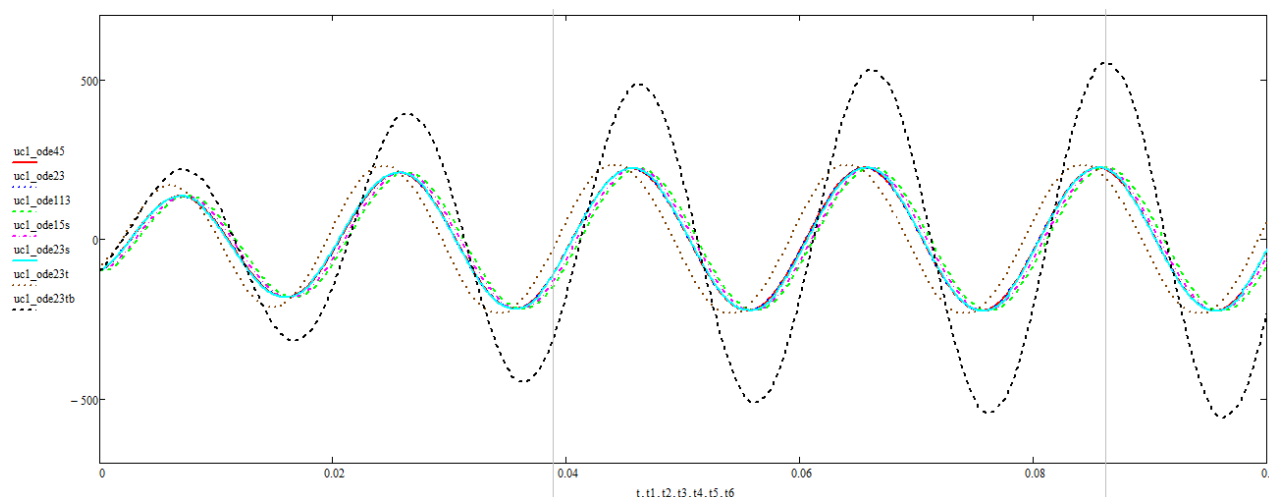


Рисунок 5 – Осциллограммы напряжений u_{C1} для различных вариантов решателей

Все решатели (ode45, ode23, ode113, ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb) могут решать системы уравнений явного вида $y' = f(t, y)$, а решатели (ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb) могут решать уравнения неявного вида $F(t, y, y') = 0$.

Сопоставим осциллограммы токов трех ветвей и осциллограммы напряжений на конденсаторе. В данном случае эталонным будем считать решатель ode45 [2]. Осциллограммы сравнения по токам в ветвях и напряжению на конденсаторе строим с помощью программы MathCAD по выведенным данным. Осциллограммы приведены на рисунках 2–5.

Произведя сопоставление результатов вычислений при расчете переходного процесса в простейшей электрической цепи (рисунок 1), наиболее неточным решателем (рисунок 2–5) оказался ode23tb. Остальные типы решателей, как видно из осциллограмм, по точности являются наиболее близкими к решателю ode45. Вполне вероятно, что решатель ode23tb может оказаться наиболее точным для исследования другого рода задач.

Для расчета переходных процессов в электрических цепях в системе динамического моделирования MatLab Simulink наиболее точные результаты позволяют получить такие решатели как: ode45, ode23, ode23s.

Литература

1. Русецкий, К. И. Исследование методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий, Р. А. Волон ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2019 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 5–7.
2. Русецкий, К. И. Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 427–432.

УДК 621.316

**Определение токов электродинамической стойкости гибких шин
распределительных устройств высокого напряжения
по условию допустимого тяжения провода при коротком замыкании**

Баран А.Г., Башаркевич Е. К., Туманов П.С.
Научные руководители – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И,
к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Согласно ГОСТ оценка электродинамической стойкости гибких проводов должна производиться по двум условиям [1]:

$$s_{\max} \leq s_{\text{доп}},$$

$$T_{\max} \leq T_{\text{доп}},$$

где s_{\max} , T_{\max} , $s_{\text{доп}}$, $T_{\text{доп}}$ – соответственно максимальные и допустимые отклонения и тяжения гибких проводов при КЗ.

Вычислительный эксперимент проводился по КП BusEf для пролетов длинны 20–60 м соответствующих номинальным напряжениям электроустановок 110 кВ, 220 кВ и 330 кВ. Исследования проведены для наиболее часто встречающихся в распределительных устройствах проводов: АС-185/29, АС-500/27 и АС-800/105. При проведении исследований учтены гирлянды изоляторов. Влияние гибкости порталов в расчетах не учитывалось.

Допустимое тяжение провода определяется по следующему выражению

$$T_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} \cdot S,$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение для проводов; S – сечение провода.

Значения допустимых напряжений и тяжений для рассматриваемых проводов представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Допустимые напряжения и тяжения для проводов

Марка провода	АС-185/29	АС-500/27	АС-800/105
Допустимое напряжение, Н/мм ²	13,0	9,7	12,2
Сечение провода, мм ²	210	507,6	926
Допустимое тяжение, Н	27300	49237	112970

Результаты определения токов электродинамической стойкости представлены в таблицах 2–4. Как оказалось, ток электродинамической стойкости определенный по условию недопустимого сближения проводов меньше тока рассчитанного по условию допустимого тяжения.

Таблица 2 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию допустимых тяжений для провода АС-185/29

Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА	Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА
0,1	20	53,1	0,2	20	54,5
	25	60,2		25	60,0
	30	44,2		30	43,8
	35	58,7		35	60,1
	40	53,0		40	55,15
	45	52,4		45	50,65
	50	54,4		50	52,55
	55	56,6		55	57,45
	60	44,4		60	46,35

Таблица 3 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию допустимых тяжений для провода АС-500/27

Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА	Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА
0,1	20	67,0	0,2	20	67,0
	25	60,2		25	60,1
	30	56,8		30	55,2
	35	71,2		35	65,2
	40	68,0		40	60,8
	45	96,7		45	78,5
	50	95,7		50	82,6
	55	95,7		55	90,6
	60	78,7		60	71,0

Таблица 4 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию допустимых тяжений для провода АС-800/105

Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА	Время КЗ, с	Длина пролета, м	Ток КЗ, кА
0,1	20	94,3	0,2	20	94,3
	25	89,5		25	89,5
	30	89,4		30	89,6
	35	97,4		35	91,8
	40	97,1		40	89,2
	45	>100		45	>100
	50	>100		50	>100
	55	>100		55	>100
	60	>100		60	94,7

Как видим значения токов электродинамической стойкости для гибких шин полученные из условия допустимых тяжений в 1,5 и более раза больше значений полученных из условия максимальных сближений. Поэтому для расчетов необходимо использовать значения токов полученные по условию недопустимого сближения проводов. В случае если геометрия пролета не допускает опасного сближения проводов, ток электродинамической стойкости определяется исходя из условия максимально допустимого тяжения.

Литература

1. ГОСТ Р 50254-92. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.01.94. – М. : Госстандарт России, 1993. – 57 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.3

Сравнение точности решателей с фиксированным шагом решения в системе динамического моделирования MatLab Simulink

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент НОВАШ И.В.

Система динамического моделирования MatLab Simulink имеет большое количество видов решателей [1]. В данной работе мы задались целью рассмотреть результаты моделирования переходного процесса в простейшей электрической цепи (рисунок 1) [2] при использовании различных решателей с фиксированным шагом вычислений. Заранее предполагаем, что результаты будут не удовлетворительными, т. к. данный тип решателей предназначен для моделирования дискретных сигналов.

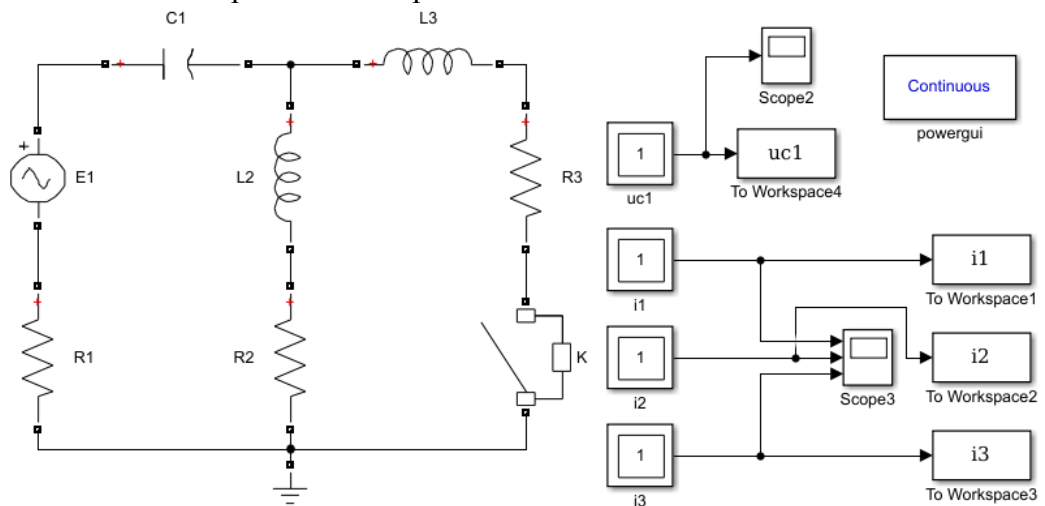


Рисунок 1 – Модель расчетной схемы

Для оценки достоверности вычислений различными типами решателей с фиксированным шагом моделирования воспользуемся представленными на рисунке 2 осциллограммами токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе, полученными при моделировании с помощью решателя с переменным шагом ode45, который в соответствии с положениями изложенных в [2] можно считать эталонным.

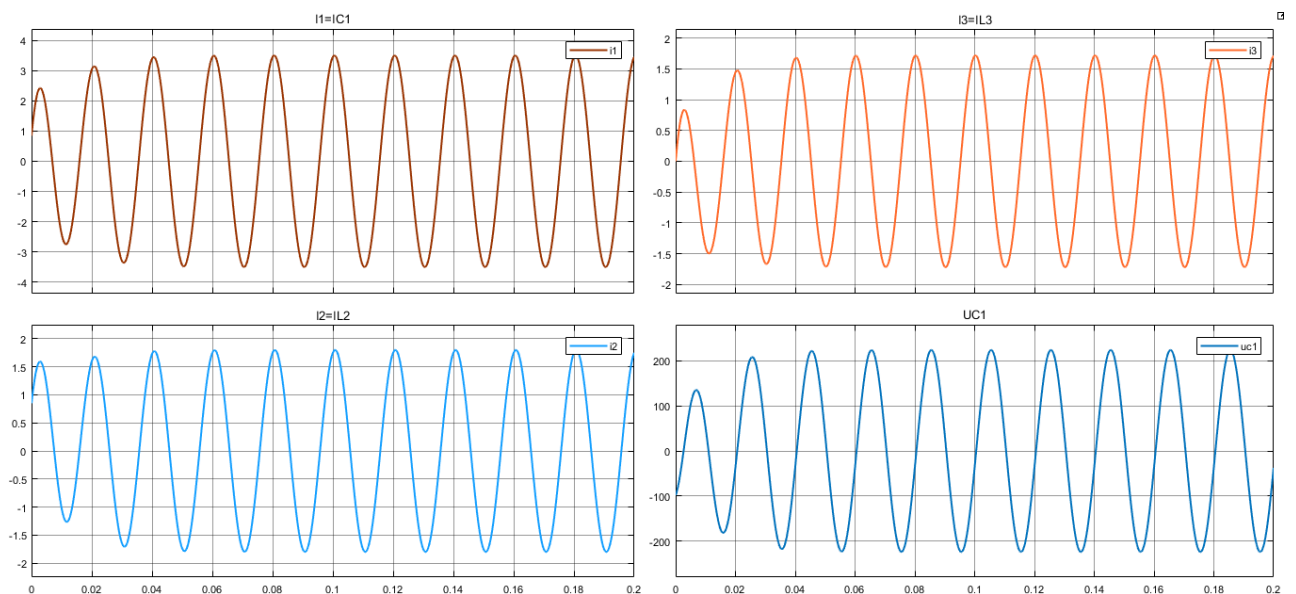


Рисунок 2 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе. Решатель ode45

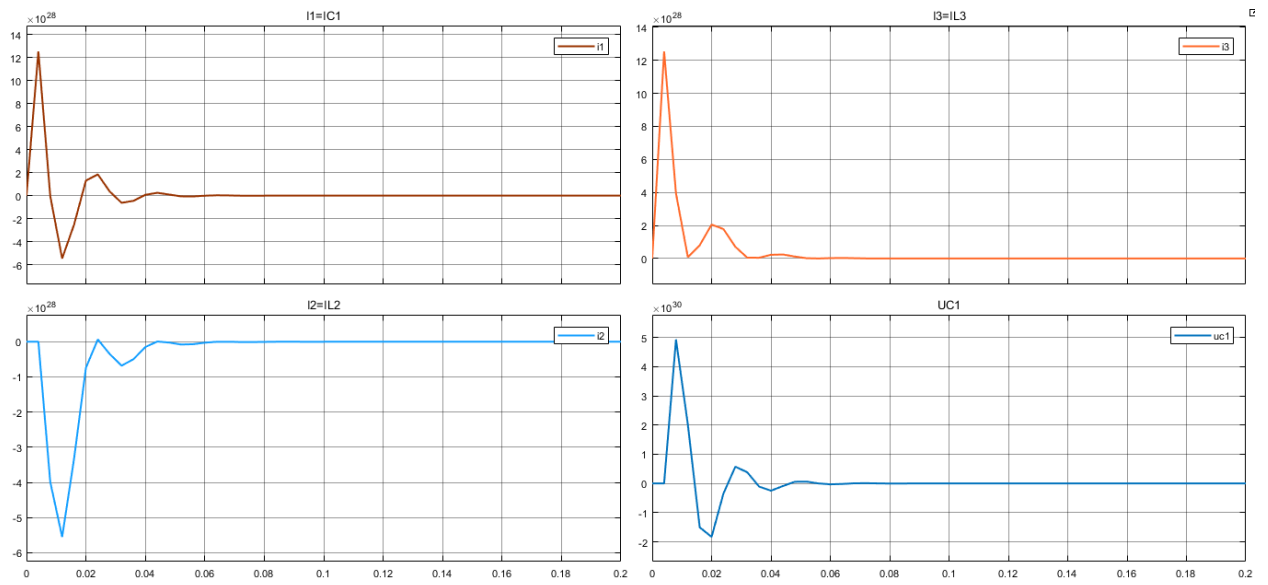


Рисунок 3 – Результаты моделирования с помощью решателя ode8

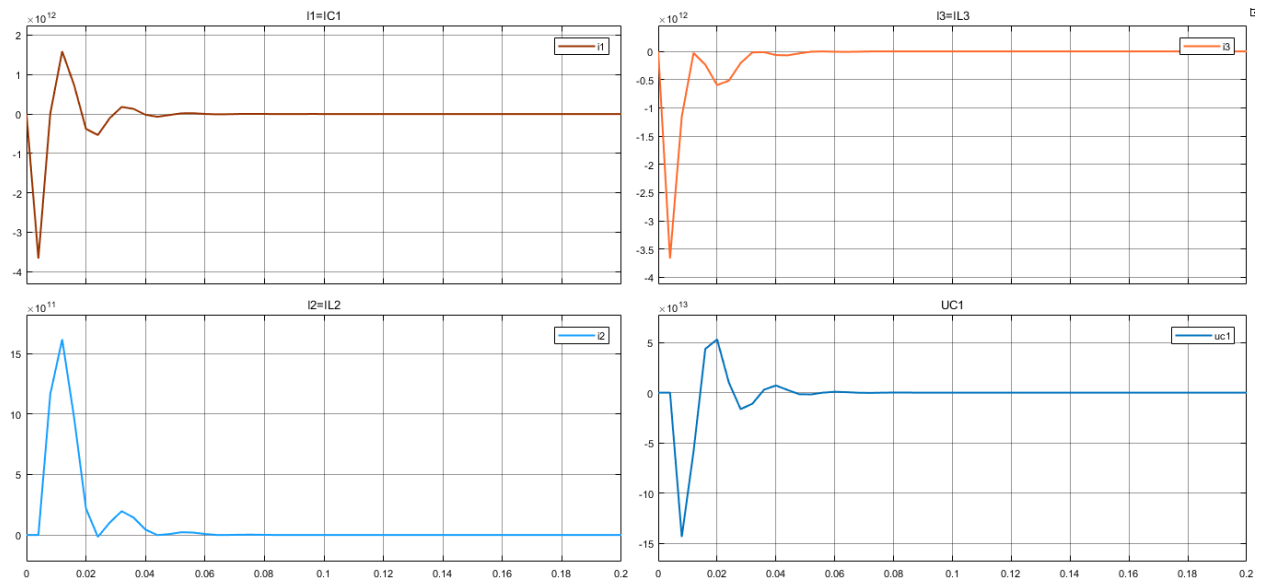


Рисунок 4 – Результаты моделирования с помощью решателя ode5

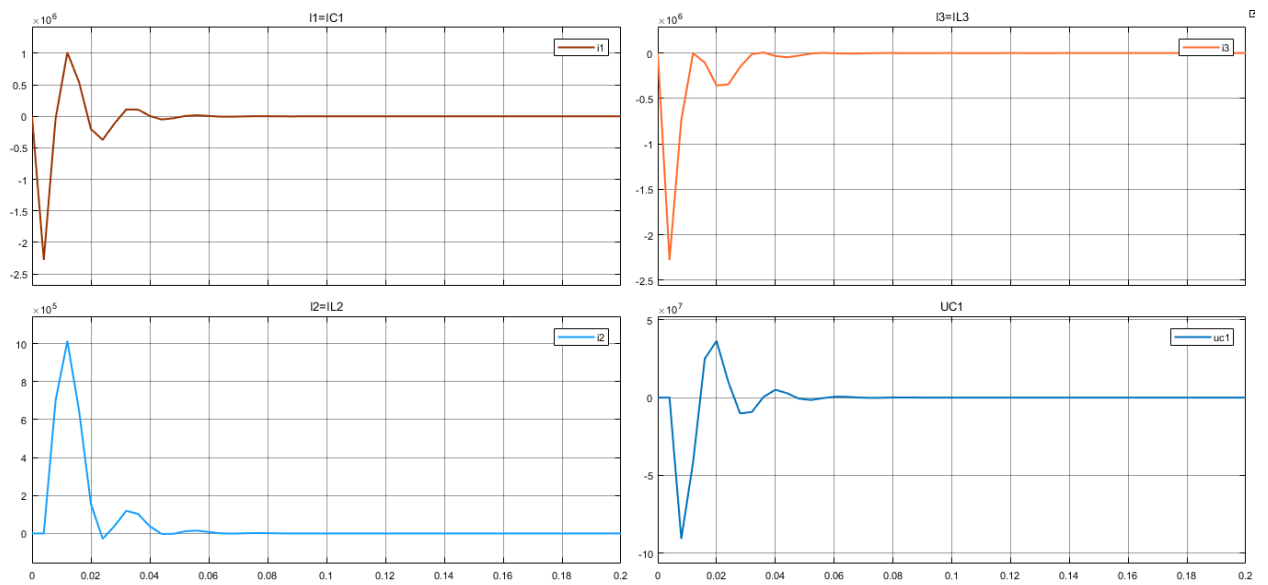


Рисунок 5 – Результаты моделирования с помощью решателя ode4

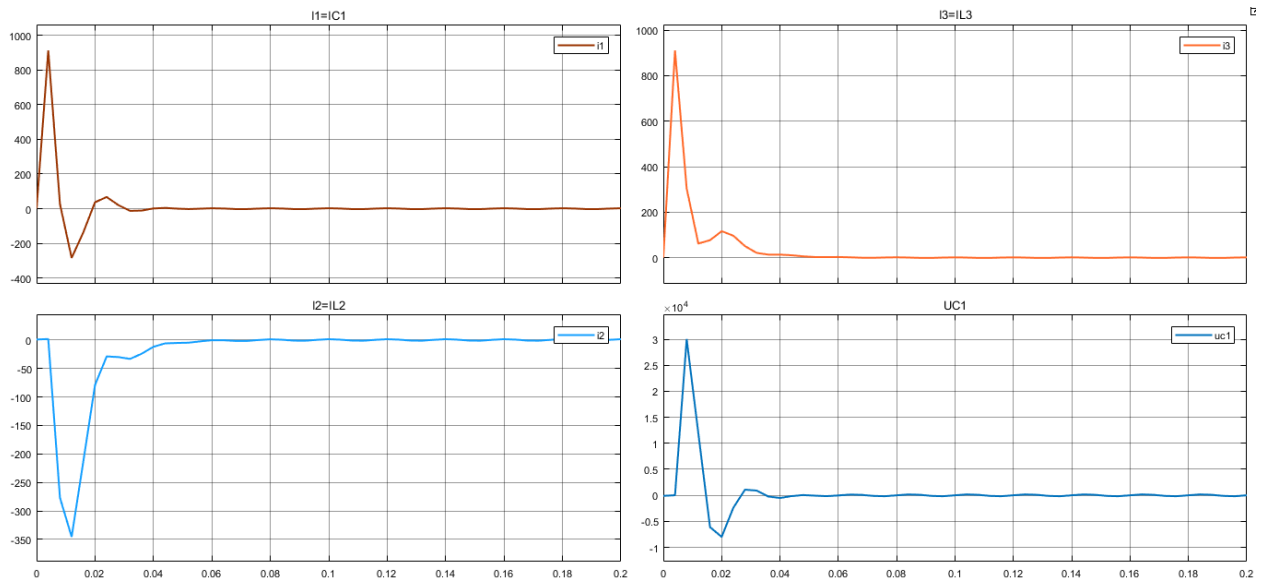


Рисунок 6 – Результаты моделирования с помощью решателя ode3

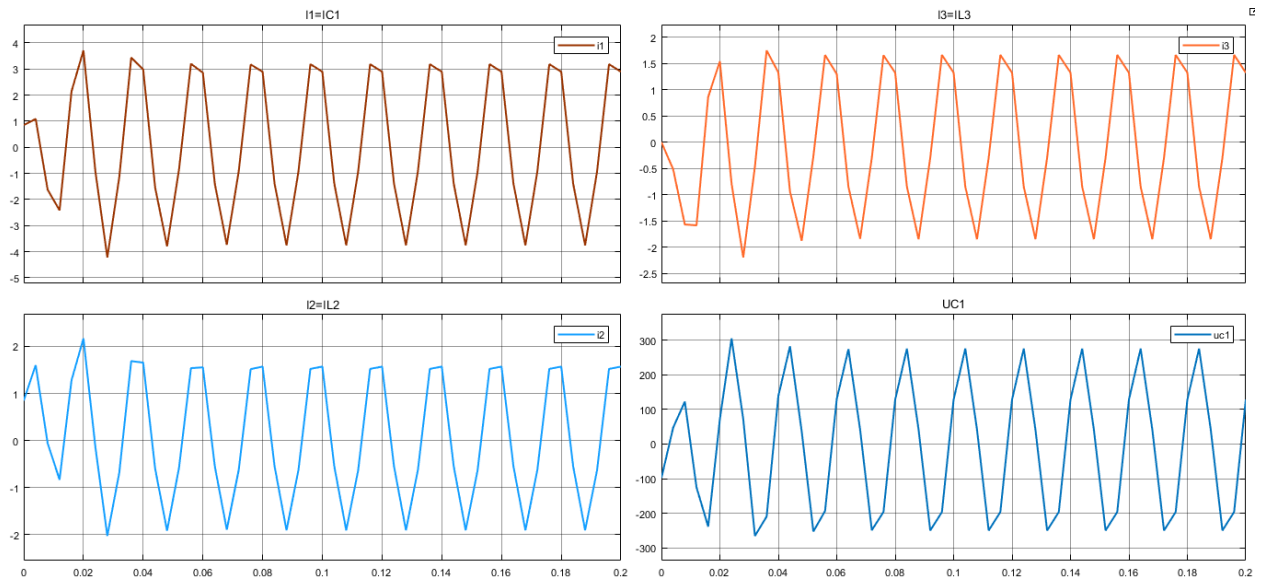


Рисунок 7 – Результаты моделирования с помощью решателя ode2

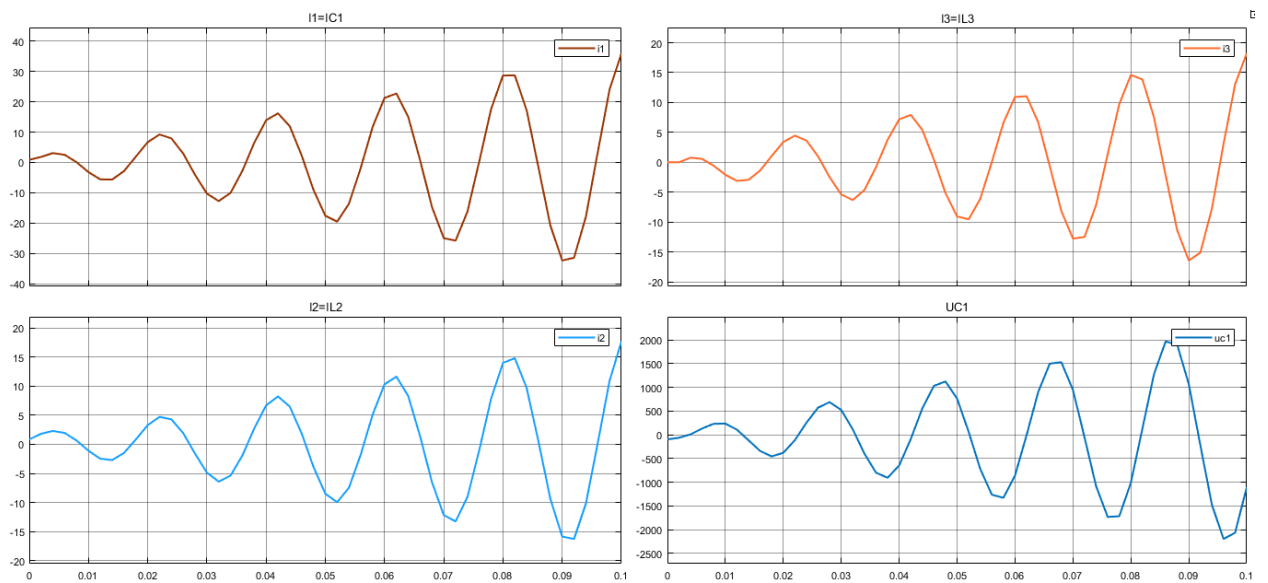


Рисунок 8 – Результаты моделирования с помощью решателя ode1

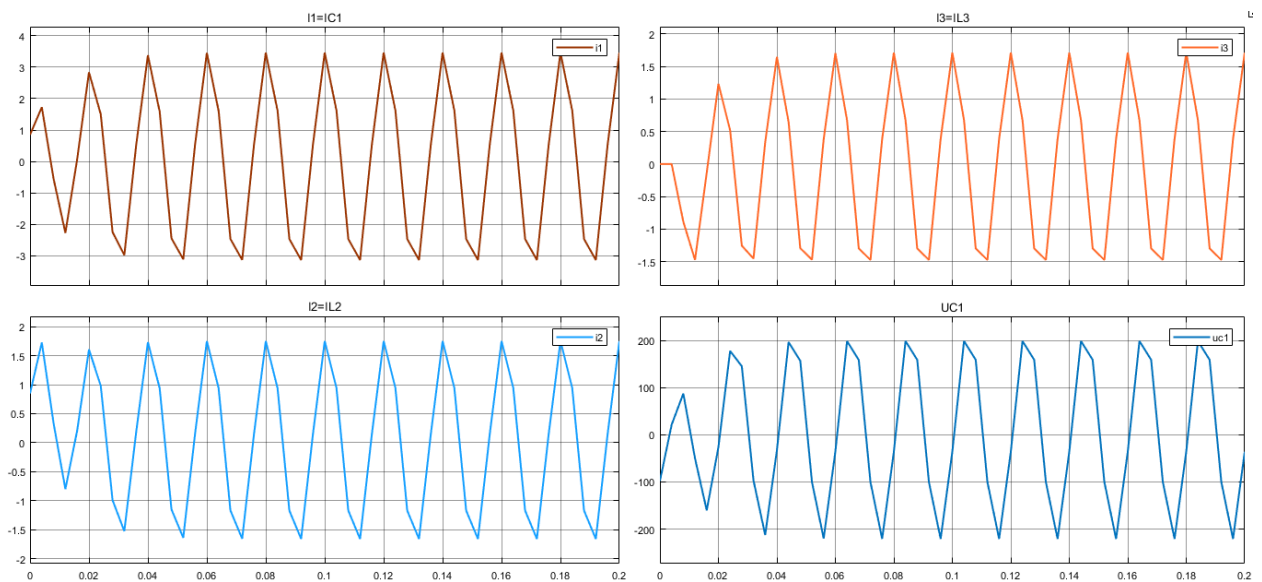


Рисунок 9 – Результаты моделирования с помощью решателя ode14x

На рисунках 3–9 приведены результаты моделирования переходного процесса с помощью различных решателей с фиксированным шагом:

- Решатель ode8 (Dormand-Prince) (рисунок 3).
- Решатель ode5 (Dormand-Prince) (рисунок 4).
- Решатель ode4 (Runge-Kutta) (рисунок 5).
- Решатель ode3 (Bogacki-Shampine) (рисунок 6).
- Решатель ode2 (Heun) (рисунок 7).
- Решатель ode1 (Euler) (рисунок 8). Время моделирования 0,1 с.
- Решатель ode14x (extrapolation) (рисунок 9).

Из полученных осциллограмм видно, что решатели ode8, ode5, ode4, ode3 для моделирования переходного процесса не являются настолько уточненными как, к примеру, ode2 и ode14x, т. к. осциллограммы, полученные с помощью данных решателей, приближены к осциллограммам с переменным шагом. Решатель ode1 является не эффективным для решения данной задачи.

Результатом выполненных исследований в [1] и в данной работе можно сделать вывод, что при моделировании переходных процессов в электрических схемах целесообразно использовать решатели с переменным шагом вычислений.

Литература

1. Русецкий, К. И. Исследование методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий, Р. А. Волон ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2019 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 5–7.
2. Русецкий, К. И. Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 427–432.

УДК 621.316

Динамический расчет опорных конструкций распределительных устройств

Зарихта К. С., Башаркевич Е.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Одной из задач динамического расчета опорных конструкций распределительных устройств является определение собственных частот колебаний ее элементов [1]. Это необходимо для исключения совпадения частот собственных и вынужденных их колебаний. В качестве возбудителей колебаний, в данном случае, выступают подвижные элементы конструкции – токоведущие части распределительного устройства. Следовательно, за частоты вынужденных колебаний принимаются частоты колебаний проводников при коротком замыкании. Для определения собственных частот могут применяться метод конечных элементов и аналитические выражения для расчета тонкостенных конструкций [4].

В качестве шинных опор токоведущих шин в распределительных устройствах обычно используются опорно-стержневые изоляторы. В качестве примера рассмотрим опорный изолятор марки ИОС-110-600. Высота изоляторов составляет 2,1 м, масса – 71 кг, а экспериментальный модуль упругости – 120 кг/м².

Для удобства математического описания задачи используется принцип связей механики, в соответствии с которым действие проводов на опорные изоляторы заменяются реакциями связей. После этого рассматриваются затухающие колебания опорных конструкций под действием приложенных от проводов динамических сил.

При определении динамических прогибов изоляторов в разных плоскостях используется принцип независимости действия сил. Под действием составляющих динамической силы по осям x и y опорный изолятор совершает вынужденные поперечные колебания. Количество учитываемых в расчете гармоник собственных колебаний зависит от принятой погрешности расчета. Для вычисления поперечной силы с погрешностью 3 % необходимо удерживать не менее 11 гармоник. Значения частот собственных колебаний для опорного изолятора марки ИОС-110-600 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты собственных колебаний изолятора ИОС-110-600

Гармоника	Частота, рад/с	Частота, Гц	Период, с
1	0,137039	0,0218104	45,8497
2	0,690178	0,109845	9,10372
3	2,01333	0,320432	3,12079
4	4,14706	0,660025	1,5151
5	5,84133	0,929676	1,07564
6	9,52309	1,51565	0,659785
7	11,7949	1,87721	0,532705
8	14,2885	2,27408	0,439738
9	27,1959	4,32837	0,231034
10	41,1465	6,54867	0,152703
11	53,9142	8,58072	0,11654
12	73,6495	11,7217	0,085312
13	89,879	14,3047	0,0699071
14	108,186	17,2181	0,0580783

Экспериментально доказано, что упругая система с распределёнными параметрами и малым демпфированием при гармоническом возбуждении испытывает резонансные колебания на некоторых явно выраженных характерных частотах [4]. Каждой такой резонансной или собственной частоте соответствует собственная или нормальная форма распределения амплитуд колебаний изолятора. Характерные собственные формы прогибов и связанные с ними частоты определяются геометрической формой и размерами самого

изолятора, не зависят от внешних нагрузок и являются весьма важными динамическими характеристиками распределения его инерционных и жесткостных свойств.

В [3] приведены результаты численного расчета резонансных частот изолятора типа ИОС-110-400 в частотном диапазоне до 10000 Гц. Формы колебаний изолятора представлены на рисунках 1–4 и в таблице 2.

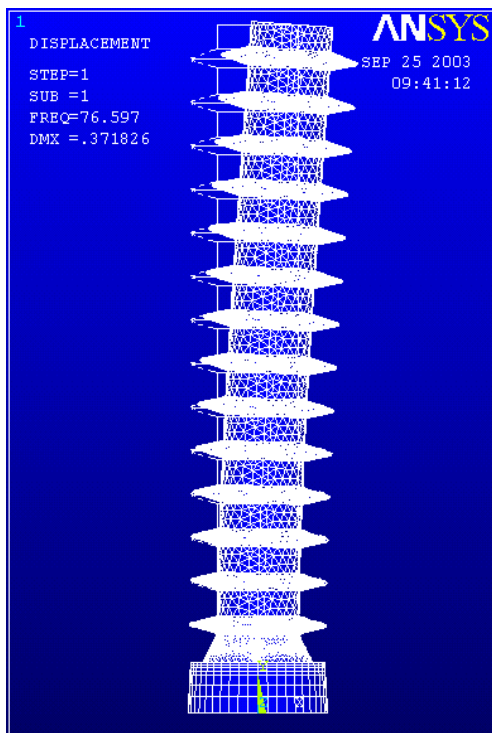


Рисунок 1 – 1-я собственная форма колебаний

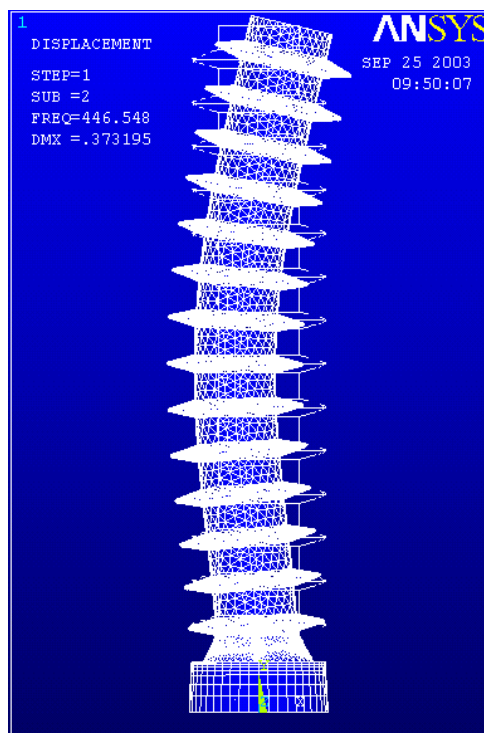


Рисунок 2 – 2-я собственная форма колебаний

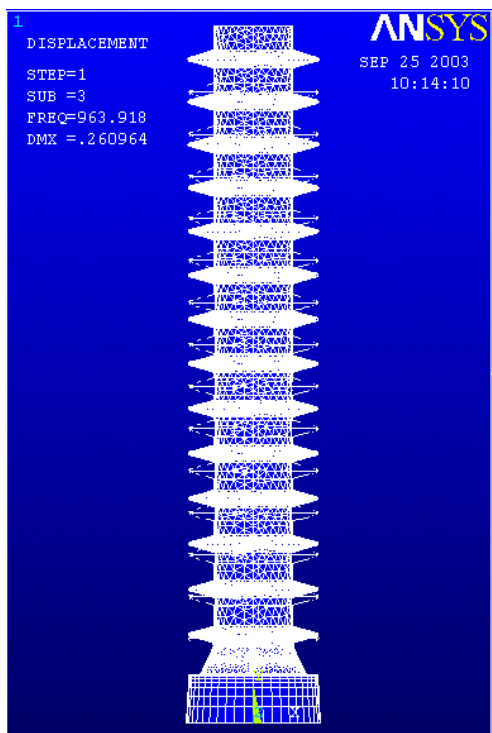


Рисунок 3 – 3-я собственная форма колебаний

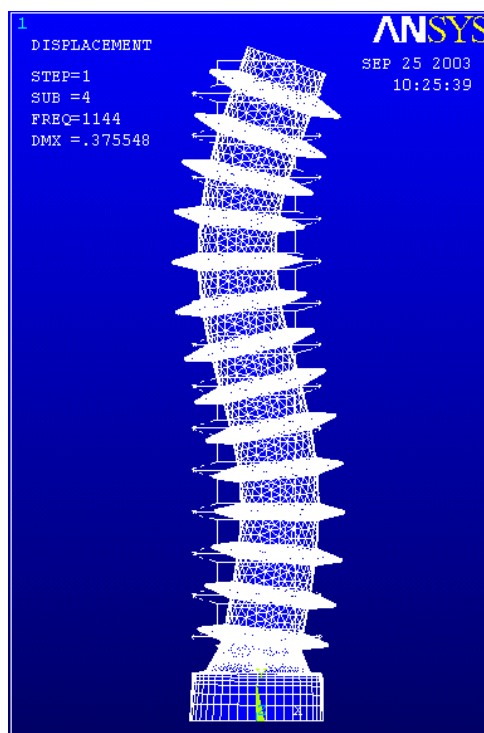
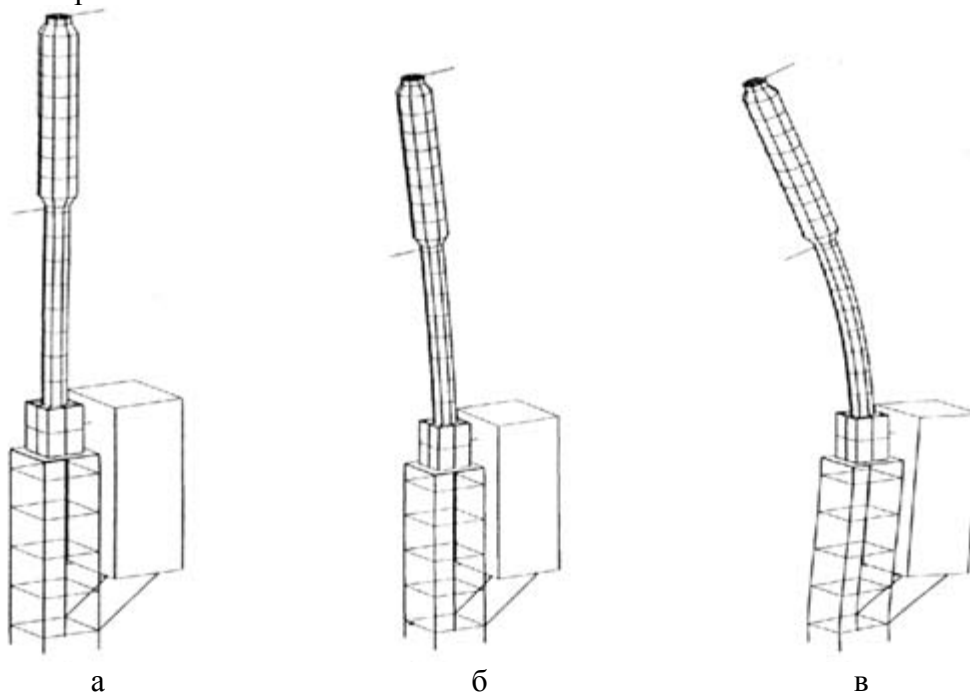


Рисунок 4 – 4-я собственная форма колебаний

Таблица 2 – Резонансные частоты собственных форм колебаний изолятора ИОС-110-400

Порядковый номер формы колебаний	Частота, Гц	Порядковый номер формы колебаний	Частота, Гц
1	76,6	9	4825,8
2	444,3	10	5101,6
3	965,2	11	6105
4	1141,3	12	6756,1
5	2014,6	13	7085,5
6	2857,2	14	8004,7
7	2964,4	15	8686,4
8	4075,1	16	9023,5

На рисунке 5 изображены первая и вторая собственные формы колебаний элегазового выключателя напряжением 245 кВ.



а – нормальное состояние аппарата;
 б – первая собственная форма (3,4 Гц); в – вторая собственная форма (20,3 Гц)
 Рисунок 5 – Собственные формы колебаний выключателя 245 кВ

Практический интерес при расчете динамики проводов на опорных изоляторах представляет определение наибольших перерезывающих сил и моментов с целью определения опасных сечений, в которых возникают наибольшие касательные и нормальные напряжения. Построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента является одним из основных этапов при расчете конструкций на изгиб. По эпюрам определяется опасное сечение, т. е. сечение в котором может произойти разрушение изолятора.

Литература

1. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 2000. – 252 с.
2. Писаренко, Г. С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала / Г. С. Писаренко. – Киев : Наукова думка, 1970. – 379 с.
3. Д 427618-003-30992818-2018. Мобильный индикаторный комплекс модели МИК-1 и МИК-2 : методические указания. – Екатеринбург : НПО "Логотех", 2018. – 70 с. УДК 621.3

Влияние расположения компенсирующих устройств на распределение потоков мощности в электрической сети

Волов Р. А., Русецкий К.И.

Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Изменение параметров системы электропередачи является средством повышения дальности и мощности передачи электроэнергии переменным током. Изменение параметров системы электропередачи используется для получения допустимого режима электропередачи, т. е. передачи, требуемой согласно графикам нагрузки активной мощности, а также для обеспечения нахождения напряжения узлов в допустимых пределах. Это означает, что регулирование параметров линий электропередачи означает:

– при проектировании – выбор способа компенсации, а также настройки выбранных компенсирующих устройств на необходимые параметры (например, мощность синхронного компенсатора или батарей конденсаторов) для обеспечения необходимого режима линий электропередачи в различных ситуациях;

– при эксплуатации – если изменился режим электропередачи, то изменяем параметры компенсирующих устройств для обеспечения необходимого режима электропередачи.

В изменение параметров электропередачи входит:

– регулирование режимных параметров (напряжений в узлах и потоков реактивной мощности);

– регулирование схемных параметров линий (индуктивного сопротивления и емкостной проводимости линий электропередачи).

Одним из способов регулирования параметров линий электропередачи в настоящее время является использование сосредоточенных компенсирующих устройств.

Компенсирующие устройства – это электроустановки, предназначенные для компенсации реактивных параметров сетей (индуктивного сопротивления линий электропередачи переменному току) и реактивной мощности, потребляемой нагрузками и элементами электрической системы.

Все компенсирующие устройства в зависимости от назначения можно разделить на две группы:

– поперечной компенсации;

– продольной компенсации.

К устройствам поперечной компенсации относят:

– синхронные компенсаторы (СК);

– батареи конденсаторов (БК);

– шунтирующие реакторы (ШР);

– статические компенсаторы (СТК);

– дугогасящие реакторы (ДГР).

К устройствам продольной компенсации относят:

– батареи конденсаторов (БК);

– токоограничивающие реакторы (ТОР).

Устройства поперечной компенсации предназначены для выработки или потребления реактивной мощности с целью обеспечения в электрической сети баланса реактивной мощности (кроме дугогасящих реакторов).

Устройства продольной компенсации служат для изменения реактивного сопротивления электрической сети.

На рисунках 1 и 2 представлены наиболее применяемые в настоящее время тиристорные устройства продольной и поперечной компенсации. В компенсирующем устройстве поперечной компенсации конденсаторная группа (КГ) и тиристорно-реакторная группа (ТРГ) подключаются через автотрансформатор (АТ). Через трансформатор напряжения (ТН) подключается автоматический регулятор (АР), который следит за изменением напряжения в линии и при необходимости регулирует потребление или выдачу

реактивной мощности для поддержания напряжения на необходимом уровне. Регулируемая продольная компенсация может быть осуществлена по различным схемам [2].

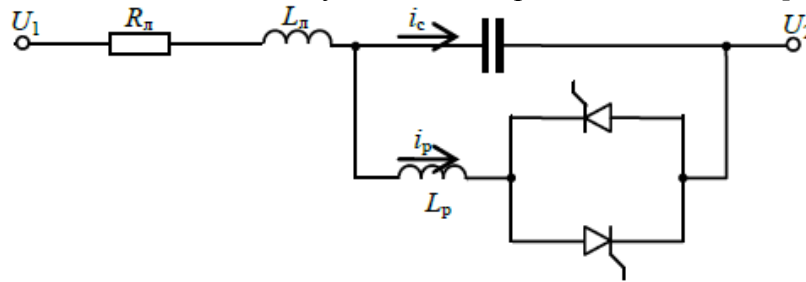


Рисунок 1 – Схема тиристорного устройства продольной компенсации

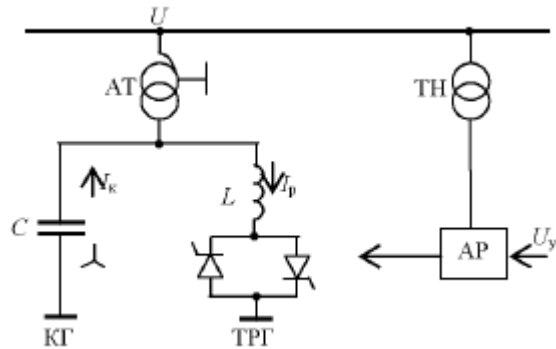


Рисунок 2 – Схема тиристорного устройства поперечной компенсации

Рассмотрим влияние расположения компенсирующих устройств в электрической сети, представленной на рисунке 3 (расчеты будем проводить в программе RastWin). В данной электрической сети имеется узел генерации, балансирующий узел и нагрузочные узлы. Сеть напряжением 220 кВ. На рисунке 3 представлены величины нагрузок, генерации и потоки мощности по линиям электропередачи.

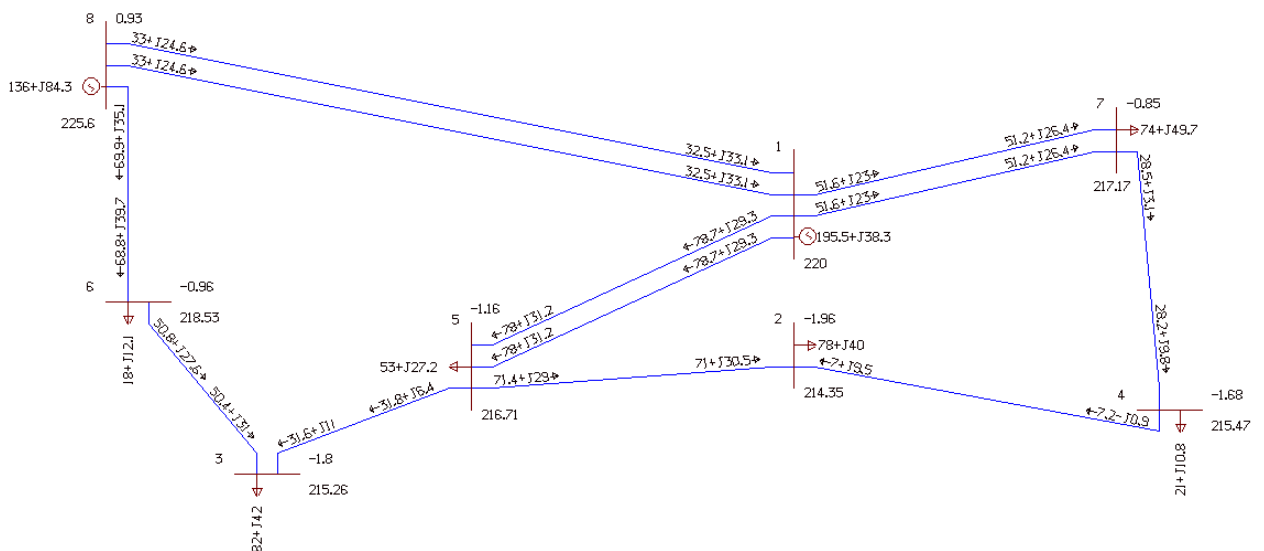


Рисунок 3 – Конфигурация сети

Проведя анализ результатов расчета, установим генерацию реактивной мощности в узле 2 равной 50 Мвар (рисунок 4).

После установки компенсирующего устройства напряжение в узле 2 увеличилось, также напряжение поднялось в соседних узлах. Это достигается за счет снижения передачи реактивной мощности по линиям, а это в свою очередь снижает падение напряжения.

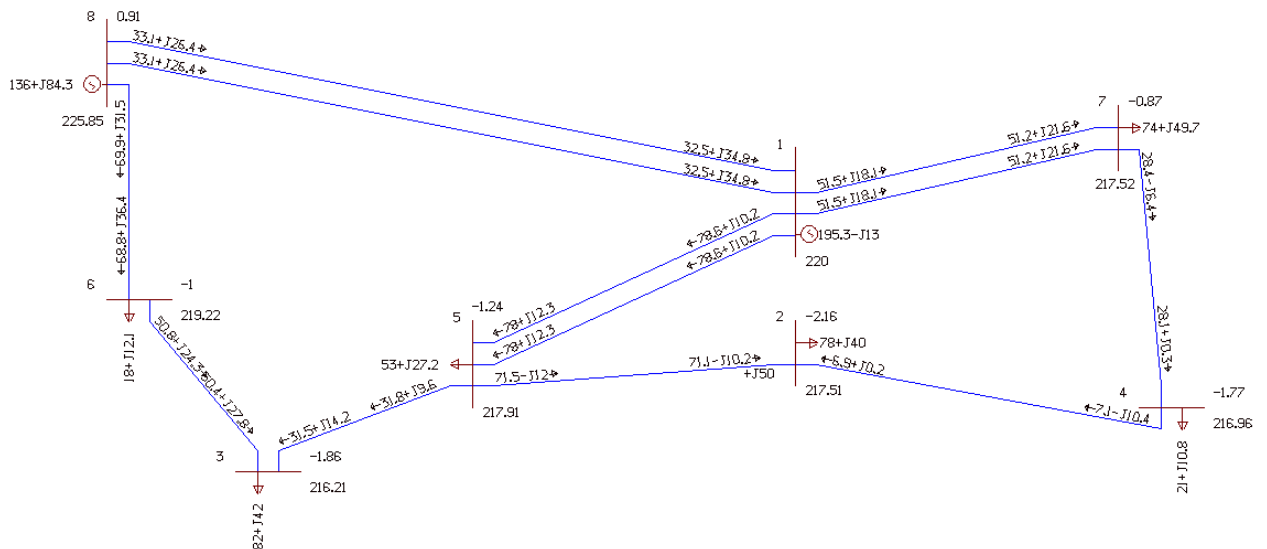


Рисунок 4 – Расчет сети при установке КУ мощность 50 Мвар в узле 2

Также установка компенсирующих устройств позволяет сохранить напряжения в узлах при аварийных режимах, когда какая-либо из линий при аварии отключится или выйдет на ремонт (рисунок 5), отключена линия 4–7. Как видим, напряжения в узлах находятся в допустимых пределах.

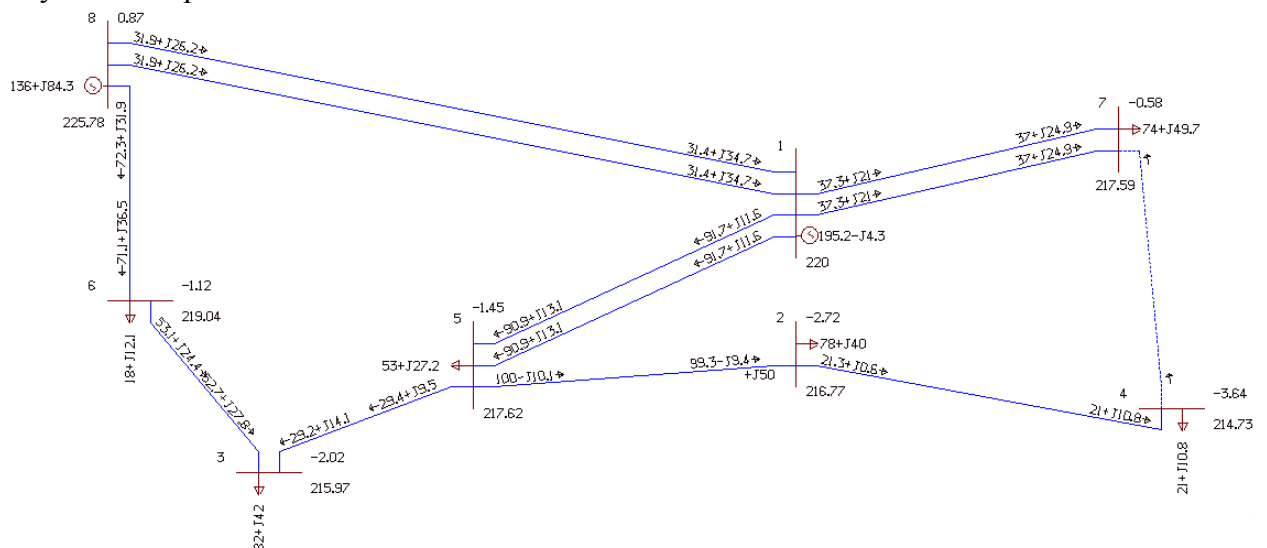


Рисунок 5 – Расчет режима при отключенной линии 4–7

Таким образом, компенсирующие устройства применяются для регулирования потоков мощности в электрических сетях, в частности потоков реактивной мощности. При установке КУ в узлах, снижается падение напряжения в линиях за счет снижения передачи реактивной мощности по линиям. КУ являются достаточно эффективными устройствами для управления линиями.

Литература

1. Поспелов, Г. Е. Применение управляемых гибких линий электропередачи в электрических сетях энергосистем / Г. Е. Поспелов, Т. Г. Поспелова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – № 5. – С. 5–9.
2. Поспелов, Г. Е. Эффективность компенсирующих устройств для управления параметрами и режимами электрических сетей и их регулирования / Г. Е. Поспелов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2007. – № 4. – С. 5–13.

УДК 621.3

Влияние расположения емкости в электрической цепи при исследовании переходных процессов в простейших цепях с переменным источником питания

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

В [1] выполнены исследования переходных процессов в электрической цепи, представленной на рисунке 1, с переменным источником питания. В данной работе выполним оценку влияние расположения конденсатора в схеме на протекание переходного процесса. Также рассмотрим влияние расположения ключей в исследуемой схеме и их первоначального состояния.

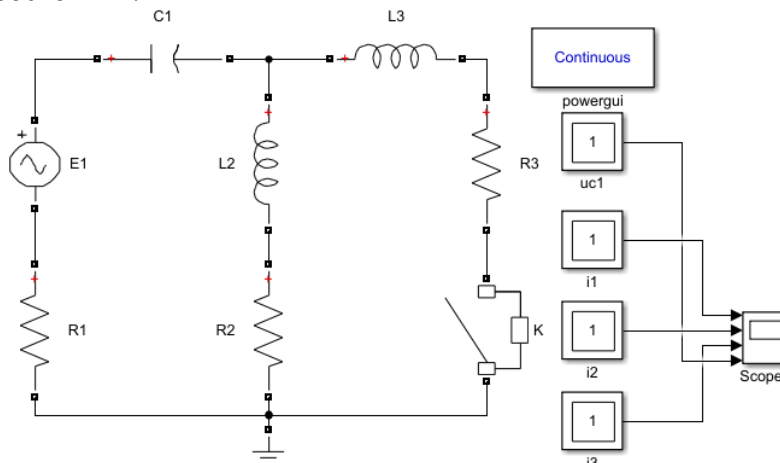


Рисунок 1 – Расчетная схема с постоянным источником питания

На схеме ключ замыкается при $t = 0$, т. е. в момент включения источника питания. Произведем расчет модели и получим осциллограммы токов по ветвям и напряжения на конденсаторе (рисунок 3). В этом случае конденсатор находится в ветви источника питания.

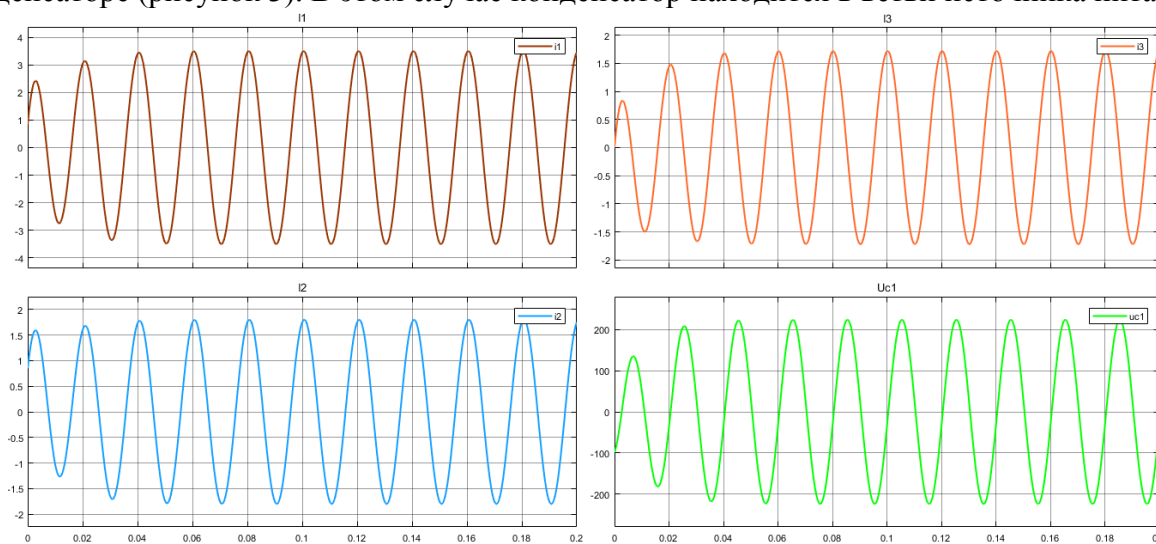


Рисунок 3 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе

Произведем изменение в исходной схеме (рисунок 2). Изменим положение конденсатора C_1 и катушки L_2 (рисунок 4). Произведем расчет и получим токи в ветвях реактивных элементов и напряжение в ветви конденсатора, который представлены на рисунке 5. Как видно из осциллограмм, амплитудные значения токов в ветвях и напряжения на конденсаторе уменьшилось, что связано с расположением нашего конденсатора.

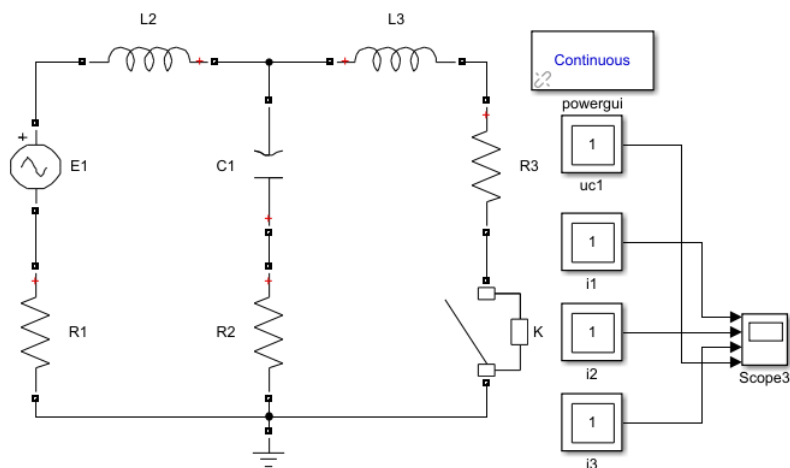


Рисунок 4 – Расчетная схема с измененным расположением элементов

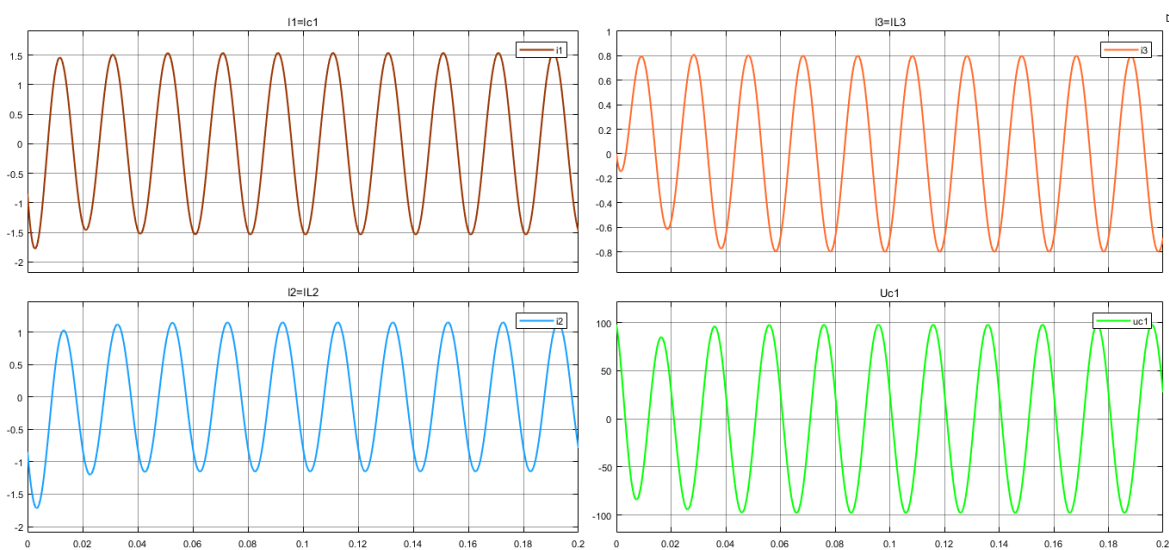


Рисунок 5 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе

Преобразуем вариант схемы (рисунок 4) так, чтобы ветвь конденсатор после завершения переходного процесса шунтировалась (рисунок 6). Ключ К замыкаем в момент включения схемы. По осциллограммам, представленным на рисунке 5, определяем примерное время окончания переходного процесса, которое равно 0,04 с. В это же время замыкаем ключ К1 и этим шунтируем ветвь, содержащую емкость.

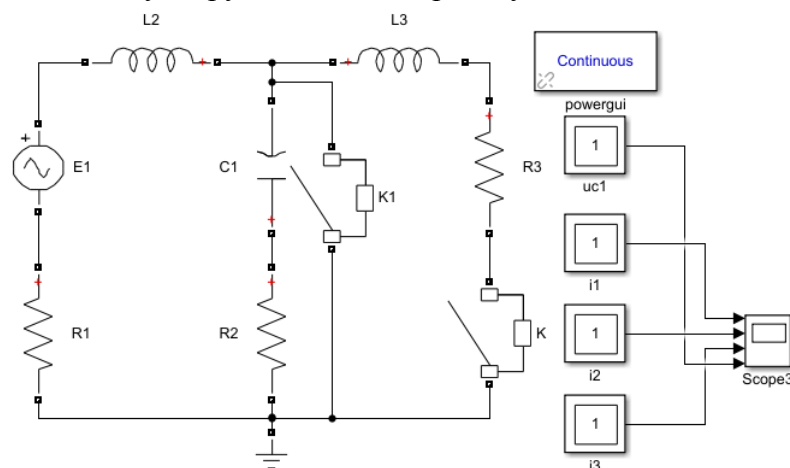


Рисунок 6 – Схема с шунтированием ветви конденсатора

Полученные осциллограммы токов на реактивных элементах и напряжения на конденсаторе представлены на рисунке 7.

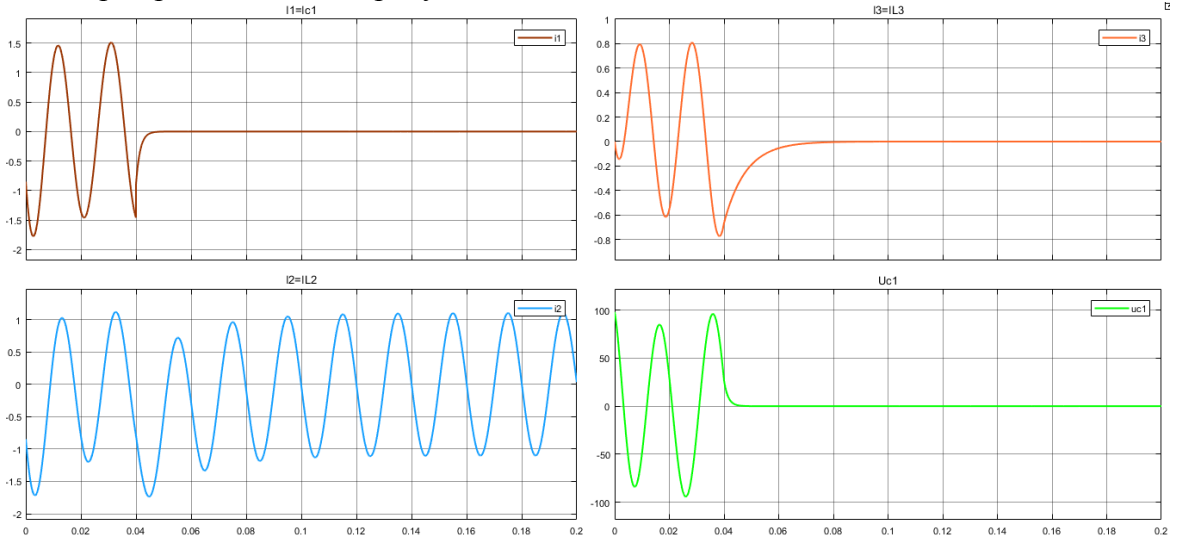


Рисунок 7 – Осциллограммы токов в ветвях реактивных элементов и напряжения на конденсаторе

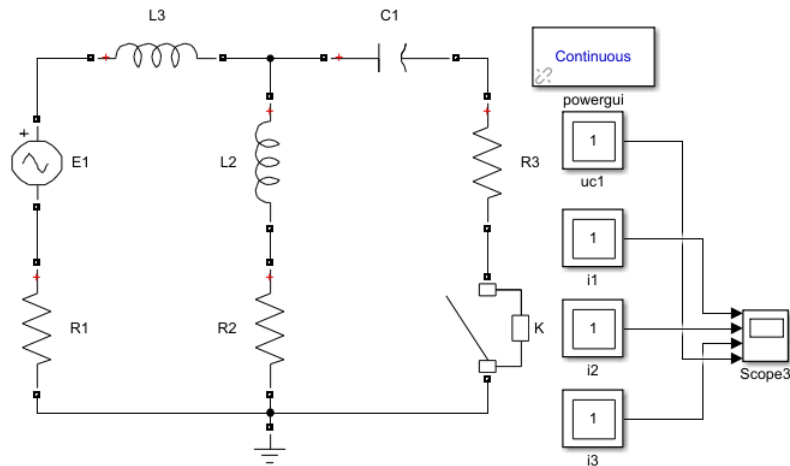


Рисунок 7 – Измененная расчетная схема

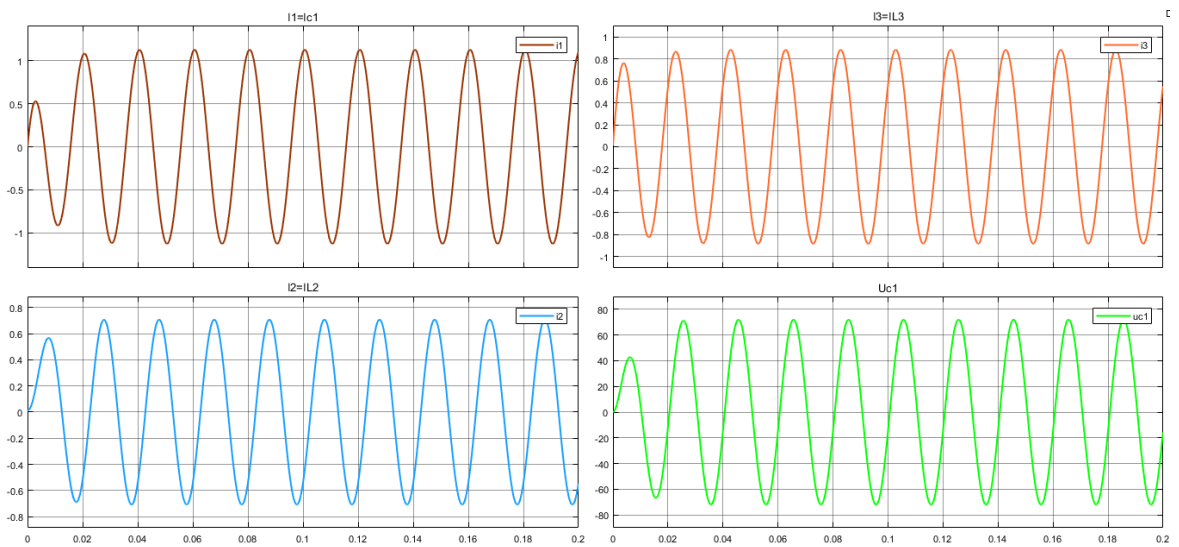


Рисунок 8 – Осциллограммы токов в ветвях катушек и конденсатора, а так же напряжения на конденсаторе

Как видно из осциллограммы ветви тока i_1 конденсатора C_1 при ее шунтировании происходит сам переходный процесс, который затухает по экспоненте. После завершения переходного процесса ток и напряжение на конденсаторе установились в нулевом значении. Так же шунтируется и ветвь с катушкой L_3 , так же происходит экспоненциальное затухание тока в ветви данной катушки.

При выполнении дальнейших исследований внесем в схему, представленную на рисунке 2, поменяв местами конденсатор C_1 и катушку L_3 (рисунок 7). Осциллограммы к данной схеме по токам на реактивных элементах и напряжению на конденсаторе приведены на рисунке 8.

В ходе выполнения исследований выявлено, что протекание переходного процесса в данных схемах при одних и тех же параметрах на элементах происходит за сотые доли секунды без каких-либо резких скачков напряжения или тока. Таким образом, протекание переходного процесса никак не скажется на дальнейшей работе элементов системы.

Литература

1. Русецкий, К. И. Сопоставление результатов расчета переходного процесса, выполненных численными методами на языке высокого уровня, в системе компьютерной алгебры MathCAD и в системе динамического моделирования MatLab Simulink / К. И. Русецкий ; науч. рук. И. В. Новаш // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост. : И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 427–432.

УДК 621.3

Высоковольтные выключатели низкого и среднего напряжения

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.
Научный руководитель – КОНОХОВ М.С.

Высоковольтные выключатели по уровню напряжения подразделяются на низкого (до 6 кВ), среднего (10–35 кВ) и высокого классов напряжения (35 кВ и выше).

Вакуумные выключатели.

Выключатель, в котором в качестве дугогасительной среды использовался вакуум, называется вакуумным выключателем. В этом автоматическом выключателе неподвижный и подвижный контакт заключен в герметичный вакуумный прерыватель. Дуга погасла, поскольку контакты разделены в высоком вакууме. Он в основном используется для среднего напряжения в диапазоне от 11 кВ до 33 кВ.

Вакуумный автоматический выключатель имеет высокую изоляционную среду для гашения дуги по сравнению с другим автоматическим выключателем. Давление внутри вакуумного прерывателя составляет приблизительно 10^{-4} торрента, и при этом давлении в прерывателе присутствует очень мало молекул. Вакуумный выключатель имеет в основном два феноменальных свойства.

Высокая прочность изоляции: по сравнению с различными другими изоляционными средами, используемыми в вакуумном выключателе, это превосходная диэлектрическая среда. Это лучше, чем все другие среды, кроме воздуха и SF₆, которые используются при высоком давлении.

Когда дуга открывается, раздвигая контакты в вакууме, происходит прерывание при первом нулевом токе. При прерывании дуги их электрическая прочность увеличивается в тысячи раз по сравнению с другими выключателями.

Два вышеупомянутых свойства делают дробилки более эффективными, менее громоздкими и дешевыми по стоимости. Их срок службы также намного больше, чем у любого другого автоматического выключателя, и почти не требуется техническое обслуживание.

Он очень прост по конструкции по сравнению с любым другим автоматическим выключателем. Их конструкция в основном разделена на три части, а именно: неподвижные контакты, подвижный контакт и защитный экран, который расположен внутри камеры прерывания дуги.

Внешняя оболочка вакуумного выключателя выполнена из стекла, поскольку стеклянная оболочка помогает при осмотре выключателя снаружи после операции. Если стекло становится молочным от первоначальной отделки серебристого зеркала, это указывает на то, что выключатель теряет вакуум.

Неподвижные и подвижные контакты выключателя находятся внутри дугового щитка. Подвижные контакты выключателя перемещаются на расстояние от 5 до 10 мм в зависимости от рабочего напряжения.

Металлический сильфон из нержавеющей стали используется для перемещения подвижных контактов. Конструкция металлического сильфона очень важна, поскольку срок службы вакуумного выключателя зависит от способности компонента удовлетворительно выполнять повторяющиеся операции.

Когда в системе возникает неисправность, контакты выключателя раздвигаются, и поэтому между ними возникает дуга. Когда токоведущие контакты разъединяются, температура их соединительных частей очень высокая, из-за чего происходит ионизация. Из-за ионизации контактное пространство заполняется парами положительных ионов, которые выводятся из контактного материала.

Плотность пара зависит от тока в дуге. Из-за уменьшающейся моды волны тока скорость их испарения падает, и после нулевого тока среда восстанавливает свою диэлектрическую прочность при условии уменьшения плотности пара вокруг контактов.

Следовательно, дуга не перезапускается снова, потому что пары металла быстро удаляются из зоны контакта.

Прерывание тока в вакуумном выключателе зависит от давления пара и свойств электронной эмиссии материала контакта. На уровень измельчения также влияет теплопроводность – чем ниже теплопроводность, тем ниже уровень измельчения.

Можно снизить уровень тока, при котором происходит прерывание, путем выбора контактного материала, который выделяет достаточное количество паров металла, чтобы ток мог прийти к очень низкому или нулевому значению, но это редко делается, поскольку это отрицательно влияет на диэлектрическую прочность.

Высокий вакуум обладает чрезвычайно высокой диэлектрической прочностью. При нулевом токе дуга гасится очень быстро, а диэлектрическая прочность устанавливается очень быстро. Это возвращение диэлектрической прочности происходит из-за испарения металла, который локализуется между контактами, быстро диффундирует из-за отсутствия молекул газа.

Из-за вышеупомянутого атрибута вакуумного выключателя он способен без каких-либо трудностей справляться с серьезными переходными процессами восстановления, связанными с короткими замыканиями.

Материал контактов вакуумного выключателя должен обладать следующими свойствами:

1. Материал должен иметь высокую электрическую проводимость, чтобы пропускать токи нормальной нагрузки без перегрева.
2. Материал контакта должен иметь низкое сопротивление и высокую плотность.
3. Материал должен обладать высокой теплопроводностью, чтобы быстро рассеивать большое тепло, выделяемое при искрении.
4. Материал должен обладать высокой способностью выдерживать дугу и низким уровнем тока прерывания.

Преимущества вакуумного выключателя.

Вакуумный выключатель не требует дополнительного наполнения маслом или газом. Они не нуждаются в периодическом пополнении.

Быстрое восстановление высокой диэлектрической прочности при прерываниях тока, при которых происходит только половина цикла или меньше искрения после надлежащего разделения контактов.

Выключатель компактен и автономен. Он может быть установлен в любой необходимой ориентации.

Из-за вышеупомянутых причин наряду с предлагаемым экономическим преимуществом вакуумный выключатель имеет высокую популярность.

Из недостатков следует выделить следующее:

Требования высоких технологий для производства вакуумных прерывателей.

Для прерывания малых токов намагничивания в определенном диапазоне необходимы дополнительные ограничители перенапряжения.

Потеря вакуума из-за повреждения или поломки при транспортировке делает весь прерыватель бесполезным, и его нельзя починить на месте.

Из-за короткого зазора и отличного восстановления вакуумного выключателя они очень полезны в качестве переключателей с очень высокой скоростью во многих промышленных применениях.

Когда напряжение высокое и ток для прерывания низкий, эти выключатели имеют определенное преимущество над другими выключателями.

Для малых мощностей прерывания отказов стоимость является низкой по сравнению с другими устройствами прерывания.

Из-за минимальных требований к техобслуживанию, эти выключатели очень подходят для системы, которая требует напряжения от 11 до 33 кВ.

Масляные выключатели.

Масляный автоматический выключатель – это такой тип автоматического выключателя, который использовал масло в качестве диэлектрической или изолирующей среды для гашения дуги. В масляном выключателе контакты выключателя разделены внутри изоляционного масла. Когда в системе возникает неисправность, контакты выключателя размыкаются под изолирующим маслом, и между ними возникает дуга, и тепло дуги испаряется в окружающем масле. Масляный выключатель делится на две категории: баковые и маломаслянные. Строительство масляного выключателя

Масляный выключатель очень прост в конструкции. Он состоит из токоведущих контактов, заключенных в прочный, защищенный от атмосферных воздействий заземляющий металлический резервуар, и резервуар заполнен трансформаторным маслом. Масло действует как дугогасительная среда и как изолятор между токоведущей частью и землей.

В верхней части масла воздух заполнен в баке, который действует как подушка для контроля вытесненного масла при образовании газа вокруг дуги, а также для поглощения механического удара при движении масла вверх. Бак выключателя надежно закреплен болтами для вибрации, возникающей при прерывании очень высокого тока. Масляный выключатель состоит из выхода газа, который установлен в крышке бака для удаления газов.

Принцип работы масляного выключателя.

В нормальных условиях работы контакт масляного выключателя замкнут и проводит ток. Когда в системе возникает неисправность, контакты выключателя раздвигаются, и между контактами возникает дуга. Благодаря этой дуге выделяется большое количество тепла, и достигается очень высокая температура, которая испаряет окружающую нефть в газ. Освобожденный таким образом газ окружает дугу, и его взрывной рост вокруг нее сильно вытесняет нефть. Дуга гаснет, когда расстояние между неподвижным и подвижным контактом достигает определенного критического значения, зависит от тока дуги и напряжения восстановления.

Масляный выключатель очень надежен в эксплуатации и очень дешев. Наиболее важной особенностью масляного выключателя является то, что не используются специальные устройства для контроля дуги, вызванной движущимся контактом. Масло как дугогасящая среда имеет определенные преимущества и недостатки.

Преимущества нефти как гашение дуги:

1. Масло обладает высокой диэлектрической прочностью и обеспечивает изоляцию между контактами после того, как дуга погасла.
2. Масло, используемое в автоматическом выключателе, обеспечивает небольшой зазор между проводниками и компонентами заземления.
3. Газообразный водород образуется в резервуаре, который имеет высокую скорость диффузии и хорошие охлаждающие свойства.

Недостатки нефти как гашение дуги:

1. Масло, используемое в масляном выключателе, является легковоспламеняющимся и, следовательно, может привести к пожару.
2. Существует риск образования взрывоопасной смеси с воздухом.
3. Из-за разложения масла в дуге образуются частицы углерода, которые загрязняют нефть, и, следовательно, диэлектрическая прочность масла уменьшается.

Техническое обслуживание масляного выключателя.

После прерывания прерывателем тока короткого замыкания иногда их контакты могут сгореть из-за искрения. Кроме того, диэлектрическое масло обугливается в области контактов, тем самым теряя свою диэлектрическую прочность. Это приводит к снижению отключающей способности выключателя. Поэтому обслуживание масляного выключателя необходимо для проверки и замены масла и контактов.

Воздушные выключатели.

В качестве прерывателя дуги в воздушном выключателе использовался сжатый воздух или газ. В воздушном взрыве сжатый воздух выключателя хранится в резервуаре и

выпускается через сопло для создания высокоскоростной струи; это используется, чтобы погасить дугу. Воздушные выключатели используются для внутренних работ в области высокого напряжения и средней разрывной мощности. Обычно до напряжений 15 кВ и разрывных мощностей до 2500 МВА. Воздушный выключатель в настоящее время используется в высоковольтных цепях на открытом распределительном участке для линий 220 кВ. Хотя газы, такие как углекислый газ, азот, фреон или водород, используются в качестве среды для прерывания дуги, сжатый воздух является приемлемой средой для размыкания цепи для газовых взрывателей. Причины приведены ниже. Отключающие способности азота аналогичны сжатому воздуху и, следовательно, не имеют преимуществ его использования. Недостаток диоксида углерода заключается в том, что его трудно контролировать из-за замерзания на клапанах и других ограниченных проходах. Фреон обладает высокой диэлектрической прочностью и хорошими дугогасящими свойствами, но он дорог, и дуга распадается на кислотообразующие элементы. Воздушному взрыву нужна дополнительная система сжатого воздуха, которая подает воздух к воздушному ресиверу. Когда требуется открывающий воздух, сжатый воздух поступает в камеру гашения дуги. Это отталкивает движущиеся контакты. При этом контакты разрываются, и воздушный взрыв удаляет ионизированный газ вместе с ним и способствует гашению дуги. Воздушный взрыв гасит дугу в течение одного или нескольких циклов, и дуговая камера заполняется воздухом под высоким давлением, что предотвращает повторные зажигания. Воздушные выключатели подпадают под категорию внешнего тушения энергии. Энергия, подаваемая для гашения дуги, достигается за счет воздуха под высоким давлением, и она не зависит от тока, который должен быть прерван.

Все воздушные выключатели следуют принципу разделения своих контактов в потоке дуги, установленном открытием воздушного клапана. Протягиваемая дуга обычно быстро устанавливается по центру через сопло, где она удерживается на фиксированной длине и подвергается максимальному диапазону потока воздуха. Выключатели воздушного взрыва в зависимости от типа потока сжатого воздуха вокруг контактов бывают трех типов: осевой, радиальный и поперечный взрыв.

Осевой воздушный выключатель – в воздушном выключателе поток воздуха продольный вдоль дуги. Воздушный взрывной выключатель может быть однократным или двойным. Разрыв с использованием устройства с двойным взрывом иногда называют радиальными размыкателями, поскольку воздушный взрыв течет радиально в сопло или пространство между контактами.

Существенная особенность воздушного выключателя показана выше. Неподвижные и движущиеся контакты удерживаются в закрытом положении под давлением пружины при нормальных условиях эксплуатации. Резервуар для воздуха соединен с дугогасительной камерой через воздушный клапан, который открывается тройным импульсом

При возникновении неисправности импульс устроения вызывает открытие воздушного клапана, соединяющего резервуар с дугогасительной камерой. Воздух, поступающий в камеру дуги, оказывает давление на подвижные контакты, которые движутся, когда давление воздуха превышает силу пружины. Контакты разделены, и между ними образуется дуга. Воздух, проходящий с большой скоростью в осевом направлении вдоль дуги, вызывает отвод тепла от края дуги, а диаметр дуги уменьшается до очень малого значения при токе ноль.

Таким образом, дуга прерывается, и пространство между контактами промывается свежим воздухом, протекающим через сопло. Поток свежего воздуха удаляет горячие газы между контактными пространством и быстро наращивает диэлектрическую прочность между ними.

Воздушный выключатель с перекрестным дутьем – в таком выключателе дуговой взрыв направлен под прямым углом к дуге. Схематическое представление поперечного принципа перекрестного воздушного выключателя приведено на рисунке ниже. Движущийся контактный рычаг приводится в действие в тесных пространствах, чтобы вытянуть дугу, которая продвигается поперечным потоком воздуха в разделительные пластины, тем самым

облегчая его до такой степени, что он не может возобновить работу после нулевого тока. Переключение сопротивления обычно не требуется, поскольку ослабление дуги автоматически вводит некоторое сопротивление для управления переходным напряжением перезапуска, но если дополнительное сопротивление считается желательным. Это можно ввести, подключив его в разрезе через дуговой разветвитель.

В выключателе с воздушной струей необходимо, чтобы сжатый воздух всегда находился под нужным давлением, включая самую крупную установку с двумя или более компрессорами. Техническое обслуживание этой установки и проблема утечек воздуха в фитингах труб – это некоторые факторы, которые действуют против выключателя с воздушной струей, и это дорого для низкого напряжения по сравнению с масляным или воздушным выключателем.

Литература

1. Балаков, Ю. Н. О достигнутых параметрах выключателей / Ю. Н. Балаков, Б. Н. Неклепаев, А. В. Шунтов // Электрические станции. – 1996. – № 10. – С. 56–60.
2. Электротехнический справочник / под ред. И. Н. Орлова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т. 2. – 711 с.
3. Электрические аппараты высокого напряжения / под ред. И. И. Александрова. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.

УДК 621.3

Трансформаторы напряжения UG-145

Науменко В.И., Никитин Е.А.

Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Возрастающие требования заказчиков и активность зарубежных конкурентов, новые экологические требования, взаимопроникновение технологий диктуют необходимость к усовершенствованию продукции и использованию всех возможностей в трансформаторостроении. Трансформаторы серии UG фирмы «Arteche» позволяют напрямую трансформировать напряжение 110 кВ в 10 кВ, минуя дополнительное понижение до 35 кВ.

Трансформатор UG-145 объединяет в себе все преимущества трансформатора напряжения и распределительного трансформатора, устраняя недостатки каждого в отдельности. Предлагаемое решение обладает рядом особенностей: низкие капиталовложения, уменьшенная металлоемкость и повышенная эргономичность.

Данный тип трансформаторов напряжения позволяет получать электроэнергию низкого напряжения в несколько кВА непосредственно от высоковольтной линии. Объединяет все преимущества потенциального трансформатора и области применения распределительного трансформатора (рисунок 1).

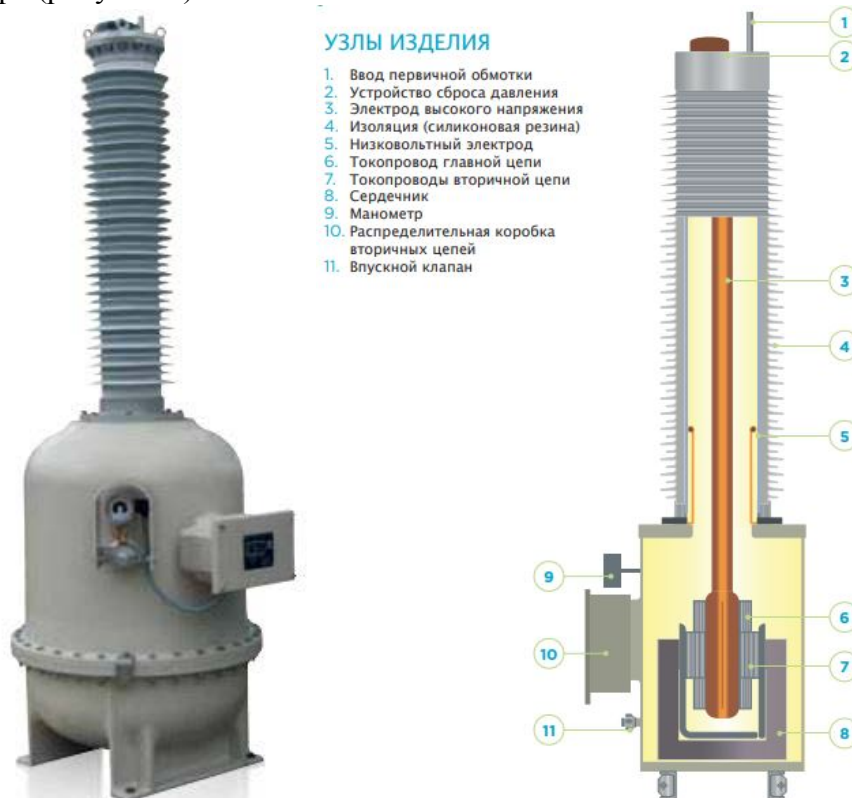


Рисунок 1 – Трансформатор модели UG до 550 кВ и 100 кВА

Сравнение структурной схемы газового трансформатора с известной структурной схемой силового масляного трансформатора с естественным охлаждением показывает большое сходство между ними. Так, конструкции магнитопроводов обоих типов трансформаторов практически не отличаются между собой. Отсутствуют также принципиальные отличия и в системе охлаждения обоих типов трансформаторов, хотя при проведении сравнения этих систем следует учитывать, что охлаждающая способность газа ниже, чем трансформаторного масла. Поэтому в силовых газовых трансформаторах для достижения характеристик охлаждения, сравнимых с характеристиками охлаждения масляных трансформаторов одинаковой с ними мощности, должен циркулировать намного

большой объем газа и должны применяться мощные газодувки – специальные установки, создающие принудительную циркуляцию газа.

Технические характеристики:

- максимальное рабочее напряжение – 145 кВ;
- грозовой импульс – 650 кВп;
- мощность – 100 кВА.

Области применения:

1. Энергоснабжение вспомогательных узлов подстанции: в качестве источника энергии внутри традиционных подстанций, где электроэнергия низкого напряжения необходима для подачи или подпитки.

2. Электрификация удалённых населённых пунктов сельского типа: в качестве источника энергии для экономной и надежной подачи электричества в удалённые населённые пункты, где отсутствуют распределительные, но присутствуют магистральные ЛЭП, например установленные на ПС «Вишеньки».

3. Временная подача электроэнергии на период строительства подстанций, ветряных электростанций и т. д.; аварийное энергоснабжение во время природных катаклизмов [1].

Трансформатор напряжения для вспомогательного обслуживания производства ARTECE имеет следующие преимущества:

- Отсутствие рисков для самого дорогого элемента подстанции (силового трансформатора), который обычно является самым ненадежным.
- Независимость подачи электроэнергии от третьих лиц.
- Сокращение затрат.
- Не требуется обслуживание в течение всего срока эксплуатации.
- Электрификация отдаленных районов.
- Синтетический изолятор надежен при транспортировке и в процессе эксплуатации.
- Контроль состояния изоляционного материала.
- Устройство сброса давления (разрывной диск) в верхней части.

Газовые трансформаторы в тоже время имеют некоторые недостатки. Например, при высокой температуре и при повышенном давлении газ может перейти в жидкое состояние. С учетом этого, при эксплуатации в условиях с высокой температурой давление не должно превышать допустимых значений. Также гексафторид серы может разлагаться под воздействием электрических разрядов, образуя химически активные и токсичные для человека вещества. Газовые трансформаторы не требуют специального обслуживания, кроме контроля давления газа. Таким образом, мы можем сделать вывод, что повсеместное внедрение современного высокотехнологичного оборудования позволяет в целом повысить качество, эффективность и безопасность всей энергетической отрасли, а также обеспечить предъявляемые к нему высокие требования [2].

Литература

1. Латипов, С. Т. Инновационные разработки в энергетической отрасли / С. Т. Латипов // Молодой ученый. – 2015. – № 23. – С. 175–177. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/103/23799>. – Дата доступа : 21.10.2018.
2. Artech [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.artech.com/es/cmis/browser?id=workspace://SpacesStore/c88bebc6-6037-4df0-b397-ad8f08806d4f&entity_id=6363. – Дата доступа : 21.10.2018.

УДК 621.3

Преимущества программного продукта Revit над AutoCAD

Русецкий К.И., Волов Р.А.

Научный руководитель – КОЛОСОВА И.В.

Когда на рынке появился программный продукт Revit, большинство пользователей, которые знакомы с ним, рано или поздно задавали один и тот же вопрос: «В чем же состоит отличие Revit от AutoCAD?» Вопрос был вполне оправданным, потому что конечным результатом проекта здания или сооружения является комплект рабочей документации, которую большинство пользователей долгие годы реализовывали в AutoCAD.

Однако по прошествии времени многие специалисты стали успешно осваивать технологию информационного моделирования зданий (BIM), всё больше постигая ее суть. Тем более что информационное поле было хорошо подготовлено компанией Autodesk. Вся информация практически сразу появлялась в интернете и с ней могло ознакомиться огромное количество пользователей.

Autodesk AutoCAD – самая популярная среда автоматизированного проектирования, в которой ежедневно работают миллионы специалистов во всем мире. За четверть века AutoCAD совершенствовался и эволюционировал от простейшего помощника при выполнении чертежей до гибкой и удобной системы, учитывающей практически все потребности специалистов различного профиля. Графические стандарты AutoCAD сегодня – единственные действительно ставшие мировыми промышленными стандартами САПР.

Сам Autodesk Revit предназначен для автоматизации проектирования, строительства и управления эксплуатацией высококачественных, энергосберегающих зданий на основе технологии BIM. Это полнофункциональное решение, объединяющее в себе возможности архитектурного проектирования, проектирования инженерных систем, проектирования строительных конструкций, электрического оснащения зданий.

Информационное моделирование зданий – это основанная на интеллектуальной компьютерной модели технология, снижающая затраты времени и средств на выполнение проектов зданий и обеспечивающая при этом минимальное воздействие таких проектов на окружающую среду.

Отметим, что в Revit, несмотря на обширный 3D-инструментарий для моделирования, присутствуют, конечно же, такие обычные и простые 2D-средства, как, например, линии, штриховки, текст. Внешний вид подобных объектов может быть настроен внутри Revit или импортирован из AutoCAD. Уровень взаимосвязи высокий.

При освоении Revit пользователи, привыкшие к AutoCAD, должны четко представлять, что, во-первых, им придется глобально перестраивать мышление под новую платформу, а во-вторых, – привычные им средства они могут легко найти и использовать в Revit, имея минимальную подготовку.

Несмотря на абсолютно иную технологию работы, пользователи найдут в Revit большинство привычных им моментов, органично вписанных в параметрическую платформу этого замечательного программного продукта.

Применение BIM технологий позволяет получить максимальную эффективность на всех этапах жизненного цикла: от проектирования до эксплуатации. Цифровое моделирование здания снижает вероятность ошибок в проекте, упрощает взаимодействие всех участников строительства, уменьшает его стоимость.

Таким образом, Revit позволяет производить моделирование как в 2D, так в 3D формате и делать это связанным между собой. 3D модель дает наглядное изображение объекта, тем самым исключаются возможные недопонимания между проектировщиками и строителями.

УДК 621.3

Высоковольтный выключатель высокого напряжения

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.

Научный руководитель – КОНОХОВ М.С.

В современной энергетике в качестве коммутационных аппаратов высокого класса напряжения (35 кВ и выше) зачастую используются элегазовые выключатели.

Автоматический выключатель, в котором газ SF₆ под давлением используется для гашения дуги, называется автоматическим выключателем SF₆. Газ SF₆ (гексафторид серы) обладает превосходными диэлектрическими, дугогасящими, химическими и другими физическими свойствами, которые доказали его превосходство над другими дугогасящими средами, такими как масло или воздух. Выключатель SF₆ в основном делится на три типа: поршневой выключатель без затяжки, однослойный поршневой выключатель, двухпоршневой выключатель.

Автоматический выключатель, который использовал воздух и масло в качестве изолирующей среды, их сила тушения дуги росла относительно медленно после движения разъединения контактов. В случае высоковольтных автоматических выключателей используются свойства быстрого затухания дуги, которые требуют меньше времени для быстрого восстановления, нарастает напряжение. В этом отношении автоматические выключатели SF₆ обладают хорошими свойствами по сравнению с масляными или воздушными выключателями. Поэтому при высоком напряжении до 760 кВ используются элегазовые выключатели.

Гексафторид серы обладает очень хорошими изоляционными и дугогасящими свойствами. Это бесцветный, не имеющий запаха, нетоксичный и негорючий газ. Газ SF₆ чрезвычайно стабилен и инертен, а его плотность в пять раз превышает плотность воздуха. Он имеет лучшую теплопроводность лучше, чем воздух, и способствует лучшему охлаждению токоведущих частей.

Газ SF₆ является сильно электроотрицательным, что означает, что свободные электроны легко удаляются из разряда с образованием отрицательных ионов. Он обладает уникальным свойством быстрой рекомбинации после того, как искра источника запитана. Это в 100 раз эффективнее по сравнению с дугогасящей средой.

Его диэлектрическая прочность в 2,5 раза выше, чем у воздуха, и на 30 % меньше, чем у диэлектрического масла. При высоком давлении электрическая прочность газа увеличивается.

Влага очень вредна для элегазового выключателя. Из-за сочетания влажности и газа SF₆ образуется фтористый водород (когда дуга прерывается), который может воздействовать на части автоматических выключателей. Газовая система с замкнутым контуром используется в элегазовых выключателях. Газ SF₆ является дорогостоящим, поэтому его регенерируют после каждой операции. Этот блок состоит из камер низкого и высокого давления с сигнализацией низкого давления и аварийными выключателями. Когда давление газа очень низкое, из-за которого диэлектрическая прочность газов снижается, и угасающая способность дугогасящих выключателей подвергается опасности, тогда эта система выдает предупредительный сигнал тревоги.

В нормальных условиях работы контакты выключателя замкнуты. Когда в системе возникает неисправность, контакты разъединяются, и между ними возникает дуга. Смещение подвижных контактов синхронизировано с клапаном, который вводит газ SF₆ высокого давления в камеру прерывания дуги при давлении около 16 кг/см².

Газ SF₆ поглощает свободные электроны на пути дуги и образует ионы, которые не действуют в качестве носителей заряда. Эти ионы увеличивают диэлектрическую прочность газа и, следовательно, дуга гаснет. Этот процесс снижает давление газа SF₆ до 3 кг/см², таким образом; он хранится в резервуаре низкого давления. Этот газ низкого давления возвращается в резервуар высокого давления для повторного использования.

Теперь для создания давления гашения дуги во время операции открытия используется поршневое давление в течение суток с помощью поршня, прикрепленного к подвижным контактам.

Автоматические выключатели SF₆ имеют следующие преимущества по сравнению с обычным выключателем

Газ SF₆ обладает отличными изоляционными, дугогасящими и многими другими свойствами, которые являются главными преимуществами элегазовых выключателей.

Газ невоспламеняющийся и химически устойчивый. Их продукты разложения не являются взрывоопасными и, следовательно, нет риска возгорания или взрыва.

Электрический зазор очень сильно уменьшен из-за высокой диэлектрической прочности SF₆.

На его характеристики не влияют изменения в атмосферных условиях.

Это дает бесшумную работу, и нет проблемы перенапряжения, потому что дуга гаснет при нулевом естественном токе.

Диэлектрическая прочность не снижается, потому что во время искрения не образуются частицы углерода.

Это требует меньше обслуживания и не требует дорогой системы сжатого воздуха.

SF₆ без проблем выполняет различные функции, такие как устранение коротких замыканий, переключение, открытие ненагруженных линий электропередачи, трансформаторного реактора и т. д.

Газ SF₆ задыхается до некоторой степени. В случае утечки в баке выключателя газ SF₆ тяжелее воздуха и, следовательно, SF₆ оседает в окружающей среде и приводит к удушению обслуживающего персонала.

Попадание влаги в резервуар элегаза очень вредно для прерывателя и приводит к нескольким сбоям.

Внутренние детали нуждаются в чистке во время периодического обслуживания в чистых и сухих условиях.

Специальный объект требует для транспортировки и поддержания качества газа.

Различия между проектированием подстанции с воздушной изоляцией и проектированием подстанции с газовой изоляцией огромны. Существует пять основных соображений относительно различий между двумя высоковольтными подстанциями: их строительство, монтаж, эксплуатация, текущее обслуживание и общая стоимость владения.

Мы смотрим сравнительно на каждую из этих пяти различий подстанции ниже.

При проектировании высоковольтной подстанции ГИС в качестве изоляции используется гексафторид газовой серы, в то время как в АИС применяется воздушная изоляция в системе с металлическим покрытием. Гексафторид серы в пять раз тяжелее воздуха и обладает превосходными характеристиками вымирания. Другое существенное конструктивное различие между двумя коммутационными станциями заключается в том, что в АИС с металлическим покрытием используются трехпозиционные выдвижные автоматические выключатели (вкл, выкл. и проверка). ГИС-системы используют фиксированные, установленные автоматические выключатели. Герметичные установленные прерыватели являются «герметичной» технологией, в то время как прерыватель АИС может быть удален для технического обслуживания и устранения неисправностей.

Установка высоковольтной подстанции ГИС может быть быстрее, чем установка ее металлической оболочки АИС. Во многом это связано с тем, что ГИС-системы значительно меньше и весят меньше (несмотря на то, что газ весит больше воздуха). При условии, что технику не нужно обращаться с самим газом, подстанции ГИС устанавливаются быстрее. Для систем АИС необходимо подключение шин и загрузочные устройства на распределительном устройстве. Среднее время установки сокращается примерно на 30% при установке ГИС (когда не требуется обработка газа). ГИС-системы также занимают меньше места, чем АИС. Физический след ГИС примерно на 35 % меньше, чем у АИС.

ГИС-системы значительно легче обслуживать на регулярной основе, поскольку они предлагают передний, а не задний доступ. Они также содержат свои собственные интегрированные инструменты тестирования.

Вспышки дуги в ГИС редки, потому что все внутренние элементы изолированы, и только кабельный отсек доступен. Поскольку детали полностью изолированы, никакие кабели или соединения не могут соприкоснуться с частями под напряжением.

Как обсуждалось в первом пункте, ГИС-коммутаторы требуют значительно меньшего технического обслуживания. В среднем ГИС-системы необходимо проверять визуально каждые четыре года или более, в зависимости от конкретной рекомендации производителя для вашего устройства. ГИС-диски необходимо повторно смазывать только через 20 лет (опять же, это зависит от производителя).

Системы АИС должны проверяться визуально каждый год или два года (опять же, на основании конкретной рекомендации производителя). При осмотре все отсеки должны быть проверены, в отличие от ГИС, где отдельные отсеки и элементы полностью изолированы и могут контролироваться. В среднем прерывателю АИС потребуется около четырех часов технического обслуживания в течение каждого двухлетнего периода.

С точки зрения обслуживания, системы АИС требуют значительно больше усилий, особенно из-за тщательности проверок. Проверки включают в себя наличие крутящего момента, вытягивания, очистки, смазки и вакуумирования устройства. Их также необходимо проверить на наличие визуальных признаков коррозии меди, чего нет в ГИС из-за запечатывания блоков. Это уплотнение также защищает компоненты от вредного воздействия окружающей среды.

При высокоуровневом сравнении распределительных устройств АИС и ГИС необходимо сопоставить первоначальные затраты с требуемым пожизненным обслуживанием. Эти устройства обычно имеют минимальный срок службы 30 лет. Единицы ГИС, как правило, стоят на 10–40 % больше, чем АИС.

Таким образом, системы АИС обеспечивают авансовую экономию средств, однако в долгосрочной перспективе им требуется больше человеко-часов. Передовая электротехника ГИС для высоковольтных подстанций требует больших предварительных инвестиций, но их герметичная технология означает более низкие затраты на установку и обслуживание.

Литература

1. Балаков, Ю. Н. О достигнутых параметрах выключателей / Ю. Н. Балаков, Б. Н. Неклепаев, А. В. Шунтов // Электрические станции. – 1996. – № 10. – С. 56–60.
2. Электротехнический справочник / под ред. И. Н. Орлова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т. 2. – 711 с.
3. Электрические аппараты высокого напряжения / под ред. И. И. Александрова. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.

УДК 621.3

«Трансформаторные» инновации в энергетике

Иселёнок Е.Б.

Научный руководитель – ГЕЦМАН Е.М.

Потери электроэнергии в электрических сетях – важнейший показатель экономичности их работы, наглядный индикатор состояния системы учета электроэнергии, эффективности энергосбытовой деятельности энергоснабжающих организаций. Для уменьшения потерь электроэнергии проводят различные мероприятия. Сам же перечень мероприятий по снижению потерь в электрических сетях энергосистем хорошо изучен и приведен, например, в стандарте [1]. Рассмотрим трансформаторы со сниженным уровнем потерь, востребованность которых объясняется ростом стоимости энергии.

Передача мощности через трансформаторы сопровождается её потерями. При этом потери мощности в активной G_T и реактивной B_T проводимостях трансформатора определяются уровнем проведенного к нему напряжению [2]:

$$\Delta P_{xx} = U^2 G_T, \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = U^2 B_T, \text{ квар.}$$

В таком виде потери мощности учитываются при расчете трансформаторов высоких классов напряжения. Как видно, они не зависят от передаваемой мощности через трансформатор и могут определяться по паспортным данным. Поэтому производители разрабатывают новые трансформаторы, у которых потери холостого хода будут минимальные. Повышение надежности трансформаторов и продление сроков службы обеспечивается путем повышения устойчивости трансформаторов к коротким замыканиям благодаря переходу на герметичные трансформаторы, современнейшему технологическому оборудованию, применению новых материалов, обучению и подбору кадров. Рассмотрим энергосберегающий трансформатор – ТМГ-12 (трёхфазный масляной герметичный трансформатор) Минского электротехнического завода им. В. И. Козлова.

Данный трансформатор имеет самый низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания из всех серийно выпускаемых в СНГ силовых трансформаторов общего назначения и выбран в соответствии с рекомендациями Европейского комитета по электротехнике, что позволяет существенно уменьшить затраты в процессе эксплуатации оборудования. Потери холостого хода и короткого замыкания в минских трансформаторах серии ТМГ-12 снижены на 30 % по сравнению с трансформаторами других серий и производителей за счет того, что:

– производятся из специальных сортов высококачественных кремнистых сталей, имеющих наибольшее сопротивление и пониженные потери на гистерезис (перемагничивание);

– для изготовления используется большее количество материала, который оптимально распределен между массой магнитопровода и обмотки;

– конструкция магнитопровода производится по самой передовой технологии Stap-lap, и состоит из пластин с косыми стыками, без отверстий в активной стали;

– толщина пластин не превышает 0,3 мм, а сами пластины лакируются для изоляции друг от друга;

– сборка трансформатора производится высококвалифицированным персоналом на оборудовании ведущих мировых производителей, что исключает любые возможные механические повреждения стали и обеспечивает минимизацию потерь.

Трансформатор силовой ТМГ-12 сохранили лучшие качества трансформаторов ТМГ и ТМГ-11:

– ввод нейтрали обмотки НН (низкого напряжения) рассчитан на продолжительную нагрузку номинальным током, что повышает надежность масляных трансформаторов при несимметричных нагрузках;

– герметичное исполнение масляных силовых трансформаторов в гофрированном баке в сочетании с глубокой предварительной дегазацией трансформаторного масла;

– энергосберегающие трансформаторы ТМГ-12 Минского электротехнического завода им. В. И. Козлова служат не менее 25 лет. Гарантия – 5 лет с даты выпуска на каждый трансформатор.

Трёхфазные масляные трансформаторы ТМГ-12 предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от плюс 40 до минус 45 °С) или холодного (от плюс 40 до минус 60 °С) климата. Трансформаторы не предназначены для работы в условиях тряски, вибрации, ударов, в химически активной среде. Номинальная частота данного трансформатора 50 Гц. Регулирование напряжения производится в интервале до ±5 % на полностью отключенном трансформаторе ПБВ (переключение без возбуждения) переключением ответвлений обмотки ВН(высокого напряжения) ступенями по 2,5 % [3].

На основе каталожных данных ΔP_{xx} и ΔP_{K3} , предоставляемых заводом, проведем сравнение потерь активной мощности, стоимости различных типов трансформаторов одинаковой мощности 630 кВ·А.

Таблица 1 – Сравнительная таблица параметров различных типов трансформаторов одинаковой мощности 630 кВ·А

Характеристики	ТМГ-11	ТМГ-12	ТМ
Потери холостого хода (ΔP_{xx}), кВт	0,83	0,61	1,3
Потери короткого замыкания (ΔP_{K3}), кВт	5,6	4,6	7,6
Уровень шума, дБа	70	61	
Стоимость, бел. руб.	11 016,32	12 115,88	

Как видно из таблицы, трансформатор ТМГ-12 лучше, в частности потерь ΔP_{xx} доходит до 53 %, а по ΔP_{K3} до 39 % в сравнении с ТМ 630/10.

Рассчитаем потери электроэнергии холостого хода и короткого замыкания по сравнительным характеристикам трансформатора за год по следующим формулам и сведем в таблицу 2:

$$\Delta W_{xx} = \Delta P_{xx} T, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{K3} = \Delta P_{K3} T, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

Таблица 2 – Расчёт потерь электроэнергии ТМГ-11 и ТМГ-12

Параметр	ТМГ-11	ТМГ-12	Результаты расчетов
ΔW_{xx} , кВт·ч	$0,83 \cdot 8760 = 7270,8$	$0,61 \cdot 8760 = 5343,6$	$7270,8 - 5343,6 = 1927,2$
ΔW_{K3} , кВт·ч	$5,6 \cdot 8760 = 49056,0$	$4,6 \cdot 8760 = 40296,0$	$49056,0 - 40296,0 = 8760,0$

Годовая экономия на потерях в трансформаторах ТМГ-11 и ТМГ-12 мощностью 630 кВ·А составит 1927.2 кВт·ч. В % соотношении потери электроэнергии холостого хода уменьшились на 26.5 % и потери электроэнергии короткого замыкания на 17.9 %:

$$\frac{\Delta W_{xx \text{ ТМГ-11}} - \Delta W_{xx \text{ ТМГ-12}}}{\Delta W_{xx \text{ ТМГ-11}}} \cdot 100 \% = \frac{7270,8 - 5343,6}{7270,8} \cdot 100 \% = 26,5 \%,$$

$$\frac{\Delta W_{K3 \text{ ТМГ-11}} - \Delta W_{K3 \text{ ТМГ-12}}}{\Delta W_{K3 \text{ ТМГ-11}}} \cdot 100 \% = \frac{49056,0 - 40296,0}{49056,0} \cdot 100 \% = 17,9 \%$$

Дальнейшим развитием серии ТМГ-12 на основе технологического перевооружения предприятия и оптимизации конструкции стала новая серия энергосберегающих трансформаторов ТМГ-32. Потери холостого хода и короткого замыкания в трансформаторах серии ТМГ-32 соответствуют уровням потерь трансформаторов ТМГ-12.

При этом трансформаторы ТМГ-32 имеют улучшенные (в сравнении с аналогом) массогабаритные характеристики (ТМГ-12 – 2820 кг, ТМГ-32 – 2400 кг). Конструктивно трансформатор ТМГ-32 выполнен на базе магнитопровода с овальным стержнем (сталь NV30S-120). Если сравнить трансформаторы ТМГ-32 с ТМГ-12, то можно подчеркнуть следующее: обмотка ТМГ-32 в отличие от более слабой модели изготавливается из алюминиевой фольги, что значительно уменьшает затраты на производство и ни в коем случае не понижает технико-эксплуатационные характеристики.

Преимущества трансформатора ТМГ-32:

- эксплуатация не менее 25 лет с момента первого запуска;
- прост в установке и удобен в обслуживании;
- возможность лабораторных исследований используемого масла, снятия пробы и проверки уровня в любой момент;
- замер температуры, т. е. – полный контроль над рабочим циклом устройства;
- масло может регенерировать;
- энергосбережения, низкие затраты на эксплуатацию;

В сравнении с масляными трансформаторами (ТМ) трансформатор ТМГ такой же мощности и с такими же электрическими характеристиками имеет меньший габарит по высоте и вес, за счет отсутствия расширительного бака. Кроме того, с точки зрения потребителей преимущество конструкции ТМГ в отсутствии эксплуатационных расходов в течение всего срока службы трансформатора (25 лет и более). Для других трансформаторов, в частности ТМ или ТМФ, эксплуатационные расходы составляют до 60 % от первоначальной стоимости трансформатора.

Литература

1. СТП 09110.09.300-17. Порядок расчета экономии топливно-энергетических ресурсов от внедрения основных энергосберегающих мероприятия на электростанция, котельных, тепловых и электрических сетях. – Минск : ГПО Белэнерго, 2017. – 3 с.
2. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и цепи/ Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 121 с.
3. Энергосберегающие трансформаторы ОАО «МЭТЗ им. В. И. Козлова» серии ТМГ-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://metz.by/publication/library/35.html>. – Дата доступа : 27.10.2018.

УДК 621.3

Плагин от компании Schneider Electric для программного комплекса автоматизированного проектирования Revit

Русецкий К.И., Волон Р.А.

Научные руководители – КОЛОСОВА И.В., ЛАЗАРЕВ О.Е.

Большинство компаний для более удобного проектирования создают BIM-модели своей продукции. Так и компания Schneider Electric разработала программный модуль (плагин) BIM Electrical Design со своей элементной базой для упрощения проектов по электроснабжению и электрооборудованию зданий.

Данный плагин от Schneider Electric позволяет разрабатывать системы электроснабжения на новом уровне (рисунок 1), проектирование становится понятным, удобным, быстрым и доступным.

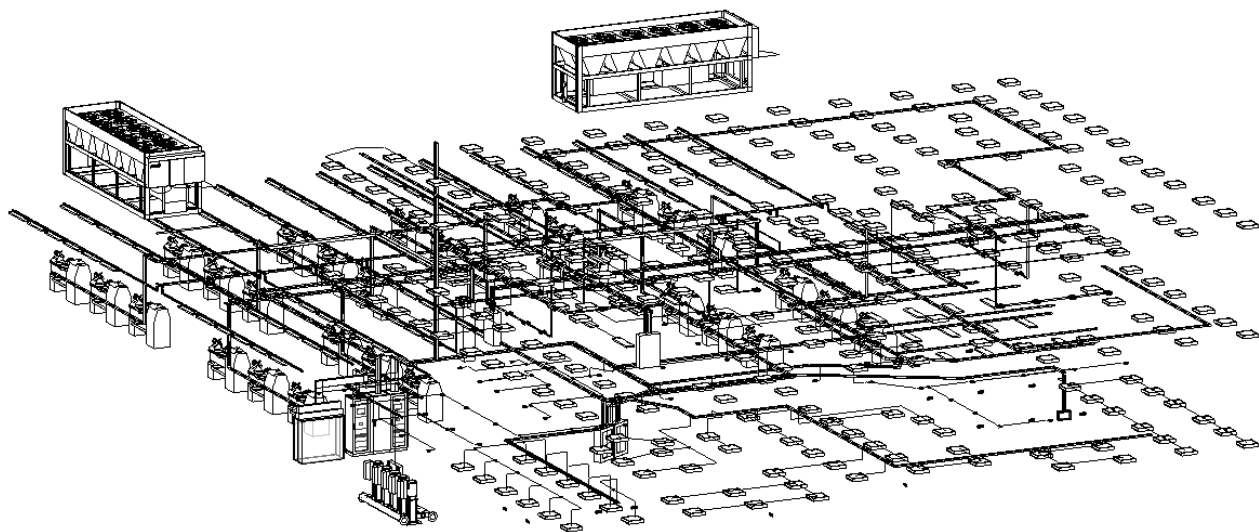


Рисунок 1 – 3D модель электрической схемы цеха

Плагин BIM Electrical Design открывает проектировщику путь к созданию качественной модели, которая в дальнейшем будет использоваться на всех этапах жизненного цикла (от проектирования до эксплуатации).

Плагин BIM Electrical Design для Autodesk Revit предоставляет следующие возможности:

1. Электротехнические расчеты – автоматический расчет параметров электрических цепей.

2. Прокладка кабельных линий.

3. Подбор оборудования.

4. Составление отчетной документации.

5. Проектирование систем диспетчеризации.

Рассмотрим более подробно каждую возможность.

Электротехнические расчеты позволяют произвести:

– расчет нагрузок;

– расчёт потерь напряжения в кабеле по ГОСТ Р 50571.5.52-2011;

– расчёт токов короткого замыкания в соответствии с ГОСТ 28249-93;

– расчёт симметричности нагрузки.

Прокладка кабельных линий производится на основе:

– расчета длин кабелей по реальным трассам;

– подбора кабелей по типу, количеству и сечению жил;

– расчета заполняемости кабельных лотков;

– трассировки цепей;

– трассировки цепей в режиме обозначения по видам.

Подбор оборудования включает в себя:

- подбор аппаратов защиты и дополнительного оборудования доступных в линейках Acti 9 и ComPact NSX (I_n до 630 А);
- доступно оборудование линеек Acti 9 и ComPact NSX (токи до 630 А);
- возможность ручного выбора, блокировка от дальнейших изменений;
- выбор низковольтных комплектных устройств (НКУ) из альбома типовых схем.

Составление отчетной документации заключается в создании:

- однолинейные схемы по ГОСТ 21.613-2014, ГОСТ 21.608-2014;
- кабельный журнал ГОСТ 21.613-2014, форма 7;
- спецификация по ГОСТ 21.110-2013 (рисунок 2);
- опросные листы.

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа
	Автоматический выключатель 1P, 10 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А	
	Автоматический выключатель 3P, 10 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А	
QF1	Автоматический выключатель 3P, 16 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А	
QF2	Автоматический выключатель 3P, 40 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А	
QF6	Автоматический выключатель 3P, 50 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А	
	Выключатель нагрузки 3P, 40 А	
	Выключатель нагрузки 3P, 63 А	
	Выключатель нагрузки 3P, 125 А	
	Дифференциальный автоматический выключатель 1P+N, 16 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А, I _Δ = 30 мА, тип АС	
QF3	Дифференциальный автоматический выключатель 3P+N, 20 А, хар-ка С, I _{сн} = 6000 А, I _Δ = 30 мА, тип АС	
	Коробка Multifix Plus 67x40 2-ая скр. уст.	
	Коробка Multifix Plus 67x40 3-ая скр. уст.	
	Рамка 2-пост, вертикаль, Черное Стекло/антр	
	Рамка 3-пост, горизонталь, Черное Стекло/антр	
	Розетка с з/к со шторк 16А быстрозаж кл, белый	
	Счётчик электроэнергии 63 А, Modbus RS485	EM3150

Рисунок 2 – Пример спецификации

Проектирование систем диспетчеризации:

- создание структурных схем диспетчеризации;
- предварительная конфигурация Power Monitoring Expert (PME);
- уставки для аппаратов защиты – ASSET ADVISOR.

Таким образом, плагин BIM Electrical Design для Autodesk Revit позволяет производить проектирование сетей электроснабжения и электрооборудования зданий, а также производить их расчет. Данный плагин можно применять как в проектных организациях, так и в учебном процессе, а именно по дисциплине «Электрооборудование потребителей электроэнергии».

Литература

1. BIM Electrical Design – инструмент для электротехнического проектирования в Autodesk Revit [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.se.com/ru/ru/work/products/bim-electrical-design/>. – Дата доступа: 11.11.2019.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Глубокие нейронные сети и их реализация в современном мире и медицине, возможность применения нейронных сетей в обнаруживании патологий легких (в том числе рака легких на ранних стадиях)

Лобиков С.А., Крот К.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Бинарный поиск

Пасько Д.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Умные сети электроснабжения. Преимущества и возможности применения

Пинчук Т.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Программируемые интеллектуальные реле

Макович И.А, Наварич М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Электромобиль

Хорхалёва Е.А., Протащик Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Methods of energy production in space

Dubatouka U.V.

Academic supervisor – SUKHODOLOV I., candidate of engineering sciences, associate professor

Мини-гидроэлектростанция

Нестерович А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Оборудование и элементная база беспилотных летательных аппаратов

Самсонов А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Беспроводная передача энергии

Коновалов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Бесконтактные датчики

Галкин А.М., Кондратенко В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Практическое использование атмосферной электроэнергии

Пильник А.С., Шуляковский Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Диагностика двигателя электромобиля

Богданов Ю.И., Бурдук Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Характеристики АКБ

Рудик П.С., Пименов В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Электротомия

Солодков И.В., Зарихта А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Физическая природа шаровой молнии

Макаренко Л.С., Сычёва Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Перспективы использования МГД-генераторов

Ласица В.В., Литош А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Измерение коэффициента гармоник при определении потерь в трансформаторах

Тарарай А.О., Ермолинская Л.Э.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Система диспетчеризации учета электроэнергии

Анищик О.Р., Стаскевич П.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Ветроэнергетика

Касяник А.О., Савинич В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Высоковольтные линии электропередач постоянного тока

Станкевич Е.Г., Повзун А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Графен и борофен – «материалы будущего»

Шардыко А.С., Кравцова Т.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Ионные двигатели

Ерёменко М.А., Адинцова Я.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Лазерное излучение в играх

Михалченок В.Ю., Павлова Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Наногенераторы

Себещук В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Новые технологии энергосбережения

Лебедев М.А., Арашкевич В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Система глобального позиционирования (GPS)

Макар И.В, Поланцевич А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Шаги по «умной» тротуарной плитке

Колесень Е.А, Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Энергетика Австрии

Пугач Б.В., Яворский А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Этапы водоподготовки на ТЭЦ

Колос В.М., Соловьева Е.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Основные направления по оптимизации распределительных электрических сетей

Мухина В.А.

Научный руководитель – д.т.н, профессор ФУРСАНОВ М.И.

Электрические манометры и вакуумметры

Виноградов И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Автопилот для машин

Веремей В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Частотные преобразователи для гидронасосов

Кагало В.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Асинхронные генераторы для мини-ГЭС

Холопица И.В., Рапинчук Д.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

Опытное изготовление графенового аккумулятора

Акулич М.А., Журавлёв А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Разновидности толщиномеров лакокрасочных покрытий на автомобилях

Акулич М.А., Журавлёв А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности электронных узлов газовых плит

Машко М.А., Вареник Д.О.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Альтернативные источники энергии и передача энергии через *Wi-Fi*

Медведев М.В., Журавлёв И.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности устройства электроники и технологии изготовления современных электробритв

Вертинский А.Г., Бодак П.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Автомобильный сканер

Крыж А.С., Гудамов Д.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

История развития электронных часов

Барташевич Г.А., Ермакова А.М.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Применение постоянных магнитов в технике

Долмат Д.Г., Ясевич В.О.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности устройства и работы элементов атомной станции

Кузнецов Г.Г., Шестаков А.Г., Левин Н.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Способы кодирования цветного изображения

Рыжевич Е.Н., Сокол А.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности в работе преобразователей частоты для питания электродвигателей

Высоцкая В.А., Сазоненко Е.Р., Семериков К.В.
Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности устройств, для определения скорости автомобиля

Михед З.В., Хандрико А.Н.
Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Особенности работы приставок к телевизору

Гусько В.А.
Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Что можно сделать с энергией, которую мы будем получать после запуска АЭС в Островце?

Козинцов Н.Д., Худенко Д.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Шаговые электродвигатели

Акуленец А.А.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Интеллектуальные сети (SMART GRID)

Карака М.С., Полуянова Е.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Магнитогидродинамический способ производства электроэнергии

Адинцова Е.Ю., Макеева М.Б.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Высоковольтные выключатели и их классификация

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.
Научный руководитель – ассистент МУХИНА В.А.

Теплогенератор Потапова как пример холодного ядерного синтеза. Способы повышения эффективности теплогенератора

Буйницкий С.В., Курилик А.С.
Научный руководитель – ассистент МУХИНА В.А.

Асинхронные генераторы ветряных электростанций

Бабицкий В.В.
Научный руководитель – ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

УДК 004.02, 004.08, 616.02, 616.006.6, 616.24-002.5-036.3, 616.24-002-07

Глубокие нейронные сети и их реализация в современном мире и медицине, возможность применения нейронных сетей в обнаруживании патологий легких (в том числе рака легких на ранних стадиях)

Лобиков С.А., Крот К.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Нейронная сеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Этаким ребенком, который с каждым разом решает пример, делая значительно меньше ошибок.

В современном мире нейронные сети развиваются в экспоненциальной прогрессии. Появляются все новые виды нейронных сетей, и программ, реализующих их. Они стали применяться чуть ли не везде. От распознавания букв на фотографии до игр на бирже и распознавания личностей на уличных камерах.

Работает нейронная сеть следующим образом: на входы нейронов поступают сигналы, которые суммируются, при этом учитывается значимость каждого входа, далее выходные сигналы одних нейронов поступаю на входы других. Значимость каждого входа может быть положительной либо отрицательной. Связи с положительной значимостью называются возбуждающими, а с отрицательной - тормозящей. Эти связи определяют вычисления нейронной сети, а значит ее память и поведение, принцип примерно тот же, что и в нашем мозге. Нейронные сети могут распознавать образы или решать задачи классификации.

Нейронные сети применяются в переводчике google, программа распознает буквы на фотографии, сделанной с телефона, строит из них слова, а из слов предложения, затем переводит. Все это происходит за доли секунд. Так же нейронные сети применяются в чтении по губам, и программа справляется с этим лучше людей с нарушением слуха. Существует программа, работающая с помощью нейронных сетей, которая улучшает качество фотографий и видеозаписей, а так же есть программа, которая превращает черно-белые картинки и фильмы в цветные. Данная нейронная сеть определяет в изображениях общие мотивы, и раскрашивать объекты в соответствующие цвета. Так же с помощью нейронных сетей можно распознавать лица людей, заменять лица на видео элементах. То есть сейчас можно снять фильм с дублером, а потом заменить его лицо умершей знаменитостью. Так же нейронная сеть может писать музыку, копируя стили музыкантов. Так же они водят беспилотные автомобили. Компания Nvidia показала программу превращающая обыкновенные цветные наброски в красивые детализированные картины. Еще есть нейронная сеть, которая позволяет восстановить поврежденные изображения. В некоторых областях искусственный интеллект достиг таких вершин, что стал превосходить профессионалов данной области. Так, например, программа AlphaGo, использующая нейронные сети, обыграла лучшего игрока Го за последнее десятилетие со счётом 4–1, а нейронная сеть в медицине диагностирует рак кожи и маммограмму злокачественной ткани лучше врачей онкологов.

Высокие результаты работы нейронных сетей в области медицины исходят из того, что качество работы экспертной системы всегда стабильно и не зависит от внешних человеческих факторов. Также, искусственная нейронная сеть способна извлекать и применять знания, ранее неизвестные современной медицине.

Диагностика является частым случаем классификации событий, причем наибольшую ценность представляет классификация тех событий, которые отсутствуют в обучающем нейронной сетью наборе. Здесь проявляется преимущество – они способны осуществлять такую классификацию, обобщая прежний опыт и применяя его в новых случаях.

В данной работе рассмотрено применение нейронных сетей в медицине, а именно в флюорографии. Флюорография в Республике Беларусь проводится среди рабочего населения примерно раз в год, так сделано для профилактики туберкулеза. Однако с помощью флюорографии так же можно выявить рак легких (опухоли), а так же воспалительные участки.

Флюорография гораздо дешевле рентгеновского снимка, так как не нужно тратить на рентгеновскую пленку, которая содержит частицы серебра.

Рак легких в Республике Беларусь занимает второе место по распространению среди онкологических заболеваний. Его успешно и практически гарантировано можно вылечить только на первой стадии. Однако первые симптомы, которые помогают выявить рак легких, проявляются далеко не на первой стадии (опухоль диаметром до 3 см, и не выпускает метастазы). На ранней стадии рак легких можно практически всегда увидеть только с помощью компьютерной томографии. Флюорография же является специфическим методом обнаружения рака легких, так как картинка получается маленькой, что заметить на нем изменения и правильно оценить их крайне сложно. Результат обнаружения рака легких на начальных стадиях с помощью флюорографии зависит только от того, что увидит врач.

Именно поэтому в данном докладе предлагается разработать нейронную сеть, которая будет учиться и помогать обнаруживать различные патологии (рак легких, туберкулез, пневмонию). Для реализации данного проекта необходимы достаточно большие вычислительные мощности, так как снимки флюорографии приходят в медицинском формате DICOM и имеют разрешение 2340x2340 пикселей. Однако нейронную сеть нужно научить обрезать легкие на изображении, из-за использования в дальнейшем алгоритмов машинного обучения необходимо уменьшить объем лишних данных на снимках. Если использовать для обучения не предобработанные флюорографии, то классификатор будет искать на них ненужные признаки для обучения. Это сильно скажется на качестве и времени обучения.

Что бы обучить такую сеть необходимо составить набор флюорографий с вырезанными легкими. Набор флюорографий должен выбираться из медицинской базы данных. В задачах классификации изображений наилучшие результаты достигают глубокие сверточные нейронные сети. Они берут снимок и учатся определить признаки болезней легких (в особенности рак) в нем. Обучение происходило на снимках, извлеченных из базы данных, в которых обнаружен рак.

После того как нейронная сеть научится с высокой точностью определять на снимках болезни легких (в том числе и рак), нам нужно ее обучить находить рак на ранних стадиях. Для этого мы отбираем флюорографии заболевших не мелкоклеточным раком из базы данных, за полгода – год до обнаружения болезни, и учиться на этих снимках. Для мелкоклеточного рака, который является очень агрессивным и встречается в 14% случаях можно провести отбор снимков, сделанных за 1-3 месяца до обнаружения болезни.

Вывод: внедрение глубоких нейронных сетей в процесс анализа снимков флюорографии приведет к уменьшению вероятности врачебной ошибки при первом осмотре снимка. Так же позволит выводить вероятность рака, в тех случаях, когда опухоль трудно обнаружить даже специалисту. Конечно, будут и ложные выводы нейронных сетей о том, что больной болен раком, однако признаков для этого нет. В данных случаях на усмотрение врача можно отправить пациента на дополнительные обследования, такие как компьютерная томография легких, онкомаркеры (если нет воспалительных процессов), а так же других методов диагностики. Вообще флюорография является малоэффективным средством прогнозирования, так как рак легких и туберкулез обычно обнаруживается на последних стадиях развития болезни, что малоэффективно и дорого. Аппараты флюорографии, особенно старых образцов нередко проявляют снимки с помехами, которые могут затруднить как врача, так и нейронную сеть. В любом случае нужны исследования и консультация с пульмонологами. Для более успешного обучения необходима поддержка и других государств, например для предоставления доступа к медицинской базе флюорографий, так же для обучения нейронной сети. Еще же нужно обеспечить большие вычислительные мощности, в процессе обучения нейронной сети. В результате это приведет к повышению процента обнаружения рака легких на ранних стадиях, что приведет к общему продлению жизни больных, и возможности полного выздоровления.

Литература

1. <https://minzdrav.gov-murman.ru>
2. <http://medradiology.moscow.ru>
3. Кустикова В.А. Сверточные нейронные сети. Глубокие остаточные сети. Нижегородский институт информационных технологий, математики и механики.

УДК 004.023 [519.178+004.043] 004.424 615.035.4 621.372 681.5.14

Бинарный поиск

Пасько Д.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Ежедневно все люди сталкиваются с поиском. Для каждой цели существует свой алгоритм поиска и условно их можно поделить на поиск в неупорядоченном и поиск в упорядоченном множестве данных.

Упорядоченным или отсортированным множеством в общем виде можно назвать множество, в котором элементы «расставлены» последовательно по какому-либо критерию (например: по возрастанию/убыванию), что облегчает дальнейшую работу с этими элементами.

Двоичный (бинарный) поиск — один из классических, наряду с линейным алгоритмом поиска.

Впервые был опубликован в 1946 году Дональдом Кнутом, создателем знаменитого труда «Искусство программирования».

В некоторых случаях данный тип поиска может быть эффективней линейного поиска.

Суть поиска заключается в том, что проверяется искомое значение на то, больше ли оно, меньше или равно значению в середине массива.

Можем разобрать по шагам **ход работы алгоритма**:

1. Выбираем зону поиска.
2. Средний элемент сравнивается с искомым.
3. Если для проверки не осталось элементов, то алгоритм завершается, иначе выполняется пункт 1.

Хочу напомнить, что хоть этот метод и кажется идеальным, но не стоит забывать, что применим он только к отсортированному массиву, в то время как, например, линейный поиск, будет проверять значения один за другим вне зависимости от сортировки.

Мы рассмотрели не только простой, но и теоретически идеальный случай, однако в реальной жизни в данном, казалось бы, простом методе может возникнуть куча ошибок, например:

- не работает с массивом их 0/1/2 элементов;
- не находит первый или последний элемент;
- некорректно работает, если элемента в массиве нет;
- некорректно работает, если в массиве есть повторяющиеся элементы.

И под конец хотелось бы заметить, что если данных немного (как в нашем примере), то значительной разницы в скорости работы двух методов (бинарный и линейный) не будет. Однако если массив будет достигать 10-ти тысяч элементов, то двоичный поиск будет работать на 72% быстрее, чем обычный цикл, то есть почти в 2 раза!

Литература

1. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен [и др.]; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. – 1296 с.
2. Седжвик, Р. Алгоритмы на C++ / Р. Седжвик; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2011. – 1056 с.
3. Шилдт Г. C++: Руководство для начинающих.

УДК 621.311

Умные сети электроснабжения. Преимущества и возможности применения

Пинчук Т.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

В наше время трудно представить свою жизнь без энергии, поэтому её можно назвать важнейшим фактором в нашей жизни. Участие человека в получении энергии негативно сказывается на окружающей среде. Имеющиеся запасы органического топлива не являются неиссякаемыми. Они уже начинают сокращаться. Лишь третью часть первичной энергии удаётся преобразовать во вторичную, которая, в свою очередь, поступает наши дома. Именно поэтому нам стоит задумать о том, как обеспечить автоматический контроль и управление энергосистемой, как в автоматическом режиме ликвидировать, а иногда и предупреждать аварийные ситуации, как сократить потери в электрических сетях всех классов напряжения более чем на 25%, как снизить объем капиталовложений в развитие распределительных и магистральных сетей за счет увеличения их пропускной способности, снизить капиталовложения в строительство новых объектов. Для достижения этих целей и необходимо заниматься развитием Smart Grid. Под Smart Grid понимается набор программно-аппаратных средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределения и передачи электроэнергии. При этом под эффективностью подразумевается:

- децентрализация функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в энергетической системе;
- снижение затрат на генерацию, распределение и передачу электроэнергии; оперативное устранение неисправностей;
- возможность передачи электроэнергии и информации в двух направлениях, что является важным условием для более интенсивного развития распределенной и возобновляемой энергетики.

Почему именно Smart Grid?

- Возможность самостоятельно восстанавливаться после сбоев подаваемого электричества.
- Активное участие в сети потребителей.
- Высокое качество передаваемой электрической энергии.
- Синхронная работа узлов хранения электроэнергии с источником генерации.
- Повышение эффективности работы энергетической системы.
- Защита интеллектуальной собственности в сети интернет.
- Появление новых более технологичных продуктов.
- Умные сети позволяют потребителям:
- Участвовать в работе системы.
- Повышать энергоэффективность системы эл.снабж.
- Снижать стоимость и объем энергопотребления.

Интеллектуальные электрические сети можно характеризовать следующими особенностями:

- доступность;
- гибкость;
- экономичность;
- надёжность.

Программы разработки и внедрения умных сетей введены на государственном уровне в Европе, США, Китае и других развитых и развивающихся странах. Институтом энергетики НАН Беларуси ведется обоснование внедрения технологий S.G. в Республике Беларусь. Видимо, и в нашей стране в скором будущем появится возможность выбора поставщика электроэнергии (как мы уже привыкли поступать с тарифами мобильной связи), а про аварийные отключения электроэнергии в целых районах и вовсе забудем. Использование зарубежного опыта, не слепое копирование, а осознанное применение лучших практик в

проекции на отечественную действительность, является образцом рационального использования общемирового опыта.

В завершении всего выше сказанного хочется сказать, что в Беларуси уже есть компании, которые готовы предложить реализацию идеи Smart Grid. Осталось только заниматься активным её внедрением в жизнь белорусов.

Литература

1. Автоматизация и ИТ в энергетике. Ледин С. № 11 (16), 2010.
2. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России. Дорофеев В.В., Макаров А.А. / Энергоэксперт, 2009, № 4 (15).
3. Актуальные направления применения информационных технологий в энергоснабжении. Кузнецов А.С. XI Международная научно-практ. конф. «Управление информационными ресурсами», «Интеллектуальные системы электроснабжения» Минск, 12 декабря 2014 г.– Мн., 2014.
4. Энергетика 2030: глобальные тренды и национальная энергетическая политика: моногр. / А.М. Забровский, М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов.– Мн., 2013.
5. Энергетическая революция. XXI век. Перезагрузка // Мировая политика и ресурсы World Policy and Resources Research (www.wpr.ru) – аналитические материалы.
6. Smart Grid по-русски Гуревич В.И.
7. Smart Grids European Technology Platform| www.smartgrids.eu (интернет-ресурс).
8. <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> (интернет-ресурс).
9. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid за рубежом как концепция инновационного развития электроэнергетики // Энергоэксперт. 2010. № 2. С. 24–30.
10. Левченко С. А. Интеллектуальные энергетические сети – эффективная технология сбережения энергии. Концепция «Smart grid» в контексте устойчивого развития Белорусской энергосистемы // Энергетическая стратегия. – 2012. – № 2. – С. 46–49.
11. <http://www.prnewswire.com/news-releases/aceee--major-new-us-energy-find-could-offset-nearly-a-quarter-of-nations-power-use-157262425.html>
12. A vision for the Modern Grid / The National Energy Technology Laboratory (NETL). – 2007.
13. Короткевич А.М., Колик В.Р., Кулаковская Е.В. Умные распределительные электрические сети 0,4–10(6) кВ в Белорусской энергосистеме – первый шаг // Энергетическая стратегия. – 2011. - № 5.– С. 27 – 29.
14. Ледин С. Интеллектуальные сети Smart Grid – будущее российской энергетики / Автоматизация и ИТ в энергетике. – № 11 (16). – 2010. – С. 4–8.

УДК 621.318.57

Программируемые интеллектуальные реле

Макович И.А, Наварич М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Программируемое (интеллектуальное) реле — это одна из разновидностей логических программируемых контроллеров (ПЛК).

Основа интеллектуальных реле проста, часто используется для построения систем автоматического управления; основные сферы применения: • сверлильные станки системы контроля доступа насосное оборудование освещение устройства в системе ЖКХ локальные контуры различных систем автоматизации бытовая техника системы автоматического ввода резерва.

Основные особенности компактных систем: сравнительно маленькие размеры и простая система программирования, которая позволяет разрабатывать на своей основе элементы системы умного дома.

Стандартные средства описания и построения программ специально разработаны для инженеров чв области автоматизации промышленности и производства. Основными языками написания таких программ являются: языки релейной логики (LD) функциональных блоков (FBD).

Основными методами загрузки в память микроконтроллера программ являются интерфейсы подключения:

1. RS232
2. RS485
3. Industrial Ethernet.

Такой тип соединения позволяет производить связь с САУ верхнего уровня. Главное отличие интеллектуальных реле от полноценных программируемых логических контроллеров:

1. Малый объемом оперативной памяти.
2. Малый объём программной памяти и как следствие это полная невозможность проведения каких-либо алгебраических операций.
3. Ограниченно малое количество аналоговых и цифровых выводов.

Наличие таких отличий приводит к узкой специализации систем управления и ограниченности применения.

Основные преимущества таких реле являются:

1. Дружелюбный и удобный интерфейс .
2. Разработка программ в короткий срок.
3. Проверка синтаксиса и верность созданной программы.
4. Возможность отладки программы в реальном времени, что даёт полное представление о работе данного реле наглядно и в реальном времени в различных ситуациях.

Дискретное автоматизированное устройство позволяет осуществить обработку априорной и текущей информации, и осуществить переработку в управляющие сигналы, носители которых это дискретные по уровню и во времени сигналы. Это означает, что состояние сигнала каждого входа или же выхода автоматизированного устройства характеризуется в двоичной системе управления (логической единицей «1» и логическим нулём «0»).

Существует два основных способа составления схем на релейных и бесконтактных элементах: опытный и способ, основанный на более полном использовании теории алгебры логики.

Опытный широко используется в практике логического составления релейно-контакторных схем. Аналогично составляют бесконтактные аналоги релейно-контактных схем, в которых заданные условия работы схемы выражаются в виде функций алгебры логики. При этом целесообразно провести минимизацию любой контактной или бесконтактной схемы,

построенной таким опытным способом. Минимизация схем проводится на основе законов алгебры логики.

Способ построения (синтеза) схем основан на более полном использовании теории алгебры логики и принципов формализации реальных условий работы схемы автоматики. В этом случае исходят из заданных условий работы, составляя соответствующие таблицы состояний (карты функций), где отмечают комбинации аргументов и значений функций (выходных сигналов) в виде логических «1» и «0». Основная задача синтеза заключается в определении такой формы выражения искомой логической функции, которую можно реализовать с применением минимального числа возможно более простых элементов. Синтез релейных схем управления сводится к составлению структурной формулы (аналитического выражения), описывающей логические функции, которые должны выполняться данным устройством. Затем анализируют полученную алгебраическую формулу и составляют графическое начертание схемы.

Выводы:

1. Интеллектуальны программируемые реле, несмотря на свои недостатки, могут выполнять ряд задач в производственных и непромышленных сферах, в которых нет необходимости использовать программируемые логические контроллеры (ПЛК).

2. Кроме этого, они значительно дешевле ПЛК, что позволяет экономить в процессе модернизации, либо автоматизации ручного или автоматического процесса. Для того чтобы запрограммировать интеллектуальное программируемое реле, пользователю не обязательно обладать навыками программирования, можно использовать набор типовых программ. Интеллектуальные реле просты в программировании.

Литература

1. <https://habr.com/ru/post/137891/>
2. <https://p4b.su/forums?m=posts&q=268>
3. <https://energoboard.ru/post/1638/>
4. Лившиц, Ю. Э., Лакин, В. И., Мониц, Ю. И. Программируемые логические контроллеры для управления технологическими процессами

УДК 621.313.13 – 133.32

Электромобиль

Хорхалёва Е.А., Проташик Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СИЗИКОВ С.В.

Электромобиль — автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов, конденсаторов и т.п.), а не двигателем внутреннего сгорания. Электромобиль следует отличать от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электрической передачей, а также от троллейбусов и трамваев. Под термином электромобиль имеется в виду автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока.

Электродвигатель – устройство, которое занимается преобразованием электроэнергии в механическую. Он работает, используя принцип электромагнитной индукции. В последнее время он все сильнее популяризируется на автомобильном рынке в качестве перспективного направления развития автопромышленности. Поэтому есть смысл подробнее ознакомиться с устройством электромобиля, его двигателя, за которым может быть будущее отрасли.

Главные составляющие электромобиля:

- 1) непосредственно электродвигатель;
- 2) питающая аккумуляторная батарея разной емкости, которая связана с мощностью мотора;
- 3) упрощенная трансмиссия;
- 4) инвертор;
- 5) зарядное устройство на борту;
- 6) электронная система управления элементами конструкции;
- 7) преобразователь.

Электродвигатели переменного тока делятся на группы:

- 1) асинхронные – скорость вращения магнитного поля статора выше скорости вращения ротора;
- 2) синхронные – частоты вращения магнитного поля статора и ротора совпадают.

Достоинства электрических агрегатов:

- 1) высокий коэффициент полезного действия – до 95%;
- 2) компактность, малый вес;
- 3) простота использования;
- 4) экологичность;
- 5) долговечность;
- 6) создается максимальный показатель крутящего момента на любой отметке скорости;
- 7) воздушное охлаждение;
- 8) способны функционировать в режиме генератора;
- 9) не нужна коробка передач;
- 10) возможность рекуперации энергии торможения.

Недостатки:

Что касается недостатков непосредственно электродвигателя, то их нет. Больше вопросов вызывает питание агрегата, что, собственно, и тормозит распространение, широкое использование технологии. Поэтому на данный момент большей популярностью пользуются гибридные авто, нежели электромобили. Благодаря такой схеме увеличивается запас хода, позволительно использовать менее мощные и дорогостоящие аккумуляторные батареи.

Принцип работы и устройство.

Электродвигатель включает в себя статор и ротор. Вращающееся магнитное поле в статоре действует на обмотку ротора и наводит в нём ток индукции, возникает вращающий момент, который приводит в движение ротор. Электроэнергия, поступающая на обмотки мотора, преобразуется в механическую энергию вращения. Благодаря развитию технологии

электродвигатели нашли применение в разных отраслях, например, автомобилестроении. Причем они способны использоваться либо отдельно, либо совместно с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Последний вариант – гибридные авто. От электродвигателей, применяемых на производствах, агрегат для авто отличается малыми габаритами, но повышенной мощностью. К тому же современные разработки все больше отдаляют двигатели для автомобилей от иных подобных устройств. Характеристиками электромобилей являются не только показатели мощности, крутящего момента, но и частота вращения, ток и напряжение. Поскольку от этих данных зависит передвижение и обслуживание авто.

Теперь рассмотрим и сравним две наиболее популярные марки электромобилей: “Tesla” и “BMW”. Не много о каждой марке. Марка “Tesla” специализируется на производстве только электрокаров, а “BMW” изначально специализировалось на производстве автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, но в связи с техническим прогрессом стали производить на своем концерне автомобили с электродвигателями, которые приобрели большую популярность среди покупателей из-за своего современного дизайна. Электрокары “BMW” по своему дизайну являются “концепткарами”.

Выделим «плюсы» и «минусы» каждой марки на примере наиболее популярных моделей из каждой марки – это “BMW i3” и “Tesla Model 3”.

“BMW i3”

Преимущества:

- 1) отличные аэродинамические свойства.
- 2) просторный салон и большой объем багажника.

Интересный факт: все деля салона “BMW i3” произведены из экологически чистый материалов.

- 3) использование карбоновых элементов – это уменьшает лишний вес автомобиля.
- 4) распашная система открытия боковых дверей (отсутствие боковой стойки).

Недостатки:

- 1) Малое количество дилерских центров.
- 2) Малый уровень комфорта при езде по плохому покрытию.
- 3) Дорогой кузовной ремонт.
- 4) Малый запас хода относительно главного конкурента.

“Tesla Model 3”

Преимущества:

- 1) большой запас хода.
- 2) более мощный электродвигатель.
- 3) техническое оснащение.
- 4) комфорт.

Недостатки:

- 1) Высокая стоимость.
- 2) Отсутствие обычных опций.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что каждый электромобиль хорош по-своему. Если покупателю нужно средство передвижение по городу, то это личный вариант – это “BMW i3”. Если электромобиль будет использоваться преимущественно на дальние расстояния, то это – “Tesla Model 3”.

В заключении можно сказать, что, несомненно, электромобили займут свою «нишу» в рынке «самодвижущихся экипажей». Неоспоримым стимулом повышения спроса на электромобили могло бы стать изобретение и освоение широкомасштабного производства конструктивно принципиально новых аккумуляторов, которые имели бы энергоёмкость в 2...3 раза большую, чем современные.

Литература

1. Бусыгин, Б. П. Электромобили. Учебное пособие / Б. П. Бусыгин. 1979. - 72 с.
2. Щетинина, В. А. Электромобиль. / В.А. Щетинина, Ю.Я. Морговский, Б.И.

Центер, В.А. Богомазов. 1987. - 253 с.

3. Отроша, И. С. Электромобили / И. С. Отроша. - «Отделение ВНИИЭМ в электротехнике», 1969. - 83 с.

УДК 629.78.064.036:621.039:620.9

Methods of energy production in space

Dubatouka U.V.

Academic supervisor – SUKHODOLOV I., candidate of engineering sciences, associate professor

In order to maintain a spacecraft in a working condition, it needs electricity to keep it warm. Let alone all the power to run scientific instruments and the transmitters to send gathered data home. So, getting enough power in space is a big problem.

If on Earth the main sources of electricity production are made by huge coal and hydroelectric power plants, in space there are a number of restrictions. The main criteria for spaceships and spacecraft delivered by them, are the weight and dimensions. Today, solar panels, radioisotope thermoelectric generators and nuclear reactors are used for the energy production. Each of them has its benefits and drawbacks.

When it comes to using a satellite or a space probe on Earth's orbit, the preference is given to solar panels. For the reducing the cost of the spacecraft launching solar panels are used as it lighter and cheaper than nuclear reactors. The solar panel works by using photons from the Sun to knock electrons free from atoms. These electrons are harvested and provide electricity for a spacecraft to operate.

The situation is completely different for a lander on the planets' surface or probes sent to study the far reaches of the solar system and beyond. The problem is that when such scientific tools are moved off from the Sun, the amount of energy received by the solar panel decreases. This all due to the inverse square law, according to which the intensity I at any distance d is equal to the inverse square of that distance.

$$I = \frac{k}{d^2} \quad (1)$$

k - constant depends on the power of the source.

For example, both Voyager-1 and Voyager-2 are equipped with three radioisotope thermoelectric generators, which contains a small amount of slowly decaying Plutonium-238. While this process is occurring, released alpha-particles, bombard the surface of the container, heating it up, and this heat energy is converted into the electricity. As the amount of usable heat is steadily decreasing over time, the energy will not be enough to power up their transmitters any longer.

Space-based nuclear fission reactors are similar to those used down on the Earth to supply electricity. They use uranium-235 as a fuel for fission reaction, where the nucleus is split, releasing energy.

NASA in 2018 announced that they are working on a new space-based fission reactor technology called *Kilopower*. After ground tests of a new kind of such reactor it is known that it can supply 1000 watts of electrical energy for spacecraft, and up to 10000 watts for installation on the Moon, Mars or even for use in space stations on their orbits.

The reactor consists of an enriched uranium core that is undergoing fission decay. Heat pipes extend out from the reactor and connect to Sterling engines which convert the heat into electrical energy. The whole system is self-regulating. If the reactor overheats, the engines can draw off more power to cool it. If the temperature is too low, the core starts contacting, increasing the rate of fission again.

The next step is to conduct tests in a space. If all goes well, future Moon or Mars explorers will have all the power they need to survive on other worlds, run their science instruments, and transmit the results back home.

Each of those methods has its own implementation depending on the mission: for closed to Sun explorations usage of solar panels is more effective while nuclear power is better in other applications.

References

1. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/solar_arrays-about.html
2. <https://mars.nasa.gov/mer/mission/technology/severe-environments/>
3. https://www.researchgate.net/publication/321635726_Inverse_square_law_for_light_and_radiation_A_unifying_educational_approach
4. <https://www.allaboutcircuits.com/news/voyager-mission-anniversary-rtg-radioisotope-thermoelectric-generator/>
5. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4818>
6. <https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/spacecraft/instruments/rtg/>
7. https://mars.nasa.gov/files/mep/MMRTG_Jan2008.pdf
8. <https://www.theverge.com/2018/3/19/17138924/nasa-discovery-program-radioisotope-thermoelectric-generators-plutonium-238>
9. <http://spaceref.com/news/viewsr.html?pid=51241>
10. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/ns_kilopower_fs_180111.pdf
11. <https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/kilopower>

УДК621.3

Мини-гидроэлектростанция

Нестерович А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Одним из самых экономных и экологически чистых способов получения электроэнергии является гидроэлектростанция для дома, затраты на которую сводятся к первичному строительству и техническому обслуживанию оборудования. Но не каждая местность имеет природные возможности для строительства подобных сооружений, для которых необходим мощный водный поток и большой перепад высот, создаваемых плотиной, в этом случае на помощь энергетикам приходят мини ГЭС.

Список используемого оборудования:

- Низкооборотный генератор на постоянных магнитах ГТ1А.
- Редуктор с повышением оборотов (в 10-12 раз).
- 3 свинцовых аккумулятора от автомобиля 12 вольт.
- Несколько валов, передающих крутящий момент от турбины к генератору.
- Один ШРУС (Шарнир равных угловых скоростей) (для возможности соединения валов и их размещения под различным углом).
- Осевая турбина.
- Автомобильный инвертор.
- Контроллер заряда аккумуляторов.

Установка Мини-ГЭС

Для установки ГЭС нам потребуется сделать два отводных канала. Первый для экстренного сброса воды в случае паводка, а второй - для разветвления реки и создания небольшого перепада для эффективной работы осевой турбины. Это требуется, чтобы минимизировать ущерб вреда экологии и получать большее количество оборотов за счет большего потока воды, проходящего через турбину.

Далее устанавливаем осевую турбину, к ней присоединяем вал, который будет передавать крутящий момент на редуктор. Использование редуктора обусловлено тем, что первоначально мы имеем около 50-60 оборотов в минуту, что очень мало для нашего генератора. Поэтому установим редуктор повышающий обороты в 11 раз. В итоге получится около 600 оборотов на входе в генератор. Этого достаточно, чтобы наш генератор начал вырабатывать электричество.

Возьмем генератор ГТ1А. Это обусловлено тем, что он прост в конструкции и дешев в обслуживании. Также в нем отсутствуют коллектора и щетки, что также удлинит ресурс. Это трехфазный двигатель, который выдает 12 вольт и около 24 ампер в максимальной нагрузке (8 ампер на каждую фазу).

Далее, через выпрямители, подсоединяем автомобильные аккумуляторы. Эти аккумуляторы накапливают энергию, когда из сети потребляется мало энергии (ночью), а в нужный момент, когда потребление увеличивается, подпитывают инвертор.

Инвертор можно взять автомобильный с входным напряжением 12 вольт и с выходным 220 вольт.

В итоге в такую сеть можно подключать приборы, мощность которых не превышает максимальную мощность самого инвертора, и потребление тока не превышает максимальную токоотдачу аккумуляторов.

Для того, чтобы наши аккумуляторы не перезаряжались, поставим контроллер заряда. В тот момент, когда аккумуляторы полностью зарядятся от нашей Мини-ГЭС, контроллер просто прекратит дальнейшую зарядку, тем самым не повредит аккумуляторы.

Вывод

Данную Мини-ГЭС хорошо использовать в удаленной местности, где нет близости линий электропередач. Так мы получим бесплатную электроэнергию, которая окупит со временем затраты на оборудование.

В случае если наш дом подключен к сети, то после заключения договора с государством, мы сможем отдавать энергию, тем самым уменьшать плату за коммунальные услуги.

УДК 629.7.064.5

Оборудование и элементная база беспилотных летательных аппаратов

Самсонов А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

БПЛА (Беспилотные Летательные Аппараты или дрон) – летательный аппарат без экипажа на борту. Беспилотные летательные аппараты изготавливают из легких композитных материалов, позволяющих дронам летать на больших высотах.

Беспилотные летательные аппараты оснащают различными технологиями, такими как инфракрасные камеры, GPS, лазеры, гироскопы и т.д. Дронами можно управлять как дистанционно, с помощью наземной кабины, либо дрон может управляться автономно.

Многие из последних беспилотных летательных аппаратов оснащены двумя глобальными навигационными системами (GNSS - система, предназначенная для определения местоположения наземных, водных и воздушных объектов) включающая в себя GPS и ГЛОНАСС. Дрон может осуществлять полет и без помощи спутника.

Система GNSS использует технологию спутниковой группировки. Принцип её работы заключается в координации и синхронизации всех спутников, что позволяет ей охватывать всю территорию, не оставляя «слепых зон».

В беспилотные летательные аппараты устанавливают множество различных датчиков полета, определения расстояния и идентификации объектов. Основные из них: мультиспектральные, лидарные, фотограмметрические, тепловизионные и «временнóлетные».

В беспилотных летательных аппаратах используются аккумуляторы различной мощности и различных размеров, но также имеет место использование генераторов, работающих на топливе. В дронах малых размеров в основном используются литий-полимерные аккумуляторы, характеризующиеся как аккумуляторы с большой плотностью энергии на единицу массы, низкий саморазряд, малые размеры, незначительных перепад напряжения по мере разряда, широкий диапазон рабочих температур, но такие аккумуляторы пожароопасны при перегреве или перезаряде.

Технология гиросtabilизации позволяет беспилотным летательным аппаратам летать плавно без рывков. Гироскопы должны работать мгновенно, для обеспечения стабильного полета дрона. Кроме того, для ориентации БПЛА в пространстве используют инерциальный контроллер полета, который служит для текущего ускорения устройства, также он может включать в себя магнитометр, служащий для дополнительной ориентации устройства.

После выбора и утверждения элементной базы беспилотного летательного аппарата создается его макет, после по макету создают прототип устройства, который, впоследствии, тестируют и, при необходимости, дорабатывают. После того как прототип прошел все испытания создается серия из некоторого количества аппаратов, которые уже готовы к использованию.

УДК621.3

Беспроводная передача энергии

Коновалов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

В современном мире технологии беспроводной передачи электроэнергии стремительно развиваются, особенно в области передачи данных. Больших успехов достигли такие виды как радиосвязь, беспроводные технологии Bluetooth, Wi-Fi. Хотя особых изменений и не произошло, в основном изменялись частоты, способы шифрования сигнала, но также представление сигнала перешло в цифровое из аналогового.

Говоря о передаче энергии для питания оборудования без проводов, стоит упомянуть, что в 2007 году исследователи из Массачусетского института смогли передать энергию чтобы зажечь 60-ваттную лампочку на расстоянии 2 метров. Эта технология получила названия WiTricity, в основе его действия стоит электромагнитный резонанс между приёмником и передатчиком. Но в данном случае приёмник может получать лишь 40-45% от передаваемой энергии.

Также данная технология используется для подзарядки электромобилей. Суть заключается в том, что приёмник находится на дне электромобиля, а передатчик будет находиться в гараже либо в другом месте, как парковка. Следует установить автомобиль в таком положении, чтобы приёмник находился прямо над передатчиком. Данное устройство способно передавать достаточно большое количество энергии, от 3.6 до 11 кВт в час.

Некоторые компании рассматривают обеспечение данной технологией как бытовую технику, так и квартиру в целом. В 2010 году компания Naier представила эту технологию в беспроводном телевизоре, а также и беспроводной видеосигнал. Много аналогичных разработок ведут и другие известные компании, такие как Intel, Sony.

Беспроводная передача электричества также может осуществляться с помощью лазера и микроволн. Они способны обеспечивать больший радиус действия, чем технология WiTricity. Для микроволновой передачи, на прибор, который принимает энергию устанавливают ректенну (нелинейная антенна для преобразования электромагнитной волны в постоянный ток), и излучение от передатчика направляется в его сторону. В таком случае можно без проводов передать электричество, и при этом нет прямой необходимости видеть данные приборы. Но минусом является то, что микроволновое излучение само по себе не безопасно как для окружающей среды, так и для здоровья человека.

В 2014 году в данной сфере произошёл прорыв, когда ученые разработали устройство для генерации и приема энергии на расстоянии без проводов, используя систему линз, размещенных между передающей и приемной катушками. Ранее предполагалось, что передача электроэнергии, не используя проводника, возможна на дистанцию, не превышающую размер приборов, поэтому для перемещения электричества на большое расстояние требовало огромное сооружение. Для этого используются особые приборы, передающие энергию через магнитные волны, а не СВЧ. В данном случае электроны не теряют своей мощности, потому что передаются с помощью концентрированных пучков, а также для подзарядки, не требуется постоянно быть подключённым к приёмнику, следует лишь находиться в зоне действия данных волн.

Беспроводное электричество изучается постоянно и одни из самых перспективных методов его использования в будущем:

1. Для зарядки мобильных устройств;
2. Для питания беспилотных летательных аппаратов – это направление, которое будет пользоваться большим спросом и в гражданской, и в военной индустрии, так как подобные устройства в последнее время стали часто использоваться для различных целей.

Также для передачи энергии можно использовать ультразвук. В источнике возникает особый направленный ультразвуковой пучок волн с высокой частотой. И при попадании на приёмник звуковые волны преобразуются в электрический ток. В таком способе передача

энергии не может осуществляться на расстояние больше 10 метров. Данный метод не считается перспективным из-за низкого КПД, довольно малого получаемого напряжения и санитарных норм к излучаемому ультразвуку.

Лазерное излучение тоже является разновидностью электромагнитного излучения и обладает когерентностью, что позволяет уменьшить потери при передаче энергии и это значительно повышает КПД. С помощью лазерного луча можно передавать энергию на очень большие расстояния (несколько километров в атмосфере), к тому же для его получения не требуются масштабные установки. Но из минусов следует выделить, что даже с помощью лазера КПД составляет около 50%, будут происходить потери из-за атмосферных явлений, таких как туман, дождь, пылевые тучи, а также необходимость установления приёмника и передатчика в поле видимости.

В перспективе на данный момент стоит изобретение возможности беспроводной передачи энергии с околоземной орбиты, ведь давно известно, что интенсивность солнечного света намного выше за пределами земной атмосферы, чем на поверхности Земли. Пока ведётся изучение способов передачи энергии на такие расстояния с максимальным КПД и в сейчас обдумывают возможность «копирования» разрядов молний, но для этого придётся произвести ионизацию воздуха. Так, этот метод может позволить нам отказаться от наземных электрических станций, что сможет позволить уменьшить загрязнение окружающей среды.

Литература

1. <https://www.asutpp.ru>
2. <https://samelectrik.ru>

УДК 621.3

Бесконтактные датчики

Галкин А.М., Кондратенко В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Бесконтактный датчик – датчик, который срабатывает без механического соприкосновения. Они работают через электрическое, магнитное или электромагнитное поле. Также используются оптические датчики.

Оптические датчики

Эти датчики подают единичный сигнал на регистрирующую систему (приёмник) в видимом, инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне.

Такие датчики обычно состоят из двух элементов – излучателя луча и приёмника. Принцип работы основан на прерывании луча: если что-то пересекает луч, то сигнал прерывается и приёмник реагирует на это, подавая импульс дальше в цепь.

Существует три типа оптических датчиков: тип Т, тип R, тип D. Их отличие в принципе работы. Тип Т – это датчики барьерного типа. Их приёмник принимает луч от отдельно стоящего излучателя, который находится напротив него на одной оси. Тип R – датчики рефлекторного типа. Их приёмник находится там же, где и генератор луча. Генерируемый луч испускается из генератора и, отражаясь от рефлектора, возвращается к датчику, но уже в приёмник. Тип D – датчик диффузионного типа. Они принимают луч рассеянно отражённый от предмета. Для этого приёмник учитывает интенсивность отражённого луча. Также для точности срабатывания в датчиках такого типа может включаться функция подавления фона.

Современные оптические датчики имеют такую характеристику, как режим работы:

- «DARK ON»;
- «LIGHT ON».

Эти режимы были специально введены для оптических датчиков, для лучшего понимания, как ведет себя выходной сигнал с датчика при наличии или отсутствии светового луча. Режим «DARK ON» означает переключение коммутационных элементов по прерыванию светового луча. Режим «LIGHT ON» означает переключение коммутационных элементов по наличию светового луча.

Оптические датчики широко используются в производстве: подсчет количества продукции, определение наличия предметов, присутствие этикеток наклеек, проверка габаритов, уровня жидкости и другое.

Индуктивные датчики

Индуктивные датчики – датчик, который реагирует на изменение магнитного поля, то есть реагируют на приближение или удаление металла от них. Соответственно на другие материалы они не реагируют.

Принцип действия основан на изменении параметров магнитного поля, создаваемого катушкой индуктивности внутри датчика.

Данный датчик характеризуется номинальным расстоянием переключения – расстояние, при котором объект, приближающийся к активной поверхности датчика, вызывает изменение выходного логического сигнала. Однако эта величина должна браться с поправкой на материал, который взаимодействует с этим датчиком.

Расстояние, на котором датчик изменит своё магнитное поле, также зависит от размера самого датчика – чем он больше, тем больше расстояние срабатывания.

Данные датчики могут применяться для снятия числа оборотов металлических деталей, проверки пищевых продуктов на наличие посторонних предметов, определения металлических предметов на ленте мусороперерабатывающего завода.

Ёмкостные датчики

Третий вид датчика – ёмкостной. Он является преобразователем параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение ёмкости конденсатора. Ёмкостный датчик преобразовывает такие величины, как влажность, давление, сила

механического воздействия, уровень жидкости в изменение электрической емкости. Датчик реагирует как на электропроводящие материалы, так и на диэлектрики.

Активная поверхность емкостного выключателя образована двумя металлическими электродами, которые можно представить, как обкладки "развернутого" конденсатора. Электроды включены в цепь обратной связи высокочастотного автогенератора, который в отсутствие объекта вблизи активной поверхности не генерирует. При приближении к активной поверхности объект попадает в электрическое поле и способствует повышению емкости связи между пластинами. Генератор начинает вырабатывать колебания, амплитуда которых возрастает по мере приближения объекта.

Такие датчики применяются в сенсорных выключателях, экранах, используются для контроля заполнения ёмкостей жидкими, порошкообразными или зернистыми веществами.

Ультразвуковой датчик

Ультразвуковой датчик реагирует на объект путём измерения времени, за которое звуковая волна вернётся к приёмнику. Обычно такой датчик состоит из двух мембран – одна генерирует ультразвук, другая регистрирует отражённое эхо. Ультразвук имеет очень высокие частоты, что обеспечивает концентрированное направление звуковой волны, так как рассеивание звука такой частоты в окружающей среде минимально. При испускании импульса генератором запускается таймер. Он останавливается тогда, когда принимающая мембрана уловит эхо.

Обычно такие датчики применяются для определения удалённости и местонахождения предметов.

Литература

1. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука
Москва: Техносфера, 2012. 624 с., ISBN 9785948363165
2. Зачем нужны бесконтактные датчики
<https://www.youtube.com/watch?v=rdtxxd6nDgc>
3. Виглеб, Г. Датчики: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989.-196 с., ил.

УДК 629.

Практическое использование атмосферной электроэнергии

Пильник А.С., Шуляковский Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Атмосферной электроэнергией еще в 18 веке заинтересовался Бенджамин Франклин. Всё началось с безобидного опыта с воздушным змеем, который запустили в грозу. Тогда же Франклин доказал, гроза имеет электрическую природу.

Как известно науке, источником атмосферного электричества является Солнце. Солнце излучает поток положительно заряженных частиц, преимущественно протонов, которые создают положительный заряд ионосферы, а поверхность земли приобретает отрицательный заряд вследствие электростатической индукции. У поверхности Земли идут интенсивные процессы, связанные с электризацией, такие как: испарение, образование облаков, перенос влаги, перенос тепла, выпадение осадков. В результате, в нижних слоях атмосферы градиент потенциала достигает значительно высоких значений. Если быть точным, то значение величины значительно зависит от погодных условий и достигает следующих значений: 150 В/м летом и 300 В/м зимой.

На протяжении долгого времени, начиная с 19 века, исследователи усердно пытались получить электрическую энергию из воздуха. Это, конечно же, у них получилось, но появилась другая проблема, проблема рентабельности использования атмосферного электричества. Необходимо было найти способ, который бы смог конкурировать с уже существующими способами добычи электрической энергии.

Одним из наиболее известных способов преобразования атмосферного электричества является преобразование через приемный блок-разрядный элемент. Приемный блок располагают высоко в воздухе, а на разрядный элемент поступает атмосферное электричество, которое с помощью электродов преобразуется.

Наибольший недостаток этого метода состоит в том, что возникающие при преобразовании напряжения могут достигать огромных значений. При этом для реализации полученной электроэнергии необходимы специальные приемники.

Следующий способ - преобразование атмосферного электричества в электрическую энергию с помощью лебедки летательного аппарата, передающего в емкостный накопитель электроэнергию с помощью выпрямителя.

Однако и этот метод имеет свои недостатки. А именно: для использования накопленной энергии необходимо наличие специальных высоковольтных преобразователей; дороговизна высоковольтных конденсаторов; атмосферную энергию придется проводить в землю через высоковольтный разрядник при высоких напряжениях, т.к. даже высоковольтные конденсаторы имеют ограничение по напряжению.

Если мы обобщим, то основными задачами при преобразовании атмосферной энергии в электрическую состоят в том, чтобы:

Безопасно и эффективно преобразовать высокие напряжения в промышленную.

Уменьшить количество используемых конденсаторов и снизить их номинальное напряжение.

Эти задачи решаются с помощью способа преобразования атмосферного электричества, при котором его сначала аккумулируют до определенной величины, а затем с помощью электрогидравлических разрядников последовательно преобразуют в энергию пневматической системы с повышенным давлением. Достигнув определенного давления, энергию этой системы преобразуют с помощью ветрогенератора в электроэнергию. Данный способ позволит полностью использовать атмосферную электроэнергию.

Теоретический КПД данного метода преобразования атмосферной электроэнергии в электроэнергию достигает 60%. На выходе можно получить любое желаемое напряжение, в том числе и промышленное. Данный способ интересен тем, что нам удастся избежать

разрушительного воздействия грозových разрядов на окружающую среду в районе действия установки.

Литература

1. Патентный поиск [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/236/2366121.html> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 629.052.9

Диагностика двигателя электромобиля

Богданов Ю.И., Бурдук Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Несмотря на то, что электродвигатель имеет очень большой запас прочности и является одним из самых долговечных узлов, неисправности все же случаются. В настоящее время электромобили оснащают двигателями весьма сложной конструкции, зачастую — это несколько электродвигателей, которые находятся, в одном корпусе. Там же, где и расположена вся трансмиссия машины. Из-за сложности конструкции этот узел имеет высокую стоимость, а так как на территории нашей страны не так уж и немного электрокаров, то поиск таких узлов весьма затруднителен и долгосрочен. Поэтому, в большинстве случаев рациональным является ремонт двигателя.

Для определения объема ремонтных работ, требуется определить характер поломок. В основном требуется устранить неисправности механического характера. Например, некорректную работу подшипников; деформацию или поломку вала ротора; образование глубоких выработок на поверхности коллектора; трещины в подшипниковых щитах или в станине и др. Но существуют не только механические поломки, но и электрические — перегорание обмоток при работе электродвигателя продолжительный промежуток времени с недопустимо большой перегрузкой, пробой изоляции обмоток и коллектора, старение изоляции и другие.

Наиболее часто встречающиеся поломки электродвигателей: перегрев двигателя - 30%, межвитковое замыкание - 19%, неисправность подшипников - 11%, повреждение обмоток статора или изоляции - 9%, неравномерный воздушный зазор между статором и ротором - 5% и другие.

Сигналами, указывающим на некорректное функционирование двигателя, являются повышенный шум при работе, отсутствие полной мощности при стандартной нагрузке и повышенный нагрев.

Разберём некоторые неисправности в электрических двигателях и возможные причины их появления.

При запуске двигателя ничего не происходит либо скорость его вращения ненормальная. Причинами такой поломки могут быть как механические, так и электрические неполадки.

К электрическим повреждениям можно отнести: обрывы в обмотке статора или ротора, обрыв в питающей сети, нарушения соединений в пусковой аппаратуре. Если имеет место обрыв обмотки статора, вращающееся магнитное поле создаваться не будет, и двигатель не запустится. Если во время работы электродвигателя произошел обрыв обмотки, он может продолжать работать с номинальным вращающим моментом, но скорость вращения сильно понизится, при этом ток увеличится до такой степени, что при отсутствии защиты может сгореть обмотка статора или ротора.

Пониженная скорость вращения двигателя при нормальной нагрузке возможна из-за низкого напряжения питающей сети, плохих контактов в обмотке ротора.

Двигатель может перегреваться из-за длительной перегрузки и ухудшения условий охлаждения. И как следствие, возникает преждевременный износ изоляции обмоток.

Местный нагрев обмотки статора, сопровождающийся сильным гудением, падением скорости вращения двигателя и разными токами в его фазах, и запахом горелой изоляции. Такая поломка может возникнуть из-за замыкания обмотки на корпус в двух местах, замыкания между двумя фазами, короткого замыкания между витками в одной из фаз обмотки статора.

Для того чтобы, выявить неисправность, в первую очередь следует проверить (при отключенных проводах, идущих от контроллера) омметром со шкалой до 10 Ом исправность обмоток возбуждения и цепи коллектора. Если неисправности отсутствуют, то необходимо

внимательно осмотреть коллектор на наличие различных механических повреждений и нагаров.

Затем мегомметром либо омметром со шкалой до 10 МОм нужно проверить целостность изоляции обмоток и якоря относительно корпуса и вала. Для этого один из проводов омметра присоединяется к корпусу или валу, а второй — к концам обмоток возбуждения, а затем к щеткам коллектора. Если изоляция нарушена, то двигатель демонтируется, а после проверяется и ремонтируется в мастерской. Величина сопротивления обмоток относительно корпуса не нормируется, но оно должно быть не менее сотен тысяч Ом. Если на коллекторе найдены пригары или сильный износ, то двигатель также демонтируют и проводят ремонтные работы.

Местный нагрев активной стали статора появляется в результате замыкания листов стали при задевании ротора о статор во время работы электродвигателя или из-за нарушения слоя изоляции между листами стали. Основными признаками задевания ротора о статор можно назвать дым, искры и запах гари; активная сталь в местах задевания становится полированной и блестит; двигатель начинает вибрировать и сильно гудеть. Причиной такой неисправности является нарушение нормального зазора между ротором и статором из-за износа подшипников, неправильной их установки, большого изгиба вала, сильной вибрации ротора, и других. Этот зазор определяют щупом. Кроме того, ненормальный шум в электродвигателе, может появиться вследствие ослабления запрессовки, и поэтому пакеты стали периодически сживаются и ослабляются под воздействием магнитного потока вызывая шум. В таком случае нужно перепрессовать пакеты стали.

Такая неисправность как повреждение изоляции обмоток возможна из-за длительного перегрева двигателя, увлажнения и загрязнения обмоток, попадания на них металлической пыли, стружек, и вследствие естественного старения изоляции. Повреждения изоляции может спровоцировать замыкания между фазами и витками отдельных катушек обмоток, а также замыкание обмоток на корпус двигателя.

Производители электрических двигателей в инструкциях по эксплуатации зачастую указывают основные неисправности, которые могут появиться при работе электродвигателя, и приводят рекомендации по их устранению.

На современном этапе обслуживание силового агрегата автомобиля начинается с диагностики работоспособности электромотора, который подключён к электронному блоку управления автомобилем. Подключившись к нему, проводится диагностика и при обнаружении неисправности выдаётся ошибка с соответствующим кодом, по которому и определяется поломка. Диагностика может производиться и дистанционно, через специальное программное обеспечение. Сервисное и техническое обслуживание двигателей стоит проводить на сертифицированных станциях, так как каждая фирма создаёт своё ПО для диагностики, и только у них имеется нужное оборудование для всех ремонтно-диагностических и восстановительных операций.

Литература

1. www.malahit-irk.ru: Неисправности асинхронного электродвигателя.

УДК 629.

Характеристики АКБ

Рудик П.С., Пименов В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

В начале 19 века итальянский ученый Алессандро Вольт, используя медные и свинцовые пластинки, получил непрерывное напряжение, называемое Вольтов столб. С этого момента начали появляться первые источники питания. Сегодня, АКБ (аккумуляторные батареи) заняли лидирующее место в системах портативного электроснабжения различных приборов или объектов промышленного и бытового назначения. В данной статье будут рассмотрены некоторые характеристики аккумуляторов:

1. Напряжение АКБ.
2. Ёмкость АКБ.
3. Допустимая глубина разряда АКБ.

Ёмкость аккумулятора

Величиной, отражающую энергию, которую может накопить батарея, измеряемая в Ампер-часах, называется ёмкостью. Например: ёмкость в 300А*ч обозначает, что батарея способна снабжать потребителя током 3А продолжительностью в 100 часов, или током 6А - 50 часов. Важно принять во внимание, что на АКБ обычно указывают параметр «С» с числовым значением колеблющееся от 1 до до 48 часов из соображения, что при росте потребляемого тока, ёмкость аккумулятора падает. Эта характеристика указывает на ёмкость батареи при разряде за определенное время. Маркер С10 считают стандартным, и большинство производителей указывает ёмкость при 10-ти часовом разряде. Например: ёмкость 100Ач при С=10 (С10) показывает, что батарея обеспечит данную ёмкость при 10-ти часовом разряде, если взять батарею той же ёмкости с параметром С4, то её ёмкость упадёт и составит примерно 70Ач, а если промежуток времени составит 30 часов, то ёмкость увеличится и составит приблизительно 117Ач. Таким образом, при выборе ёмкости АКБ необходимо учитывать время, в течение которого будет происходить разряд.

Напряжение батареи

Этот параметр позволяет дать понятие о степени заряженности и о состоянии батареи. Существуют АКБ, у которых нет возможности произвести измерения плотности электролита, например, аккумуляторы с герметизацией. Для таких видов батарей напряжение является ключевым. В настоящее время, распространенными видами напряжения являются: 1.2, 2.4, 6, 12В. Батареи высших напряжений, такие как 24, 48, 96В, получают, используя несколько батарей напряжением 12В соединённых последовательно. Напряжение на концах батареи измеряют при отсутствии как зарядного, так и разрядного токов в течение 3-4 часов. За данный промежуток времени напряжение становится стабильным. Именно такие условия измерения позволяют судить о глубине заряженности аккумулятора. Ниже приведена зависимость заряженности аккумулятора от напряжения без нагрузки (холостой ход). К сожалению, эта зависимость справедлива для АКБ с жидким электролитом. Для герметизированных АКБ значение напряжения выше.

Таблица 1 – Зависимость заряженности аккумулятора от напряжения

Степень заряженности	Батарея 12В	Батарея 24В	Плотность электролита
100	12.70	25.40	1.265
95	12.64	25.25	1.257
90	12.58	25.16	1.249
85	12.52	25.04	1.241
80	12.46	24.92	1.233
75	12.40	24.80	1.225
70	12.36	24.72	1.218

65	12.32	24.64	1.211
60	12.28	24.56	1.204
55	12.24	24.48	1.197
50	12.20	24.40	1.190
45	12.12	24.24	1.176
40	12.04	24.08	1.162
35	11.98	23.96	1.148
30	11.94	23.88	1.134
25	11.70	23.40	1.125
20	11.64	23.25	1.117
15	11.58	23.16	1.109
10	11.52	23.04	1.101

Допустимая глубина разряда

Этот параметр определяющий, в сроке службы аккумулятора наряду с интенсивностью эксплуатации. Любую батарею можно вывести из строя за короткий промежуток времени (7-10 дней), если производить глубокий разряд несколько раз подряд. Наиболее стойкими АКБ являются: литий-ионные и никель-кадмиевые, а также специализированные свинцово-кислотные батареи. Обычно такие серии маркируются словом «Deep» (глубокий). Чтобы увеличить срок службы АКБ, следует придерживаться рекомендованных значений разряда. Ниже, приведены характеристики аккумуляторов допустимой и рекомендованной глубины разряда.

Таблица 2 – Характеристика аккумулятора по разряду

Тип Батареи	Допустимый разряд, %	Рекомендованный, %
VRLA	70	40
AGM VRLA	80	50
GEL VRLA	90	50
OPZV	90	60
OPZS	90	60
Li-ion	100	90
Ni-Cd	100	70

Сегодня, в мире «электричества», человек пытается создать наиболее прогрессивные виды АКБ и за этим стоит наше будущее.

Литература

1. <https://best-energy.com.ua/support/battery/411-features-battery>.

УДК 577.35.085

Электротомия

Солодков И.В., Зарихта А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

В ходе работы, нами был произведен расчет нагрева роговой ткани эпидермиса человека с использованием ЭХВЧ-500-5 [1] соответствующего ГОСТ 20790-82 (Аппарат относится к 2 группе) при рабочей мощности в 20 Вт (Рис.1) в программе SolidWorks. В точку на поверхность роговой ткани площадью в 3 мм была подана мощность в 20 Вт. Плотность кожи человека может варьироваться в зависимости от температуры, места на теле, и человека. В ходе расчета плотность кожи составит $1,2 \text{ г/см}^3$, данное значение является средним. По термическому расчету видно, что ткани разогрелись неравномерно, однако даже 20 Вт хватает, чтобы прогреть ткани до температуры денатурации белка и испарении жидкости. Таким образом, можно сделать вывод о том, что значение максимальной мощности выдаваемой аппаратом ЭХВЧ-500-5 в 466 Вт является избыточным для проведения медицинских операций. Данная мощность достигается посредством источника ТВЧ, который имеет вес равный 33 кг, когда аппарат в полной сборке имеет вес равный 38 кг. Замена источника ТВЧ сделала бы аппарат более мобильным, однако для стационарного прибора это может быть нецелесообразно.

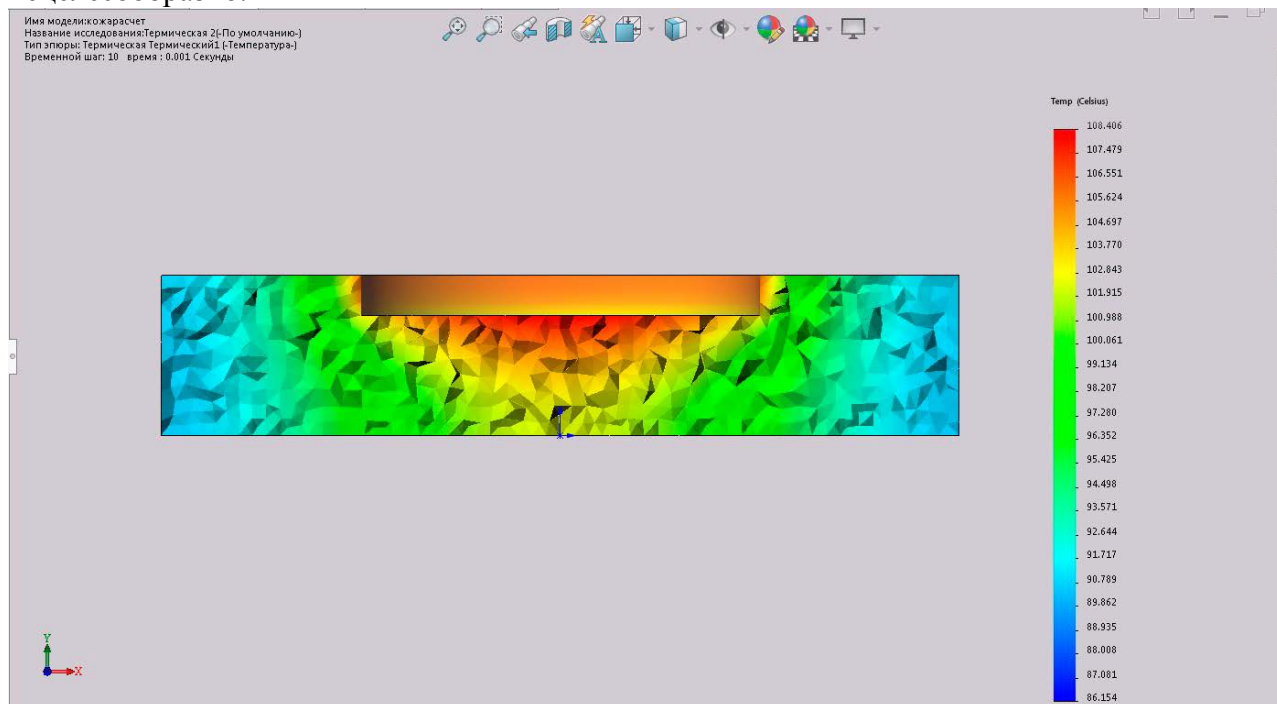


Рисунок 1 – Тепловой расчет нагрева роговой ткани эпидермиса человека

В ходе изучения нормативной документации, функциональных и полных электрических схем ЭХВЧ-500-5 был сделан вывод о необходимости увеличения продолжительности непрерывной работы. Также данный прибор работает на частоте переменного тока в 50 Гц, что является стандартной частотой для стран Европы, однако применение данного прибора в странах с другой частотой переменного тока будет затруднительно. В связи с перегревом элементов конструкции и активных электродов настоящей документацией, а именно паспортом ЭХВЧ-500-5 предусмотрена непрерывная работа на протяжении не более 8 часов. Этого времени может быть недостаточно для проведения сложных хирургических операций, длительностью более 8 часов.

Литература

1. Калашников, С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. - М.: Наука, 2017. - 199 с.

УДК 533.9.03-551.594

Физическая природа шаровой молнии

Макаренко Л.С., Сычёва Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Шаровая молния – это светящийся шар, который возникает во время грозы. Обычно это красный, хотя часто сообщалось о светящихся шарах других цветов, в том числе желтый, белый, синий и зеленый. Размеры очень разные, однако самый распространенный диаметр составляет около 15 см.

Шаровая молния – сильно отличается от обычных газов: она не занимает весь объем, который предоставлен для неё и не смешивается с воздухом. Большинство наблюдателей говорят о четкой (хотя и не всегда гладкой) границе, отделяющей шаровую молнию от окружающей атмосферы, которая сохраняется в течение всего времени жизни шаровой молнии, достигающей иногда до 1 мин или более. Движение шаровой молнии также не приводит к размыванию этой границы и к перемешиванию вещества молнии в воздухе несмотря на то, что за время жизни она может проходить большое расстояние. Её поведение существенно отличается от поведения хорошо известных нам нагретых газов [1].

Движение шаровой молнии в условиях безразличного равновесия, при котором сила тяжести уравновешена архимедовой силой, определяется как электрическими полями, так и движением воздуха. Скорость движения шаровой молнии находится в интервале 0,1-10 м / с. Средняя скорость движения оценивается в несколько метров в секунду [1].

Удивительной особенностью движения шаровой молнии является ее способность находить отверстия и проникать в них, проходить через щели. Согласно некоторым данным, в 104 случаях из 2082 шаровая молния проходила через щель, размер которой был меньше ее диаметра.

Обычно она случается в грозовую погоду, может появиться как бы из металлических объектов и приборов (розеток, радиоприемников, батарей отопления) или просто возникнуть в воздухе. Пик сезонного распределения наблюдения шаровой молнии приходится на июль. Характер движения шаровой молнии плавный в горизонтальном направлении, хотя возможно движение и по вертикали или по сложной траектории, а также катиться по земле или отскакивать от нее как мяч.

Чтобы объяснить направленное вниз движение шаровой молнии, необходимо предположить, что ее плотность превышает плотность воздуха. Если бы мы исходили из того, что шаровая молния поднимается преимущественно вверх, то нам пришлось бы считать её плотность меньше, чем плотность воздуха. Наконец, при отсутствии явно выраженного движения шаровой молнии вверх или вниз, приходится считать плотность вещества в ней сравнимой с аналогичным показателем окружающего воздуха [2].

Таким образом, шаровая молния движется горизонтально или падает вниз, не приобретая большой скорости. Это определенно указывает на то, что плотность её вещества почти равна плотности окружающего воздуха или немного превосходит её. Вследствие этого на движение шаровой молнии слабо влияет сила тяжести, и именно в этом состоит одна из причин необычности этих движений: они кажутся нам такими же странными, как и движение тел в состоянии невесомости [2].

Движение может неожиданно изменяться. Когда заряд меняется, молния может внезапно начать падать или подниматься вверх. Если молния полностью теряет свой заряд во время движения, это еще не означает, что электрическое поле больше не влияет на неё. На расстоянии, равном диаметру шаровой молнии, разность потенциалов электрического поля, которая возникает во время грозы, может достигать нескольких киловольт. Под действием поля вещество шаровой молнии будет поляризоваться, вызывая электрические заряды. Силы поляризации, действующие на незаряженную шаровую молнию, перемещают её в область, где напряжённость электрического поля больше. На большой высоте поле однородно и электрические силы не влияют на движение шаровой молнии, когда она не заряжена. Однако

вблизи поверхности земли незаряжённая шаровая молния будет притягиваться к заряженным проводникам независимо от знака их заряда, что и наблюдается довольно часто. Возможно, этим и объясняется её упорное стремление проникать в закрытые помещения даже через узкие отверстия. После контакта с проводником часть индуцированного заряда нейтрализуется и молния, таким образом, снова может снова получить заряд одного знака [2].

Учёный Рихман проводил исследования шаровой молнии на крыше своего дома. Он установил железный шест, изолированный от земли. К шесту была привязана проволока, которая вела в одну из комнат дома. На конце проволоки был прикреплен своеобразный измерительный прибор – металлическая шкала, квадрант и шелковая нить. По отклонению шелковой нити при помощи шкалы ученый вычислял величину исследуемого атмосферного электричества. Георг Вильгельм постоянно усовершенствовал свой прибор, соединяя его с другими приборами, изобретенными его коллегами. По сути Рихманом был изобретен первый в мире электроскоп, который использовал градуированную шкалу для измерения величины атмосферного электричества – до него вопрос о величине электричества не стоял [3].

6 августа 1753 года, во время очередных исследований Рихманом грозových разрядов, ученый был смертельно поражен внезапно появившейся на конце проводника его электроскопа шаровой молнией. Трагическая смерть Георга Вильгельма всколыхнула всю научную общественность не только России, но и практически всего мира. В России даже временно запретили любые опыты, связанные с атмосферным электричеством [3].

Таблица 1 – Виды шаровых молний

№	Цвет	Форма и диаметр (см)	Характер движения	Длительность явления	Способ появления	Способ исчезновения
1	Оранжевый	Шар, 10	Шар поднялся на уровень примерно полтора метра и пролетел буквой Г по комнате	Больше минуты	Шаровая молния выдувается как мыльный пузырь из розетки в углу	“Ударил” в печь и выбил из нее кирпич на пол
2	Полупрозрачный белый шар, т.е. Сквозь него было видно все, что располагалось за ним.	Неправильная, 30	Спокойно висела в воздухе	Около 20 секунд	Из стартера лампы (алюминиевый такой бочонок) “выдулся” шар	После “молния” медленно уплыла в дальнюю комнату, где в углу располагался счетчик электроэнергии и “вошла” в него.
3	Бело-голубая	Грушевидная, 40	Начала быстро двигаться по комнате.	40 секунд	Залетел через дымоход	Притянулась к батарее и исчезла с резким шипением.
4	Неяркий красный	Шар, 25	Он медленно скатился по подушке на шерстяное одеяло	35 секунд	Шар залетел в комнату через форточку	Мать голыми руками стала его забивать. От первого удара шар рассыпался на множество мелких шариков.
5	Голубой	Эллипсоид, 8	Двигалась горизонтально, однако нередко опускалась вниз	7 секунд	Прошла через стекло	Медленно поплыл в сторону электророзетки и в ней исчез

Время жизни шаровой молнии: время существования шаровой молнии в природе определить очень сложно, потому что никто не наблюдал шаровую молнию от момента ее рождения до смерти. К тому же вряд ли кто, столкнувшись с этим явлением, станет засекают время по часам, поэтому ощущения у наблюдателей субъективны. Тем не менее, сравнивая факты и воспоминания очевидцев, мы пришли к выводу, что жизнь большинства шаровых молний недолговечна: от 7 до 60 секунд.

Размер и форма: по опросам, проведенным у очевидцев, видевших шаровую молнию, она имеет несколько форм:

1. Шар
2. Эллипсоид
3. Грушевидная форма
4. Неправильная форма

Размер её варьирует от 8 до 40 см в диаметр.

Цвет: цветовая гамма довольно разнообразна - молния может быть желтая, оранжевая, красная, белая, голубоватая, зеленая, от серого до черного.

Характер движения: распространено мнение о том, что шаровая молния плывет, медленно вращаясь, со скоростью 2-10 м/сек. Догнать бегущего человека для нее не составляет труда.

Способ появления: чаще всего залетает в щели или открытые окна, также может возникнуть из розетки.

Способ исчезновения: свои визиты молния обычно заканчивается взрывом, иногда распадается на несколько частей или просто угасает.

Вывод: посмотрим, как цвет шаровой молнии влияет на её характер движения. Так, оранжевая молния поднимается на высоту 1-1,5 метра и равномерно пролетает в воздухе, вырисовывая некоторые фигуры, например, букву Г. Для белых молний характерно спокойно повиснуть в воздухе на непродолжительное время. Голубые молнии отличаются своим стремлением быстро передвигаться по воздуху. И наконец, красные молнии медленно и плавно пытаются опуститься вниз. Таким образом, можно утверждать, что шаровые молнии в зависимости от своего цвета имеют разные траектории пути.

Литература

1. Квасов, Н.Т. Шаровая молния: гипотезы и факты / Н.Т.Квасов. – Минск: Издательский центр БГУ, 1989. – 254 с.
2. Леонов, Р.А. Загадка шаровой молнии / Р.А. Леонов. – Москва: Наука, 1965. – 196 с.
3. Стаханов, И.П. Физическая природа шаровой молнии / И.П. Стаханов. – Москва: Атомиздат, 1979. – 208 с.

УДК 621.3

Перспективы использования МГД-генераторов

Ласица В.В., Литош А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

С каждым днем человечество потребляет все больше и больше электроэнергии. Тем самым увеличивается спрос на энергоресурсы нашей земли, которые являются не являются безграничными. По утверждениям ученых, ресурсы земли могут закончатся через 150 лет. Происходит постепенный переход на нетрадиционные источники энергии: солнечная энергия, энергия ветра, воды и т.д. Также к этим источникам относится МГД-генератор, про который мы расскажем в нашей работе.

Магнитогидродинамический генератор, МГД-генератор - энергетическая установка, в которой энергия рабочего тела (жидкой или газообразной электропроводящей среды), движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию. В 1830 английский физик Фарадей, известный миру как гений эксперимента, на реке Темза пытался получить ЭДС с помощью течения реки. Но скорости течения реки не хватило для того, чтобы индуцировать электродвижущую силу. В 1853 году американский ученый Волластон впервые в истории измерил ЭДС, индуцируемую приливными волнами Мексиканского залива. В 1901-1909 была попытка разработать первые генераторы, отдалено похожих на современные генераторы, но по причине сложности конструкции, нехватки знаний. Датой создания МГД-генератора можно считать 1960 год, когда в Американском городе Бостоне была введена в эксплуатацию первая МГД-установка номинальной мощностью 10 кВт. Уже через 10 лет мощность установок возросла до 40 МВт и генераторы уже использовались в 28 городах Северной Америки. В Европе генераторы появились в 1963 году, а в Советском Союзе в 1966 году в городе Омск, мощностью 50 кВт

В МГД-генераторе происходит прямое преобразование механической энергии движущейся среды в электрическую энергию. Движение таких сред описывается магнитной гидродинамикой, что и дало наименование устройству. Рабочим телом МГД-генератора могут служить следующие среды: электролиты, жидкие металлы, плазма(ионизированный газ).

Первые МГД-генераторы использовали в качестве рабочего тела электропроводные жидкости (электролиты), в настоящее время применяют плазму, в которой носителями зарядов являются в основном свободные электроны и положительные ионы, отклоняющиеся в магнитном поле от траектории, по которой газ двигался бы в отсутствие поля.

Для энергетики, базирующейся на использовании органического топлива, перспективны и разрабатываются МГД-генераторы на плазме продуктов сгорания, применение которых в составе комбинированных МГД ТЭС открытого цикла даёт существенную экономию топлива и решает ряд экологических проблем (уменьшение вредных выбросов, экономия охлаждающей воды).

С начала 2000х годов генераторы начинают массово использоваться на АЭС. Особенно заметно их применение в энергоустановках с газоохлаждаемым ядерным реактором. Температура в тех местах достигает 800 К, которую не каждые выдерживают установки. На АЭС и ГЭС нашли применение МГД-генераторы замкнутого цикла (т. е. с внешним подводом и отводом теплоты к рабочему телу), КПД которых 75-85%. В разработке генераторы замкнутого цикла, которые будут использовать энергию сгорания органического топлива, такого как газ, уголь, мазут. Такие генераторы будут очень востребованы на ТЭС и ТЭЦ.

При возникновении аварийных ситуаций на ТЭС, МГД-генераторы получают большие преимущества в использовании по сравнению с другими источниками энергии. Также такие генераторы могут использоваться как резервные источники энергии на ТЭЦ. Начинается масштабное использование генераторов в космической отрасли, в частности бортовые системы питания, резервные системы питания двигателей и т.д. Возможно также применение МГД-генераторов для устройств, рассчитанных на потребление больших мощностей (25-30 МВт) за довольно непродолжительный промежуток времени. Такими устройствами являются

электроподогреватели аэродинамических труб, где применение этих генераторов достигает 25-30 % от всех применяемых источников альтернативной энергии в этой сфере.

У МГД-генератора много преимуществ, но есть и свои недостатки, которые мешают ему выйти на один уровень использования нетрадиционных источников энергии. Среди этих недостатков главное место занимает то, что устройство работает при рабочих температурах более 1100 К. Не каждый материал способен выдержать такие температуры, что увеличивает стоимость генератора. Но и с этим недостатком ученые и инженеры успешно борются. В ближайшее время в качестве материалов для электродов генератора будут использоваться сплавы, с содержанием хрома 30%, способных выдержать температуру до 1500К.

Литература

1. Магнитогидродинамическое преобразование энергии. Физико-технические аспекты/И.И. Бейлис, В.А. Битюрин, И.А. Васильева, В.В. Кириллов, Г.М. Корягина, Г.А. Любимов, С.А. Медин, Г. Н. Морозов, А.Е. Шейндлин, Б.Я. Шумяцкий. М.: Наука, 1982. 368 с.
2. <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-tvorchestvo/2016/03/20/modelirovanie-mgd-generatora>
3. https://studopedia.su/16_17638_zamena-yadernoy-energii.html

УДК 621.316

Измерение коэффициента гармоник при определении потерь в трансформаторах

Тарарай А.О., Ермолинская Л.Э.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Потери электроэнергии в трансформаторах – один из видов потерь электроэнергии, обусловленных особенностями физических процессов, происходящих в магнитопроводе.

Причина этих потерь — периодическое перемагничивание магнитопровода переменным магнитным полем. Это перемагничивание вызывает два вида магнитных потерь: потери от вихревых токов $P_{вт}$, наводимых переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода и потери на гистерезис $P_{г}$.

Согласно одному из методов, магнитопровод трансформатора намагничивают поочередно синусоидальным напряжением при одной и той же активной мощности, потребляемой цепью намагничивания, фиксируют площадь петель гистерезиса, в обоих случаях разность измеренных площадей даёт в определённом масштабе потерю энергии от высших гармоник.

Однако применение указанного метода для измерения потерь от высших гармоник намагничивающего тока в электромагнитном устройстве с ферромагнитным сердечником большой мощности трудоёмко и связано с большими капитальными затратами, так как для намагничивания сердечника необходимо иметь источник синусоидального тока, превосходящий по мощности в несколько раз мощность испытуемого электромагнитного устройства.

Для повышения быстродействия измерения потерь энергии от высших гармоник намагничивающего тока при синусоидальном входном напряжении, основанном на измерении составляющих полной мощности цепи намагничивания, измеряют коэффициент гармоник намагничивающего тока, по величине произведения активной мощности на квадрат коэффициента гармоник судят о величине потерь от высших гармоник.

Данный способ применим только для трансформаторов большой мощности, где можно пренебречь активной составляющей тока.

Данное условие ограничивает применение этого способа для измерения потерь трансформатора средней и малой мощности.

Измерение коэффициента гармоник осуществляется через определение коэффициента нелинейных искажений и связано с дополнительными погрешностями [1].

Для повышения точности измерения и приведения в соответствии с [2], целесообразно представить коэффициент гармоник через коэффициент каждой гармоники. Это позволит связать потери с параметрами, определяемыми в соответствующей стали и измерить потери от высших гармоник с заранее заданной точностью.

Для определения коэффициента каждой гармоники необходимо определить относительное содержание гармонических составляющих.

Литература

1. Мирский, Г.Я. Аппаратное определение характеристик случайных процессов / Г.Я. Мирский. – Москва: Энергия, 1972. – 456 с.
2. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения: ГОСТ 32144-2013. – Введ. 01.07.2014.

УДК 629.052.9

Система диспетчеризации учета электроэнергии

Анищик О.Р., Стаскевич П.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

В связи с техническим прогрессом появляются новые потребности для человечества. И поэтому сейчас, для многих отраслей жизни, необходимо использование электроэнергии. Однако ее использование требует значительных затрат, и в связи с этим появляется потребность в учете расхода электроэнергии и рационального ее использования. Дистанционная система диспетчеризации учета электроэнергии является одним из решений данной проблемы.

Показания потребления электроэнергии передаются с помощью интернета. Специальные программы, которые ведут учет, обрабатывают информацию и отправляют ее на сервера поставщика. Система является автоматизированной и, в связи с этим, не требует вовлечения человека в процесс.

Электросчетчики, которые дистанционно передают показания, используются для того, что бы автоматизировать процесс снятия информации по потреблению электроэнергии. Компании-поставщики электроэнергии, использующие систему дистанционного учета электроэнергии, кроме того, что контролируют данные о потребляемой клиентами электроэнергии, имеют ряд преимуществ, которых невозможно достичь, используя стандартные приборы для учета электроэнергии. К их числу относят:

Возможность работы в нескольких тарифных режимах.

Дистанционное подключение и отключение клиента к энергосистеме.

Быстрое уведомление потребителя электроэнергии.

Сбор информации для улучшения производительности прибора.

Использование системы дистанционного учета электроэнергии несет ряд преимуществ, так как: уменьшение шанса создания конфликтной ситуации, постоянный мониторинг потребления электроэнергии, возможность снять показания с любой точки мира, возможность быстрого и точного перерасчета на новый тариф. Благодаря своей точности, приборы позволяют уменьшить погрешность округления данных. Дистанционное снятие данных по потреблению электроэнергии легко интегрируется в систему «умный дом». Возможность с помощью специального программного обеспечения на компьютере или телефоне отключить дом от электросети с целью обесточивания электроприборов. Практичность. Нет необходимости постоянно контролировать потребление электроэнергии.

Принцип работы новых электросчетчиков, используемых в системе дистанционного учёта электроэнергии, заключается в обработке поступающих данных и последующем вычислении потребленной электроэнергии. Главное отличие электросчетчиков, используемых для дистанционного учета, и стандартных – отсутствие движущихся деталей и обширное количество функций: точный алгоритм обработки данных, увеличенное входное напряжение, длительное хранение информации, сбор информации поставщиком и возможность учета потребления мощности.

В конструкции каждого дистанционного электросчетчика обязательно присутствуют следующие детали: жидкокристаллический дисплей, трансформатор, различные разъемы для подключения, различные контроллеры и микросхемы, супервизор, источник бесперебойного питания. Так же есть возможность установки оптического порта.

Электросчетчики с пультом дистанционного управления успешно используются на протяжении многих лет. За это время появилось много поставщиков оборудования для систем дистанционного учета электроэнергии. На территории СНГ наиболее популярными компаниями являются "Тайпит", "Инотекс" и "Энергомера". Российская компания "Инотекс" производит оборудование на протяжении пятнадцати лет и является лидером на рынке. "Энергомера" появилась на отечественном рынке в 2010 году, зарекомендовала себя благодаря высокой надежности товара. Фирма "Тайпит" специализируется на производстве

измерительной аппаратуры, в том числе и электросчетчиков с дистанционным учетом показаний.

Компания поставщика берет на себя установку оборудования. Установка системы с дистанционным сбором данных начинается с подачи заявления и составления договора. Поставщик сам подготавливает пакет документов, где указывается техническая характеристика прибора: тип, количество фаз и режимов работы, тип проводов, вид защиты. Монтаж прибора осуществляется только после выдачи клиенту технической документации. Максимальная высота размещения прибора - сто семьдесят сантиметров, минимальная - сорок сантиметров. При необходимости есть возможность установки обогревающей системы. Оптимальная температура для эффективной работы устройства - от одного до двадцати одного градуса. Подключение входной цепи производится через автомат защиты. Корпус и металлические детали требуют заземления. Ко входному автомату подключается выходная цепь. Минимальное расстояние между линиями электроснабжения - один метр. Перед внедрением прибора в электросеть проводится ее проверочный запуск. Потребитель составляет заявление и направляет его в офис компании-поставщика. В бумаге указывается: Инициалы заявителя. Номер договора. Контактный телефон и адрес дома. Дата оформления, подпись и расшифровка подписи пользователя. Представитель электрокомпании составляет акт осмотра установленного прибора. В нем указывается стоимость монтажных работ и технические характеристики электросчетчика. Пломбировка устройства проводится после снятия первичных показаний за счет поставщика ресурса.

Использование дистанционной системы учета электроэнергии, которая передает данные компании-поставщику, облегчает контроль за потреблением электричества. Система надежна, практически не требует вмешательства человека и позволяет избежать конфликтов между потребителем и поставщиком в связи с высокой точностью расчетов. Система постепенно внедряется в нашу жизнь, однако полное ее внедрение в бытовую сферу значительно облегчит контроль за затратами на электроэнергию.

Литература

1. <http://fb.ru/> Принцип работы
2. <http://isup.ru/> Назначение
3. <https://powercoup.by/> Преимущества системы
4. <http://zeta.tahat.by/> Производители

УДК621.3

Ветроэнергетика

Касяник А.О., Савинич В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Ветроэнергетика является одной из самых быстрорастущих технологий использования возобновляемых источников энергии. Проще говоря, ветряные турбины работают противоположно вентиляторам. Вместо того чтобы использовать электричество для производства ветра - как вентилятор - ветряные турбины используют ветер для производства электричества.

Ветровые турбины впервые появились более века назад.

На 2018 год общая мощность ветроэлектростанций – 591 ГВт, 189 ГВт принадлежит Европе.

Лидерами отрасли на 2018 год по результатам Глобального ветроэнергетического совета являются:

1. Китай (221 ГВт);
2. США (96,4 ГВт);
3. Германия (59,3 ГВт);
4. Индия (35 ГВт).

Ветроэнергетика быстро развивается и распространяется в международном сообществе. В связи с проблемами загрязнения воздуха выбросами парниковых газов и ограниченностью ископаемых видов топлива, на ветроэнергетику возлагаются большие надежды. Одно из самых перспективных направлений реализации целей – это развитие белорусской ветроэнергетики. Ресурсы Беларуси составляют 1600 МВт годовой выработки электроэнергии 2,4 млрд кВт/ч.

В настоящее время идет работа над составлением кадастра возобновляемых источников энергии. Он будет включать в себя: информационную базу данных о ветроэнергетических характеристиках территории Беларуси.

Рассмотрим строение ветряка:

Ветер используется для производства электроэнергии с использованием кинетической энергии, создаваемой движущимся воздухом. Это преобразуется в электрическую энергию с помощью ветряных турбин или систем преобразования энергии ветра.

Установки ветреных электростанций подразделяют на 3 типа: бытовые, коммерческие и промышленные.

Проблемы в широкомасштабном внедрении ветроэнергетики включают требования к размещению, такие как наличие ветра, эстетические и экологические проблемы, а также доступность земли. Ветряные электростанции наиболее рентабельны в районах с постоянными сильными ветрами; однако эти районы не обязательно находятся вблизи крупных населенных пунктов.

Существует два типа ветряных турбин: ветряные турбины с горизонтальной осью (HAWT) и ветряные турбины с вертикальной осью (VAWT). HAWT являются наиболее распространенным типом ветряных турбин.

Ротор Дарье (разработан французским авиационным конструктором Жоржем Дарье, 1931 год). Система похожа на работу кухонного венчика для взбивания. Благодаря перпендикулярной основе часть турбины работает, а вторая часть вращается по кругу.

Турбина Савониуса. Лопасти в форме цилиндров небольшого размера, коэффициент эффективности ниже, чем у остальных типов, хорошо переносит турбулентность, не требует обслуживания для запуска.

Энергия ветра и окружающая среда.

Недостатки включают жалобы от местных жителей, что ветряные турбины уродливы и шумны. Медленно вращающиеся лезвия также могут убивать птиц и летучих мышей.

Достоинство – не надо много свободного пространства и можно распределить станцию в любой точке, не зависимо от рельефа местности.

Энергия ветра бесплатная и нескончаемая. Следовательно, данный источник можно использовать много лет, но для этого надо находиться в эксплуатации долгое время. Ветрогенераторы можно устанавливать и не бояться о близости расположения жилых участков и непостоянстве погоды, ведь в любую погоду будет обеспечение энергией.

На данное время развитие ветроэнергетики в Беларуси происходит благодаря государственным программам, которые настроены на стимулирование использование возобновляемых источников энергии. Так же существует поддержка в способы снижения стоимости ВЭУ. Происходит подготовка кадров и расширение базы, которая будет контролировать вопросы тарифно-налоговой политики и эксплуатации.

УДК621.3

Высоковольтные линии электропередач постоянного тока

Станкевич Е.Г., Повзун А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Впервые ЛЭП постоянного тока была применена в Германии в конце XIX века и соединила такие города как Мисбах и Мюнхен.

В наше время используется способ передачи HVDC, который был придуман еще в начале XX века шведской компанией ASEA.

Самой протяженной HVDC линией в мире в настоящий момент является линия, находящаяся в Бразилии и соединяющая две ГЭС и город Сан-Паулу. Её длина порядка 2300 км, а мощность составляет около 3 ГВт.

Преимущества HVDC:

1. Снижение расходов на строительство.
2. Возможность стабилизировать электрические сети без возрастания опасности короткого замыкания.
3. Исчезают проблемы в синхронизации энергетических систем различных стран.
4. HVDC менее подвержены коронным разрядам, чем ЛЭП переменного тока.

Недостатки HVDC:

1. Необходимость установки дорогих концевых подстанций с огромным количеством преобразователей напряжения, а также прочей вспомогательной аппаратуры.
2. Необходимость устанавливать сглаживающие устройства большой мощности, поскольку преобразовательная техника достаточно сильно искажает форму кривой напряжения на стороне переменного тока, что в свою очередь приводит к увеличению расходов и снижению надежности.

Ранее в высоковольтных линиях электропередач применялись не самые надежные устройства, а именно ртутные выпрямители. На сегодняшний день осталось только две функционирующие HVDC линии, где применяются ртутные вентили. Оставшиеся линии были заменены преобразователями, использующие тиристоры.

Начиная с 1963 года, тиристоры начали повсеместно использоваться в устройствах ЛЭП постоянного тока. Тиристор представляет собой полупроводниковое устройство, которое включается в некоторый момент времени при помощи управляющего электрода. К дополнению к этому используются биполярные транзисторы, имеющие изолированный затвор. Они имеют отличную управляемость, однако достаточно большую цену.

Преобразовательные устройства HVDC созданы с применением большого числа последовательно соединенных полупроводниковых устройств. Это связано с тем, что в отдельных случаях напряжение пробоя полупроводникового прибора может оказаться меньше напряжения в устройствах HVDC.

Развитие биполярных транзисторов, имеющих изолированный затвор и запираемые тиристоры, позволило создать небольшие системы HVDC, которые стали более экономичными. Такие транзисторы могут устанавливаться уже в действующие энергосистемы переменного тока, что позволяет стабилизировать мощность без возрастания тока короткого замыкания. Эти устройства разрабатывают такие компании, как ABB и Siemens, и получили названия «HVDC Light» и «HVDC PLUS».

В заключение можно отметить, что из-за достаточно больших расходов на строительство, экономическая целесообразность появляется тогда, когда строительство ЛЭП постоянного тока осуществляется на достаточно большие расстояния, порядка 1100 км.

Литература

1. Vijay K. Sood HVDC and FACTS Controllers: Applications Of Static Converters In Power Systems. / Vijay K. Sood - Netherlands, 2004 - 307p.

2. History of Electrical Systems and Cables- Mode of access: <https://www.myinsulators.com/acw/bookref/histsyscable>. - Date of access: 15.10.2019.
3. ABB/HVDC. - Mode of access: <https://new.abb.com/systems/hvdc>. - Date of access: 17.10.2019.

УДК621.3

Графен и борофен – «материалы будущего»

Шардыко А.С., Кравцова Т.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Графен был обнаружен в 2004 году. Несколько ученых русского происхождения, Андрей Гейм и Константин Новоселов, экспериментально используя клейкую ленту и графит, открыли новый материал, сделав, таким образом, большой прорыв в электротехнике.

Этот материал представляет собой одноатомную углеродную пленку, которая имеет упорядоченную кристаллическую структуру. Графитовый слой толщиной всего в один атом обладает ценными свойствами: высокой стабильностью, теплопроводностью и электропроводностью.

Не так давно был получен новый материал на основе графена. Он обладает полупроводниковыми свойствами, в которых атомы кислорода заключены в гексагональную структуру. Согласно плану, в процессе нагрева оксида графена в вакууме должен был выделяться кислород и получаться многослойный графен. По мере повышения температуры атомы углерода и кислорода начали выстраиваться в упорядоченную структуру монооксида графена, которая не существует естественной форме.

Полученный материал имеет большие перспективы для использования в производстве электроники. Изменяя температуру нагрева, исследователи получили несколько материалов, которые были включены в категорию ГМО. На данный момент определена стабильность оксида графена.

До этого было обнаружено еще одно интересное свойство графена. А именно, одну из главных ролей в формировании свойств графена играет материал, на котором он выращивается. То есть, если подложка, на которой будет выращиваться структура, активируется кислородом, то полученный графеновый лист будет полупроводником, а если это водород, то он будет обладать свойствами металла. Изменяя химический состав субстрата, можно управлять свойствами материала.

Графен - один из самых тонких материалов. Едва ли не единственным препятствием к его использованию на сегодняшний день является невозможность контролировать электронный поток. Было обнаружено, что при нанесении графенового слоя на слой нитрида бора может быть получена новая гексагональная структура, определяющая путь электронов.

Графен используется в различных сферах. Примером является: миниатюрные УФ-сканеры, умные стельки для атлетов, графеновый крио-кулер для охлаждения базовых станций 5G, аудиотехника, солнечные батареи и так далее.

До недавнего времени графен был наиболее перспективным материалом, способным произвести революцию во многих областях, включая медицину, экологию, источники питания и другие области. Но у углеродной модификации появился новый конкурент в виде борофена. Он очень прочный, а также гибкий, что расширяет возможности его применения.

О существовании борофена стало известно еще в 1990-е годы, но только в теории. В 2015 году ученым удалось его синтезировать. Однако до сих пор большинство форм борофена не имеют доказательств и являются лишь теорией.

Борофен представляет собой двумерный материал, представленный в виде тонких одноатомных листов. Звучит довольно банально. Однако, этого нельзя сказать о его свойствах. Фактически, в своей обычной форме атом бора является неметаллическим полупроводником, но двумерная форма уже становится металлическим проводником.

Борофен структурно подобен графену и имеет гексагональную сеть, состоящую из атомов бора в каждой из 6 вершин. Борофен отличается тем, что имеет дополнительный атом бора в центре шестиугольника. Кристаллическая структура имеет тенденцию быть стабильной, когда приблизительно 4 из каждых 5 центральных положений заняты и 1 свободен. Наличие вакансий и кристаллов борофена придает им уникальные свойства. В

зависимости от ориентации, положения свободных зон борофен может быть проводником или сверхпроводником.

Благодаря этому материалу размер монокристаллических доменов может быть увеличен. Это позволит создать электронное устройство последнего поколения с высокой производительностью.

Из-за сложности в производстве борофена, есть трудности в его использовании. Однако борофен может использоваться для хранения водорода. Расчеты показывают, что борофен может хранить массу водорода, равную 15% его собственной массы. Также борофен стимулирует разложение воды на водород и кислород.

До сих пор существует множество препятствий для создания графеновых и борофеновых материалов. Это заключается в том, что требуются большие материальные затраты, также существуют трудности в контроле их проводимости. Кроме того, недостаточно развиты методы получения полупроводников этих материалов.

Борофен является очень перспективным материалом, если ученые смогут настроить масштабное производство этого материала, то электроника поднимется на новый уровень. Однако за время пока человечество найдет способ производить борофен в нужном количестве, уже могут быть открыты новые материалы, которые легче добывать и использовать.

Литература

1. С. П. Губин, С. В. Ткачев (2012) «Графен и родственные наноструктуры углерода» Либроком.
2. Графен в электронике: сегодня и завтра [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://novanews.com.ua/novosti-partnerov/nauka-i-tehnika/14732-ENlektroniku-na-novyjj-uroven.html>
3. Электронику на новый уровень выведет двумерный материал. И это не графен. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/59336/>

УДК 621.3

Ионные двигатели

Ерёменко М.А., Адинцова Я.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Концепция ионного двигателя была выдвинута в 1917 году Робертом Годдардом, а в 1954 году Эрнст Штулингер детально описал эту технологию, сопроводив её необходимыми вычислениями.

Ионный двигатель является зрелой электрической двигательной установкой, разработка которой началась в 1960-х годах. Ионные двигатели – это быстро развивающаяся исследовательская область. Главная особенность ионного двигателя состоит в том, что процесс ионизации топлива и процесс ускорения ионов физически разделены, в отличие от других электрических двигателей, таких как двигатели Холла. Независимо от типа двигателя, процесс ускорения ионов состоит из извлечения ионов из разрядной камеры посредством мульти-диафрагмы узла сетки, называемого ионной оптикой или сетками ионных двигателей.

Ионные двигатели характеризуются электростатическим ускорением ионов, извлеченных из источника плазмы.

Ускоритель ионов состоит из электрически смещенных мульти-диафрагменных сеток, обычно двух или трех, которые называются ионной оптикой.

Первая сетка, контактирующая с плазмой в разрядной камере, называется сеткой экрана, вторая называется сеткой ускорителя, а третья, используемая в некоторых двигателях, называется сеткой замедлителя.

Ионная оптика характеризуется рядом геометрических и электрических параметров: внешний диаметр сетки (D), активному диаметру сетки или диаметру пучка (D_{ac}), толщина сетки экрана (t_s), толщина ускоряющей сетки (t_y), и многими другими.

Есть также некоторые параметры, которые можно использовать для оценки качества сеток:

Нормализованная проницаемость на отверстие – это величина тока, которую единичная диафрагма может извлечь и сфокусировать. Нормализованная проницаемость на отверстие измеряет способность извлечения данной диафрагмы.

Расходимость пучка – это то, насколько расширяется плазменный пучок после фокусировки, и его можно охарактеризовать углом расхождения. Угол расхождения также может быть определен для пучка, сфокусированного одной апертурой.

Расхождение луча должно быть минимизировано, чтобы уменьшить потери тяги и избежать воздействия шлейфа на космический аппарат. Для двухскоростных систем ускорения различные эксперименты давали значения угла расхождения приблизительно от 10° до 25° .

Неоднородность профиля плотности тока может быть описана параметром плоскостности пучка, который определяется как отношение средней к максимальной плотности тока пучка.

Проблемы с ионной оптикой можно разделить на три категории: проблемы с запуском, проблемы с работой и эрозия распыления.

Потенциальные проблемы связаны с вибрациями запуска, которые могут привести к пластической деформации, контакту сетки с сеткой и смещению диафрагмы. Чтобы предотвратить эти проблемы, ионная оптика подвергается испытаниям на случайную вибрацию при тестовых полетах по трем осям, как изолированные, так и установленные на двигателе, чтобы проверить конструкцию и доказать, что вызванные вибрацией напряжения не будут превышать предельное напряжение упругости, что разрыв сетки и выравнивание отверстий не будут изменены.

Оптика ионного двигателя работает при высоких напряжениях и повышенных температурах, что приводит к тепловому отклику, электростатическому давлению и помехам в магнитной цепи разрядной камеры. Хотя электростатическое давление не является реальной

проблемой, и магнитные помехи решаются путем построения сеток с диамагнитным или слабо парамагнитным материалом, тепловое расширение решеток может создавать проблемы.

Критическим режимом отказа является эрозия распылением поверхностей сетки. Это происходит очень медленно, за несколько десятков тысяч часов до того, как это может привести к неисправности ионного двигателя. Испытания на износ на ионном двигателе показали, что отказ двигателя происходит из-за разрушения материала от ускоряющей решетки до точки структурного разрушения. Этот тип отказа происходит в результате образования ионов на выходе или ниже по течению сеток в ионном пучке, которые движутся вверх по течению. Эти ионы ударяются о решетку ускорения и разрушают ее в процессе эрозии распыления.

После летних испытаний в 1960-х годах ионные двигатели сыграли важную роль в работе многих космических аппаратов. Ионная оптика, как важнейший компонент двигателей, развивалась во многих аспектах с целью увеличения срока службы двигателя. После провала SERT I в 1964 году, SERT II, на котором была установлена молибденовая ионная оптика, был успешно запущен и испытан в космосе в 1970 году.

Для многих фраза «Включаем ионный двигатель» может показаться скорее пришедшей из какого-нибудь фантастического фильма, вроде «Звездных войн», нежели относящейся к реальному миру. А ведь ионные двигатели на самом деле используются в различных космических миссиях уже более сорока лет, и они по-прежнему продолжают оставаться объектом активных исследований со стороны ученых.

Литература

1. A. I. Morozov and V. V. Savelyev, "Fundamentals of stationary plasma thruster theory, " in *Reviews of Plasma Physics*, edited by B. B. Kadomtsev and V. D. Shafranov (Kluwer, Dordrecht, 2000), Vol. 21.
2. Морозов А. И. Физические основы космических электрореактивных двигателей. — М.: Атомиздат, 1978. — 328 с.

УДК621.3

Лазерное излучение в играх

Михалченок В.Ю., Павлова Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

В современной жизни стремительно развиваются технологии, и индустриальный прогресс не стоит на месте, очень много создано аттракционов удовлетворяющие потребности обывателей. В данной статье будет рассказано более понятно принцип работы лазерного пистолета и мишени, которое нашло применение в играх детей и взрослых.

Лазер — это аббревиатура означающее усиление света с помощью направленной радиации, а также генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного (стимулированного) излучения.

Лазер даёт узкий луч света, луч лазера намного уже, чем луч света обычной лампы, но он отличается не только этим. Лазерный свет имеет единую длину волны и один чистый цвет. Кроме того, световые волны полностью совпадают во времени друг с другом. Ученые говорят, что лазерные лучи когерентны, то есть организованны, а обычный свет нет. Он представляет собой смесь цветовых волн, которые возникают в виде не скоординированных выбросов. Некоторые лазеры содержат кристаллы, а другие трубку с газом или жидкостью.

Лазерное излучение – это вынужденное (посредством лазера) испускание атомами вещества порций-квантов электромагнитного излучения.

Принцип работы. Блок управления конструктивно выполнен в корпусе игрушечного детского пистолета. Блок управления содержит резистор, четыре светодиода, три выпрямительных диода, транзистор, стабилизатор напряжения, генератор запускающих импульсов, генератор модулирующих импульсов и элемент питания (в нашем случае, батарейка типа АА).

Переключатель SA1 переводится из нейтрального положения в положение 2. Напряжение питания от источника GB1, пройдя через диод VD2, подается на вход стабилизатора напряжения (DA1), а после прохождения через стабилизатор - на остальные элементы схемы, которые приводятся в состояние готовности. При этом зажигаются два светодиода (HL2 и HL3). При нажатии на спусковой крючок включается переключатель SB1, включается генератор запускающих импульсов, вместе с этим включается генератор модулирующих импульсов. После прохождения через генератор модулирующих импульсов сигнал поступает на транзистор VT1, в котором включен источник оптического излучения HL4, находящийся в коллекторной цепи. Интегральная схема DA1 является стабилизатором напряжения питания. При переводе переключателя SA3 в положение 2, источник излучения HL4 переходит в непрерывный режим работы, который используется для настройки пистолета.

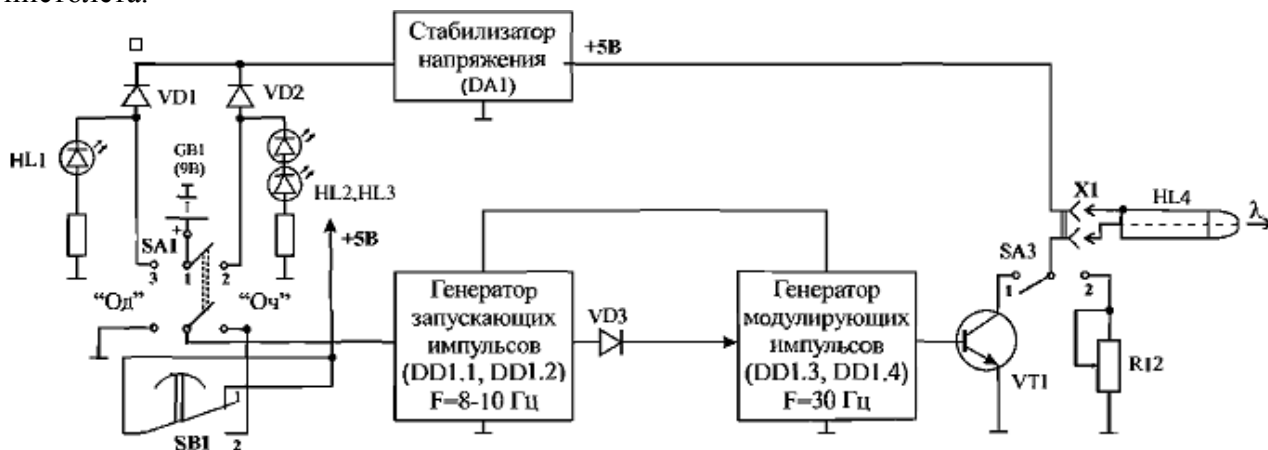


Рисунок 1 – Функциональная схема лазерного пистолета

Мишень для лазерного оружия

В данной мишени оптический датчик — это фотодиод VD 1. В примере установлен фотодиод вида ФД320, который использовался в системах дистанционного управления старых телевизоров. В принципе можно воспользоваться и иными видами фотодиодов или фоторезистор. В процессе налаживания установки необходимо отрегулировать сопротивление R2 для представленного вида фотодиода таким образом, чтобы установить приемлемую чувствительность, на которой данная мишень улавливает попадание луча лазерной указки и не будет улавливать окружающее освещение.

При улавливании луча фотодиодом, сопротивление R2 данного фотодиода уменьшается и напряжение на элементе D1.1 увеличивается до значимого логического уровня. При этом начинает работать одно вибратор на D1.1 и D1.2, а после этого испускает импульс, время работы которого приблизительно (15-20 секунд), а он в свою очередь включает звуковой мультивибратор D1.3 и D1.4. Издаваемые импульсы с данного мультивибратора идут на усилитель VT 1, и конечным этапом передаются на установленный в этой схеме динамик B1. Динамик издает звуковой сигнал, чем можно понять, что данная мишень была поражена, Касаемо видов динамика, который можно установить, то это абсолютно любой у которого сопротивление будет 8 Ом и более. Соответственно после прямого попадания в мишень наш динамик будет издавать звук или мелодию, установленную на данном типе устройства. Если интервал подачи звука не будет вас устраивать, то тогда его можно изменить, отрегулировав сопротивление на резисторе R3.

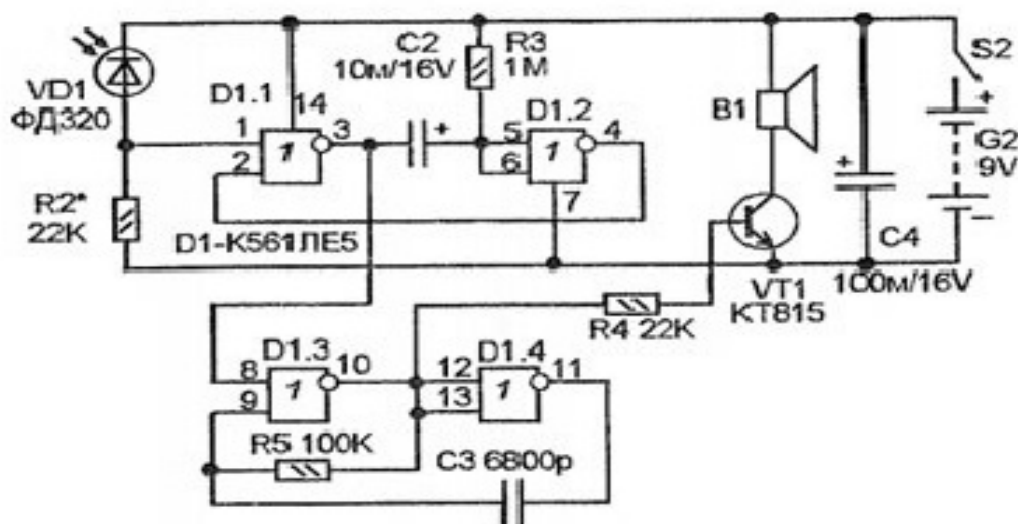


Рисунок 2 – Электрическая схема мишени для лазерного оружия

В конце стоило бы сказать о достоинствах лазерного излучения и такого устройства в целом:

- монохромность излучения (строго одной длины волны);
- когерентность излучения;
- острая направленность луча (малое расхождение).
- устройство имеет яркое выделение на фоне других игр для детей;
- быстрый монтаж/демонтаж оборудования.

Литература

1. Принцип работы лазера. Основные виды лазеров. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [<https://www.mirstankov.com/princip-raboty-lazera-osnovnye-vidy-lazero/>]. Дата доступа: [15.10.2019]
2. А.Н. Пихтин. Оптическая и квантовая физика. – М.: Высш.шк., 2001. – 573 с.
3. О. Звелто. – М.: Мир, 1990. – 560с.

УДК621.3

Наногенераторы

Себещук В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Наногенераторы – уникальные устройства, которые способны вырабатывать электрическую энергию из любых видов микроколебаний. У наногенераторов есть два основных подхода: основанный на пьезоэлектрическом эффекте и на трибоэлектрическом эффекте.

Пьезоэлектрический наногенератор это устройство для преобразования кинетической энергии в электричество через воздействия на наноструктурированный пьезоэлектрический материал.

Принцип работы наногенератора можно объяснить для двух разных случая: сила, которая действует перпендикулярно оси нанопроволоки и параллельно оси.

Работу наногенератора в случае, когда сила действует перпендикулярно оси нанопроволоки, можно объяснять тем, что вертикально выращенная нанопроволока подвергается боковому смещению. наконечника. В случае, когда на пьезоэлектрическую структуру действует внешняя сила, изменения происходят повсеместно в структуре. Благодаря пьезоэлектрической структуре создается электрическое поле внутри наноструктуры; растянутая сторона будет положительно заряжена, тогда как сжатая сторона отрицательно.

Электрический контакт очень важен для откачки с наконечников заряда. Контакт Шоттки формируют между встречным электродом и наконечником нанопроволоки.

В случае, когда сила действует параллельно оси нанопроволоки, рассматривается модель, на которой нанопроволока выращивается вертикально, с вертикально, находящейся между омическим контактом в его нижней части и контактом Шоттки в его верхней части. Когда усилие приложено к наконечнику нанопроволоки, происходит одноосное сжатие. Благодаря пьезоэффекту, наконечник нанопроволоки заряжается отрицательно. Так как электроны с течение времени будут перемещаться от наконечника к нижней части через нагрузку, находящуюся во внешней цепи, положительный электрический потенциал будет генерироваться на наконечнике. Если сила начнет удаляться, пьезоэлектрический эффект уменьшится, и электроны начнут перемещаться обратно к наконечнику, чтобы избавиться от положительного заряда на вершине.

Можно выделить три типа наногенераторов в зависимости от того как выращена пьезоэлектрическая наноструктура: VING (Вертикальный нанопроволочный интегрированный наногенератор), LING (Горизонтальный нанопроволочный интегрированный наногенератор) и "NEG"(Нанокompозитные электрические генераторы).

Трибоэлектрический наногенератор представляет собой устройство для преобразования механической энергии в электричество используя трибоэлектрический эффект и электростатическую индукцию. Трибоэлектрический наногенератор имеет два главных режима работы: вертикальный контактно-разделительный режим и режим скольжения в плоскости.

Режим Вертикального Контакт-Разъединения. Когда приложено механическое усилие на прибор с целью изменения его физической формы, происходит сближение и соприкосновение двух листов их внутренними поверхностями и заряд начинает перемещаться, вследствие этого одна сторона будет положительно заряжена, а другая -отрицательно. Противоположные заряды, вызванные трибоэлектрическим эффектом, создадут электрическое поле между листами и сформируют разность потенциалов между верхним и нижним электродами. Для того чтобы избавиться от этой разности потенциалов, электрона необходимо переместиться от одного электрода к другому через внешнюю нагрузку.

Режим Бокового Скольжения. Активная трибоэлектризация трением скольжения приводит к изменению контактируемой площади двух трибоэлектриков. Вследствие этого

происходит боковое смещение центров зарядов, что приводит к появлению падения напряжения и заставляет электроны перемещаться через внешнюю нагрузку

Применение наногенераторов

Наногенераторы можно применять там, где есть изменяющаяся во времени механическая энергия. Например, ветер или волны морей и океанов в большом масштабе или энергия сердцебиения и расширения легких в малом масштабе. Перечень возможных применений представлен ниже.

- Автономные устройства маленьких размеров. Наногенераторы можно применять как главный или дополнительный источник электрической энергии для устройств, размер которых измеряется в нано/микрометрах, в условиях непрерывно подачи кинетической энергии, так как такие устройства потребляют относительно низкое количество электричества.

- Имплантируемые устройства. Наногенератор нанопроволоки, которые сделаны на основе оксида цинка (ZnO) могут найти свое применение в имплантируемых устройствах, так как, во-первых, их размеры небольшие, во-вторых оксид цинка биосовместим.

- Сбор энергии вибрации. Вибрации — это результат таких явлений в обществе как разговоры, шум ходьба и прочие. Сбор этой энергии может быть полезен для подзарядки или питания мобильной техники.

- Автономные активные датчики напряжения/силы и движения. Трибоэлектрический наногенератор, основанный на трибоэлектрическом эффекте, автоматически производит ток, как только на генератор действует внешняя сила. Величина сигнала показывает: какое значение силы действует на генератор.

Литература

1. Wang, Z. L.; Song, J. (Июнь 2006). "Пьезоэлектрические наногенераторы на основе Нанопроволочных массивов оксида цинка" (PDF) . Наука . 312 (5771): 242–246.
2. Wang, Z. L. (2013). "Трибоэлектрические наногенераторы как новая энергетическая технология для автономных систем и как активные механические и химические сенсоры". *ACS Nano*. 7 (11): 9533–9557.

УДК621.3

Новые технологии энергосбережения

Лебедев М.А., Арашкевич В.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

В этих тезисах рассмотрены новые энергосберегающие технологии, которые упрощают человеку жизнь и экономят его время, а также служат для снижения затрат на потребление электрической энергии, так как вопрос о затратах энергии различного вида на сегодняшний день поставлен довольно остро. Энергосберегающие технологии облегчают жизнь человека в сфере энергетики, позволяя задействовать, гораздо меньшее количество потребляемых энергоресурсов.

1. Дома подключенные к интернет сети.

Мы живем во все более взаимосвязанном мире - то же самое относится и к нашим домам. Новые электронные устройства теперь могут быть подключены к Интернету для предоставления данных в режиме реального времени, что облегчает понимание о затратах электроэнергии и ее потребления.

Вскоре эти технологии станут более рентабельными и разумными в результате проекта, поддерживаемого Управлением строительных технологий Департамента энергетики. Новые беспроводные датчики, разработанные в Национальной лаборатории Ок-Риджа, повысят энергоэффективность дома благодаря автоматизированным системам управления для нагревательных и охлаждающих устройств, освещения и других систем, которые получают доступ к таким данным, как температура наружного воздуха и воздуха в помещении, влажность, уровень освещенности и занятость. Стоимость таких датчиков не будет превышать стоимости пожарного извещателя на рынке.

2. Углеродобезопасные сушилки для белья.

Национальная лаборатория Ок-Риджа и General Electric разрабатывают новый тип сушилки для белья, в котором используется цикл теплового насоса для выработки горячего воздуха, необходимого для сушки. Результат: более эффективная сушилка, которая может снизить энергопотребление на 60 процентов по сравнению с обычными на современном рынке.

3. Магнитные холодильники.

Национальная лаборатория Ок-Риджа и General Electric объединились, чтобы создать революционно новый тип холодильника, который использует магниты для создания холода, также известный как магнитокалорический эффект (понижение или повышение температуры материала путем изменения магнитного поля). В течение последних 100 лет в холодильниках использовался процесс, называемый сжатием паров, в котором используются хладагенты, которые могут быть вредными для окружающей среды. Новый холодильник - это революционная технология, в которой используется охлаждающая жидкость на водной основе, что делает ее более благоприятной для окружающей среды и более эффективной, что означает снижение затрат на электроэнергию и уменьшение выбросов углерода.

4. Расширенные возможности управления окнами.

Национальная лаборатория Лоуренса Беркли и Pella Windows работают над новыми окнами с высокой изоляцией, в которых используются датчики и микропроцессоры для автоматической регулировки затенения в зависимости от количества доступного солнечного света и времени суток, чтобы обеспечить надлежащее освещение и комфорт, экономя энергию и деньги потребителей.

5. Изоляции следующего поколения.

Изоляция является одним из наиболее важных способов снижения расходов на отопление и охлаждение вашего дома. Индустриальная научно-техническая сеть разрабатывает новую пенополиуретановую изоляцию, изготовленную из экологически чистых и современных композитных материалов, которые гарантируют, что тепло не отводится от чердака, стен и других частей дома в холодные зимние месяцы.

6. Светоотражающие кровельные материалы

Холодные крыши, покрытые материалами, содержащими специализированные пигменты, отражают солнечный свет и поглощают меньше тепла, чем стандартные крыши. Ожидайте, что эти типы кровельных систем станут еще «холоднее» благодаря новым флуоресцентным пигментам, разработанным Национальной лабораторией Лоуренса Беркли и PPG Industries, которые могут отражать почти в четыре раза больше солнечного света стандартных пигментов.

В заключении можно сказать, что новые технологии энергосбережения – это революция в будущем, значительный вклад в экологическую ситуацию земли. Ведь новые технологии энергосбережения предусматривают в первую очередь энергию, экологически чистую для окружающей среды.

Литература

1. Engineering, economical, legal and humanitarian issues of energy and environmental protection: материалы семинара "Энергетика и охрана окружающей среды"(2012; Минск) / [редколлегия: Г. М. Бровка (главный редактор) и др.]. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2012. – 409 с.
2. Основы экологии и энергосбережения: учебно-методический комплекс / [Частное учреждение образования "Минский институт управления"; авторы-составители: В. М. Беляев, В. В. Ивагин, О. А. Шатравская ; под редакцией В. И. Кудашова]. — Минск: Издательство МИУ, 2011. — 255 с.

УДК621.3

Система глобального позиционирования (GPS)

Макар И.В, Поланцевич А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Global Positioning System система глобального позиционирования, т.е. система, которая позволяет довольно точно определить координаты объектов на поверхности Земли. Глобальная система определения местоположения представляет собой спутниковую навигационную систему, состоящую из сети из 24 орбитальных спутников, на шести различных орбитальных траекториях. Спутники постоянно движутся, совершая два полных оборота вокруг Земли всего за 24 часа.

Первый спутник GPS был запущен еще в феврале 1978 года. История появления GPS, началась в США еще в 50-х годах при запуске первого советского спутника в космос. Бригада американских ученых, что следили за запуском, заметили, что при отдалении от земли спутник равномерно меняет частоту сигнала. После длительного анализа данных ученые пришли к выводу, что при помощи спутника, можно точно определить нахождение и скорость передвижения человека по земле, как и наоборот, скорость и нахождение спутника на орбите при определении точных координат человека. К концу 70-х годов Минобороны США запустило систему GPS в своих целях, а еще через пару лет система стала доступна для граждан. Спутниковые орбиты находятся примерно в 25000 от центра Земли или на 20 000 км над земной поверхностью.

Каждый спутник передает сообщение, которое, по сути, говорит: «Я спутник X, моя позиция в настоящее время Y, и это сообщение было отправлено в момент времени Z». Ваш GPS приемник считывает сообщение и сохраняет данные для постоянного использования. Эта информация также может быть использована для установки (или корректировки) часов в приемнике GPS.

Теперь, чтобы определить ваше местоположение, приемник GPS сравнивает время, когда сигнал был передан спутником, со временем, когда он был получен приемником GPS. Разница во времени говорит приемнику GPS, как далеко находится этот конкретный спутник. Если мы добавим измерения расстояния еще от нескольких спутников, мы можем определить нашу позицию.

Методы коррекции для большей точности (DGPS). Насколько точен GPS? Типичный гражданский приемник GPS обеспечивает точность от 10 до 15 метров, в зависимости от количества доступных спутников и геометрии этих спутников. Более сложные GPS приемники, стоимостью 5000 долларов и более, сами по себе не могут обеспечить большую точность. Чтобы попасть в сантиметр или два, они должны использовать коррекционную информацию и вычисления, а также использовать более сложные приемы радиоприема.

Поскольку решение о местоположении, найденное GPS, является математическим, а расстояние от спутников составляет порядка 20000 км, существует ошибка смещения в направлении центра Земли. (Из-за пересекающихся линий, которые могут не совсем встречаться.) Это, конечно, решение для повышения. Поэтому, если мы имеем погрешность в 10 метров в горизонтальном положении, ошибка в высоте будет больше, чем 2030 метров. Ваш небольшой стандартный GPS приемник обычно отображает высоту, но вы должны принять ее, зная вышеизложенные ограничения.

Точность для гражданских лиц была специально занижена, чтобы узнать свое местоположение можно было не ближе, чем в 100 метрах от реального положения. С развитием и активным внедрением технологии в жизнь гражданского населения только в 2000 году это искусственное ограничение было убрано. Также спутник не получает данных ни о каких GPS-устройствах на поверхности Земли и в воздушном пространстве, поэтому услуга бесплатная. Мы просто не сможем узнать, кто конкретно ей пользуется.

Таким образом сегодня область применения системы GPS достаточно велика. GPS приемники встраивают в мобильные телефоны и коммуникаторы, в автомобили, часы и даже

в собачьи ошейники. Люди привыкают к такому благу как GPS навигация и они уже практически не могут обойтись без нее.

Литература

1. Теория и практика GPS [Электронный ресурс] / URL: <https://www.ja-gps.com.au/what-is-gps.aspx> - Дата обращения 16.10.2019
2. Как работает GPS навигация [Электронный ресурс] / URL: <https://www.facte.eu/tehnologii/kak-rabotaet-gps-navigatsiya> - Дата обращения 16.10.2019

УДК621.3

Шаги по «умной» тротуарной плитке

Колесень Е.А, Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

В последнее время человечество активно ищет новые способы выработки электроэнергии. Альтернативные источники всё чаще стали находить своё применение в инженерных разработках. Некоторые из них: солнечные панели, ветряки, уже стали обыденными. Но стоит учесть тот факт, что вокруг нас остаётся большое количество не задействованных источников энергии. Одна из таких энергоэффективных технологий — пьезометрические напольные покрытия.

Первым идеей применения альтернативного источника городской энергии загорелся молодой инженер Лоуренс Кембелл-Кук. Он разработал проект по использованию плитки Pavegen, так называемой «умной» плитки, которая преобразует кинетическую энергию шагов в электричество.

Впервые же испытание «умной» плитки произошло на улицах Лондона во время летней Олимпиады 2012 года. За двухнедельное использование плиток было произведено порядка 20 миллионов джоулей энергии.

Инновационная плитка имеет свой срок службы — 5 лет. Это около 20 миллионов нажатий.

Что касается действия плитки, то один шаг помогает системе производить около 5-8 Вт электроэнергии. Для работы плитки на полную мощность надо сделать 50 шагов в минуту. При наступлении на плитку человек создает на одном из участков избыточное давление. Верхняя грань плитки прогибается и производит два типа заряда – положительный на вогнутой стороне и отрицательный на выгнутой части поверхности. Когда же исчезают усилия, появляется избыток электричества, которое можно использовать. При этом количество и скорость выработки электричества будут зависеть от параметров человека – веса, скорости и интенсивности 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.

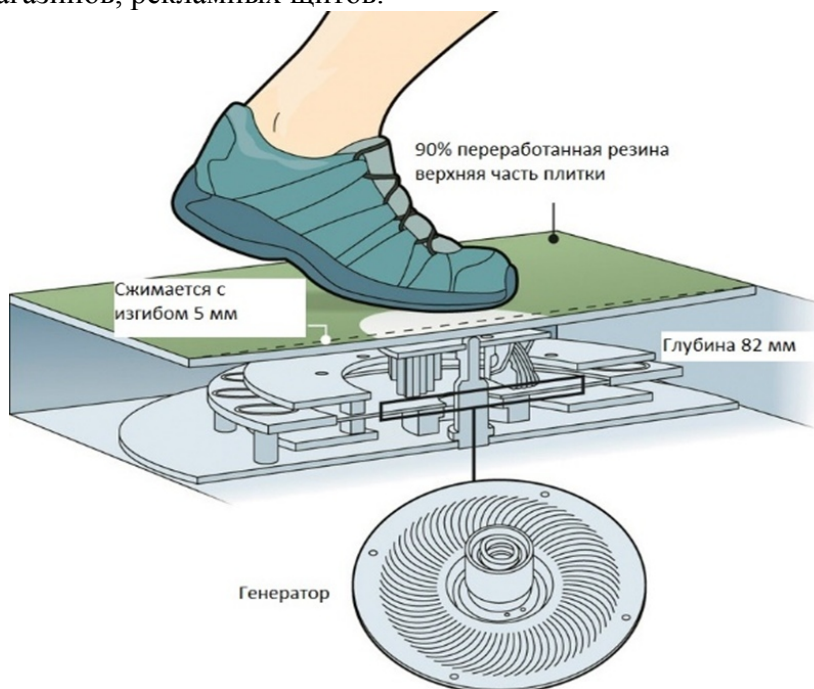


Рисунок 1 – Общий вид плитки

Это инновационное устройство эффективно бы работало в местах с большим потоком людей: метро, места проведения марафонов и забегов, вокзалы. Так же можно подумать о расширении 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. В таком случае появится больше мест обустройства данной плиткой, такие как 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.

Так же стоит обратить внимание на климатические условия. Возьмем такие не менее частые случаи как 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. Очевидно, что для устранения неполадок в подобных ситуациях понадобится намного больше одного дня. А используя данную плитку, люди получают 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:

1) 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;

2) экономия электричества;

3) снижает нагрузку основных источников питания;

4) усовершенствованный дизайн плиток;

5) удобства установки (на месте существующих систем напольного покрытия);

6) отличные климатические условия;

7) 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.

Литература

1. Тротуарная плитка Pavegen, генерирующая электроэнергию [Электронный ресурс] / URL: <http://electrik.info/main/news/1138-trotuarnaya-plitka-generiruyuschaya-elektroenergiyu.html> - Дата обращения 16.10.2019

2. Тротуарная плитка, генерирующая электричество при помощи пешеходов [Электронный ресурс] / URL: <http://tsp.msk.ru/trotuarnaya-plitka-generiruyushhaya-elektrichestvo-pri-pomoshhi-peshexodov/> - Дата обращения 16.10.2019

УДК621.3

Энергетика Австрии

Пугач Б.В., Яворский А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Австрийская электроэнергетика поставляет электричество частным и промышленным организациям. (Объём производства энергии в Австрии составляет 68300 млн кВт*ч./год). Источниками энергии являются гидроэлектростанции (ГЭС) – 65%, тепловые электростанции (ТЭС) – 27% и возобновляемые источники энергии – 8%. Австрийская электроэнергетика подверглась либерализации в преддверии корректировки ЕС в 2001 году. Большинство крупных поставщиков электроэнергии частично принадлежат федеральному правительству и правительствам штатов.

Энергетическая политика Австрии опирается на три столпа - надежность поставок, энергоэффективность и альтернативная энергетика. Стремление страны к декарбонизации усилилось, так как экономика и использование альтернативных источников энергии продолжали расти, а использование ископаемого топлива сократилось.

Гидроэнергетика - безопасный и продуктивный метод выработки электроэнергии, вырабатывает около 65% электроэнергии и минимально загрязняет окружающую среду. Заметное отличие Австрии - наличие гидроаккумулирующих станций для стабильной работы в моменты максимальной нагрузки сети. Все ГЭС в Австрии находятся в государственном владении.

ТЭС работают за счёт сжигания природного топлива, обеспечивая 27% электропотребления, при этом возникают проблемы с экологией, так как происходят выбросы CO₂ в окружающую среду. Обеспечение приемлемой мобильности и адаптивности системы, главное условие правительства Австрии к генерирующим установкам, работающим на энергии сгорания природных ресурсов. Альтернативные источники энергии, несмотря на малую мощность по сравнению с ГЭС и ТЭС, имеют неоспоримое преимущество над ними – отсутствие выбросов углекислого газа.

Принятием Национального плана в 2006 году, состоящего из перечня мер и проектов, касающихся области транспорта, отопления и теплоизоляции, хотели добиться роста энергосбережения на 9%, что может быть выполнено путем оказания услуг в сфере энергетики и прочих мероприятий по повышению энергоэффективности. По состоянию на 2013 год заметные области для улучшения в австрийской экономике включают в себя приборы и транспортный сектор. Важным условием для продуктивного и экономически выгодного производства энергии является эффективность электростанций. Использование теплоэлектроцентралей может повысить КПД почти в 1.5-2 раза, но выбросы CO₂ по-прежнему велики.

Правительство планирует вывести из эксплуатации электростанции, производящие энергию за счет сгорания природных ресурсов, на станции, использующие альтернативные источники энергии. Министерство энергетики запланировало к 2020 г. обеспечение 20% энергопотребления страны за счет возобновляемой энергетики.

Рассматривая преобразования в области энергетики Австрии, следует выделить, что изменения либерального рынка Австрии отличаются от подобных изменений в других государствах. Своеобразным фундаментом энергетического сектора Австрии стали Вторая мировая война и послевоенное время. В период с 40-х по 90-е гг. были построены практически все ТЭС и ГЭС, действующие на данный момент.

Энергоемкость австрийской экономики не показала существенных изменений в период с 1990 по 2010 год. Это можно объяснить снижением общей энергоэффективности в промышленном секторе после 2007 года и слабой экономической ситуацией в 2009 году, что привело к снижению энергоэффективности в промышленности на 9% в этот период.

Из вышесказанного следует, что энергетика Австрии полностью сбалансированная отрасль, направленная на потребителя. Доказательством выступают одни из самых низких

тарифов на электроэнергию, которые составляют 17 евро центов, что меньше среднего значения по Европе.

Литература

3. ERNEUERBARE ENERGIE IN ZAHLEN 2015 – URL: https://www.energieklima.at/fileadmin/content/publikationen/1Broschuere_eEiZ_2015.pdf – Дата обращения: 18.10.2019.

УДК621.3

Этапы водоподготовки на ТЭЦ

Колос В.М., Соловьева Е.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЕЖОВ В.Д.

Водоподготовка – это один из самых важных процессов в тепловой энергетике.

Недостатком в процессе водоподготовки является наличие нерастворимого осадка, который образуется при нагреве воды. При очистке от налёта происходит остановка всего рабочего процесса, разбирается оборудование, и только потом очищаются труднодоступные места. Накипь мешает теплопроводности, из-за чего увеличиваются затраты.

Каждый этап очистки подразумевает прохождение жидкости через фильтр.

Этапы водоочистки:

А) Осветление воды

На этом этапе применяются отстойники и механические фильтры. Работа отстойников заключается в том, что твёрдые примеси опускаются на дно. Первыми улавливаются крупные примеси, далее идут решётки среднего размера и в конце улавливаются самые мелкие примеси.

Б) Дезинфекция и обеззараживание воды

На этом этапе применяется у/ф-лампа, при помощи которой происходит облучение воды. Благодаря ультрафиолету погибают все болезнетворные микроорганизмы.

В) Смягчение воды

Здесь применяются ионообменные системы и электромагнитные смягчители. Также используют реагентное отстаивание. Но у него есть недостаток - образование отложений.

Г) Обессоливание воды

Характерно использование анионных фильтров: декарбонизаторов, электродиализаторов, обратного осмоса и нанофильтрации.

Д) Деаэрация

В результате работы деаэратора устраняются растворённые газы. Системы для очистки от газовых примесей бывают трёх типов: вакуумного, атмосферного и термического.

После пунктов, перечисленных выше, следует продувка котла, в которой используют промывные фильтры. По окончании производится промывка пара с помощью химических реагентов и обессоливающей воды.

Перед поступлением жидкости в котёл турбины, она проходит многократную фильтрацию, отсюда сделаем вывод, что фильтры играют важную роль в процессе водоочистки, поэтому следует ответственно подойти к их выбору и использовать самые подходящие. Для того, чтобы очистка воды прошла тщательно, необходимо последовательно соединять фильтры

Обычно для воды с высокой жёсткости используются ионообменные установки. Для регулирования их работы используется контроллер и блок управления. Контроллер следит за количеством воды, которое поступило в систему и ее объём, который очистил каждый из фильтров.

Тепловые станции потребляют значительное кол-во воды, основные потребители которой - конденсаторы турбин. Вода используется для охлаждения подшипников вспомогательных механизмов, восполнения потерь пара и конденсата в цикле тепловой станции.

Делаем вывод, что водоподготовка ТЭС требует особо пристального внимания и контроля.

УДК 621.3

Основные направления по оптимизации распределительных электрических сетей

Мухина В.А.

Научный руководитель – д.т.н, профессор ФУРСАНОВ М.И.

Современный этап развития промышленного производства характеризуется переходом к использованию передовой технологии, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных характеристик как действующего, так и проектируемого оборудования, необходимостью свести к минимуму любые производственные потери. Все это возможно только при условии существенного повышения качества управления промышленными объектами, в том числе путем широкого применения автоматизированных систем управления.

Для решения проблемы качественной оптимизации распределительной электрической сети необходимо максимально точно и оперативно решать следующий круг задач:

- проанализировать существующие мероприятия по снижению потерь электроэнергии. Точно и достоверно выявить их основополагающие преимущества и недостатки при этом учитывать взаимное влияние их друг на друга.

- провести оценки состояния распределительной сети. В это понятие входит расчет и анализ структуры потерь электроэнергии, расчет резервов по их снижению, также определение их очагов;

- разработать конкретное направление их снижения. Это означает выбор определенного набора оптимизационных мероприятий именно для исследуемой сети и выявление наиболее эффективных из них;

- оценить целесообразность использования заданного порядка оптимизационных действий и его выгодность;

- реализовать наиболее эффективные воздействия на распределительную сеть в пределах имеющихся средств в максимально короткие сроки.

Анализ потерь электроэнергии проводится для решения следующих задач:

- выявления и оценки резервов энергосистемы и ее предприятий по снижению потерь электроэнергии;

- выявления и ранжирования основных факторов, определяющих уровень потерь электроэнергии;

- разработки мероприятий по снижению потерь электроэнергии, определения их эффективности и очередности внедрения;

- определения очагов коммерческих потерь электроэнергии;

- оценки результатов работы по показателю потерь электроэнергии энергосистемы в целом и ее подразделений;

- подготовки и обоснования решений по развитию электрических сетей и внедрению мероприятий по снижению потерь, требующих капитальных вложений.

К основным мероприятиям по снижению потерь для распределительных сетей относят:

– оптимизация мест размыкания замкнутой распределительной сети;

– оптимизация рабочих напряжений в центрах питания распределительных электрических сетей;

– оптимизация работы трансформаторов на подстанциях;

– управления электропотреблением: К прямым относят методы, при которых объектом управления является не график активной нагрузки, а непосредственно потоки энергии, управляемые с помощью буферных накопителей. К косвенным относят методы, ведущие к изменению формы графика активной нагрузки путем реорганизации работы электрооборудования, изменения технологических режимов этого оборудования или побуждающие к таким действиям персонал промышленных предприятий. Под уплотнением графика нагрузки понимается подключение дополнительных электроприемников в часы минимума нагрузки. Уплотнение как заполнение провалов без срезания пиков нагрузки,

применительно лишь в избыточных или сбалансированных по активной мощности энергосистемах. В дефицитных же энергосистемах необходимо выравнивание графиков нагрузки.

- выравнивание нагрузок фаз в электрических сетях 0,4 кВ;
- компенсация реактивной мощности;
- оптимизация загрузки электрических сетей;
- распределенная генерация.

Классифицировать мероприятия по снижению потерь можно на:

- 1) мероприятия по оптимизации режимов электрических сетей и совершенствованию их эксплуатации;
- 2) мероприятия по строительству, реконструкции, техперевооружению и развитию электрических сетей, вводу в работу энергосберегающего оборудования;
- 3) мероприятия по совершенствованию расчетного и технического учета, метрологического обеспечения измерений электроэнергии;
- 4) мероприятия по уточнению расчетов нормативов потерь, балансов электроэнергии по фидерам, центрам питания и электрической сети в целом;
- 5) мероприятия по выявлению, предотвращению и снижению хищений электроэнергии;
- 6) мероприятия по совершенствованию организации работ, стимулированию снижения потерь, повышению квалификации персонала, контролю эффективности его деятельности.

Литература

1. СТП 09110.09.455-11. Методика расчета и обоснования нормативов расхода электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям. – Введ. 01.01.2012. – Минск: РУП «БелТЭИ»: Стандарт ГПО «Белэнерго», 2012. – 51 с.
4. Фурсанов, М.И. Методология и практика расчетов потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем \ М.И. Фурсанов – Минск: Тэхналогія, 2000. – 247 с.
5. Инструкция по расчету и обоснованию нормативов расхода электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям: Министерство энергетики Республики Беларусь, 16.12.2013, №48

УДК 531.788.7

Электрические манометры и вакуумметры

Виноградов И.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Манометр — прибор, измеряющий давление жидкости или газа.

Вакуумметр — вакуумный манометр, прибор для измерения давления разрежённых газов.

Действие электрических манометров и вакуумметров основано на свойстве некоторых материалов изменять свои электрические параметры под действием давления [1].

Пьезоэлектрические манометры

Принцип действия пьезоэлектрических манометров основан на пьезоэлектрическом эффекте, сущность которого состоит в возникновении электрических зарядов на поверхности сжатой кварцевой пластины, которая вырезается перпендикулярно электрической оси кристаллов кварца. Схема пьезоэлектрического манометра представлена на рисунке 1.

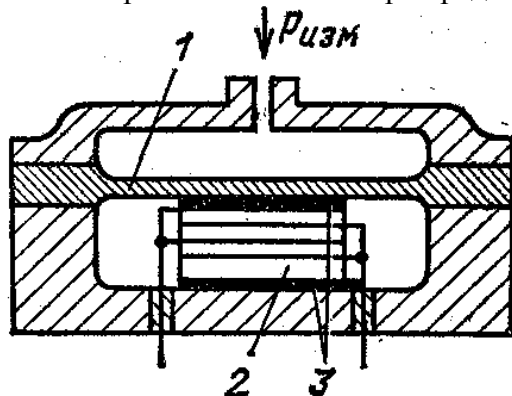


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрического манометра.

Измеряемое давление с помощью мембраны 1 преобразуется в усилие, сжимающее кварцевые пластины 2. Электрический заряд, возникающий на металлизированных плоскостях 3 под действием усилия F со стороны мембраны 1, определяется выражением:

$$Q = kF = kSp \tag{1}$$

где p – давление, действующее на металлическую мембрану 1 с эффективной площадью S ; k – пьезоэлектрическая постоянная, Кл/Н.

Напряжение на входе усилителя, подключённого к выходу пьезопреобразователя, определяется общей ёмкостью измерительной цепи C :

$$U = Q/C \tag{2}$$

Кварц, в отличие от других сегнетоэлектриков, обладающих пьезоэффектом, является механически прочным и имеет высокую жёсткость.

Пьезоэлектрическая постоянная, составляющая около $2 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, отличается стабильностью и слабой зависимостью от температуры, что позволяет использовать пьезопреобразователи для измерения давления высокотемпературных сред. Из-за утечки заряда пьезоэлектрические преобразователи не используются для измерения статических давлений. С целью повышения чувствительности несколько кварцевых пластин включаются параллельно. Верхний предел измерения давления у этих приборов достигает 100 МПа (1000 кгс/см^2).

Тензометрические манометры

Тензометрические манометры имеют малые габаритные размеры, простое устройство, высокую точность и надежность в работе. Верхний предел показаний 0,1...40 Мпа. Применяются в сложных производственных условиях.

В качестве чувствительного элемента в тензометрических манометрах применяются тензорезисторы, принцип действия которых основан на изменении сопротивления под действием деформации.

Конструкция тензометрического манометра приведена на рисунке 2. Манометр имеет цилиндрический корпус 4, образующий в верхней части упругую мембрану, а в нижней – штуцер для подвода измеряемого давления P . К мембране припаяна круглая сапфировая пластина 1, на поверхность которой нанесены тонкопленочные полупроводниковые тензорезисторы $R_1...R_4$ из монокристаллического кремния.

Тензорезисторы с помощью припаянных к ним выводных проводов 5, соединены со сборными пластинками 2, закрепленными на кольце из диэлектрика 3.

Давление в манометре измеряется схемой неуравновешенного моста, плечами которого являются тензорезисторы $R_1...R_4$.

В результате деформации мембраны с сапфировой пластинкой 1 и тензорезисторами возникает разбаланс моста в виде напряжения, которое с помощью усилителя преобразуется в выходной сигнал, пропорциональный измеряемому давлению.

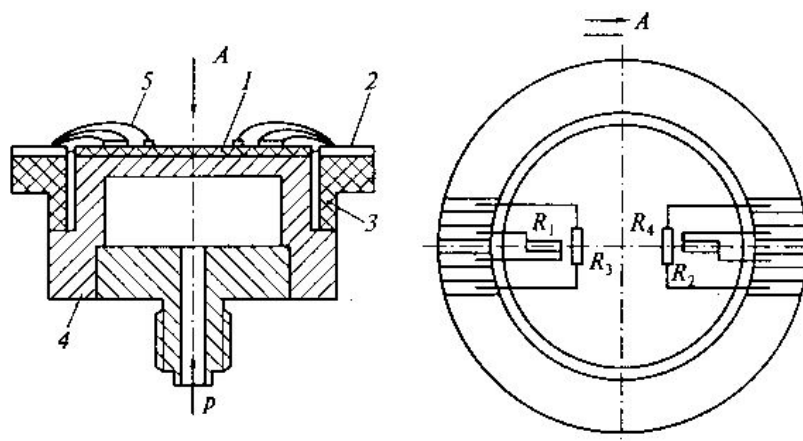


Рисунок 2 – Конструкция тензометрического манометра

Емкостные вакуумметры

Для измерения высокого вакуума довольно часто используют емкостные вакуумметры, рисунок 3. Данные устройства отличаются тем, что могут измерять газ любого типа, вне зависимости от его свойств. Емкостной датчик измеряет давление в системе за счет того, что в нем имеется эластичная мембрана, которая деформируется за счет того, что в разных ее концах создается определенное давление. Это относительное давление и является средством, по которому можно определить давление. Погрешность измерения минимальная, но может возникать за счет того, что в устройстве может иметь место остаточное давление.

В качестве электрода конденсатора в емкостном вакуумметре используется мембрана. За счет того, что эта мембрана прогибается под давлением, это позволяет определять его характеристику. В большинстве случаев мембрана изготавливается из нержавеющей стали. Данный материал имеет небольшой коэффициент теплового расширения, благодаря чему и происходит измерение давления.

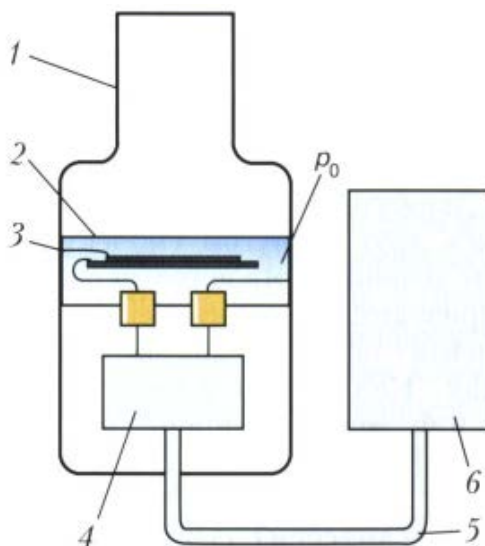


Рисунок 3 – Мембранно-емкостный вакуумметр: 1– корпус; 2 – мембрана; 3 – пластина конденсатора; 4 – вторичный преобразователь; 5– соединительный кабель; 6 – блок питания и отсчетное устройство; p_0 – опорное давление

Существуют устройства с керамическими мембранами, которые имеют меньшую чувствительность к температурным измерениям, поэтому показывают более стабильные результаты. Керамический материал имеет большую коррозионную устойчивость, поэтому спектр их применения достаточно широк. Использование нечувствительных мембран из керамики позволяет рассчитывать на точные измерения.

Электронный ионизационный вакуумметр

В электронных ионизационных вакуумметрах (рисунок 4) электроны, испускаемые накалившимся катодом, на пути к аноду ускоряются и ионизируют молекулы газа, образовавшиеся ионы создают в цепи коллектора ток, пропорциональный давлению.

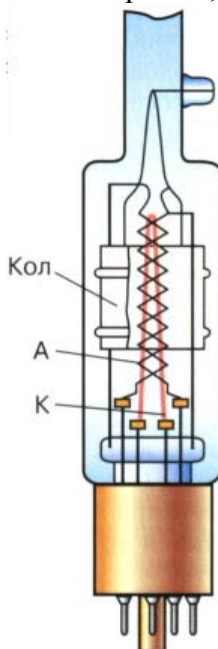


Рисунок 4 – Электронный ионизационный вакуумметр:
 А – анод; К – катод; Кол – коллектор ионов

С помощью ионизационного вакуумметра можно измерять вакуум в широких пределах. При измерении давлений порядка 100 Па для уменьшения влияния рекомбинации ионов используют вакуумметры с короткими траекториями электронов. Работа при низких

давлениях газа (менее 10^{-7} Па) требует, наоборот, удлинения путей электронов в рабочем пространстве (например, за счёт включения магнитного поля). В этом случае необходимо также уменьшать поверхность коллектора ионов, чтобы снизить паразитные токи, обусловленные рентгеновским излучением анода. Чувствительность ионизационного вакуумметра зависит от величины электронного тока; ионные токи в таких вакуумметрах малы, поэтому в их схему обычно включают блок стабилизации эмиссии электронов и усилитель ионного тока. Ионизационные вакуумметры служат главным образом для измерения высокого и сверхвысокого вакуума [2].

Магнитный электроразрядный вакуумметр

В магнитных электроразрядных вакуумметрах давление определяют по току электрического разряда, возникающего в сильно разреженных газах при совместном действии электрических и магнитных полей. Преобразователь давления такого вакуумметра обычно содержит две плоскопараллельные катодные пластины и расположенный между ними кольцевой анод; электроды помещены в магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом (рисунок 5). Современные вакуумметры этого класса могут измерять сверхвысокий вакуум (до 10^{-11} Па).

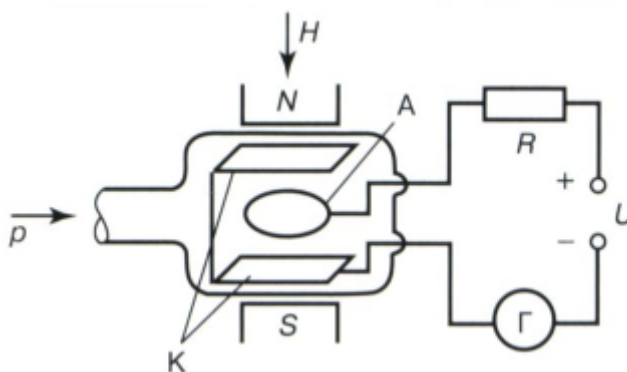


Рисунок 5 – Схема магнитного электроразрядного вакуумметра: А – анод; К – катод; Г – гальванометр; Н – напряженность магнитного поля; U – напряжение между электродами; R – резистор; p – давление; N и S – северный и южный полюсы магнита [3]

Литература

1. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. — 4-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — 1600 с.
2. Манометры // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907

УДК 621.7-52

Автопилот для машин

Веремей В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Большинство производителей автомобилей применяют технологии автономного управления транспортом. Появления беспилотной машины лишь вопрос ближайшего будущего. Концерн Tesla активно внедряет автоматическое управление машиной, при помощи компьютера и вскоре мы увидим, как машина самостоятельно сможет передвигаться по любым дорогам и доставлять человека в любую точку на карте, без единого прикосновения приборов управления транспортом.

Предшественником автопилота было создание первого круиз-контроля, который также называют «автоспид» и «автодрайв». Всё, что он делает — это поддерживает постоянную скорость автомобиля, прибавляя газ при снижении скорости и уменьшая при увеличении, самостоятельно подтормаживает на спусках. Такие системы массово начали ставить на автомобили в 1970-х годах в США — благодаря наличию в стране длинных автомагистралей. Их блок управления скоростью был предназначен для крупных авто с автоматической коробкой передач. В России впервые подобной системой оснастили ГАЗ-21 в 1956 году.

Для чего же нужен автопилот

Основные цели автопилота - это безопасность и комфорт.

Под комфортом можно подразумевать полное расслабление в дороге, отвлечение от напряженного управления транспортом. Например, при движении в пробке машина сама трогается вместе с потоком, и сама останавливается, и все, что Вам необходимо, это указать машине, куда она должна Вас доставить. Машина сама проедет, сама припаркуется и будет ждать дальнейших указаний!

Что касается безопасности, то компьютер всегда быстрее реагирует на ситуацию и принимает решение, чем человек.

Современные машины обладают бортовым компьютером, следящим за положением на дороге и помогающем водителю. Но речь идет о перспективе полного автоуправления автомобилем. Почти 100% произошедших ДТП на дорогах, связаны с человеческим фактором, и лишь малая толика случаев, связаны с техническими неисправностями авто, случившихся внезапно. Компьютер же сможет минимизировать количество ДТП. Например, по данным из доклада правительства США в 2017 году, автопилот Tesla сократил количество ДТП с участием машин данной марки на 40%.

Как работает автопилот в машине

У компьютера нет органов чувств в привычном для человека понимании, но все же он "видит" все, что происходит на дороге, как в прямом, так и в переносном смысле, а кое в чем, его "зрение" превосходит человеческое.

Общие принципы работы у всех беспилотных автомобилей примерно одинаковы. Рассмотрим на примере автомобиля Toyota Prius в версии Google.

Радар – их на беспилотном автомобиле 4 штуки (иногда больше): два впереди и два – на заднем бампере. Данная система применяет радиоволны, чтобы определить дальность объектов, траекторию и скорость их движения. Радар излучает импульсы, они отражаются от препятствий и передаются на принимающую антенну. Таким образом радары становятся «глазами» авто и позволяют мгновенно реагировать на любые изменения ситуации

Датчик положения – специальное устройство, которое определяет координаты автомобиля на карте. GPS приемник позволяет отследить местоположение машины и маршрут его следования.

Видеокамера – расположена возле зеркала заднего вида. Она обнаруживает цветные сигналы светофоров, объекты, которые приближаются на потенциально опасное расстояние. На современных беспилотных автомобилях обычно установлено от 1 до 3 видеокамер.

Автономное вождение

Чтобы передвигаться без человеческой помощи, Toyota Prius в версии Google использует данные десятка разных сенсоров. Помимо нижеперечисленных, есть еще GPS-навигатор и датчик инерции.

ЛИДАР

Вращающийся радар на крыше сканирует окружающую среду на 100 метров вокруг. Это позволяет создавать 3D-карту местности.

ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ

Вмонтированный в левое заднее колесо, он чувствует его малейшее движение и определяет положение авто на карте.

ВИДЕОКАМЕРА

Камера: фиксирует свет от фар других автомобилей и помогает радарам определять препятствия вроде пешеходов и велосипедистов.



РАДАР

Датчики парковки (3 в переднем бампере и 1 в заднем), определяют расстояние до объектов

Рисунок 1 – Основные элементы автопилота

В багажнике беспилотного автомобиля не столь интересно, однако свободного места здесь нет. Железная составляющая Google-автопилота включает:

- управляющий компьютер;
- компьютер визуального интерфейса и модули датчиков;
- контроллер рулевого управления и привода;
- система коммуникации «машина-машина»;
- система голосового радиуправления.

Термин “лидар” является аббревиатурой английского выражения light identification, detection and ranging (обнаружение и определение дальности с помощью света).

Лидар - технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах.

Как прибор, лидар представляет собой оптический локаатор для дистанционного зондирования воздушных и водных сред. Также к лидарам относят оптические локаторы, которые позволяют дистанционно получать информацию о твердых объектах.

Лидары востребованы и пользуются популярностью благодаря достоинствам используемых в них лазерах:

- Когерентность излучения
- Малая длина волны излучения и, как следствие, малые потери из-за расходимости
- Мгновенная мощность излучения

Совокупность этих свойств делает использование лидара незаменимым на дистанциях от сотен метров до нескольких километров.

Принцип действия лидара

Импульсное излучение лазера посылается в атмосферу. Затем, рассеянное атмосферой в обратном направлении, излучение собирается телескопом и регистрируется фотоприемником с последующей оцифровкой сигналов.

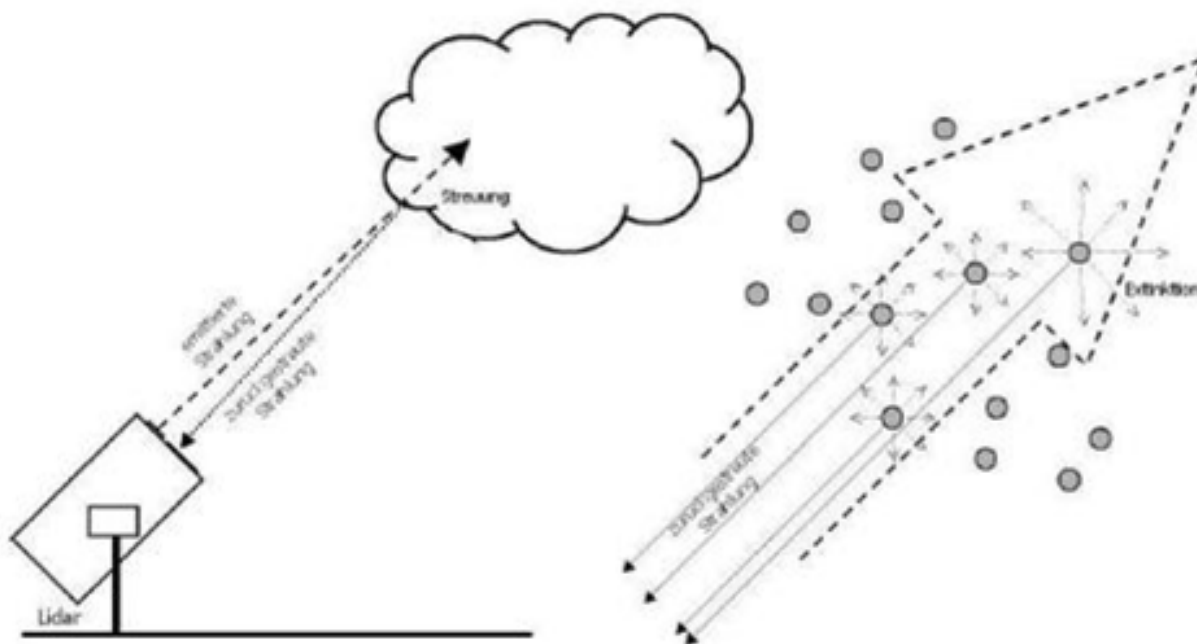


Рисунок 2 – Импульсный лидар - телеобъектив оптический

Лидар запускает быстрые короткие импульсы лазерного излучения на объект (поверхность) с частотой до 150000 импульсов в секунду. Датчик на приборе измеряет промежуток времени, необходимый для возврата импульса. Свет движется с постоянной и известной скоростью, поэтому лидар может вычислить расстояние между ним и цели с высокой точностью.

Существуют две основные категории импульсных лидаров: микроимпульсные и высокоэнергетические системы.

Микроимпульсные лидары работают на более мощной компьютерной технике с большими вычислительными возможностями.

Эти лазеры меньшей мощности и классифицируются как "безопасные для глаз", что позволяет использовать их практически без особых мер предосторожности.

Лидары с большой энергией импульса в основном применяются для исследования атмосферы, где они часто используются для измерения различных параметров атмосферы, таких как высота, наложение и плотность облаков, свойства частиц облака, температуру, давление, ветер, влажность и концентрацию газов в атмосфере.

Устройство лидара



Рисунок 3 – Устройство лидара

Большинство лидаров состоит из трех частей (рис. 3):

- Передающая часть (рис. 3 а)
- Приемная часть (рис. 3 б)
- Система управления (рис. 3 в)

Передающая часть (а) лидара содержит источник излучения - лазер и оптическую систему для формирования выходного лазерного пучка, т.е. для управления размером выходного пятна и расходимостью пучка.

В абсолютном большинстве конструкций излучателем служит лазер, формирующий короткие импульсы света высокой мгновенной мощности. Периодичность следования импульсов или модулирующая частота выбираются так, чтобы пауза между двумя последовательными импульсами была не меньше, чем время отклика от обнаружимых целей (которые могут физически находиться дальше, чем расчётный радиус действия прибора). Выбор длины волны зависит от функции лазера и требований к безопасности и скрытности прибора; наиболее часто применяются Nd:YAG-лазеры.

Приёмная часть (б) состоит из объектива (телескоп), спектрального и/или пространственных фильтров, поляризационного элемента и фотодетектора. Излучение, отраженно-рассеянное от исследуемого объекта, концентрируется приемной оптикой (телескопом), а затем проходит через анализатор спектра. Этот прибор служит для выделения интервала длин волн, в котором проводятся наблюдения, и, следовательно, для отсеки фонового излучения на других длинах волн. Анализатор может представлять собой либо сложный, тщательно настраиваемый моно- или полихроматор, либо набор узкополосных фильтров, включая фильтр отсеки излучения на длине волны лазерного передатчика.

Излучатель и приемный блок могут быть далеко разнесены друг от друга или выполнены в едином блоке, что в последние годы является обычным. Оси излучателя и приемника могут быть совмещены (коаксиальная схема) или разнесены (биаксиальная схема).

Система управления (в) выполняет следующие задачи:

- Управление режимом работы лидара;
- Управление частотой зондирующего излучения лазера;
- Измерение энергии излучения в выходящем и принимаемом двухчастотном лазерном пучке на обеих частотах;

- Обработка результатов, т.е. получение спектральных характеристик атмосферы, определение наличия и концентраций примесей по имеющимся в базе данных компьютера «спектральным портретам» молекул;

- Управление системой наведения лидача на исследуемый объект.

Позже разработчики приходят к идее использовать совместно с указанным оборудованием высокоточные карты. Автономное передвижение только лишь с помощью датчиков требует постоянного сканирование окрестности и, как результат, огромных вычислительных мощностей. Высокоточные карты позволяют автомобилю передвигаться даже по дорогам, не имеющим специальной разметки, а датчики предполагается использовать только для своевременной реакции автомобиля на изменения ситуаций на дорогах (переход дороги пешеходами, обгоны и др.).

В каком виде транспорта будет применяться автопилот

Эксперты уверены в том, что технология беспилотного транспорта более быстрыми темпами будет внедряться именно в сфере грузоперевозок. Длинные и сравнительно прямые маршруты намного легче в автономном управлении, а легковым беспилотникам приходится чаще «петлять» по городским улицам. Внедрение роботизированного грузового транспорта позволит экономить в будущем сотни миллионов долларов ежегодно.

Беспилотный грузовик TESLA

Бренд уже успел зарекомендовать себя в роли успешного новатора в индустрии беспилотного транспорта и несмотря на то, что подобные технологии уже давно осваиваются, Tesla Semi Truck смог впечатлить своими характеристиками и возможностями:

Рабочий ресурс по заявлению представителей компании составляет минимум 1 миллион километров. Жизненного цикла этого грузовика хватит на то, чтобы 40 раз объехать вокруг земного шара!

Беспилотный модуль может разогнаться до скорости 96 км/час всего за 5 секунд. Например, дизельному грузовику для этого требуется как минимум 15 секунд. Максимальная грузоподъемность модели составляет 36 тонн.

На одном заряде Tesla Semi Truck способен проехать расстояние 800 км, а чтобы преодолеть еще 600 километров грузовику хватит одного часа для подзарядки.

В режиме беспилотника грузовики могут передвигаться колонной, при этом хватит одного водителя, который будет управлять первой машиной.

Беспилотные тягачи MERCEDES

Компания Mercedes-Benz разработала грузовик будущего Future Truck 2025, и цифра в конце красноречиво намекает на год запуска серийного производства. Для беспилотного управления грузовым транспортом используется технология Highway Pilot, которая отвечает за автоматическое передвижение по трассе.

В 2016 году прошло «боевое крещение» Future Truck: совместно с проектом «Европейский грузовой караван» компания Mercedes отправила на дороги три беспилотных тягача с прицепами. Вот несколько фактов об этом испытании:

Грузовики под управлением автопилота проехали больше 600 км из немецкого Штутгарта в Нидерланды, город Роттердам.

Колонна в длину занимала 80 метров. Для сравнения: при стандартной перевозке обычными грузовиками с водителями длина колонны составляет минимум 150 метров. А расход топлива во время эксперимента был уменьшен на 10%.

Грузовики, оборудованные сенсорами и синхронизированные между собой с помощью Wi-Fi, следовали друг за другом на расстоянии 15-20 метров без помощи водителя.

Беспилотный грузовик КАМАЗ

В 2015 г. объявили о старте совместного проекта КамАЗ и компания Cognitive Technologies.

К 2017 г. его прототип научился обходить препятствия, пропускать пешеходов, справляться со сложными поворотами. КамАЗ готовится к их испытаниям на дорогах общего пользования после 2018 г. Пока тесты проходят на закрытом полигоне в Ногинске. Прототип

– на базе КамАЗ-5350, но с радаром, лидаром, видеокамерами. Производство запланировано на 2019 г. Инвестиции на 2017 г. составили 390 млн руб.

БелАЗ будет серийно выпускать беспилотные самосвалы

Этот карьерный грузовик построен на модели БелАЗ-7513 и использует систему спутниковой навигации, которая работает через базовую станцию, увеличивая точность позиционирования беспилотника до 1 см. Антенны и несколько датчиков, установленные на крыше, колесах и в других местах, позволяют определять параметры движения, скорость, угол поворота и т.д.

Также транспортное средство получило компьютеры, около 10 контроллеров, ультразвуковые сенсоры, радары (сканируют сцену движения в условиях плохой видимости на расстоянии до 250 м) и лидары (строят трехмерную карту сцены движения на расстоянии до 100 м).

Кроме того, предусмотрена система распознавания, способная обнаруживать персональные устройства безопасности, выдаваемые персоналу. Для подключения к системе управления беспилотником на других машинах используются удаленные рабочие места с серверами.

БелАЗ-7513R работает следующим образом: диспетчер выдает системе задание на смену, выделяет требуемое количество роботов-самосвалов и производственный маршрут. Роботы выезжают с парковки на участок и начинают непрерывную работу – погрузка, дорога, разгрузка, повторить. Оператор может переназначить машину на другой маршрут или отправить на стоянку: робот закончит текущий цикл и направится на новое задание.

VIST Robotics обучила машину ездить без разворотов, вперед и назад, так называемым челночным ходом. Водитель гигантского самосвала сам этого сделать не может. Такой способ движения позволяет машине быстрее выполнять свою работу, сокращая время простоя дорогостоящего экскаватора (он стоит примерно в 100 раз дороже самосвала). Кроме того, в карьерах человеку работать опасно: загазованность, пыль после взрывов и т. п.

УДК 625.23

Частотные преобразователи для гидронасосов

Кагало В.Г.

Научный руководитель – ст. препод. ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

Частотный преобразователь, так же называемый инвертором, в данном случае рассматриваемый для насосов водоснабжения является электротехническим прибором, который преобразует постоянное напряжение в переменное по заданной предварительно амплитуде и частоте (в некоторых случаях от 1 до 800 Гц). Это позволяет достаточно плавно регулировать работу как асинхронных, так и синхронных электродвигателей различных мощностей, что активно применяется в разных отраслях. Использование частотных преобразователей позволяет также преобразовывать однофазное напряжение сети в трехфазное, что применяется на установках, где требуется мощность больше чем подаваемая. Практически все конструкции современных преобразователей состоят из 3-х основных частей: импульсный инвертор, неуправляемый выпрямитель и система управления.

На данный момент практически у всех гидронасосов стоят дроссели в качестве регулятора потока перекачиваемого вещества. Электромотор таких установок чаще всего работает на максимальной мощности, а изменение расхода давления подачи жидкости осуществляется посредством регулировки запорной арматуры, которая меняет сечение пропускного отверстия. Такой принцип работы способствует появлению гидравлических ударов, так как после включения насос начинает качать воду на максимальной мощности почти сразу же. Проблемой такого режима является высокое энергопотребление и более быстрый износ компонентов системы, что нежелательно. Применение частотных преобразователей для электродвигателей для гидронасосов в некоторых случаях помогает снизить объем потребляемой энергии вплоть до 70%.

Обобщенный алгоритм выглядит следующим образом: когда реле давления определяет, что уровень давления в гидробаке упал ниже допустимого минимума, то подается сигнал на преобразователь и тот запускает электромотор насоса. В процессе разгона датчик сигнала передает на преобразователь данные об уровне давления в трубопроводе. После того, как оно достигает требуемой величины, блок управления останавливает разгон и далее поддерживает заданную частоту оборотов мотора.

Представленная на следующем рисунке схема состоит из асинхронного двигателя M с фазным ротором, в цепь которого включен вентильный преобразователь $V1$, в котором выпрямляется переменный ток ротора. С вентильным преобразователем через дроссель L включен инвертор (вентильный преобразователь $V2$), являющийся источником добавочной ЭДС. Вентильный преобразователь $V2$ собран с трансформатором T по трехфазной нулевой схеме, что обычно применяется в приводах небольшой мощности. В этой схеме функции двух вентильных преобразователей разграничены - вентили $V1$ выполняют функции выпрямителей, преобразуя переменный ток ротора в постоянный. Вентили $V2$ преобразуют выпрямленный ток ротора в переменный ток с частотой сети, то есть они работают в режиме зависимого инвертора.

Полезная для потребителя защитная функция частотных преобразователей напрямую связана с изменениями характеристик электрического тока. Новые параметры не допускают отрицательного влияния на электромоторы и уменьшают риск перегрузки и перегрева как самого мотора, так и гидронасоса. Ниже приведены положительные влияния применения частотных преобразователей.

- Возрастает продолжительность срока эксплуатации гидронасосного оборудования;
- Появляется возможность управления несколькими электродвигателями одновременно от одного частотного преобразователя;
- Возникает возможность изменения скорости вращения электродвигателя в определенных нерегулируемых технологических процессах.

• Преобразователи частоты обеспечивают высокую защиту электродвигателя от перегрева, перегрузок и обрыва фаз;

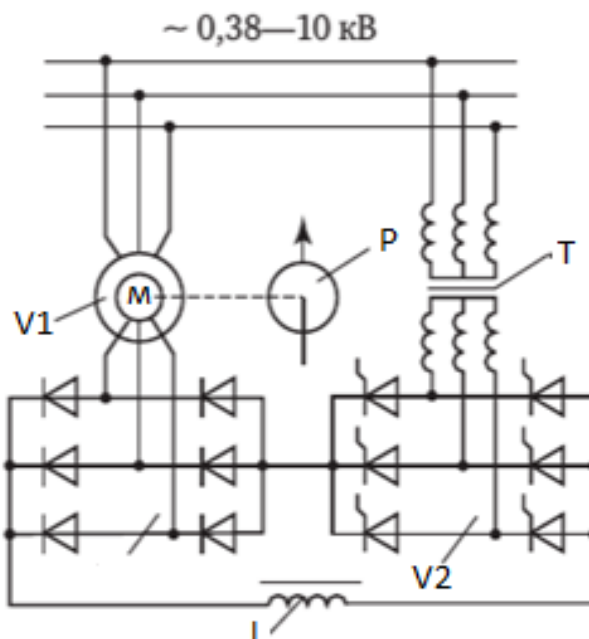


Рисунок 1 – Частотный преобразователь

Рассмотрим простейшую схему работы частотного преобразователя совместно со скважинным насосом (центробежным или винтовым). Данная схема используется при водоснабжении частного дома из личной скважины (колодца). Датчик давления определяет уровень давления в гидроаккумуляторе и подает управляющие команды на частотный преобразователь. Если давление в гидроаккумуляторе падает ниже минимального (например, бак почти опустел), датчик передает сигнал на частотный преобразователь задавая необходимую частоту для запуска на ней электродвигателя скважинного насоса. Частотный преобразователь, в свою очередь, подает напряжение определенной, датчиков давления, частоты на электродвигатель скважинного насоса. Насос начинает перекачивать жидкость из скважины к гидроаккумулятору и потребителю, по необходимости. Манометр в данной схеме присутствует с целью контроля давления в гидроаккумуляторе самим потребителем и, возможно в случае выхода из строя автоматике датчика давления, запуска частотного преобразователя вручную.

Рекомендации по выбору частотного преобразователя следующие:

- Мощность электропривода, к которому подключается преобразователь
- Входное напряжение указывает силу тока, при которой преобразователь остается работоспособным (при повышенном напряжении приводит к остановке прибора). Учитывается тип двигателя: - одно-, двух- или трехфазный.
- Диапазон частот регулировки - для скважинных гидронасосов в диапазоне 200-600 Гц.
- Количество ходов и выходов управления - чем их больше, тем больше команд и режимов работы преобразователя нужно настроить.

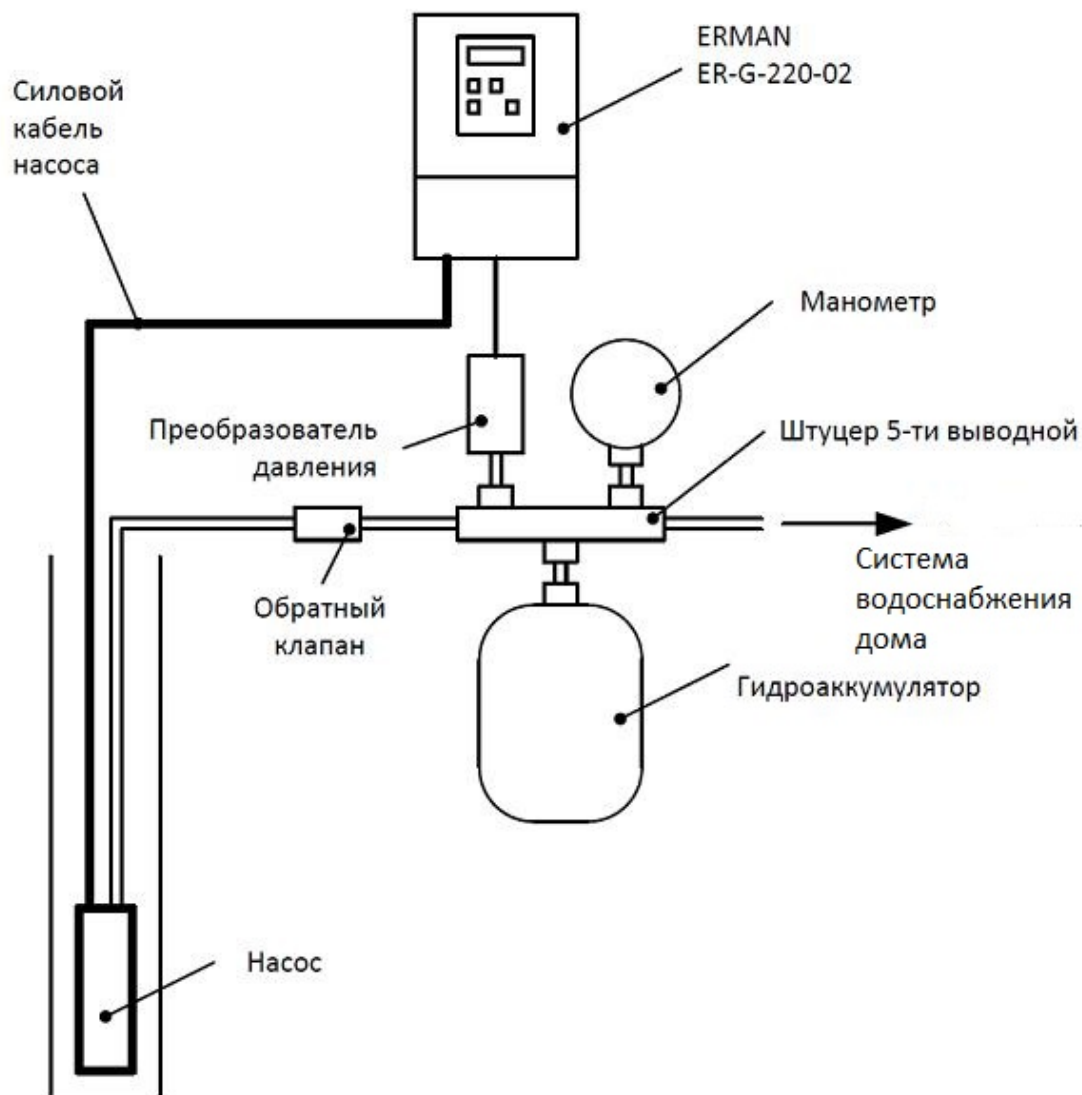


Рисунок 2 – Схема водоснабжения дома

Литература

1. Частотные преобразователи для насосов. Режим доступа: <https://bredmozga.ru/avtomobilnaya-tehnika/chastotnye-preobrazovateli-dlya-nasosov-ceny-harakteristiki-i/>. Дата доступа: 15.10.2019.
2. Зачем нужен частотный преобразователь для насоса. Режим доступа: <https://criptopia.ru/potolok/zachem-nuzhen-chastotnyi-preobrazovatel-dlya-nasosa-rekomendacii-po-vyboru/>. Дата доступа: 14.10.2019.
3. Электропривод с асинхронным вентильным каскадом. Режим доступа: <http://electricalschool.info/elprivod/898-jelektroprivod-s-asinkhronnym-ventilnym.html>. Дата доступа: 14.10.2019.

УДК 621.3

Асинхронные генераторы для мини-ГЭС

Холопица И.В., Рапинчук Д.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

В последние годы во всем мире уделяется большое внимание развитию установок преобразования возобновляемых видов энергии в электрическую, децентрализации и созданию самообеспеченных энергорайонов. При этом аварии, катастрофические по экономическому ущербу и даже опасные с точки зрения обороноспособности страны землетрясения имеют локальные последствия.

Восстанавливаются сотни ранее необоснованно заброшенных мини-ГЭС (мГЭС) и строятся новые на гидротехнических сооружениях объектов неэнергетического назначения, к которым относятся водонапорные башни, оросительные системы сельского хозяйства, водокачки и др.

Ранее, до 60-х годов прошлого века, в СНГ было построено около 10 000 мГЭС. К началу 80-х годов работало всего около 1000 мГЭС. Многие из них требовали капитального ремонта, реконструкции с заменой турбин, генераторов, трансформаторов, аппаратуры автоматического управления.

В последние годы асинхронные генераторы (АГ) все более широко применяются для мини-ГЭС фирмами России, Украины, Германии, Великобритании, США, Японии и ряда других стран. Эти машины характеризуются простой и прочной конструкцией, малым числом рабочих частей, являющихся, как правило, стандартными с большой гибкостью в условиях полной автоматизации, надежностью в работе, относительно низкой стоимостью, с лучшими, чем у синхронных генераторов, массогабаритными показателями. Однако АГ на мини малых ГЭС с единичной мощностью 100 кВт и выше на сегодняшний день применяются редко, и вопрос этот до конца не изучен.

Применение асинхронных генераторов в составе автономного энергокомплекса обосновано по следующим причинам:

- применение асинхронных генераторов повышает надежность работы электроприводов механизмов
- асинхронные генераторы отличаются простотой конструкции и надежностью в эксплуатации, вследствие отсутствия подвижного щеточного контакта
- При применении асинхронных генераторов снижается трудоемкость и стоимость обслуживания генерирующих установок.

Вместе с тем АГ имеют большую мощность самовозбуждения и затрудняют регулирование выходного напряжения, необходимую для образования вращающегося магнитного поля. Реактивную мощность асинхронный генератор потребляет из сети, нагружая дополнительным реактивным током синхронные машины, которые включены в сеть параллельно с ним. Это потребление реактивной мощности является одним из основных недостатков асинхронных генераторов, препятствующим их широкому распространению.

Потребляемая небольшими асинхронными генераторами реактивная энергия для намагничивания практически не обременительна для мощных ЭЭС. В ряде случаев, при избыточной реактивной энергии (например, при недогруженных длинных линиях воздушной связи в системе) потребление ее асинхронными двигателями даже полезно. Если ЭЭС требует компенсации, то устанавливается нерегулируемая или регулируемая батарея конденсаторов (рис. 1).

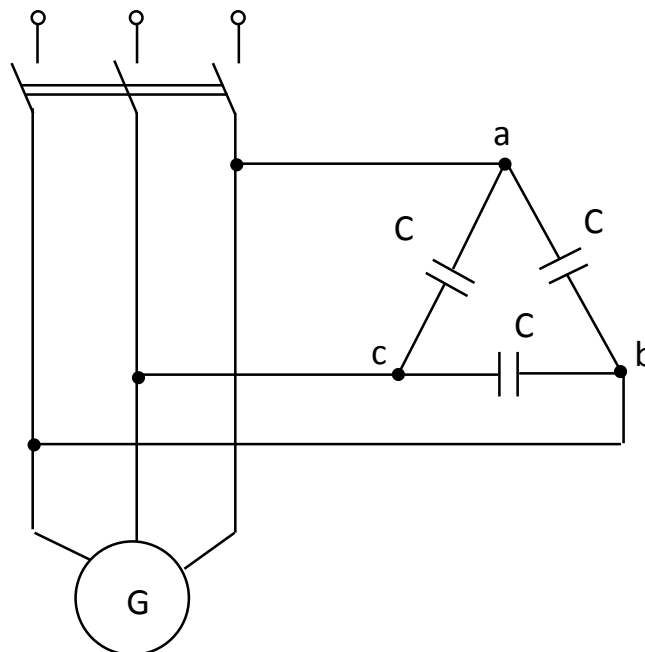


Рисунок 1 – Схема подключения конденсаторов для самовозбуждения автономного асинхронного генератора

Чтобы избежать скачков увеличения напряжения при аварийном отключении и разгоне асинхронных генераторов с подключенными конденсаторами, рекомендуется:

- если мГЭС работает автономно, то во время пуска агрегата конденсаторы (нерегулируемые автоматически) включать до выключателя, а после принятия нагрузки переключать в сторону потребителя (после выключения);
- при схеме постоянной работы мГЭС в энергосистеме конденсаторы постоянно должны быть подключены со стороны ЭЭС, т.е. после выключателей генераторов;

К недостаточно изученным вопросам можно отнести физические процессы самовозбуждения асинхронного генератора, работающего на автономную нагрузку, так как процесс самовозбуждения зависит не только от параметров сети, но и от конструктивных особенностей генератора.

Такое состояние проблемы, скорее всего, связано с преимущественным использованием до настоящего времени асинхронных машин в качестве двигателя, генераторного режима эти машины проектировались достаточно редко. К тому же статические конденсаторы, которые применяются в качестве источников реактивной мощности, необходимой для процесса возбуждения, являются весьма чувствительными к значительным изменениям напряжения, что может привести к выходу их из строя. Поэтому еще одной проблемой, требующей изучения, является исследование аварийных режимов работы асинхронных генераторов и разработка автоматических систем регулирования для обеспечения заданных параметров работы мГЭС.

Для того чтобы асинхронный генератор мог работать на собственную (автономную) сеть, он должен самовозбудиться. Как видно из векторной диаграммы (рис. 2), магнитный поток Φ_m в генераторе создается реактивной составляющей I_{12p} намагничивающего тока.

УДК 621.355.9

Опытное изготовление графенового аккумулятора

Акулич М.А., Журавлёв А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

В новостных источниках появилась информация о том, что испанские инженеры разработали графеновые аккумуляторы нового типа. Они получились на 77% дешевле литиевых аналогов, в более чем в два раза легче, а благодаря электропроводным свойствам графена, длительность зарядки составляет 9 минут, этого заряда хватает на 1000 км пробега электромобиля [1].

Наиболее перспективным способом получения графена является метод, названный «*Laser Scribed Graphene*» – обработанный лазером графен [2].

Для получения обкладок аккумулятора, покрытых графеном, использовались стандартные пластины неисправного литий-ионного аккумулятора, наклеенные на *DVD-RW* диск, с помощью двустороннего скотча.

После этого пластины покрывались тонким слоем оксида графена и помещались в *DVD*-привод компьютера, оснащенный лазерным излучателем. Под его воздействием атомы углерода отслаиваются равномерными слоями до тех пор, пока оставшееся вещество не превратится в графен.

В компьютере производилось 10 кратное стирание *DVD* диска, что должно способствовать получению нужного одноатомного слоя углерода на поверхности алюминиевых и медных электродов.

Для того что бы аккумулятор заработал необходимо между катодом и анодом поместить пористый изолятор и электролит, содержащий ионы лития.

Для этого был разобран герметичный неисправный аккумулятор, из которого был извлечён пропитанный электролитом сепаратор. Он тут же помещался между пластинами, покрытых графеном. Далее пластины нового аккумулятора собирались в пакет и соединялись при помощи точечной сварки между собой.

К выводам получившегося аккумулятора припаивались провода, а полученный пакет герметизировался при помощи термоклея и изоленты.

Получившийся в результате графеновый аккумулятор был подвергнут 50-кратному испытанию на заряд-разряд с целью снятия характеристик при помощи специализированного зарядно-разрядного устройства.

В первом опыте измеренная устройством ёмкость аккумулятора составила 1108 мА·ч. После 5-ти кратного повторения циклов заряд-разряд ёмкость аккумулятора возросла до 1891 мА·ч., при том, что для изготовления аккумулятора использовался сепаратор от аккумулятора такого же размера, но потерявшего ёмкость до 960 мА·ч (табл. 1).

Таким образом, фактически произошло восстановление ёмкости аккумулятора до максимально возможного значения при данной площади пластин-электродов.

Далее был измерен ток короткого замыкания изготовленного графенового аккумулятора. Он составил более 40А, т.к. подключенный 40А предохранитель перегорал при подключении параллельно к аккумулятору.



Рисунок 1 – Испытание первого макета графенового аккумулятора

Кратковременный ток короткого замыкания аккумуляторных батарей-доноров, из которых изготавливался аккумулятор, не превышал 18А.

Таблица 1 – Изменение ёмкости аккумулятора при повторении циклов заряд-разряд

Номер цикла	Полученная ёмкость аккумулятора (мА·ч)
1	1108
2	1256
3	1456
4	1680
5	1891

Произошло снижение внутреннего сопротивления аккумулятора.

Однако, изготовленный нами аккумулятор вышел из строя за ночь после первого дня испытаний. Причиной данного явления видимо произошло из-за окислительных процессов в аккумуляторе т.к. не было достаточной герметичности.

Для последующих испытаний был изготовлен второй аккумулятор, который был обклеен фольгированным скотчем, концы которой были залиты термоклеем.



Рисунок 2 – Второй макет графенового аккумулятора

Полученный аккумулятор был подвергнут аналогичным испытаниям, в процессе 500-циклов заряд-разряд за 1,5 месяца испытаний (рис. 2).

Максимальной ёмкости аккумулятор достиг после 7-ого цикла заряда. Далее ёмкость оставалась стабильной до 402 цикла и составляла 1896 мА·ч. В дальнейшем примерно каждые 10-15 циклов заряда-разряда наблюдалось снижение ёмкости на 1 мА·ч. К 500-му циклу разряда аккумулятора его ёмкость составила 1887 мА·ч.

Был разработан способ восстановления неисправных и потерявших ёмкость литий-ионных аккумуляторов с заменой углеродного слоя электродов на графеновый. Восстановленный аккумулятор легче и тоньше исходного на 15-20% за счет уменьшения толщины обкладок

Качественно изготовленный графеновый аккумулятор, согласно сведениям из литературных источников, имеет срок службы на порядок больше стандартного литий-ионного. Мощность графенового аккумулятора в 2-3 раза больше стандартного литий-ионного.

Литература

1. Сверхёмкие графеновые аккумуляторы запустили в массовое производство [Электронный ресурс] /РУБЕЖ. Режим доступа: <https://ru-bezh.ru/news/2016/02/17/sverxhemkie-grafenovyie-akkumulyatoryi-zapustili-v-massovoe-proiz>. Дата доступа: 22.09.2019
2. Суперконденсатор с графеновыми электродами [Электронный ресурс] / Заряд проект. Режим доступа: <http://zaryad.com/2012/05/06/superkondensator-s-grafenovymi-elektrodami/>. Дата доступа: 22.09.2019.

УДК 531.717.5

Разновидности толщиномеров лакокрасочных покрытий на автомобилях

Акулич М.А., Журавлёв А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Информация, полученная в ходе изучения данной статьи актуальна для автолюбителей и станций технического обслуживания, занимающихся ремонтом и восстановлением кузовов автомобилей.

Толщиномер лакокрасочного покрытия (ЛКП) автомобиля является главным приспособлением при подборе или приобретении старого автомобиля. Прибор с высокой точностью указывает на зоны восстановления толщины лакокрасочного покрытия кузова, тем самым выявляет процесс восстановления покрытия, например, после ДТП или иных воздействий.

В современных автомастерских чаще используются ультразвуковые толщиномеры. Структура работы базируется на итоговой ультразвуковой волне в нанесенном покрытии.

В продольном срезе перекрашенный корпусный элемент демонстрирует слой лакокрасочных покрытий, повторно нанесённых слоёв краски, грунтового нанесения и металлических нанесений.

Устройство ультразвукового толщиномера имеет некоторые основные составляющие. Принцип работы заключается, в том, что генератор ультразвуковых импульсов создает импульсы, которые должны преодолеть лакокрасочный слой за определенный промежуток времени. Излучатель выпускает их в сторону корпусного элемента, они проникают через лакокрасочное покрытие, отражаются от несущего металла, после чего повторно проходят через лакокрасочное покрытие и запоминаются ультразвуковым приемником. ЖК-индикатор выводит значение на дисплей, после чего его можно сравнить с нормами завода-производителя и точно определить, проводились ли кузовные работы на данном автомобиле (рис. 1).

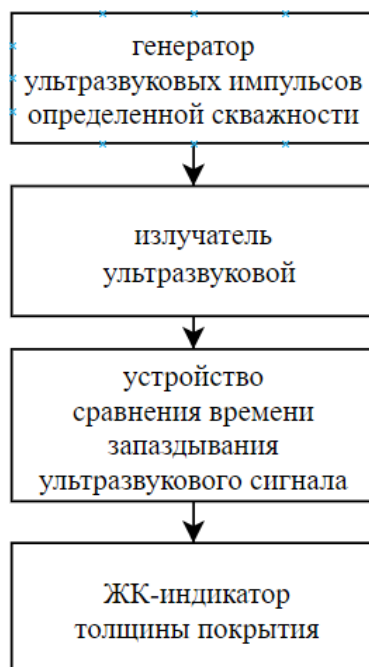


Рисунок 1 – Схема работы ультразвукового толщиномера

Кроме ультразвуковых ЛКП, достаточно популярны магнитные толщиномеры. Структура их функционирования базируется на использовании магнитных свойств металлических элементов корпуса автомобиля. В ЛКП находится маленький магнит на подвеске. Время отрыва от поверхности кузова зависит от толщины покрытия. Прибор не требует дорогостоящего обслуживания, но при этом обладают достаточно большой

погрешностью измерений. Основополагающий фактор работы данного толщиномера – явления электромагнитной индукции. Расстояние до магнитного металла определяет сигнал самоиндукции в установленной катушке.

Аналогичный принцип работы имеют вихретоковые ЛКП. Для использования данного типа приборов требуется знать состав материала металла.

Согласно принципам действия ЛКП разделяют на:

- механические;
- магнитные;
- электромагнитные;
- вихретоковые;
- ультразвуковые.

По способу применения различают:

- стационарные;
- переносные;
- ручные.

Для получения более точных результатов толщиномеров в отдельных моделях предусматривается настройка устройства. В наборе идут калибровочные пластины. Первая пластина сделана из металла, вторая имитируется покрытие автомобиля. Процесс настройки состоит из нескольких этапов и полностью описывается в инструкции к устройству. Погрешность готового к работе толщиномера не превышает 1,5 мкм. При отсутствии калибровочных пластин, можно оценить не отремонтированную часть кузова.

Толщиномеры работают на разных покрытиях, всё зависит от принципа работы:

- Электромагнитные способны измерять покрытия только на корпусах из ферромагнетиков.

- Электровихретоковые – покрытия на диамагнетиках, на ферромагнетиках точность понизится.

- Ультразвуковыми можно измерить толщину любого покрытия, без зависимости от материала корпуса.

Самый эффективный тип ультразвуковой. Данные устройства очень дорогие, больше подходят для станций технического обслуживания специализирующихся на кузовных работах. Для личных нужд можно использовать магнитные толщиномеры, он укажет основные участки восстановления кузова, но не обнаружит работу специалистов.

Литература

1. Измеритель толщины лакокрасочных покрытий [Электронный ресурс] / Meanders. - Режим доступа: https://meanders.ru/tolsh_lakokras.shtml. Дата доступа: 02.10.2019
2. Толщиномер краски [Электронный ресурс] / Строительство и ремонт. - Режим доступа: <https://derevyannie-doma.com/sovety/kak-pol-zovat-sya-tolschinomerom-lakokrasochnyh-pokrytiy-avtomobiley.html>. Дата доступа: 29.09.2019

УДК621.3

Особенности электронных узлов газовых плит

Машко М.А., Вареник Д.О.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Кухонная плита есть практически в каждой квартире и в каждом доме, каждодневное использование данного прибора ни у кого не вызывает сложностей. В любом случае нелишним будет знать, из чего состоит и как работает кухонная плита.

Кухонные плиты по способу нагрева разделяются на три вида:

- 1) электрические;
- 2) газовые;
- 3) комбинированные.

Конструкция плиты

Конструкция всех плит примерно одинакова:

- 1) корпус;
- 2) рабочая поверхность;
- 3) духовой шкаф;
- 4) конфорки;
- 5) газовое оборудование, которое включает в себя шланги, запорные шланги;
- 6) система регулирующая подачу газа.

Устройство газовой плиты

Большинство современных плит имеют электронную систему. Электронная система включает в себя не только простую электронику: часы с таймером, электроподжиг и освещение, но и сложную электронику, которая регулирует время работы плиты, температуру духового шкафа, отвечает за безопасное использование всей системы газовой плиты.

Принцип действия

Принцип действия от месторасположения основных элементов не меняется, он одинаков для всех газовых плит. Он состоит из газопровода или баллона, из которого к плите подается газ; с использованием переключателя газ доходит до горелок; на следующем этапе смесь газа и воздуха подается к рассекателю, который делит поток смеси на одинаковые части; смесь воспламеняется с помощью автоматического, ручного, или полуавтоматического устройства поджига.

Устройство розжига газовой плиты

Сегодня кухонные плиты отличаются от устаревших аналогов приятным для пользования дополнением: на всех современных моделях установлена функция электроподжига, которая облегчает её включение для работы. Электроподжиг предоставляет возможность поджечь газ без использования спичек, зажигалок и других источников открытого огня, что позволяет защитить пользователя от вероятности получения ожогов.

Виды электроподжига

Существует несколько видов электроподжига: механический, полуавтоматический и автоматический. Механический электроподжиг происходит при помощи зажигалок и спичек. Полуавтоматический поджигает газоздушную смесь при одновременном нажатии на кнопку розжига и регулировки подачи газа. Автоматический поджиг, автоматически подает искру именно на ту конфорку, на которую подается газ, в результате чего появляется огонь.

Принцип действия электроподжига

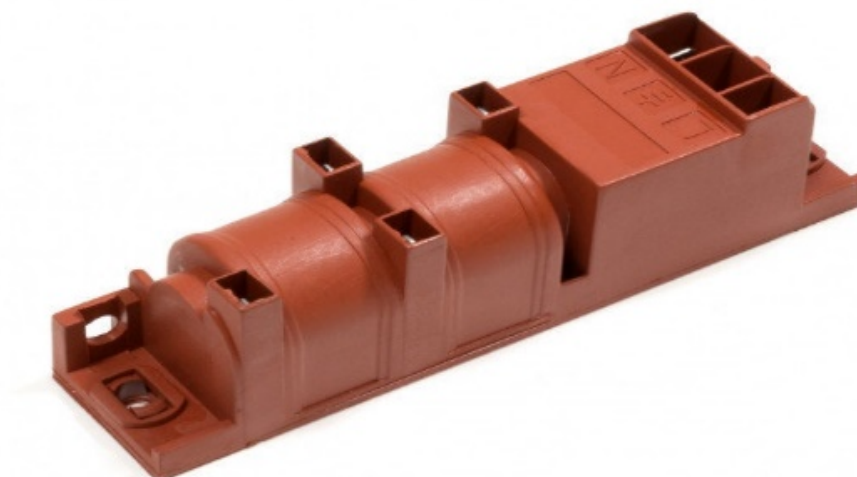


Рисунок 1 – Блок розжига газовой плиты

Чтобы воспламенить газоздушную смесь на конфорках газовых плит используют устройство, которое называется: “блок розжига газовой плиты”. Оно функционирует в многоискровом и одноискровом режиме. Данный блок розжига работает в многоискровом режиме (при нажатии и удержании искра выдаётся на все 4 конфорки с периодом 0,5 секунд). Наибольшее расстояние, от разрядника до горелки составляет 5 миллиметров. Блок розжига работает при напряжении питания 230 В и при частоте 50-60 Гц. Мощность, потребляемая от сети при этом не более 0,6 Ватт.

Электрическая система

Обычная газовая плита может функционировать без электричества, но если оно всё же присутствует, то набор функций может быть больше, чем электроподжиг:

- 1) освещение в духовке;
- 2) часы с таймером;
- 3) система контроля температурного режима.

Система контроля

Система контроля служит для закрытия подачи газа, когда из-за чего либо, в конфорке исчез огонь. Система газ-контроля работает довольно просто: электромагнитный клапан пребывает в открытом положении только при получении сигнала от термопары. Термопара играет роль источника электрического тока. Клапан закрывается, как только перестает гореть огонь, и электрического тока становится недостаточно, чтобы удерживать электромагнитный клапан в открытом состоянии.

Литература

1. Устройство газовой плиты: особенности работы и эксплуатации. [Электронный ресурс] / tehnikoved – Режим доступа: <https://tehnikoved.ru/kuhnya/kuhonnaya-plita/ustrojstvo-gazovoj-plity.html>. Дата доступа: 12.10.2019
2. Ремонтируем варочную панель – неисправности различных моделей. Ремонт газовых плит своими руками. [Электронный ресурс] /geometrium Режим доступа: <https://geometrium.info/elektropribory-i-osveshhenie/remontiruem-varochnuyu-panel-neispravnosti-razlichnyh-modelej-remont-gazovyh-plit-svoimi-rukami.html>. Дата доступа: 12.10.2019

УДК621.3

Альтернативные источники энергии и передача энергии через *Wi-Fi*

Медведев М.В., Журавлёв И.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

В данной научной работе затронуты такие темы, как некоторые оригинальные альтернативные источники энергии и способ передачи электроэнергии через *Wi-Fi*.

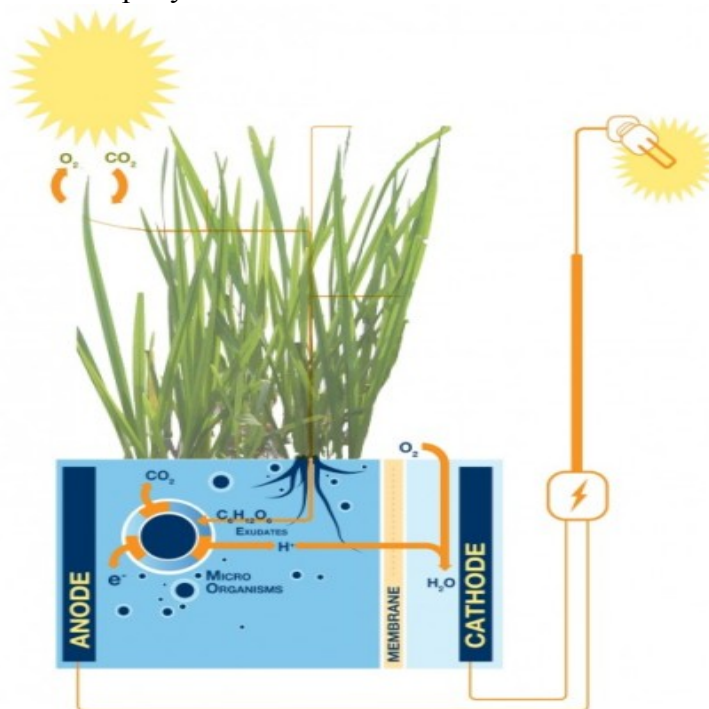
Наш век очень трудно представить сейчас без электроэнергии. Всё что нас окружает потребляет электрическую энергию. И эти расходы растут с каждым годом. Человек нашёл множество способов добычи электроэнергии. Но самыми эффективными из них признали, те, что активно используют природные ископаемые: уголь, газ, нефть. Из этого можно сделать выводы, что ресурсов Земли с таким активным ростом энергопотребления на следующие тысячу лет просто не хватит. Да, природные ресурсы восстанавливаются, но это довольно длительный период, по сравнению со скоростью потребления.

И в этой работе освещается один из наиболее экологических способов добычи электроэнергии, а также способы передачи данной электроэнергии через системы *Wi-Fi*. По нашему замыслу данная комбинация технологии заинтересует большую массу пользователей смартфонов. А это на секунду почти 60% жителей Земли. Так, что это довольно перспективный проект.

Получение электроэнергии из органики

Благодаря этой системе человек сможет получать электроэнергию из маленького горшочка с растением, при этом ни нанося вреда для жизнедеятельности организма. Вся суть заключается в конструкции горшка и процессе фотосинтеза растений.

Горшочек, может представлять собой квадрат размером 50 на 50 см, внутри которого и происходит весь процесс. Растения, посаженные в горшок, интенсивно растут благодаря активному фотосинтезу. В ходе данного биологического процесса растения получают некоторые виды сахарных соединений. Но количество данных соединений превышает количество, которое потребляет растения для своей дальнейшей жизнедеятельности. Поэтому лишние остатки растения через корневую систему направляет в почву, где сахарные соединения активно реагируют с атмосферным воздухом и в ходе протекания химической реакции выделяется большое количество свободных электронов. И тут в действие вступает горшочек, изображенный на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема работы технологии *Plant*

Технология работы горшка похожа, в каком-то роде, на работу аккумулятора. Данный “аккумулятор” расположен в квадратном горшочке. Конструкция имеет две части, где располагается катод и анод устройства. Между ними имеет специальная мембрана, через которую проходит поток анионов водорода к катоду. Левая часть имеет аэробную камеру (камера с воздухом), а правая – анаэробную камеру (камера без воздуха). К аноду движутся свободные электроны, по внешней цепи передаются на катод. В ходе данной химической реакции водород с кислородом соединяется, образуя воду и электрической ток.

По замыслу изобретателей, данная технология поможет людям использовать огромные площади болот и полей, для получения электроэнергии в тех местах планеты. Где нет прямого доступа к электростанциям.

Передача электроэнергии через *Wi-Fi*

Данная технология подразумевает использования обычного роутера и парочки сенсоров для передачи электроэнергии через сеть – беспроводная передача электроэнергии.

В Вашингтонском университете доценты вместе с выдающимися студентами разработали устройство, получившее название *poWI-FI* (*Power over Wi-fi*). Переводится как энергия по *Wi-Fi*. Проект находится в стадии активного тестирования, разработчики заявили, что уже успешно смогли зарядить аккумулятор фитнес браслета *Jawbone Up24* до 41% за 2,5 часа. Почитав технические характеристики данного браслета, мы узнали, что данная технология использует разъём *USB* для зарядки с входящим напряжением 5 вольт. Именно такое напряжение и такой разъём используют большинство смартфонов в наше время. Из этого мы можем сделать выводы, что данное устройство можно использовать для зарядки портативных гаджетов.

Система состоит из источника – роутера *Asus RT-AC68* с новым программным обеспечением, благодаря которому свободные каналы связи передают свою энергия на сенсоры, которые принимают и преобразуют энергию радиочастот роутера в чистый ток (рис. 2).

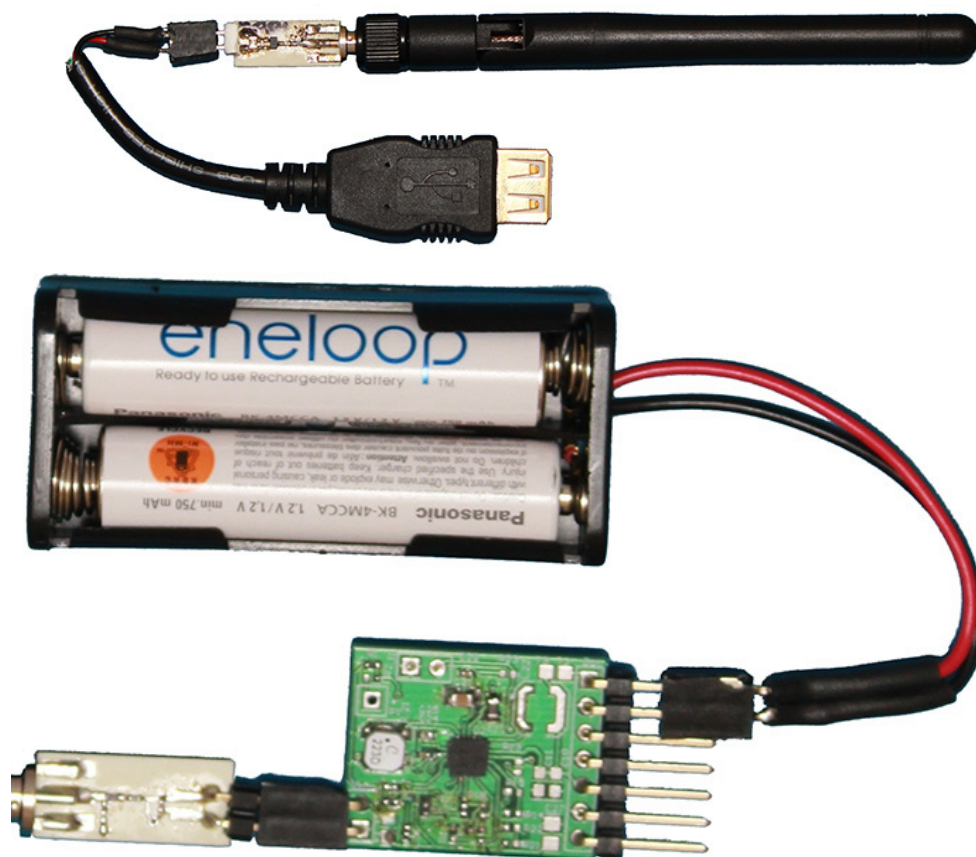


Рисунок 2 – Сенсоры системы *poWI-FI*

Максимальное расстояние работы сенсора составляет 8,4 метра от роутера.

Да не будем отрицать, что уже давно существуют схожие устройства по принципу действия. Однако все доступные устройства со схожим принципом работы подразумевают использование дополнительного блока в качестве источника радиосигнала или же другой аккумуляторной батареи, поддерживающей данный тип зарядки. Так же данные технологии имеют режимы работы: раздача *Wi-fi*, либо раздача энергии. Примеры таких устройств: *Energous*, *The Airnergy Charger*.

В отличие от всех конкурентов технология *poWI-FI* не требует нового оборудования для своей работы. Всего лишь требуется установить новое программное обеспечение на ваш старый роутер и подключить к вашему смартфону сенсор через *USB*. При том, данная технология поддерживает одновременно и зарядку устройства и доступ к интернету.

Объединив две технологии, мы получаем экологический чистый источник тока и способ беспроводной зарядки с возможностью активного пользования интернетом.

Если данная технология получит распространение, то какая-то часть проблем с электропотреблением будет решена, так как люди начнут активно использовать чистый источник энергии для зарядки своих гаджетов.

Литература

1. <http://elektrik.info/>
3. <https://habr.com/ru/>
6. <https://www.plant-e.com/en/>
7. <https://be.wikipedia.org/>

УДК621.3

Особенности устройства электроники и технологии изготовления современных электробритв

Вертинский А.Г., Бодак П.С.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Беспроводное удобство

Большинство современных электробритв имеют возможность работать в беспроводном режиме, т.е. питаться от аккумуляторов.

В основном используются Li-ion аккумуляторы, которые являются флагманом среди всех аккумуляторов в устройствах, со встроенным переносным источником питания. На данный момент Li-ion аккумуляторы являются наиболее производительными и используемыми на большинстве современных устройствах и приборах. Все современные планшеты, ноутбуки, портативные аккумуляторы, умные часы, фотоаппараты и даже электрические автомобили оснащаются именно этим типом аккумуляторов.

Основной составляющей Li-ion аккумуляторов является литий – редкий металл, который прекрасно накапливает энергию. Литий плох лишь тем, что его очень мало в природе и до него довольно сложно добраться. Для изготовления аккумуляторов требуется не просто литий, а его карбонат, для чего в него добавляют кристаллы соды. Для получения из карбоната лития источник тока нужно смешать с чем-либо отрицательно заряженным.

Карбонат лития смешивают с сольвентом, для получения тягучей жидкости, затем на сердечник наматывают алюминиевую пленку, на которую наносят литий с сольвентом. Чем больше пленка – тем мощнее батарейка и имеет больший заряд. Самые хорошие аккумуляторы, сделанные из самой тонкой пленки способны выдавать до 150 KWt в час на 1 килограмм массы (в 3 раза больше, чем у обычного машинного аккумулятора). Одна такая батарейка может обеспечить напряжение в 3,8 В. 80 таких аккумуляторов смогут снабдить энергией целый автомобиль. Если эта технология будет развиваться, то машины, оснащенные двигателем внутреннего сгорания – станут частью истории.

Led Экран

Степень заряда аккумулятора отражают светодиодные индикаторы.

Led (light-emitting diode) или светодиод это прибор, создающий излучение фотонов, при пропускании через него тока в прямом направлении. Светодиоды получили свое применение во множестве бытовых и не бытовых приборов, которые мы используем ежедневно. Это светодиодные лампы, светофоры, дневные ходовые огни в современных автомобилях, декоративные украшения и прожекторы. Также они используются в телевизорах и дисплеях для подсветки жидкокристаллических экранов, в растениеводстве как фитолампы, оптимизированные под фотосинтез и во многих других устройствах индикации и отображения информации.

Светодиод по сравнению с лампой накаливания это источник света совершенно иной природы. Если лампа накаливания излучает свет за счет горения нити накала при прохождении тока через неё и за счёт именно разогрева нити испускается свет, то светодиод прямо преобразует электрическую энергию тока в свет без процесса разогрева.

Электромотор

Электробритвы могут быть оснащены роторным электромотором. Электромотор преобразовывает электрическую энергию в энергию вращения. Внутри мотора нет механических коммутационных элементов. Электромотор состоит из статора и ротора. Чтобы создавать вращение, он использует только магниты. Отдельные пары полюсов, в виде катушек, расположены по всей внутренней поверхности статора. Когда мотор включён, ток с помощью электронного коммутатора переключается к каждой конкретной катушке в определенный момент времени, чтобы получить вращающееся трехфазное магнитное поле статора. Когда ток проходит через катушку она превращается в электромагнит. Эти магниты генерируют электрический ток в алюминиевых стержнях ротора, соединенных по краям

токопроводящими кольцами, создающий магнитное поле, которое притягивается полем статора. Это приводит ротор в движение. Двигатель приводит в движение несколько ножей.

Корпус

Хорошо когда водонепроницаемый корпус электробритвы позволяет с лёгкостью промыть ее под струёй воды, что обеспечивает гигиеничность использования. Стык основания и крышки выполнен в виде V-образного выступа и канавки. Часто проводят ультразвуковую сварку всего периметра стыка в импульсном режиме, при статическом давлении, переводя ультразвуковые колебания в механические с выдержкой времени остывания под тем же давлением, не менее времени длительности импульса ультразвуковых колебаний.

Литература

1. Как это сделано. Литий ионные аккумуляторы (How Do They Do It? Discovery channel). . [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://youtu.be/1js9Mw46ZSQ> . Дата доступа: 11.10.2019
2. Производство щелочных (алкалиновых) батареек. Батарейка. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://youtu.be/9JpDd85Vi8U>. Дата доступа: 11.10.2019
3. Как выращивают светодиоды. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=IrpeXh6VN20&feature=share>. Дата доступа: 11.10.2019
4. Как это сделано. Электродвигатель. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=63RQrNFYvHA&feature=share> . Дата доступа: 11.10.2019
8. Способ герметизации корпуса электронного прибора [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/223/2233568.html> Дата доступа: 11.10.2019.

УДК 629.3.083.4(072)

Автомобильный сканер

Крыж А.С., Гудамов Д.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Автосканер – инструмент, анализирующий и выявляющий неисправности узлов автомобиля. Сканер действительно очень хорошее приспособление, позволяющее с помощью специального программного обеспечения установить связь с электронным блоком управления (ЭБУ). Автосканеры подразделяются на аппаратные сканеры и сканер-адаптеры (рис. 1).



Рисунок 1 – Автомобильный сканер

Аппаратные сканеры – устройства, подключение которых осуществляется напрямую с ЭБУ автомобиля. Обычно данные приборы используют в дилерских центрах и официальных станциях технического обслуживания.

Сканер-адаптеры – устройства, которые требуют использование ноутбуков или смартфонов для выполнения работы. Обычно они пользуются спросом у автолюбителей.

Для считывания информации автосканер подключают к разъему OBD. Данный разъем обычно располагается под приборной панелью слева (рис. 2).

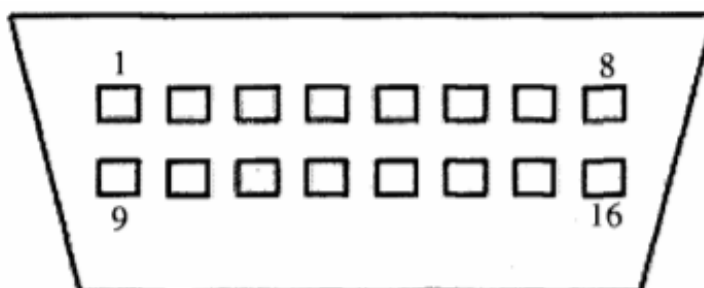


Рисунок 2 – Диагностический разъем OBD-II

Этот разъем имеет шестнадцать контактов и трапециевидную форму. Он может быть как открытым, так и закрытым крышечкой с надписью OBD-II.

Диагностические коды ошибок

Коды представляют собой комбинацию из пяти символов: одна буква и четыре цифры. Первый символ даёт возможность определить: в какой части автомобиля произошёл сбой или неисправность (U – сетевые коммуникации, B – кузов, P – силовая установка, C – шасси).

Второй символ показывает: относится этот код ошибки к стандартному коду или к коду производителя, который можно узнать в библиотеке ETI (Equipment and Tool Institute). Третья цифра сужает поле поиска до системы (3 – система зажигания, 7 – трансмиссия или ведущий мост). Четвёртый и пятый символ принадлежат к старому коду ошибок системы OBD-I, и они позволяют определить более точно местонахождение неисправности.

Литература

1. Автосканер для диагностики авто [Электронный ресурс] / Гаджеты для автомобиля. – Режим доступа: <https://voditeliauto.ru/poleznaya-informaciya/aksessuary-i-gadzhety-dlya-avto/skaner-dlya-diagnostiki.html>. Дата доступа: 10.10.2019.
2. Электронные системы автомобилей: учебное пособие / Коваленко О.Л., Сев. федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013 – 80 с.

УДК 621.391.823

История развития электронных часов

Барташевич Г.А., Ермакова А.М.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Электронные часы – это часы, в которых для отсчёта времени используются периодические колебания электронного генератора. Они преобразованы в дискретные сигналы, повторяющиеся через определенный период времени; сигналы выводятся на цифровой дисплей, который показывает время, а в некоторых моделях показывает дату и день недели.

Первые наручные электронные часы были со светодиодным дисплеем, но хватало их ненадолго так, как светодиоды потребляли много энергии. Затем использовали свойства жидких кристаллов ориентироваться во внешнем электрическом поле и пропускать свет с одним направлением поляризации. Будучи помещённым между двумя поляризаторами, свет от внешнего источника вовсе поглощался системой поляризатор-жидкий кристалл-поляризатор-отражатель при наличии электрического поля становился тёмным и образовывал элемент изображения. Такие часы были менее энергопотребляющие, поэтому они требовали редкой замены элементов питания.

На сегодняшнее время в электронных часах используют, специализированный микроконтроллер, и у часов появилось много сервисных функций (будильники, календари и т.д.). Но его работа по-прежнему основана на таком же принципе, как и предыдущие модели, то есть на использовании периодических колебаниях кристалла кварца.

Хотя, электронные часы не являются самыми точными в мире (их погрешность составляет 15-20 секунд в год), но они всего за полвека заняли неотъемлемую часть жизни многих людей по всему миру. Их популярность связана с удобством и простотой использования, о которых мы поговорим ниже.

Начало развития

Свою историю электронные часы начали совсем недавно – всего немного более полвека назад. До этого более 5 сотен лет в мире преобладали исключительно механические часы со стрелками, требующие, чтобы через некоторое время их заводили.

Первое упоминание об электронных часах в газетах появилось в 1952 году, когда французская фирма *Leap Besancon* и американская фирма *Elgin Watch Company* объявили о том, что они принялись за разработку электронного часового механизма. Но, из-за отсутствия развития технологий в области миниатюрных элементов питания, первый рабочий прототип был создан лишь через 5 лет и даже другой фирмой *Hamilton*. Электронным в них был лишь механизм. Несмотря на то, что *Hamilton Electric 500* (рис. 1) были стрелочными, их механизм не требовал заводки, а только замену батарейки через продолжительное время.



Рисунок 1 – Часы *Hamilton Electric 500*

Только в 1960 году некоторые французские часовые фирмы начали использовать вместо батареек миниатюрные аккумуляторы. Одна часть, необходимая для их подзарядки находилась в корпусе часов, другая – на специальной подставке, от которой часы заряжались. Правда, от такой идеи вскоре отказались, так как технология изготовления аккумуляторов ещё не была до конца проработана в то время, да и процесс её зарядки был не очень удобен.



Рисунок 2 – Часы *Seiko Pulsar*

Фирма «Гамильтон» не ограничилась выпуском лишь одной модели часов с электронным механизмом. Спустя 13 лет – в 1970 году она объединяется с небезызвестной в то время фирмой *Seiko*, и вместе они создают первую в мире модель электронных часов с цифровым дисплеем. Модель называлась *Seiko Pulsar* (рис. 2). В ней для отображения информации использовался дисплей на дискретных светодиодах. Из-за новизны и сложности данной разработки эти часы стоили заоблачные 2100 \$.

Однако, из-за стремительного развития технологий в этом направлении, вскоре появились и более дешёвые модели. В 1972-м были выпущены первые наручные часы, которые в качестве источника энергии использовали солнечные батареи – *Synchronar* (Рис. 3). Однако, у часов того времени был один существенный недостаток – это их большое потребление энергии. Из-за этого приходилось для просмотра времени нажимать на кнопку, остальное время часы работали в фоновом режиме с выключенным дисплеем. В 1973-м начали появляться первые часы, основанные на новой технологии – технологии эффекта поля (*FE*). Эти часы со временем вытеснят с рынка часы с *LED*-дисплеями. Одной из первых моделей таких часов была *Gruen Teletime* (рис. 4). Были и мутанты в то время – *Longines Gemini II* 1975 г. (рис. 5) – часы с двумя дисплеями. ЖК – для светлого времени суток, светодиодный дисплей – для темного времени суток.



Рисунок 3 – Часы *Synchronar*



Рисунок 4 – Часы *Gruen Teletime*



Рисунок 5 – Часы *Longines Gemini II*

В 1977 году компания *Seiko* снова радует своих поклонников новой разработкой. Это были часы со встроенным калькулятором *Pulsar Module 1* (рис. 6). Помимо стандартных кнопок на лицевой панели для настройки часов, они имели клавиатуру для ввода различных данных. Они были игровыми часами, содержащими три игры – "джек-пот", "кости" и "рулетка". Никакой специальной "графики" для игр предусмотрено не было, был обычный дисплей, а сами игры являлись не более чем случайным набором чисел, выведенных на экран. Другие компании переняли эту идею и выпустили свои линейки таких «игорных» часов.



Рисунок 6 – Часы Pulsar Module 1

К 80-ым годам новая технология окончательно победила старую технологию. Наступила эпоха расцвета наручных часов с ЖК-дисплеями самых разнообразных комплектаций: со встроенными калькуляторами, радиоприемниками, радиометрами, телевизорами и т.д.

В 1982 году компания *Seiko* выпускает очередную модель электронных часов – *Seiko TV Watch*. Эта модель часов имела в своём распоряжении встроенный телевизор. Правда, в часах располагался лишь сам дисплей для него. Устройство для приёма и преобразования сигнала приходилось носить при необходимости с собой в кармане. Правда, воплощение этой модели получилось не очень в технологическом плане: были шумы на изображении, плохое качество звука и т.д., но модель *TV Watch* произвела очень сильный фурор в то время.

В 1983 году увидела свет очередная новинка фирмы *Casio* – электронные часы с переводчиком. Модель часов *Casio TE-2500* (рис. 7) была способна переводить отдельные слова с японского, испанского, французского и немецкого языков на английский язык. В её электронной памяти хранилось около 1,5 тыс. слов.



Рисунок 7– Часы Casio TE-2500

Так же компания *Seiko* выпустила часы с док станцией *Seiko DATA-2000* (рис. 8) В эти часы при помощи портативной клавиатуры можно было вбивать и хранить до 2 Кб заметок.



Рисунок 8 – Часы *Seiko DATA-2000*

В 1984 году компания *Seiko* выпускает свои новые часы *RC-1000 Wrist Terminal*. Они по своему функционалу были гораздо ближе к современным партнерам их – смартфонам. Они являлись терминалом удалённого доступа к различным компьютерам того времени (рис. 9).



Рисунок 9 – Часы *Seiko RC-1000 Wrist Terminal*

В 1985 году компания *Epson* выпускает наручные электронные часы со встроенным миникомпьютером. В модели *RC-20* устанавливался 8-битный процессор, 2-Кб-ый модуль оперативной памяти и 8-Кб-ый память в качестве запоминающего устройства. Часы оснащались черно-белым дисплеем с разрешением 42 на 32 точки (рис. 10).



Рисунок 10 – Умные часы RC-20 Wrist Computer Epson

Часы CMD-40 от компании Casio позволяли управлять телевизором, видеоплеером и музыкальным центром (рис. 11).



Рисунок 11 – Часы CMD-40 от Casio

Одним из пионеров в области создания часов-телефонов была компания Samsung. Первую попытку создать умные часы компания предприняла в 1999 году, выпустив в продажу Samsung SPH-WP10 (рис. 12).



Рисунок 12 – Часы Samsung SPH-WP10

А в 2001 году на выставку *CES* в Лас-Вегасе *Samsung* привезла новую модель, совмещающая часы и телефон, выглядящую гораздо более цивилизованно и реалистично, чем предыдущая версия, но, ввиду различных причин, компания всё равно не смогла завоевать рынок (рис. 13).



Рисунок 13 – Часы *Samsung*

Билл Гейтс в 2003 представил свои часы со *Smart Personal Object Technology* — технологией управления персональными устройствами (рис. 14).



Рисунок 14 – Билл Гейтс на презентации часов со *SPOT*

Также нельзя не упомянуть про часы *Fossil Wrist PDA* 2003 года выпуска, работающие на своей операционной системе (ОС) *Palm OS*. Дисплей уже был 160x160 пикселей (рис. 15).



Рисунок 15 – Часы *Fossil Wrist PDA*

Несмотря на предыдущие неудачи, компания Samsung не собиралась сдаваться, и в 2009 в продажу поступили *Samsung S9110* — часы-мобильник, но уже с сенсорным дисплеем, который был новинкой в то время (рис. 16). Однако, несмотря на все свои новшества, проект снова оказался неудачным.



Рисунок 16 – Часы *Samsung S9110*

Также нельзя оставлять без внимания часы с калькуляторами. На рисунке 17 показаны часы из линейки *Casio Databank*, оснащенные клавиатурой. В них можно хранить адреса, телефоны, заметки до 63 символов каждая, при желании информацию можно защитить паролем. По словам разработчиков, аккумулятора хватает на два года.



Рисунок 17 – Часы *Casio Databank*

В 2011 году *Motorola* выпускает спортивные часы *MOTOACTV* на *Android* (рис. 19). Они оснащены процессором на 600 МГц, 256 Мб памяти, 16 Гб встроенного хранилища, BT 4, *WiFi*, *GPS*. Эти часы являются самостоятельным девайсом, который был создан в качестве дополнения вашему смартфону на *Android* (рис. 18).

Рисунок 18 – Часы *MOTOACTV* на *Android*

В июне 2012 компания *Sony* представила новое поколение своих умных часов — *SmartWatch 2* (рис. 19).

Рисунок 19 – Часы *SmartWatch 2*

В октябре 2013 *Samsung* снова сделали попытку захватить рынок часов, представив миру *Samsung Galaxy Gear* (рис. 20). По некоторым сообщениям, следующее поколение этих часов будет иметь гибкий дисплей.

Рисунок 20 – Часы *Samsung Galaxy Gear*

В 2013 в продажу вышли еще и *Cokoo Watch* – аналоговые часы (рис. 21). По количеству информации на них, они были совсем минималистичными.



Рисунок 21 – Часы *Cokoo Watch*

В сентябре 2013 *Qualcomm* анонсировала собственные смарт-часы *Toq* (рис. 22). Часы работают с *Android*, оснащены *Mirasol-дисплеем*, заряжаются без проводов (новшество в те времена). Работают около недели без подзарядки.



Рисунок 22 – Смарт-часы *Toq*

Начиная с 2014 года рынок электронный наручных часов захватила компания *Apple* со своими *Apple Watch* (рис. 23). В настоящий момент компания предлагает линейку из 5 моделей, обладающие множеством полезных функций, но мы приведём лишь несколько основных из них:

1. можно отвечать на звонки прямо с часов. При входящем звонке отображаются кнопки приёма и отбоя;
2. Переписка в *Facebook Messenger*.
3. Проверка входящих сообщений.
4. Быстрый доступ к информации приложений на *iPhone*.
5. Встроенный пульсометр.
6. Просмотр фотографий (хоть экран и маленький, но фотографии на нём смотрятся вполне эффектно).

7. Работа в воде. Плавать в *Apple Watch* можно, но без фанатизма. Модель водонепроницаема до 50 метров (5 ATM).



Рисунок 23 – *Apple Watch 5*

Так же в октябре 2019 компания *LG* в Нью-Йорке представила новую модель «умных» часов *Watch W7* (рис. 24). Разработчики захотели сделать акцент на длительной работе без дозарядки часов, поэтому, для экономии энергии, добавили механические стрелки, чтобы в любой момент можно было определить время по ним. По заявлению разработчиков, эти часы могут автономно работать до 100 часов. Работают под управлением своей собственной системы *Wear OS*. Таким образом, можно сказать, что электронные часы вернулись к своим истокам и самой первой модели, т.к. она тоже работала на электронном механизме, но содержала стрелки для показывания времени.



Рисунок 24 – Умные часы *Watch W7*

Как работают электронные часы?

Главная часть электронных часов – кварцевый генератор, который вырабатывает электрические импульсы с высокой точностью. Работу кварцевого генератора обеспечивает пьезоэлектрический эффект. Как же это работает? Под действием электричества кристалл кварца изменяет свою форму. Этот эффект действует и в обратную сторону. То есть, изменяя форму кварца, можно вырабатывать электричество.

Главная деталь генератора – пластинка из кварца подходящего размера. От размера зависит частота собственных механических колебаний пластинки. Эту пластину закрепляют между двумя электродами, на которые подается переменный ток. Пластинка сгибается от тока и, при разгибании, сама вырабатывает электрический импульс. Частота этих импульсов равна частоте разгибаний – собственных механических колебаний пластинки.

Для электронных часов обычно используются генераторы с частотой 32768 герц, то есть 32768 импульсов в секунду. Почему выбрали именно такое число? Время, отображаемое на часах более медленное, чем генератор вырабатывает электрические импульсы, и для того, чтобы на выходе мы получили 1 Гц, что будет равняться 1 секунде, мы используем делитель частоты. Это электронная схема, которая уменьшает частоту входящих сигналов. Тут нам и понадобится интересное и непонятное число 32768. Число 32768 это 2^{15} , то есть делителю частоты, чтобы получить 1 Гц, нужно частоту собственных колебаний пластинки разделить на 2 – 15 раз. На входе мы получаем 32768 Гц, а на выходе – 1 Гц.

Делителей может быть большое множество, все зависит от того, что показывают ваши часы – время, а может еще и дату?

Электронные часы со стрелками работают почти также, только в них один делитель, который ответственен за работу секундной стрелки. То есть он поворачивает секундную шестеренку, и дальше по цепочке с шестеренки на шестеренку передается на минутные и часовые стрелки.

Заключение

В заключение можно сказать, что развитие электронных часов произошло очень стремительно. Всего 60 лет назад люди и не слышали о таком понятии, как электронные часы, а на данный момент существуют десятки их разновидностей, любой комплектации, расцветки и даже объемом памяти. Хотя, электронные часы не считаются самыми точными, но всё же именно они становятся такой же неотъемлемой частью жизни современного общества, как и сотовый телефон.

Литература

1. Популярная электроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://scsiexplorer.com.ua>. – Дата доступа: 10.10.2019.
2. Гаджеты, технологии и многое другое [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://wylsa.com>. – Дата доступа: 10.10.2019.
3. Всё об умных часах [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://ismartwatch.ru>. – Дата доступа: 10.10.2019.
4. Theory and Practice [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://theoryandpractice.ru>. – Дата доступа: 10.10.2019.

УДК 621.318

Применение постоянных магнитов в технике

Долмат Д.Г., Ясевич В.О.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Электромагниты находят самое широкое применение в различных областях науки и техники.

Электромагнит – это устройство, которое при прохождении через него электрического тока, создает магнитное поле.

Обычно электромагнит состоит из обмотки и ферромагнитного сердечника, приобретающего свойства магнита при прохождении по обмотке электрического тока.

Обмотку электромагнитов изготавливают из изолированного алюминиевого или медного провода. Магнитопроводы изготавливают из магнитно-мягких материалов – например, электротехнической или качественной конструкционной стали, литой стали и чугуна, железоникелевых и железокобальтовых сплавов.

Электромагниты, в которых присутствует якорь (подвижная часть магнитопровода), предназначены для создания механического усилия.

Такие электромагниты применяются в приводных механизмах.

В электрических машинах электромагниты используют для создания магнитного потока.

Схема электромагнита представлена на рисунке 1.

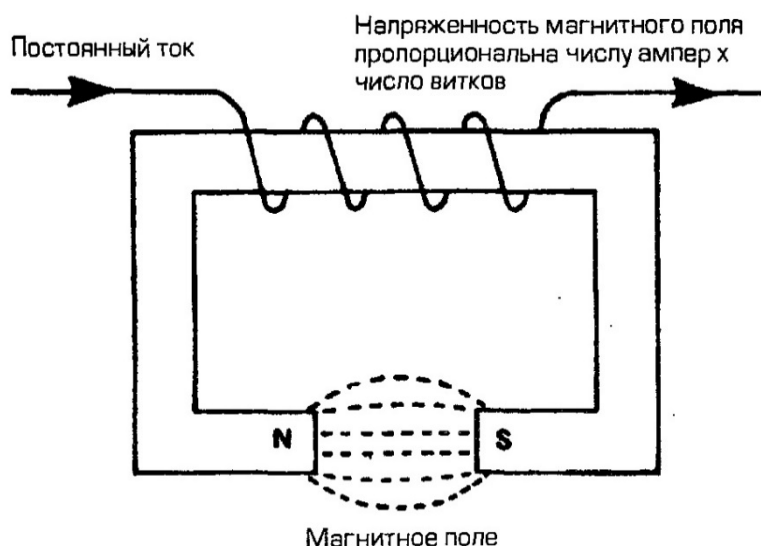


Рисунок 1 – Схема электромагнита

Создатели электромагнитов

Ханс Христиан Эрстед является основоположником электромагнетизма. При проведении опыта по электричеству он обнаружил, что электрический ток, проходящий по проволоке, оказывает воздействие на магнитную стрелку компаса, находящуюся под ней. Научная деятельность Эрстеда построена на убежденности связи между электричеством и магнетизмом. Он доказал, что магнитное поле отдельного проводника очень слабое. Наиболее сильным магнитным действием обладает проводник с током, свернутым в виде спирали, если в нее вставлен стальной сердечник. Катушка со стальным сердечником получила название электромагнита. Такой электромагнит представлен на рисунке 2.

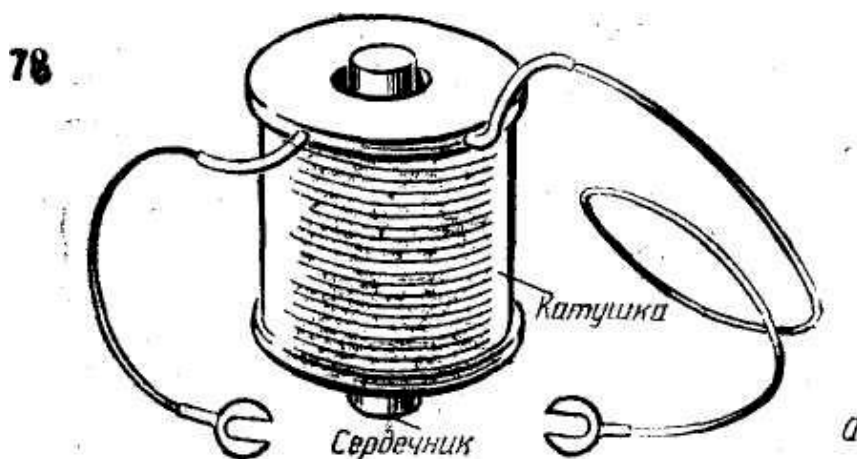


Рисунок 2 – Катушка со стальным сердечником

Уильям Стерджен – английский изобретатель в области электротехники, создал первые электромагниты и изобрёл первый английский работающий электродвигатель. Первый в мире электромагнит, продемонстрированный Стердженем в 1825 году, представлял собой согнутый в подкову лакированный железный стержень длиной 30 и диаметром 1,3 см, покрытый сверху одним слоем изолированной медной проволоки. Такой электромагнит получал электроэнергию от гальванической батареи и удерживал на весу 3600 грамм при собственном весе 200 грамм.

Первые электромагниты У. Стерджена показаны на рисунке 3.

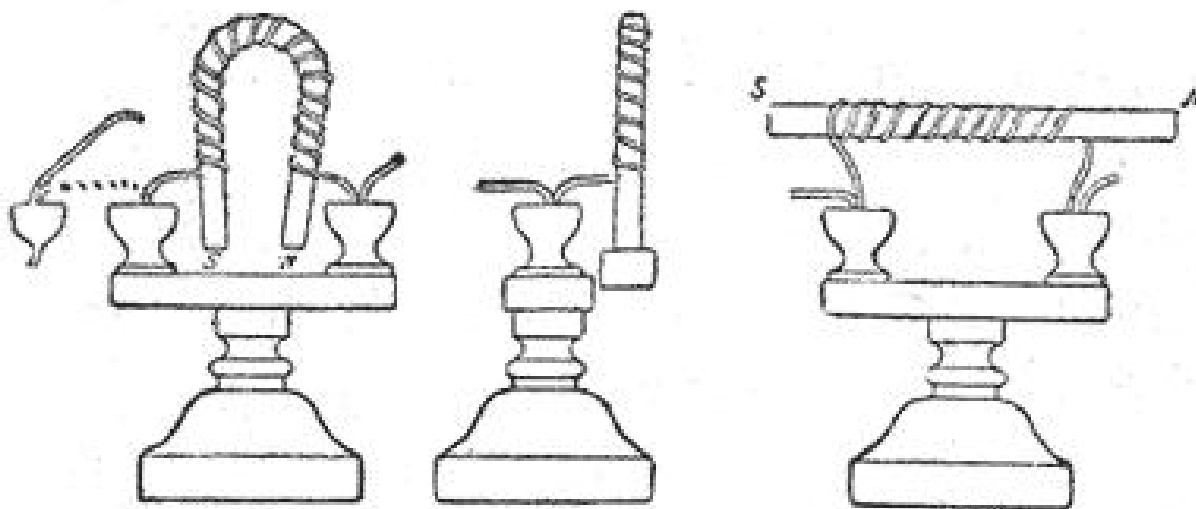


Рисунок 3 – Первые электромагниты У. Стерджена

Джозеф Генри – американский физик, создатель уникальных мощнейших электромагнитов. Он изобрел "многокатушечную" обмотку, позволившую заметно увеличить подъемную силу электромагнита. Предложив размещать на электромагните до десяти подобных обмоток, Генри изменял количество и схему подключения катушек. Таким образом, были созданы электромагниты с подъемной силой от 30 до 325 кг при собственном весе магнита 10 кг.

Электромагнит Дж. Генри показан на рисунке 4.

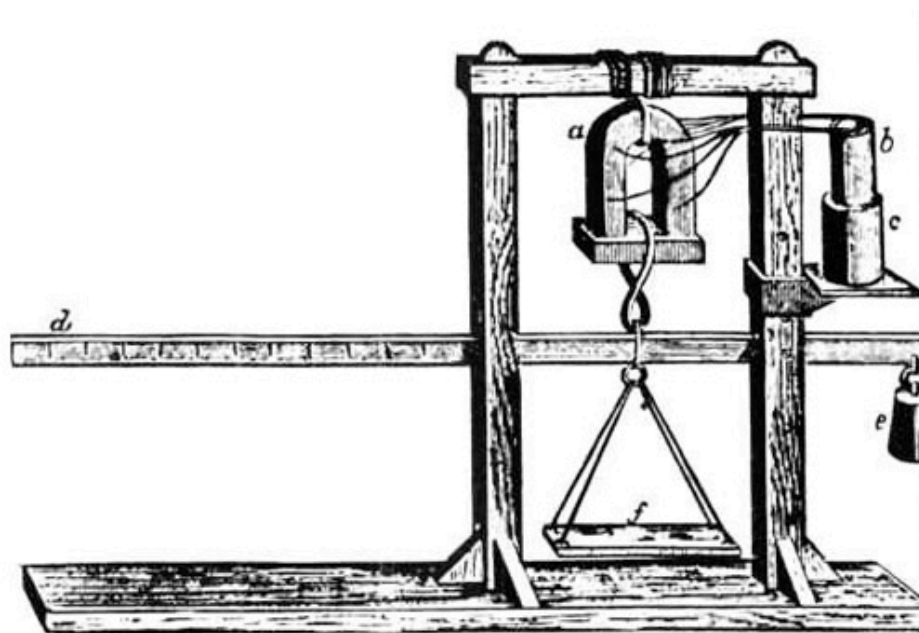


Рисунок 4 – Электромагнит Дж. Генри

Применение электромагнитов в технике

Часто электромагниты применяют там, где нужно притягивать и удерживать предметы. Рассмотрим несколько примеров.

Электромагнитный подъёмный кран, который является подъемным устройством, содержит очень мощный электромагнит и применяется на металлургических заводах для перемещения готовых изделий или металлического «лома», собранного для переработки.

Грузозахватные приспособления предназначены для облегчения и ускорения погрузочно-разгрузочных и транспортных операций. При разгрузке, транспортировке и погрузке листовой стали на складе металла, наиболее эффективным грузозахватным приспособлением являются электромагнитные шайбы.

Электромагнитные подъемные устройства, если сравнить с обычными такелажными приспособлениями (цепями, захватами, тросами) сокращают время на захват и освобождение груза, ликвидируя тяжелый ручной труд при закреплении груза, обеспечивают безопасные условия работы в стесненных местах на складах и в полувагонах.

Для сортировки ферромагнитных изделий можно использовать электромагнит, состоящий из цельнометаллического корпуса, выполненного из малоуглеродистой стали, в которой запрессованы сердечники из той же стали, и восьми бескаркасных электромагнитных катушек. Сила тока в каждой катушке 3-5 А, а напряжение 30-40 В. Обычно это напряжение равно 36 В, которое считается безопасным.

Особенностью такого электромагнита является то, что он притягивает только одну заготовку, находящуюся в непосредственном контакте с его полюсами, т.е. вторая заготовка не притягивается через первую. Такими магнитами можно поднять только один лист или уголок, а не все сразу, так как именно через этот лист или уголок происходит замыкание магнитного тока.

Такие электромагниты обеспечивают подъем уголка массой до 1 т при захвате его за перо или обушок (контакт по линии) с коэффициентом запаса $K=1,5$. Безопасность работ обеспечивается тем, что в зоне работы магнитного укладчика отсутствуют люди.

Пример электромагнитного подъемного крана для подъема металлолома изображен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Электромагнитный подъемный кран

Электромагнитные плиты часто применяют на металлообрабатывающих предприятиях в станках. Если заготовка будет надежно закреплена, то сверление, фрезерование и штамповка будут качественными.

На электромагнитном столе будущее изделие прочно удерживается притяжением мощных электромагнитов. Чтобы закрепить заготовку, достаточно включить ток в нужном положении на столе и выключить ток, чтобы освободить её.

Пример электромагнитной плиты изображен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Электромагнитная плита

Магнитная сепарация – это процесс, активно используемый в промышленности. Он основан на действии магнитного поля, которое отделяет присутствующие в материале

частицы с содержанием железа. Установки, применяемые в процессе, называются магнитными сепараторами.

Магнитные сепараторы применяют для отделения магнитных материалов от немагнитных. Это применяется при «обогащении руды» путём отделения кусков железной руды от породы, не содержащей руду. Примером является очищение семян сельскохозяйственных растений от семян сорняков. Происходит это следующим образом.

В семенах сорняков, которые, как правило, покрыты многочисленными ворсинками, «запутываются» специально добавляемые мелкие железные опилки. Поэтому в сильном магнитном поле семена сорняков отклоняются в сторону, при этом отделяясь от полезных семян.

Один из возможных магнитных сепараторов показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Магнитный сепаратор

Электромагниты в военном деле

В период второй мировой войны большую роль играли магнитные мины, которые обычно сбрасывали на парашюте с самолета в различных местах моря. После попадания в воду парашют автоматически отделялся от мины, и она погружалась на дно или плавала по воде. Большую роль играли специальные корабли, так называемые электромагнитные тральщики, которые очищали акватории от магнитных мин, заставляя их взрываться специально созданным магнитным полем вокруг корабля, плывущего на безопасном расстоянии.

Один из таких кораблей показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Электромагнитный тральщик

Электромагнитные реле применяются в системах автоматики. Когда по обмотке электромагнита проходит ток, якорь притягивается к сердечнику и замыкает или размыкает контакты. В итоге происходит включение или выключение тех приборов, которыми управляет реле. Это необходимо, например, когда нужно создать «гальванический разрыв», то есть не допустить тока из управляемой цепи в управляющую. Так же это необходимо, когда нужно сравнительно небольшим током, и имея при этом электромагнит намотанный тонким проводом, управлять током большой силы, проходящим по толстым, громоздким и дорогостоящим проводам. Для безопасной работы промышленных устройств большой мощности важна способность переключения электрических цепей при помощи слабого сигнала. При этом электромагнитные реле выполняют функцию усилителя сигнала.

Принцип работы электромагнитных реле основан на применении электромагнитных сил, которые возникают в металлическом сердечнике во время прохождения электрического тока по виткам его катушки.

Электромагнитное реле показано на рисунке 9.

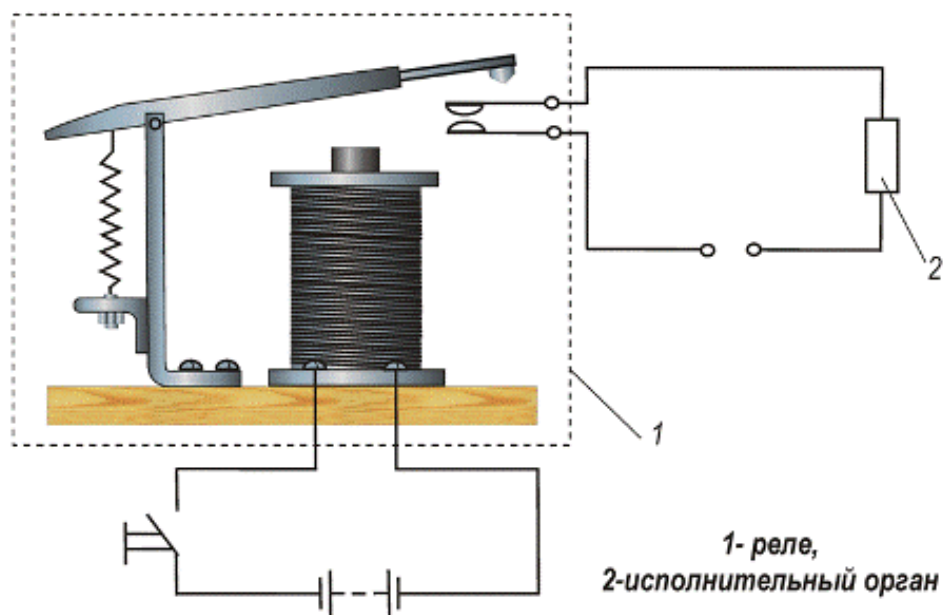


Рисунок 9 – Электромагнитное реле

Электромагнитные замки надёжно запирают стальные ворота на заводах и двери в подъездах домов. Особенностью является то, что для их открывания нужно набрать особый код. Цепь размыкается, притяжение исчезает, и замок можно легко открыть.

Электромагнитный замок состоит из корпуса с электромагнитом и ответной планки (якоря) из металла с большой магнитной проницаемостью. Его используют в качестве исполнительного устройства систем управления дверьми. Мощность электромагнита должна быть достаточной, чтобы исключить возможность силового открывания двери без видимых повреждений.

Достоинствами такого замка являются:

- отсутствие движущихся частей;
- простота конструкции;
- безопасность, так как в случае аварийного отключения электропитания замок выключится, при этом обеспечив беспрепятственный проезд или проход.

Пример такого замка показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Электромагнитный замок

Электромагнитные дороги для скоростных транспортных средств создают над своей поверхностью так называемую «магнитную подушку». Взаимодействующие магнитные поля магнитов дороги и днища поезда удерживают его на высоте нескольких сантиметров и одновременно толкают вперёд, включаясь в момент приближения поезда и выключаясь после его проезда.

Одна из возможных электромагнитных дорог показана на рисунке 11.



Рисунок 11 – Электромагнитная дорога

Электромагниты в ускорителях

Ускорители – специальные научные устройства, в которых изучаются свойства заряженных частиц.

Электромагниты в ускорителях своим магнитным полем поддерживают круговую траекторию движения заряженных частиц с заданной скоростью. Пучки таких частиц, которые летят с огромными скоростями, являются основным средством изучения природы и свойств элементарных частиц. Крупнейший в мире электромагнитный ускоритель, используется для экспериментов на большом коллайдере Европейского совета ядерных исследований, находящегося в Швейцарии.

Электромагниты применяются в медицине. Примером является **магнитно-резонансный томограф**, который предназначен для обследования внутренних органов человека без хирургического вмешательства. Так как человек состоит на 60–80% из воды, в молекулах которой есть атомы водорода, при воздействии мощного магнитного поля они начинают излучать электромагнитные волны, причем разные – в зависимости от того, в каких именно тканях находятся «намагниченные» атомы. Человека помещают в меняющееся магнитное поле, фиксируют излучение и трансформируют полученные сигналы в изображение, которое может наблюдать врач.

Пример магнитно-резонансного томографа показан на рисунке 13.



Рисунок 13 – Магнитно-резонансный томограф

Заключение

На основании результатов работы можно сделать следующие выводы:

1. Электромагниты являются неотъемлемой частью для сохранения работоспособности электрических машин, применяются в различных устройствах промышленной автоматики, аппаратуре регулирования и защиты, использующейся в разнообразных электротехнических установках.

2. В настоящее время без электромагнитов не могут функционировать некоторые агрегаты, так как их мощность и направленность действий позволяет сохранять свою работоспособность многим приборам, которые необходимы в промышленности и в быту.

Литература

1. Гордон, А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1960. - 447 с.
2. <http://electricalschool.info>
3. <http://class-fizika.ru>

УДК 621.3

Особенности устройства и работы элементов атомной станции

Кузнецов Г.Г., Шестаков А.Г., Левин Н.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

В современном мире очень остро стоит вопрос об энергетических ресурсах. Ресурсы нашей планеты не бесконечны, поэтому человечеству пришлось искать источники энергии, в которых за минимальное количество ресурсов, получалось максимально количество энергии. Таким образом, люди начали искать различные подходы к получению энергии. И такие подходы были найдены, люди научились использовать различные природные явления, для получения энергии, но, из-за своего географического положения, некоторые источники энергии не могут быть использованы на данной территории из-за того, что не позволяет географическое положение. Поэтому, человечество пришло к выводу, что атомная энергетика это один из лучших вариантов, который может существовать, вне зависимости от географического положения. В современном мире атомная энергетика занимается не только тем, чтобы давать свет для городов и энергию для предприятий, но она может позволить такие энергоёмкие эксперименты, которые до эксплуатации атомных электростанций не могли использоваться. Существует огромное количество различных типов атомных электростанций. К примеру, по типу используемого топлива, по типу реакторов, по типу градирен, которые используются на АЭС. Сейчас по всему миру строится огромное количество атомных электростанций, потому что у атомной энергетике есть несомненные плюсы: в некоторой степени экологичность, потому что на АЭС не происходят процессы горения и другие реакции, которые загрязняют окружающую среду, огромное количество энергии, которое они выделяют, сравнимо небольшая трата площадей земли. Из минусов можно выделить: отходы, вот это одна из основных проблем атомной энергетике, потому что атомные отходы, без надлежащей обработки будут очень много лет излучать радиацию, но и обработка этих отходов не приносит очень большой пользы. В любом случае на это тратится большое количество времени и денег, вторая проблема атомной энергетике - это цена АЭС, на постройку одной АЭС уходит огромное количество денег, 40% из которых уходит на систему безопасности. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что атомная энергетика будет являться источником энергии в будущем, только при том, что решаться основные проблемы, т.е. решится проблема с топливом, безопасностью и ценой атомных станций. Без этих всех минусов атомная энергетика является отличным источником энергии в будущем.

Рассмотрим начало развития атомной энергетике.

Первый ядерный реактор был построен в 1942 году в Чикаго.

Первая в мире АЭС была создана и пущена в работу советскими учеными в 1954 году в г. Обнинск.

Сегодня 440 ядерных блоков общей мощностью 364 ГВт в 31 стране обеспечивают более **16%** производства мировой электроэнергии. В 2003 г. ими произведено 2525 млрд. кВт*ч электроэнергии.

Любая атомная станция – это закрытая зона вдалеке от жилого массива.

Вся реакторная установка помещается в здание реактора, большую бетонную башню, которая скрывает реактор и в случае небольшой аварии должна удержать в себе все продукты ядерной реакции. Эту большую башню называют **контейнтмент**, герметичная оболочка или гермозона. Гермозона в новых реакторах имеет 2 толстые бетонные стенки – оболочки. Внешняя оболочка толщиной в 80 см обеспечивает защиту гермозоны от внешних воздействий. Внутренняя оболочка толщиной в 1 метр 20 см имеет в своем устройстве специальные стальные тросы, которые увеличивают прочность бетона почти в три раза и не дадут конструкции рассыпаться. С внутренней стороны она выложена тонким листом специальной стали, которая призвана служить дополнительной защитой контейнтмента и в

случае аварии не выпустить содержимое реактора за пределы гермозоны. Полная высота гермозоны – 50-60 метров.

Составляющие реактора

➤ Активная зона

Это зона, куда помещается ядерное топливо (тепловыделитель) и замедлитель. Атомы топлива (чаще всего топливом выступает уран) совершают цепную реакцию деления. Замедлитель призван контролировать процесс деления, и позволяет провести нужную по скорости и силе реакцию.

➤ Отражатель нейтронов

Отражатель окружает активную зону. Состоит он из того же материала, что и замедлитель. По сути это короб, главное назначение которого – не дать нейтронам выйти из активной зоны и попасть в окружающую среду.

➤ Теплоноситель

Теплоноситель должен вобрать в себя тепло, которое выделилось при делении атомов топлива, и передать его другим веществам. Теплоноситель во многом определяет то, как устроена АЭС. Самый популярный теплоноситель на сегодня – вода.

➤ Топливо для АЭС

Это химические элементы, обладающие радиоактивными свойствами. На всех атомных станциях таким элементом выступает уран. Устройство станций подразумевает, что АЭС работают на сложном составном топливе, а не на чистом химическом элементе. И чтобы из природного урана добыть урановое топливо, которое загружается в ядерный реактор, нужно провести множество манипуляций.

➤ Паровая турбина

Это тепловой двигатель, в котором энергия пара преобразуется в механическую работу. В лопаточном аппарате паровой турбины потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую энергию, которая в свою очередь преобразуется в механическую энергию, вызывая вращение вала турбины. Пар от парокотельного агрегата поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и воздействуя на них, приводит ротор во вращение.

➤ Генератор

Он преобразует какой-либо вид энергии (химическую, тепловую, световую, механическую) в электрическую.

В упрощенном виде в генераторе можно выделить следующие части:

а) индуктор – магнит или электромагнит, создающий магнитное поле;

б) якорь – обмотка, в которой при изменении магнитного потока возникает индуцированная ЭДС.

Вращающаяся часть называется ротором генератора, а неподвижная его часть - статором.

От характеристик генератора в первую очередь зависит эффективное преобразование любой механической энергии в электрическую энергию.

➤ Конденсатор

Это – теплообменный аппарат, теплообменник, в котором осуществляется процесс конденсации, процесс фазового перехода теплоносителя из парообразного состояния в жидкое, за счёт отвода тепла более холодным теплоносителем.

Принцип работы АЭС базируется на цепной реакции деления атомов радиоактивного вещества – урана. Эта реакция происходит в активной зоне ядерного реактора. Если не вдаваться в тонкости ядерной физики, принцип работы АЭС выглядит так: После пуска ядерного реактора из ТВЭЛов частично извлекаются поглощающие стержни, которые не дают урану вступить в реакцию. Как только стержни частично извлечены, нейтроны урана начинают взаимодействовать друг с другом. Когда нейтроны сталкиваются, происходит мини-взрыв на атомном уровне, выделяется энергия и рождаются новые нейтроны, начинает происходить цепная реакция. Этот процесс выделяет тепло. Тепло отдается теплоносителю. В зависимости от типа теплоносителя оно превращается в пар или газ, которые вращают

турбину. Турбина приводит в движение электрогенератор. Именно он по факту и вырабатывает электрический ток. Контролируют процесс компьютерные датчики. Они фиксируют повышение температуры или изменение давления в реакторе и могут автоматически остановить реакции.

Экспериментальные реакторы – это реакторы, предназначенные для уточнения физических параметров и инженерных систем самих реакторов. Исследовательские реакторы – это ядерные реакторы, используемые в сферах научных исследований, разработок, образования и подготовки кадров.

Промышленные (оружейные, изотопные, военные) реакторы – используются для наработки изотопов, применяющихся в различных областях (оружие, медицина, промышленность).

Энергетический реактор – это самый обычный ядерный реактор, главным назначением которого является выработка энергии.

Бывают гетерогенные реакторы, в них топливо размещается в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель;

В гомогенных реакторах, топливо и замедлитель представляют однородную смесь (гомогенную систему).

Блоки ядерного топлива в гетерогенном реакторе называются тепловыделяющими сборками (ТВС), которые размещаются в активной зоне в узлах правильной решётки, образуя ячейки.

Обогащенный уран

Уран состоит из двух изотопов, то есть в его составе есть ядра с разной массой. Назвали их по количеству протонов и нейтронов изотоп-235 и изотоп-238. Исследователи 20 века начали добывать из руды 235-й уран, т.к. его легче было разлагать и преобразовывать. Выяснилось, что такого урана в природе всего 0,7% (остальные проценты достались 238-му изотопу). Что делать в этом случае? Уран решили обогащать. Обогащение урана это процесс, когда в нем остается много нужных 235-х изотопов и мало ненужных 238-х. Задача обогатителей урана – из 0.7% сделать почти 100% урана-235. Обогащать уран можно с помощью двух технологий – газодиффузионной или газоцентрифужной. Для их использования уран, добытый из руды, переводят в газообразное состояние. В виде газа его и обогащают.

Урановый порошок

Обогащенный урановый газ переводят в твердое состояние – в диоксид урана. Такой чистый твердый 235-й уран выглядит как большие белые кристаллы, которые позже дробят в урановый порошок.

Урановые таблетки

Урановые таблетки – это твердые металлические шайбы, длиной в пару сантиметров. Чтобы из уранового порошка слепить такие таблетки, его перемешивают с веществом – пластификатором, он улучшает качество прессования таблеток. Прессованные шайбы запекают при температуре 1200 градусов по Цельсию более суток, чтобы придать таблеткам особую прочность и устойчивость к высоким температурам. То, как работает АЭС, напрямую зависит от того, насколько хорошо спрессовали и запекли урановое топливо. Запекают таблетки в молибденовых ящиках, т.к. только этот металл способен не расплавиться при «адских» температурах свыше полутора тысяч градусов. После этого урановое топливо для АЭС считается готовым.

Различают виды АЭС:

- По степени обогащения.
- По роду замедлителя.
- По конструкции.

Плюсы атомной энергетики

Преимущества атомных электростанций (АЭС) перед тепловыми (ТЭЦ) и гидроэлектростанциями (ГЭС) очевидны: нет больших отходов, газовых выбросов, нет

необходимости вести огромные объемы строительства, возводить плотины и хоронить плодородные земли на дне водохранилищ.

Минусы атомной энергетики:

- Содействуют распространению ядерного оружия.
- Требуется обезвреживание радиоактивных отходов.
- Возможны аварии.

Литература

1. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. 4-е изд. - М.: Атомиздат, 1979.
2. Шуколюков А.Ю. «Уран. Природный ядерный реактор». «Химия и Жизнь» № 6, 1980 г., с. 20-24

УДК 621.3

Способы кодирования цветного изображения

Рыжевич Е.Н., Сокол А.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

В основу кодирования цветного изображения входит двоичный код. Он представляет собой определенное количество цифр, состоящих из «0» и «1». Процессы кодирования и декодирования должны присутствовать в каждом компьютере, без них невозможны процессы получения цветного изображения. Дискретная и аналоговая форма являются основой для создания графической и звуковой информации. Аналоговое и дискретное представление информации изображено на рисунке 1.

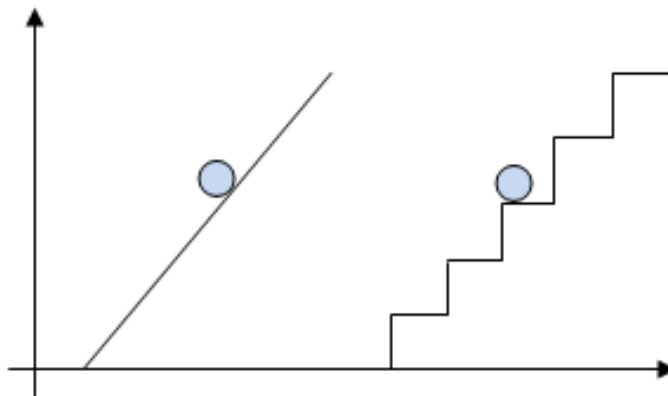


Рисунок 1 – Аналоговое и дискретное представление информации

В зависимости от вида кодируемой информации (графическое изображение, звук, текст, любое число) имеется несколько способов кодирования. Рассмотрим полотно с живописью – это яркий пример аналогового изображения. Его цвет изменяется непрерывно. В то время примером дискретного способа является изображение, созданное струйным принтером, которое состоит из мелких точек различных цветов. Компьютер позволяет хранить графические изображения двумя разными способами – растровым и векторным. Свои способы кодирования существуют для каждого типа изображения.

Любое векторное изображение представляет собой набор графических примитивов. От того, какого размера будет точка и какое их количество, будет зависеть качество изображения: чем точка меньше и больше их количество, тем лучше будет изображение и наоборот: чем больше точка и меньше их количество, тем хуже качество изображения.

Цвет так же имеет влияние на качество картинка. *RGB* и *CMYK* – цветовые модели, используемые для представления цвета в виде двоичного кода. В фотоаппаратах, телевизорах, телефонах, мониторах, сканеров, проекторов используется модели *RGB*. Всего три цвета составляют основу данной модели: красный, зеленый и синий.

В полиграфии широко получила распространение цветовая модель *CMYK*. Она используется при создании картинок, предназначенных для печати на бумаге.

При сохранении информации цвета каждой точке цветного изображения в модели *RGB* требуется 3 байта, то есть 24 бита. Каждая составляющая этой модели может принимать разные значения от 0 до 255, и каждая точка может быть разного цвета одного из 16 777 216 возможных цветов. Этот набор цветов называется *True Color* (правдивые цвета). Человеческий глаз не может точно различить это разнообразие.

Для того чтобы на экране монитора формировалось изображение, необходимо чтобы информация о каждой точке (код цвета точки) должна храниться в видеопамати компьютера. Рассчитаем необходимый объем видеопамати для одного из графических режимов. В современных компьютерах разрешение экрана обычно составляет 1280x1024 точек. Т.е. всего $1280 * 1024 = 1310720$ точек. При глубине цвета 32 бита на точку необходимый объем видеопамати: $32 * 1310720 = 41943040$ бит = 5242880 байт = 5120 Кб = 5 Мб.

Растровые картины очень чувствительны к увеличению и уменьшению размеров. Когда растровое изображение уменьшается, соседние пиксели совмещаются, преобразуясь в один, и различить мелкие детали нельзя, а при увеличении изображения вместе с ним увеличивается размер каждого пикселя и проявляется ступенчатый эффект, его можно заметить невооружённым глазом.

Литература

1. <https://studfile.net/preview/3648635/page:2/>
2. https://spravochnick.ru/informatika/kodirovanie_informacii/kodirovanie_izobrazheni_y_zvukovoy_i_videoinformacii/
3. https://vuzlit.ru/962960/kodirovanie_izobrazheniy
4. <https://triaxes.com/docs/3dmk9/3DMasterKit-ru/212.html>

УДК 621.391.823

Особенности в работе преобразователей частоты для питания электродвигателей

Высоцкая В.А., Сазоненко Е.Р., Семериков К.В.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

В машиностроении в данный момент часто используют преобразователи частоты – это устройства, которые позволяют плавно регулировать скорость вращения электродвигателей переменного тока.

Анализ современных преобразователей частоты

Преобразователь частоты – это преобразовательное электротехническое устройство, позволяющее изменять или поддерживать скорость вращения асинхронного электродвигателя, благодаря изменению момента на валу путем регулирования напряжения питания и частоты, подаваемой на обмотку статора.

В состав преобразователя частоты входят: выпрямитель, с помощью которого переменное напряжение промышленной частотой превращается в постоянное, и инвертор, который преобразует постоянное напряжение в переменное с необходимой частотой и амплитудой.

Изменение частоты осуществляется блоком с микропроцессорным управлением, который содержит преобразователь. Он регулирует выходную частоту и напряжение питания обмоток статора таким образом, чтобы обеспечить заданные рабочие характеристики работы электродвигателя.

Преобразователь частоты имеет следующие блоки:

- силовой;
- управляющий.

Силовая структура имеет блок тиристоров или мощных *IGBT*-транзисторов, а управляющая структура – это микропроцессорный блок, который ими управляет.

Преобразователи частоты (ПЧ) отличаются между собой, поэтому их можно разделить на:

- ПЧ с промежуточным звеном постоянного напряжения;
- ПЧ с непосредственной связью с сетью (непосредственный преобразователь частоты).

Непосредственные преобразователи частоты

Непосредственные преобразователи частоты – это такие преобразователи частоты, которые характеризуются прямой связью с сетью и изменяют переменный ток с более высокой частотой, в ток с меньшей частотой.

Управление производится при помощи тиристоров (вентилей).

Коммутация таких преобразователей частоты делится на три вида:

- естественную;
- принудительную;
- комбинированную.

Естественная коммутация происходит при работе тиристоров в цепях переменного тока в момент падения тока через анод тиристора меньше тока удержания. Это происходит при значении напряжения на аноде тиристора относительно катода около нуля. Среди плюсов естественной коммутации можно выделить высокий КПД и возможность обмена энергией между двигателем и электрической сетью. ПЧ имеющие тиристоры, работающие с естественной коммутацией, являются более экономичными, надежными, дешевыми, часто обладающими более высокой перегрузочной способностью и малым уровнем создаваемых помех при своей работе.

Такие преобразователи являются наиболее распространёнными и применяются в тихоходных синхронных и асинхронных электроприводах средней и большой мощности. К таким приборам можно отнести насосы, вентиляторы, кондиционеры, увлажнители воздуха и т.п. устройства.

Непосредственные преобразователи частот также подразделяются:

- по числу фаз;
- по способу управления.

Наиболее эффективным для непосредственных преобразователей является раздельное управление.

Данный тип преобразователей не получил широкого применения из-за многих недостатков при его использовании. Среди них можно выделить сложность силовых цепей, из-за содержания большого количества элементов, и цепей управления, что является оправданным лишь при выполнении преобразователя на сравнительно большие мощности. Данный преобразователь обычно является очень габаритным и тяжёлым, кроме того имеющим низкий коэффициент мощности.

Преобразователь частоты со звеном постоянного напряжения

Для электроприводов, имеющих большой диапазон регулирования скорости необходимо использовать преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного напряжения. В таких преобразователях частоты напряжение сети сначала выпрямляется, а затем инвертируется в переменное напряжение с нужной частотой. Общая схема данного преобразователя частоты состоит из последовательно соединённых блоков: выпрямителя и инвертора.

Рассматриваемые преобразователи частоты бывают с управляемым и неуправляемым выпрямителем.

На данный момент наиболее распространёнными являются неуправляемые выпрямители.

Схемное решение такого управления – диоды. Они дешёвы, имеют простую конструкцию и высокий КПД. Все эти факторы делают преобразователь с ними очень удобным для использования. Но такие преобразователи сложны в регулировании выходного напряжения.

Другим видом схемного управления являются управляемые выпрямители – это выпрямители, у которого при неизменном входном напряжении можно регулировать выходное напряжение. К ним относятся тиристоры низкой частоты, но они имеют ряд недостатков: большие пульсации выходного напряжения, ток через них часто проходит только в одном направлении.

Главное достоинство преобразователя частоты со звеном постоянного напряжения – это возможность получения широкого диапазона выходных частот. Такие преобразователи можно питать от аварийных и резервных источников постоянного тока без использования сети при необходимости.

К недостаткам можно отнести необходимость двойного преобразования электроэнергии, что ведёт к некоторому ухудшению КПД и увеличению массогабаритных показателей.

Несмотря на это, на сегодняшний день, данные инверторы напряжения являются лидерами по использованию для питания электродвигателей переменного тока при необходимости плавной регулировки их скорости вращения.

Методы управления электроприводом

Для получения максимального КПД, максимального крутящего момента на валу электромашины, для повышения производительности механизма необходимо правильно подобрать способ управления электродвигателем. Эффективно работающим электродвигателям необходим минимум электроэнергии, тем самым они обеспечивают максимальную экономичность при своей работе.

На сегодняшний день существует два вида управления для асинхронного электрического двигателя переменного тока: векторное и скалярное.

Самым распространённым является электродвигатель со скалярным управлением. Он используется в конструкциях приводов вентилятора, компрессора, насоса и другого оборудования, для которого очень важно удерживать постоянную скорость вращения вала двигателя.

Скалярный метод управления заключается в поддержании постоянного отношения напряжение/частота во всем рабочем диапазоне скоростей, при этом контролируется только величина и частота питающего напряжения. Это единственный способ регулирования скорости электродвигателя, который позволяет регулировать несколько электроприводов от одного преобразователя частоты.

Векторное управление заключается в контроле не только величины и частоты напряжения питания, но и его фазы. Оно может быть с разомкнутым и замкнутым контуром. Преимуществами данного метода можно назвать плавную работу электродвигателя, точность регулирования, возникновение быстрой реакции на изменение нагрузки, высокий КПД, при значительном снижении потерь энергии при работе.

Одним из недостатков в его работе является такой как большая вычислительная сложность, в связи с большим количеством математических вычислений, которые должен обрабатывать микропроцессор в блоке управления. Он должен реагировать на изменение напряжения питания в сети и изменение нагрузки на валу электродвигателя, обеспечивать плавный пуск и выключение питания электродвигателя при перегрузке и в аварийных ситуациях.

Выводы

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что применение электромеханического преобразователя энергии является экономически выгодным и эффективным.

Сделав анализ основных преимуществ и недостатков существующих преобразователей частоты, можно сделать вывод, что более целесообразно использовать преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного напряжения. При правильной эксплуатации преобразователя частоты можно добиться минимума потребляемой им энергии и получения максимальной надежности работы.

Литература

1. <https://drives.ru/stati/chastotnye-preobrazovateli/>
2. <https://scienceforum.ru/2011/article/2011002091>

УДК 621.373

Особенности устройств, для определения скорости автомобиля

Михед З.В., Хандрико А.Н.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Существуют различные устройства для определения скорости движения автомобиля, например, радарные, с фото-видео-фиксацией, лазерные. Скорость можно измерить, находясь в определенном месте или передвигаясь на автомобиле. При этом, автомобиль с устройством для определения скорости, может двигаться как в попутном, так и встречном направлении. Для измерения скорости используется эффект Доплера. Расстояние, до которого определяется скорость автомобиля, иногда может составлять примерно 1 км. Радарные комплексы можно узнать по наличию радарного датчика и расположенного рядом с ним глазка непосредственно самой камеры. При необходимости можно сфотографировать номер автомобиля, используя камеру с инфракрасными прожекторами, позволяющими сделать хорошую фотографию в ночное время. Измерить скорость и сделать фотографии, при желании, можно сделать как на двух полосах в разных направлениях движения транспортного средства, так и на четырех полосах в одном направлении.

Радарные камеры имеют большую погрешность. Точность фиксации составляет менее 70%.

Эффект Доплера заключается в том, что изменяется частота волн при разных скоростях движения объекта и наблюдателя при движении источника этих волн относительно наблюдателя. При приближении объекта частота увеличивается, при удалении – уменьшается. Соответственно длина волны ведет себя в противоположном направлении.

Это можно услышать в случае звуковых волн и легко определить удаляется или приближается объект. Эффект Доплера действует и на световых волнах. Свет смещается в красную сторону в случае удаления объекта, а в случае приближения объекта наблюдаемый свет смещается в фиолетовую область.

Радар способен уловить отраженный от движущегося объекта сигнал, после того как он был послан в его сторону. Измерительный комплекс радара способен вычислить скорость автомобиля по разности измеряемых частот.

Машина с радаром может даже двигаться в попутном или встречном направлении. При этом скорость самого автомобиля учитывается по отраженному сигналу от дорожного покрытия.

Кроме определения скорости автомобиля некоторые радарные комплексы, способны зафиксировать различные нарушения, например, проезд на красный сигнал светофора, выезд на встречную полосу, пересечение сплошной линии, посередине дороги. Предел измерения скорости движущегося объекта радарными комплексами обычно составляет 150-250 км/ч.

По другому работает камера фото фиксации. Она следит за передвижением государственного номера, установленного на автомобиле. Камера фото фиксации обрабатывает перемещение фотографий и по времени перемещения относительно некоторой разметки и знаков, позволяет найти приближающийся или удаляющийся автомобиль, нарушающий определенные правила проезда.

Определенные камеры могут зафиксировать автомобиль, выехавший на красный свет светофора, при горящем красном свете более двух секунд.

Разновидности камер и радаров

В настоящее время существуют разнообразные устройства фото-видео-фиксации, которые могут определить различные нарушения правил.

Стационарные

Для них специально определяют нужные места. К стационарному оборудованию относятся следующие модели: «Стрелка», «Кордон», «Автоураган», «Арена-С», «Рапира» и др.

В качестве примера рассмотрим возможности Радара Стрелка, внешний вид которого изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Радар Стрелка

Эта установка начинает следить за автомобилями уже за 350 метров, двигающимися на 4-х полосах движения и определять скорости движения с большой точностью.

Он может быть в стационарном («Стрелка-СТ») и мобильном («Стрелка-М») варианте.

Преимущества:

- обработка информации идет одновременно по четырем полосам движения, если это нужно, и составляется отчет о всех, находящихся в поле зрения прибора, движущихся объектах;

- отчет автоматически передается на компьютер для дальнейшей обработки;

- определяются автомобили с превышением скорости движения;

- при необходимости, за 50 м до объекта выдается команда на распознавание номера транспортного средства;

- автоматическое формирование стоп-кадра номера автомобиля-нарушителя.

- максимальная скорость обработки радарных данных составляет в настоящее время 80 мс, что дает возможность синхронизировать отсчеты радара с потоком видеосигналов от панорамной видеокамеры, производящей отсчеты 12 кадров в секунду.

Передвижные

Их устанавливают рядом с дорогой при помощи штатива-треножника. Они мобильны и легко перемещаются в разные места. К ним относятся оборудование «Арена-С» и «Крис-П».

Рассмотрим радар Арена, внешний вид которого изображен на рисунке 2.

Всего 10 минут требуется, чтобы подготовить его к работе. Чтобы не мешать движению Арена устанавливается на треноге, на расстоянии 3-5 м от края дороги, где движутся автомобили. Для питания устройства используется аккумулятор, размещенный в защищенном от влияния внешней среды, боксе. Автомобили, нарушающие правила автоматически фотографируются. Данные о нарушениях хранятся в памяти устройства или сразу передаются по радиоканалу на мобильный пост ДПС, расположенный на расстоянии до 1,5 километров по ходу движения автотранспорта. Бывают мобильные и стационарные установки Арена.



Рисунок 2 – Радар Арена

Технические особенности и преимущества:

- мобильность: устройство можно перевозить в багажнике автомобиля;
- информативность: фотография содержит изображение автомобиля, дату и время снимка, скорость движения. Также может отображаться: место контроля и разрешенная скорость движения.
- имеет возможность использовать его в темное время суток: в комплект может быть включено устройство подсветки (ИК прожектор).

Мобильные

Это небольшие по размерам корпуса устройства. Их можно использовать вручную или закреплять с помощью кронштейна на лобовое стекло автомобиля. К данным приборам относятся комплексы видео-фиксации «Искра-1», «Амата», «Визир», «Бинар», «Беркут» и т.д.

Рассмотрим возможности радара ИСКРА-1, внешний вид которого изображен на рисунке 3.

Радар Искра-1 пользуется большой популярностью. Их стали выпускать с ноября 1997 года. С того времени были выпущены различные модификации Искра-1: Искра-1, Искра-1D и усовершенствованная Искра 1D (lux), они мало отличаются друг от друга, по внешнему виду.

Также бывают такие приборы, как Искра-Видео 2МД (измеритель Искра ДА40) и Искра-Видео 2 МР (измеритель Радис).

Основные функции и возможности:

- может различать объекты, двигающиеся в разные стороны;

- находит самый быстро движущийся объект;
- можно изменять дальность сканирования дороги;
- работает в ручном или автоматическом режиме;



Рисунок 3 – Радар Искра 1

- производит контроль скорости движущегося автомобиля;
- можно изменять порог скорости контроля;
 - показывает момент СВЧ-излучения, степень разрядки батареи, различные режимы работы;
 - хранит в памяти два нарушения;

Отличительные особенности и преимущества:

1. Аккумуляторы могут обеспечить работу в автономном режиме не менее 16 часов непрерывной работы. При необходимости можно подзарядиться от бортовой сети автомобиля, не прерывая работу.
2. Уменьшает потребление энергии в режиме простоя, переходя в "спящий режим".
3. Обладает высоким быстродействием. Измерения собственной скорости и скорости контролируемого транспортного средства производится менее чем за секунду, и измеряемая информация выводится на табло и вводится в компьютер.
4. Работает на частоте 24.15 ГГц (К-диапазон). Узконаправленная антенна позволяет работать при неблагоприятных погодных условиях (дождь, снег и т.д.).
5. Имеет удобное для просмотра табло. Второстепенная информация выводится по дополнительному запросу, что уменьшает вероятность ошибок.

Рассмотрим Радар Беркут, внешний вид которого изображен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Радар Беркут

Измеритель скорости "Беркут" имеет небольшой вес и размеры.

Прибор универсален по использованию. К нему, для удобства работы, могут быть легко прикреплены кронштейн, удобная ручка или видео-фиксатор. В комплекте с ручкой прибор удобен для работы "с руки". В ручке встроено зарядное устройство и аккумулятор, что позволяет работать в течение 10 часов в режиме измерения без подзарядки.

Отличительные особенности и преимущества:

- прибор удобен в пользовании, имеет небольшие размеры, легко закрепляется на панель;
- позволяет измерять скорости автомобилей, двигающихся в разных направлениях;
- может работать в патрульном режиме;
- имеет разнообразные возможности по выбору измерения;
- имеет энергонезависимая память;
- он оснащен инфракрасной подсветкой, что позволяет работать с ним в темное время суток.

Заключение

На основании результатов работы можно сделать следующие выводы:

- Камеры фиксации разнообразны по конструкции. Они позволяют определить не только, какое транспортное средство превысило скорость движения, но и зафиксировать неправильную парковку, проезд на запрещённый сигнал светофора, нарушение правил обгона и перестроения.

- Камеры видео-фиксации достигли такого уровня, что их практически невозможно обмануть. Никакие способы не могут на 100% гарантировать ошибку в фото-фиксации.

Литература

1. <https://naked-science.ru/article/nakedscience/kak-eto-rabotaet-kamery>
2. <https://www.avtovzglyad.ru/obshestvo/dorogi/2015-05-19-kak-rabotajut-dorozhnye-kamery/>
3. <https://auto.onliner.by/2012/10/19/speed-21>
4. <https://www.antiradar-shome.ru/radary-i-kamery-gibdd>

УДК 621.397

Особенности работы приставок к телевизору

Гусько В.А.

Научный руководитель – ст. препод. МИХАЛЫЦЕВИЧ Г.А.

Цифровое телевидение внедрено во многих странах нашей планеты. Оно позволяет существенно улучшить качество изображения на экране телевизора, увеличить число принимаемых каналов и расширить функциональные возможности по удобству пользования принимаемой информацией.

Приставка для телевизора – это специальное устройство, которое может принимать сигналы в цифровом виде, преобразовывать их в обычные телевизионные сигналы и передавать их на телевизоры, не имеющие возможности приема цифрового вещания.

Современные ресиверы телевизионного вещания (ТВ) имеют, кроме этого, различный набор полезных функций.

Они могут иметь несколько входов, что позволяет подключать приставку к передаваемому ТВ (рис. 1).

Соединить выход приставки с входом телевизора позволяет *HDMI*-кабель, через *HDMI*-разъемы. Также для многих приставкам прилагается инфракрасный пульт управления, имеется возможность подключения мышки, клавиатуры и жесткого диска.



Рисунок 1 – Приставка к телевизору

Многие приставки позволяют пользователю войти в интернет.

Цифровой тюнер, содержащейся в приставке, увеличивает количество каналов (которые принимаются) и улучшает качественные характеристики картинки. Применение приставки позволяет иметь и другие дополнительные функции.

Выбор функциональных тюнеров очень многообразен и обширен, поэтому надо понимать, для чего вообще предназначена подобная аппаратура и как ее правильно выбирать и использовать.

Преимущества применения цифрового оборудования:

1. Аналоговые сигналы очень чувствительны к работе устройств содержащих электродвигатели с коллектором и щётками, (некоторые электробритвы, электродрели), и фазоимпульсные тиристорные регуляторы, не так как цифровые.

2. Количество принимаемых каналов может быть значительно больше.

3. В настроенном телевизоре изображение более качественное и четкое.

4. Погода не мешает приему ТВ.

Дополнительные возможности и функции ТВ приставки:

- просматривать фильмы, фотографии, записанные на *USB* накопитель;

- производить запись передач, передаваемых по цифровому ТВ, на *USB* – устройство;
- осуществить остановку передаваемого изображения.

Даже если ТВ имеет стандарт *DVB-T2*, возможности устройства многим пользователям понравятся. Цифровой тюнер ТВ позволяет принимать телевизионные сигналы и просматривать прошедшие передачи с высоким качеством изображения.

Большого внимания заслуживает режим Андроид смарт. Эти устройства отличаются своими разнообразными возможностями, например – просмотр различных интернет ресурсов, файлов, появляется возможность найти нужную игру и т.п.

Принцип работы тюнеров

Он бывает двух типов:

1. Программное обеспечение хранится на жестком носителе. Как и любая программа на компьютере для начала её работы требуется некоторое время.

2. Программное обеспечение и нужные файлы могут храниться в облаке, и для того, чтобы с ними работать, необходимо наладить связь с интернетом.

Пользователи советуют приобрести приставку с *Smart-tv*, так как она значительно расширяет возможности телевизора, т.к. она имеет доступ к огромным ресурсам интернета. Устройство также поддерживает разнообразные форматы файлов.

Андроид смарт тв *box* представляет собой многофункциональный медиа плеер, а также является игровой приставкой. Для него не проблема найти нужный сайт или просмотреть нужную передачу по бесплатным разным кабельным каналам.

Функциональные возможности

Выбирая *Android* приставку, стоит ознакомиться с дополнительными функциями. Функция приставки *TimeShift*, позволит просмотреть прошедшие передачи. Изображение можно остановить в любое время, когда вы должны отвлечься на другие дела, а затем продолжить просмотр.

Функция *Personal Video Recorder* для ТВ позволяет записывать видео, когда вы находитесь вне дома или спите, чтобы посмотреть запись в дальнейшем в свободное время.

Приставки *Alfacore Smarttv* активно применяются, как проигрыватели с мультимедийными возможностями. В зависимости от модели в этих устройствах поддерживаются такие форматы, как *MP3, Bmp, DivX, Jpeg* и *Avi*.

Тюнер ТВ принимает не только сигналы ТВ, но и радиостанции. К полезным дополнительным функциям относится телетекст и **ТВ-гид**.

Телетекст это источник новостей, где отображаются самые новые сведения о погоде, курсах валют и последних новостях.

ТВ-гид представляет собой сервис, с помощью которого можно в свободном режиме знакомиться с программами передач на неделю.

Управление выполняется с помощью пульта. При выборе тюнера ТВ, необходимо обратить большое внимание на аппаратные кнопки, которые должны находиться на корпусе.

С их помощью можно управлять и без пульта.

Во многих приставках имеется возможность настраивать управление приставкой и другими устройствами с одного пульта.

Стандарты вещания

В форматах вещания необходимо хорошо разбираться, чтобы понимать, как подключать оборудование. Например, можно ли применять конкретную приставку для приема сигнала со спутниковой тарелки.

Выделяют следующие стандарты:

1. *DVB-T2* – цифровой и эфирный формат. Эти сигналы может транслировать обычная стандартная антенна.

2. *DVB-C* представляет собой кабельной вещание, которое передаётся с помощью оптоволоконных проводов.

3. *DVB-H* – сигналы, которые подаются на мобильные устройства.

4. *DVB-S2* – стандарт спутниковой трансляции.

Чаще всего, может получиться так, что тюнер ТВ осуществляет качественную передачу только *DVB* и *DVB-C*, поэтому не стоит стремиться его подсоединять к спутниковой антенне.

Способы выбора приставки

При подборе качественных устройств (приставок) необходимо обращать внимание на следующие моменты:

1. Наличие нескольких определенных разъемов для передачи информации на конкретный телевизионный приемник.
2. Наличие порта для специальных карт, которые позволяют принимать различные каналы с кодировкой.
3. Поддержка цифровых стандартов.
4. Удобное управление.
5. Опции для записи видео трансляций.

Способы подключения

Чтобы настроить приставку, нужно знать, как её подключить и как настроить антенну эфирного телевидения.

Сначала ресивер ТВ подключается через *HDMI*-разъемы. В наборе с приставкой не всегда есть подходящие кабели. Их наличие надо уточнять при покупке устройства.

Кабель от антенны подсоединяется через предназначенный для неё разъем. Необходимо направить антенну таким образом, чтобы принимался максимальный уровень телевизионного цифрового сигнала по цифровому индикатору. Затем запускается специальное сканирование, которое работает в автоматическом режиме и находит все передаваемые в данной местности каналы.

Приставки могут быть оснащены разъемами *RCA*, один разъем для сигнала видео, а два для аудио в стерео формате. Провода от разъемов объединены в один кабель. Корпуса разъемов отличаются, друг от друга, по цвету.

Тюнеры ТВ могут иметь входы *USB*, в которые подсоединяется внешнее оборудование. Это позволяет применять их в качестве мультимедийного плеера и для записи различных передач.

Так что, если есть старый аналоговый телевизор, не стоит спешить менять его на новый. Возможно, функциональная приставка сможет добавить необходимые функции телевизору и тем самым расширит его возможности.

Возможные неисправности

Чаще всего приставки работают без каких-либо нареканий. Даже если соединение выполнял человек, который не имеет опыта и особых навыков, в этом деле, проблем с работой возникнуть не должно. Если же не получается установить нужное подключение, то это может быть несколько причин:

- Неисправность самой приставки. Если она перестала работать, то его рекомендуется отнести в сервисный центр на ремонт, однако, в некоторых случаях лучшим решением попробовать найти неисправность самостоятельно.
- Повреждения любого кабеля. Можно поменять провода и снова подключиться. Если поиск получится успешным, значит, неисправность устранена.
- Проблемы с работой оборудования оператора. В этом случае на экране появится значок, который сообщит об ошибке *IP*-адреса. Для устранения проблемы необходимо ввести другой *IP*-адрес вручную или обратиться в техническую поддержку провайдера.

Литература

1. Как работает цифровая приставка к телевизору [Электронный ресурс] Режим доступа <https://pochinka-tv.ru /kak-rabotaet-cifrovaya-pristavka-k-televizoru.html> Дата доступа: 22.09.2019

УДК 621.31(075.8)

Что можно сделать с энергией, которую мы будем получать после запуска АЭС в Островеце?

Козинцов Н.Д., Худенко Д.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Как известно наша страна в год вырабатывает около 36-37 млрд. кВт*ч в год. Значительная доля этой энергии вырабатывается из российского газа, а именно 95%. Большая часть этой электроэнергии производится на Березовской и Лукомльской ГРЭС, оставшаяся часть на ТЭЦ, которые обеспечивают не только энергией, но еще и теплом.

Запуск 2 реакторов АЭС помогут добавить к уже вырабатываемой электроэнергии еще около 18 млрд. кВт*ч в год. В связи с этим у нас может возникнуть очевидный вопрос: «Что делать с энергией, которая остается в избытке?»

Мы видим несколько вариантов решения данного вопроса:

- экспортировать избыток электроэнергии;
- значительно увеличить потребление электроэнергии;
- снижение мощностей станций, которые являются лидерами в производстве электроэнергии;
- установка электродомов;
- построение аккумулирующих гидроэлектростанций.

Рассмотрим каждый из вариантов подробнее:

• Экспорт странам-соседям. Казалось бы, что наиболее очевидным покупателем электроэнергии выступает Литва, так как с этой страной у нас уже был подобный опыт взаимодействия. Также между нашими странами есть достаточное количество высоковольтных линий, благодаря которым проблема передачи энергии является заведомо решенной. Но возникает ряд новых трудностей: в Литве убеждены в том, что строительство велось без соблюдения техники безопасности и экологических стандартов. В связи с этим сейм принял решение о том, что БелАЭС несет угрозу национальной безопасности, экологии и здоровью граждан. Еще более усложнило все отсутствие выделенного канала для передачи электроэнергии в Литву, которая производилась не на АЭС, по этой причине правительство Литвы вынуждено было прекратить любые передачи энергии на территорию своей страны. Но 14 августа президент Литвы сообщил, что Латвия намерена закупать электроэнергию у Беларуси.

• Увеличение потребления электроэнергии. На наш взгляд, это создается с целью, уйти от газовой экспансии России. Мы могли бы перенять опыт европейских стран, в промышленности которых используется довольно-таки большое количество электроэнергии. Если сравнивать нашу страну с другими странами по использованию электроэнергии, то мы оказываемся на последних позициях, кроме металлургии. Поэтому переход на предприятиях с газовых котлов на электрические мог бы оказаться путем решения данного вопроса. Также имел бы пользу полный переход в новых постройках на электрические аналоги. В том числе разработка аналогов, которые мог ли бы заменить уже действующие газопроводы и теплотрассы, которая бы существенно повлияла на решение данной проблемы.

• На наш взгляд, одним из самых целесообразных путей разрешения данного вопроса - отключение уже действующих источников мощностей. По этому пути, вероятнее всего, последует Лукомльская ГРЭС, так как она является наиболее крупным производителем электроэнергии в РБ. ГРЭС будет выступать в роли аварийного варианта на случай выхода из строя реактора АЭС. Почему мы вынуждены снижать мощности ГРЭС? Все связано с тем, что принцип действия и работы АЭС не допускает возможности работать станции не в полную мощность.

• Тема электродомов весьма ёмкая. Суть их действия такова: в ночное время суток они будут использовать часть электроэнергии для нагрева определённого количества воды, а, следовательно, днем отапливать близлежащие дома. По сути этот путь решения схож со 2-м,

а именно тем, что занимается плавным переходом от приборов, установок и т.п., работающих на газе, бензине, керосине и т.д. на электрические аналоги. Но есть существенный недостаток: для реализации подобного проекта необходимо большое капиталовложение, что в короткие сроки сделать почти невозможно.

• Полностью проблема, связанная с постройкой ГАЭС, нерешаемая. Так как нужно учитывать географическую и экономическую составляющую данного пути. Во-первых, отсутствие достаточного количества рек, которые можно было бы использовать для строительства ГАЭСа. Во-вторых, если мы все-таки сможем найти благоприятное место для ГАЭСа, то следует учесть еще целесообразность строительства. Будет ли это выгодно, или все-таки нет.

В конце хотелось бы добавить. Мы считаем, что постройка подобного сооружения, стоимость которого оценивается в огромные суммы, а также внушающие траты на трудовые и природные ресурсы, несравнимы с пользой, которую может принести данная станция нашей республике. Так же помимо пользы, она способна принести огромный вред мирового масштаба. По этой причине стоит уделять особое внимание подобным проектам и в первую же очередь перед его реализацией необходимо просчитать все возможные штатные и нештатные ситуации, которые могут происходить во время строительства, и после обеспечить безопасную работу станции после введения ее в эксплуатацию.

Литература

1. Александров, А. Латвия собирается покупать энергию с БелАЭС, но Литва против / А. Александров // [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: <https://www.kp.by/daily/27016.4/4078831/>. – Дата доступа: 10.10.2019
2. Шрайбман, А. Что произойдет с энергосистемой после запуска АЭС / А. Шрайбман // [Электронный ресурс]. – 2017 – Режим доступа: <https://news.tut.by/economics/558443.html>. – Дата доступа: 10.10.2019

УДК 621.313.13 –313.32

Шаговые электродвигатели

Акуленец А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

За последний век человечество сделало прорыв во многих областях науки: медицине, физике, механике, робототехнике, энергетике и т.д. Из-за этого к современной технике предъявляются высокие требования в точности и эффективности. И, прежде всего, эти требования предъявляются к сердцу любого механизма – двигателю. Шаговый двигатель – бесщёточный электродвигатель, преобразующий электрические импульсы в механическую энергию. В отличие от других типов двигателей, шаговый двигатель совершает вращение шагами, которые являются частями полного оборота. В зависимости от количества обмоток шаговые двигатели могут совершать разное количество шагов для полного оборота.

Рассмотрим основные принципы работы этого типа двигателей. Шаговый электродвигатель включает в себя ротор и статор. Статор представлен n -ым количеством обмоток (катушек), на которые подаются электрические импульсы. Ротор, в большинстве случаев, представлен постоянным магнитом [3]. На рисунке 1 представлен шаговый электродвигатель в общем виде.

Обмотки могут подключаться разными способами, что в основном и определяет тип подключения двигателя. На рисунке 1 подключены 4 обмотки, на которые ток подается поочередно. При таком подключении вал двигателя поворачивается на 90° при прохождении тока через обмотку на статоре. В основном используются двигатели с шагом 15° , $7,5^\circ$, $1,8^\circ$ и $0,9^\circ$. Наиболее широко используются двигатели с шагом $1,8^\circ$. В отличие от других двигателей, шаговый двигатель позволяет определить положение ротора до долей градуса. Из-за разных возможностей подачи тока появляются и разные режимы управления двигателем.

Выделяют несколько режимов управления шаговым двигателем:

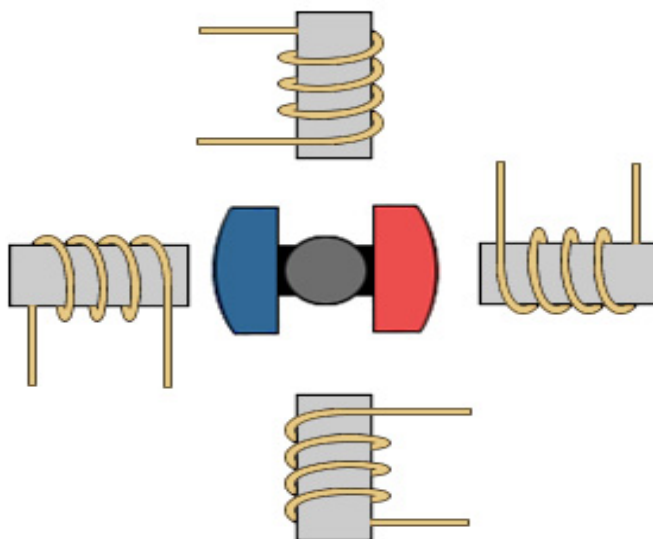


Рисунок 1 – Шаговый электродвигатель [3]

- Волновой. Этот способ заключается в подаче тока только на одну обмотку, в результате мы получаем менее половины максимального крутящего момента двигателя. Обычно этот режим используют чтобы снизить энергопотребление. Не используется при больших нагрузках на двигатель

- Полношаговый. Это наиболее часто используемый способ, который заключается в том, что электрический ток на обмотки подается попарно, т.е. на противоположные катушки. В зависимости от варианта подключения обмоток (параллельное либо последовательное), на двигатель потребуется подать либо двойной ток, либо напряжение по сравнению с

током/напряжением для подключения одной обмотки. Однако при таком режиме шаговый двигатель будет выдавать 100% номинального вращающего момента.

- Полушаговый. Полушаговый режим управления отличается тем, что без изменений в конструкции двигателя можно уменьшить шаг ротора в 2 раза. Это возможно благодаря одновременному запитыванию всех обмоток. После запитывания всех обмоток на некоторые пары обмоток импульсы прекращаются, благодаря чему ротор движется. Также этот режим возможен при использовании одной/двух обмоток. Две смежные катушки запитываются, и с каждым импульсом на предыдущую катушку подача тока прекращается, а на следующую ток поступает.

- Микрошаговый. Его сущность состоит в подаче на обмотки статора не импульсов, а сигнала, похожего по форме на синусоиду. Благодаря этому ротор движется более плавно, что по плавности вращения приближает его к обычным двигателям постоянного тока. Однако режим микрошага больше является способом питания двигателя, а не управления обмотками, что позволяет использовать его в ранее описанных режимах.

Шаговые двигатели, как и другие, имеют свою классификацию. В зависимости от используемых ротора и статора двигатели делятся на:

- Двигатели с постоянными магнитами;
- Двигатели с переменным магнитным сопротивлением;
- Гибридные двигатели.

Принцип действия шагового двигателя и режимы управления обмотками, при котором ротор представлен постоянным магнитом, статор содержит обмотки, на которые подается ток. При подаче импульсов на катушку/катушки ротор занимает положение, при котором разноименные полюса статора и ротора находятся друг против друга. Из-за намагниченности ротора у двигателя будет большой магнитный поток и большой момент, в отличие от двигателей с переменным магнитным сопротивлением.

Двигатели с переменным магнитным сопротивлением.

Статор в этих двигателях состоит из материала с высокой магнитной проницаемостью и имеет более 4 обмоток. Ротор выполнен из магнитомягкого металла в виде зубчатого колеса. Ротор движется благодаря запитыванию противоположных по размещению обмоток. Из-за того, что в составе ротора отсутствует постоянный магнит, крутящий момент двигателя будет очень мал по сравнению с другими типами двигателей, однако эта же причина является следствием отсутствия стопорящего момента, который заключается в притягивании ротора к арматуре статора при отсутствии тока в обмотках.

Гибридные двигатели - эти двигатели получили своё название из-за того, что сочетают в себе качества как двигателей с постоянными магнитами, так и с двигателями с переменным магнитным сопротивлением. Они имеют очень маленькую величину шага ($0,9^{\circ}$ - 5°) и обладают отличными удерживающим и динамическим крутящими моментами. Рассмотрим этот тип двигателей на примере двигателя с 200 шагами. Он будет иметь 100 полюсов (50 положительных и 50 отрицательных). Поскольку такой магнит произвести невозможно, был найден другой выход из ситуации. Используются 2 50-тизубчатых диска и один цилиндрический магнит. Эти два диска привариваются к разным полюсам магнита. Диска сопоставлены таким образом, что вершины зубьев на одном совпадают с впадинами на другом, из-за чего получается один зубчатый диск со 100 зубьями [3]. На рисунке 2 показан гибридный двигатель с 75 шагами на оборот. Если на первую пару обмоток принять верхнюю и нижнюю катушки, то вторая пара повернута относительно первой на 65° , а третья – на 65° относительно второй. Именно разница в углах смещения обмоток и является причиной вращения двигателя.

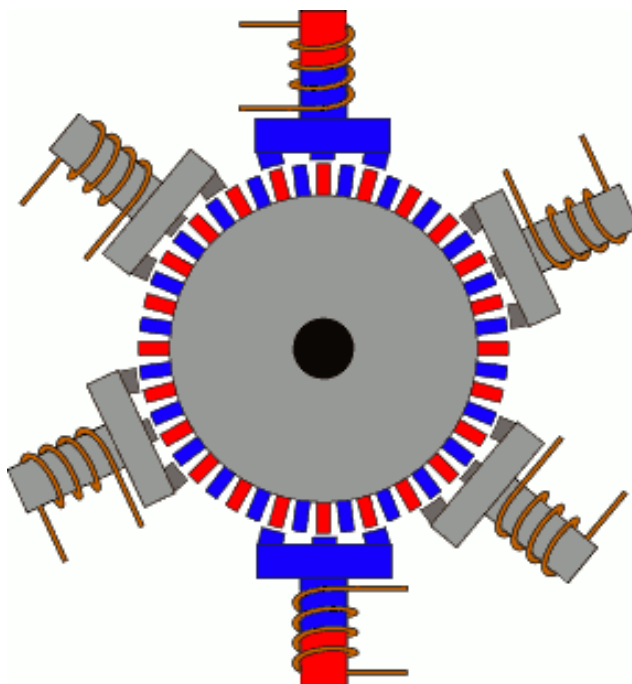


Рисунок 2 –Гибридный двигатель [3]

Поскольку шаговые двигатели относятся к многофазным двигателям, и среди них более распространены двухфазные двигатели, то выделяется несколько типов двигателей в зависимости от подключения обмоток: биполярный двигатель и униполярный двигатель [2].

Преимущества шаговых двигателей:

- Возможность быстрого старта, остановки либо реверсирования, высокая надежность, связанная с отсутствием щеток. Срок службы шагового двигателя фактически определяется сроком службы подшипников. Возможность обеспечения очень низких скоростей для нагрузок, присоединенных к валу двигателя без промежуточного редуктора, угол поворота ротора определяется числом импульсов, подаваемых на электродвигатель, двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки, прецизионное позиционирование и повторяемость, однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи, скорость пропорциональна частоте входных импульсов, таким образом может быть перекрыт довольно большой диапазон скоростей.

Недостатки шаговых двигателей:

- Возможно явление резонанса, возможные потери контроля положения ввиду работы без обратной связи, потребление энергии не уменьшается без нагрузки, затруднена работа на высоких скоростях, малая высокая удельная мощность, сложная схема управления [2].

Шаговые двигатели применяются в различных областях деятельности человека. Так, в машиностроении используются двухфазные гибридные двигатели с шагом $1,8^\circ$ или $0,9^\circ$. Из-за точности позиционирования шаговые двигатели широко используются в приводах машин и механизмов, например, в станках с ЧПУ. В отличие от сервоприводов позволяют получать точное позиционирование без использования обратной связи от датчиков углового положения. Также шаговые двигатели используются в устройствах компьютерной памяти (накопители на гибких магнитных дисках, устройствах чтения оптических дисков [1].

Литература

1. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения // Электрик. 2012. № 11. С. 40-45.
2. Ридико Л. Журнал “Основы схемотехники”. №6/2001. С 13-16.
3. <http://robotosha.ru/electronics/how-stepper-motors-work.html>

УДК 631.31

Интеллектуальные сети (SMART GRID)

Карака М.С., Полуянова Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

Электрическая сеть – совокупность устройств, предназначенных для передачи электроэнергии от ее источников к потребителям. В такой традиционной сети электричество распределяется в одном направлении, имея при этом недостаточное число средств для мониторинга транзита и доставки. Очевидно, что ни одна система регулирования не может работать идеально, и в любом случае пользователю электрической сети нужно смириться с некоторыми отклонениями характеристик от номинальных значений. «Интеллектуальная сеть» представляет же собой единый автоматизированный механизм, объединяющий производителей электроэнергии, электрические сети и потребителей. Управляется осуществляется централизованно – через компьютерный центр, в который с миллионов цифровых контроллеров в режиме реального времени поступают сведения об уровне потребления электроэнергии. Необходимое программное обеспечение помогает отслеживать режим работы на каждом участке выработки, передачи и потребления электроэнергии.

Цель Smart Grid – обновить инфраструктуру электроснабжения, включив в нее более совершенные средства связи, управления и сенсорные технологии с надеждой на расширение связи между потребителями и производителями энергии. Потенциальные преимущества Smart Grid включают в себя повышенную надежность, более эффективное использование электроэнергии, лучшую экономичность и повышенную устойчивость.

Объем рынка Smart Grid Market был оценен в более чем 30 миллиардов долларов США в 2017 году и должен увеличиться более чем на 11% CAGR до 70 миллиардов долларов США к 2024 году. Растущая потребность в автоматизации энергетического сектора, обусловленная устаревшей инфраструктурой электросетей, будет стимулировать глобальный рынок. Промышленность в первую очередь определяется благоприятными государственными нормативами и мандатами, а также увеличением доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2017 году глобальные инвестиции в цифровую электроэнергетическую инфраструктуру составили более 50 миллиардов долларов США.

Рассмотрим преимущества, которыми интеллектуальные сети смогут заинтересовать потребителей:

1) Ремонт установленного оборудования. Более 50% сетевых активов находятся на подходящем сроке службы или приближаются к концу. Решения для мониторинга, управления, обслуживания и оптимизации оборудования смогут удерживать капиталоемкие сетевые активы на работе сверх запланированного срока их службы. Решения для управления персоналом и автоматизации полевых работ будут использовать передовые аналитические, коммуникационные и геопространственные технологии для более эффективного и действенного применения человеческих ресурсов.

2) Мгновенное устранение неисправностей в режиме реального времени. В настоящем времени все неполадки на ЛЭП устраняются после их проверки специалистами и надлежащими устройствами. Усовершенствованные интеллектуальные сети преобразуют системные события в мгновенно извлекаемую цифровую информацию, поэтому решение проблем может начаться сразу после возникновения. С такой улучшенной эффективностью уменьшаются производственные затраты - экономия, которая будет передана потребителям.

3) Возможность зарядки электромобилей. С ростом экологических проблем в наши дни, всё большая часть населения прибегает к использованию электромобилей, для уменьшения количества выбросов продуктов сгорания топлива в атмосферу. Интеллектуальная сеть позволит в любое время и в любом месте подзарядить свой автомобиль.

Изменение климата приведет к экономическим изменениям. Потому что сегодня 40% выбросов CO₂ на планете происходит от производства электроэнергии. К 2020 году Европа обязалась сократить свои выбросы парниковых газов на 20 процентов, производить 20 процентов своей энергии из возобновляемых источников и повысить энергоэффективность на 20 процентов. Поскольку углеродное законодательство становится реальностью, клиенты GE Smart Grid будут иметь преимущество. Данные эффективные технологии снижают количество отходов в системе. И смогут помочь оптимизировать использование возобновляемых источников энергии, добавив больше чистого ветра, солнечной энергии и биомассы в состав генерации, что позволит увеличить количество внутренних источников чистой энергии. Это означает меньшую зависимость от нестабильности импортируемого топлива и большую энергетическую независимость, и безопасность.

Чтобы снизить спрос в периоды пиковой нагрузки с высокой стоимостью, коммуникационные и измерительные технологии информируют интеллектуальные устройства дома и в офисе, когда потребность в энергии высока, и отслеживают, сколько электроэнергии используется. Это также дает коммунальным предприятиям возможность сократить потребление путем непосредственного взаимодействия с устройствами для предотвращения перегрузок системы. Предполагается, что потребители и предприятия будут склонны потреблять меньше в периоды высокого спроса, если потребители смогут осознать разницу в стоимости при уменьшении использования электроэнергии в пиковые часы.

Впервые за 100 лет существования электрифицированного мира потребители могут наконец понять, как их привычки напрямую влияют на их потребление энергии. И это имеет значение. Ряд международных исследований показал, что информация о ценах на интеллектуальные энергосистемы в реальном времени изменила поведение потребителей и помогла сократить расходы на электроэнергию для домашних хозяйств на 10% и снизить пиковое потребление на 15%. С информационными порталами и домашними устройствами интеллектуальная сеть покажет потребителям, как они могут контролировать свое потребление энергии, не жертвуя образом жизни.

Интеллектуальная сеть предусматривает достижение данных целей с помощью соответствующих средств:

1) генерация – повышение надежности и экономичности производства электроэнергии с использованием новейших высокоинтеллектуальных средств контроля и управления, в том числе ИТ, приспособления источников возобновляемой энергии, распределенной генерации и накопителей энергии;

2) передающая электрическая сеть – обеспечение сохранности передачи электроэнергии и контроля электрической сети за счёт глобального мониторинга режимов и управления ими с использованием новых средств и технологий, а также расширением масштабов использования беспилотных летательных аппаратов для контроля технического состояния ЛЭП;

3) подстанции – обеспечение надежности и управляемости подстанций за счёт оснащения их новейшими электротехническими приспособлениями и автоматизации на основе современных средств диагностики, мониторинга и управления, основанных на информационных и компьютерных технологиях;

4) целенаправленное обслуживание – обеспечит лучшее понимание и больший контроль нагрузки для предотвращения перебоев в работе. Существуют технологии для прогнозирования и предотвращения проблем до того, как они возникнут. А когда возникают незапланированные отключения, интеллектуальные системы управления отключениями энергосистемы смогут перенаправлять электроэнергию, чтобы минимизировать простои, более эффективно анализировать необходимые ремонтные работы и направлять бригады, чтобы выполнять работу быстрее и эффективнее;

5) потребители – оснащение их высокоинтеллектуальными системами контроля и учета электроэнергии, контроля электропотребления и управления нагрузкой, в том числе в аварийных ситуациях.

Создание «интеллектуальной сети» предусматривает использование большого набора новых технических средств и технологических приёмов: распределенная генерация; силовая электроника; полупроводниковая техника; сверхпроводящие кабели; виртуальные электростанции; концентраторы данных через спутниковую навигационную сеть; оптоволокно; радиосвязь; цифровая основа устройств; Интернет; сетевые подходы к мониторингу и сопряжение управления; новые методы теории управления; тарифные и ценовые механизмы.

Повышенная гибкость интеллектуальной сети обеспечивает большее проникновение очень изменчивых источников возобновляемой энергии, таких как солнечная энергия и энергия ветра, даже без добавления накопителя энергии. Текущая сетевая инфраструктура не построена так, чтобы учитывать множество распределенных точек входа, и, как правило, даже если какая-то подача разрешена на локальном (распределенном) уровне, инфраструктура уже не может ее вместить. Быстрые колебания в распределенной генерации, например, из-за облачной или порывистой погоды, представляют значительные проблемы для энергетиков, которым необходимо обеспечить стабильные уровни мощности путем изменения мощности более управляемых генераторов, таких как газовые турбины и гидроагрегаты. По этой причине технология Smart Grid является необходимым условием для очень большого количества возобновляемой электроэнергии в сети.

По мере реализации проектов интеллектуальных сетей становится очевидным, что перенесённая на национальную почву концепция Smart Grid, претерпевает значительные изменения, обусловленные различиями в режимах регулирования, имеющейся инфраструктуре электроэнергетических систем, национальных экономических и технологических приоритетах. Следует иметь в виду, что создание «интеллектуальной сети» требует больших затрат. Как следствие выхода технологических компаний на энергетический рынок, коммунальные предприятия вынуждены создавать новые бизнес-модели для удержания имеющихся потребителей и привлечения новых. Хотя и модернизация электрических сетей в интеллектуальные сети позволяет оптимизировать повседневные процессы, интеллектуальная сеть, будучи подключенной к сети, может быть уязвимой для кибератак.

В будущем введение интеллектуальных сетей может стать масштабней, чем те изменения, которые произошли в сфере связи и коммуникации и сделали привычной реальностью Интернет, мобильную связь и множество других достижений современности, до неузнаваемости изменивших повседневную жизнь. Однако данные изменения станут возможны лишь в том случае, если люди начнут в полной мере осознавать существующие проблемы передачи электрической энергии и необходимость в автоматизации и модернизации не только с экономической стороны, но и для сохранения экологии нашей планеты.

Литература

1. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 448 с.
2. S. Massoud Amin, Smart grid / [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://www.britannica.com/technology/smart-grid>. – Дата доступа: 20.10.2019.
3. Гольдштейн, Б. С. Интеллектуальные сети / Б. С. Гольдштейн, И. М. Ехриель, Р. Д. Перле; под ред. Б. С. Гольдштейн. – Москва: 2005. – 504 с.

УДК 621.31(075.8)

Магнитогидродинамический способ производства электроэнергии

Адинцова Е.Ю., Макеева М.Б

Научный руководитель – ст. препод. ПЕКАРЧИК О.А.

В начале XVIII в. сформулирована идея магнитогидродинамического преобразования тепла в электричество. Сама идея заключается в магнитогидродинамическом генераторе (далее МГД-генератор), который преобразует, непосредственно, тепловую энергию (кинетическую энергию заряженных частиц движущегося рабочего тела) в электрическую энергию, что позволяет значительно повысить эффективность использования топливных ресурсов. В качестве рабочей жидкости МГД-генератора используются ионизированные газы (плазма), жидкие металлы, электролиты. Как стало известно, плазма является более подходящим рабочим органом, но это неестественное состояние вещества на нашей планете, и это состояние достигается в сложных лабораторных условиях, что создает определенные проблемы при рождении самой плазмы. Сам генератор состоит из канала, по которому движется рабочее тело, далее следует система из магнитов, в качестве которых могут быть использованы электромагниты или постоянные магниты, для создания магнитного поля, и электродов, которые будут в последующем отводить полученную энергию. Между металлическими пластинами, расположенными в сильном магнитном поле, пропускают струю рабочего тела, которое имеет кинетическую энергию. Основываясь на законе электромагнитной индукции, существует электродвижущая сила, которая заставляет электрический ток течь между электродами внутри канала генератора и во внешней цепи. Поток плазмы тормозится за счет действия электродинамических сил, возникающих при взаимодействии магнитного потока с током, протекающим в плазме. По определению под действием сил торможения совершается работа, вследствие чего происходит преобразование энергии. Важными преимуществами такого генератора является:

- короткая цепочка преобразований энергии;
- большая возможность достичь КПД, который во многом превосходит КПД теплового цикла Карно, ограниченного максимальной температурой рабочего тела. В нынешних топках парогенераторов температура превышает 2000°C, а нагрев лопаток паровых турбин из-за ограниченной теплостойкости материала не должен превышать 750°C, где теряется примерно 50% от КПД. В МГД-генератор позволяет использовать материалы, на поверхности которых температура может достигать 2700-3000°C. Это открывает перспективы повышения КПД;
- возможность дополнять МГД-генераторы паротурбинными преобразователями, которые смогут полезно использовать газы, которые выходят из каналов МГД-генератора, что дополнительно повышает КПД всей установки. Колоссальный прорыв в науке могут сделать МГД-генераторы с ядерными реакторами;
- главная особенность генератора — это отсутствие движущихся узлов или деталей, которые участвуют в преобразовании тепловой энергии в электрическую. Это позволяет существенно увеличить начальную температуру рабочего тела и, следовательно, КПД электростанции.

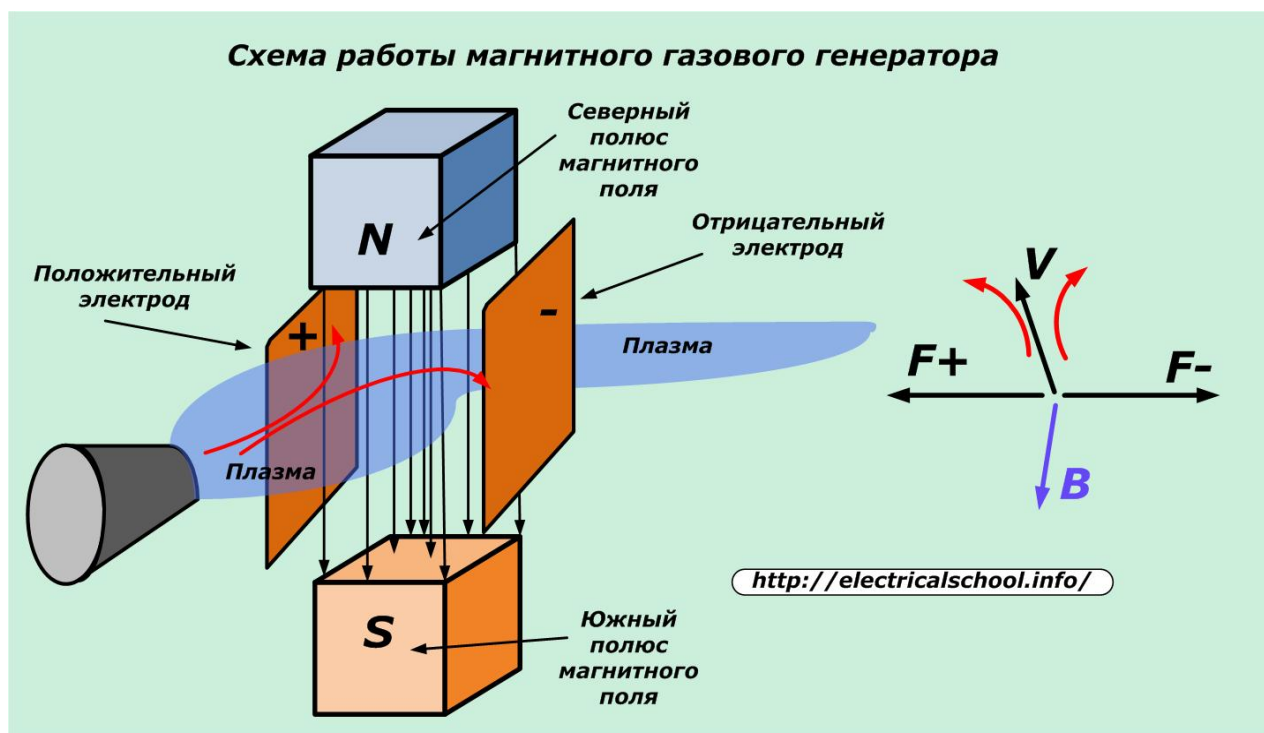


Рисунок 1 – Схема работы МГД-генератора

Невзирая на отличительные свойства генераторов, за долгую историю своего существования они не нашли обширного промышленного применения. Основными барьерами являются: строгие требования к конструкционным материалам из-за высоких температур рабочего тела, необходимость создавать мощное магнитное поле, которое будет получено пропусканием больших токов по обмоткам из сверхпроводящих материалов. из-за этого повышается цена за мощность вырабатываемой электроэнергии, маленькая продолжительность непрерывной работы МГД-генераторов. Надежду подает стремительный прогресс в различных отраслях науки:

- найдены материалы, которые могут долго работать при температуре 2200–2500°C (нитриды, графит, окись магния, а также материалы на основе нанопорошков и др.);

- огромные денежные средства и силы научных деятелей направлены на создание высокотемпературного ядерного реактора;

- совокупность всего вышеперечисленного позволит создать генератор, мощность которого составит порядка 500-1000 МВт, например, реактор ВВЭР-1200, вскоре введенный в эксплуатацию на БелАЭС, будет достигать максимальной мощности в 1200 МВт. Благодаря этому открываются огромные перспективы применения в энергетике данных генераторов;

- ТЭС. Эти установки наиболее просты по своему принципу и имеют ближайшую перспективу промышленного применения;

- атомные электростанции с генератором на инертном газе, который нагревается в ядерном реакторе; перспективность этого направления зависит от того, как быстро наука будет развивать ядерную энергетику и, соответственно, как быстро она найдет применение этого в атомной отрасли. Большим прорывом станет развитие ядерных реакторов с температурой рабочего тела свыше 2000 К;

- энергетические установки с МГД-генератором могут использоваться так же, как резервные или аварийные источники энергии в случае различных стихийных бедствий, связанных со сменой климатических условий по всей планете. Также обширное применение найдет в энергосистемах, для космической техники (бортовые системы питания), в качестве источников питания различных устройств, требующих больших мощностей на короткие промежутки времени.

И в заключении рассмотрим некоторые преимущества с точки зрения экологии: Учитывая масштабность проблем глобального потепления, очень важно учесть объем отработанных веществ, выбрасываемых в атмосферу. Следует понимать, что на данный момент все промышленные предприятия Республики Беларусь направлены на получение большего объема тепловой или электрической энергии при высоком КПД, но вопрос о загрязнении окружающей среды зачастую уходит на второй план – использование МГД-генераторов является целесообразным, так как обеспечивает высокий КПД и существенно уменьшает выброс вредных веществ, которые в огромном количестве содержатся в отработанных газах.

Литература

1. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 448 с.

УДК 621.3.053

Высоковольтные выключатели и их классификация

Сивцов Н.А., Шкуратов В.А.

Научный руководитель – ассистент МУХИНА В.А.

Высоковольтный выключатель – коммутационный электрический аппарат, предназначен для включения и выключения электроустановок и устройств высокого напряжения в нормальных или аварийных режимах при ручном, дистанционном или автоматическом управлении, для автоматического отключения электрических цепей при токах перегрузки и короткого замыкания (КЗ) с целью предотвращения развития аварий в электроэнергетических системах. Данные устройства можно классифицировать на элегазовые, воздушные, масляные и вакуумные, исходя из того, как наши выключатели будут гасить дугу. Устанавливаемые коммутационные аппараты могут различными способами, то есть мы можем иметь дело с опорными, подвесными, настенными, так и с встраиваемыми выключателями.

Воздушный выключатель

В качестве прерывателя дуги в воздушном выключателе использовался сжатый воздух или газ. В воздушном взрыве сжатый воздух выключателя хранится в резервуаре и выпускается через сопло для создания высокоскоростной струи; это используется, чтобы погасить дугу. Воздушные выключатели используются для внутренних работ в области высокого напряжения и средней разрывной мощности. Обычно до напряжений 15 кВ и разрывных мощностей до 2500 МВА.

В выключателе с воздушной струей необходимо, чтобы сжатый воздух всегда находился под нужным давлением, включая самую крупную установку с двумя или более компрессорами. Техническое обслуживание этой установки и проблема утечек воздуха в фитингах труб - это некоторые факторы, которые действуют против выключателя с воздушной струей, и это дорого для низкого напряжения по сравнению с масляным выключателем [1].

Элегазовый выключатель

Газ SF₆ (гексафторид серы) обладает превосходными диэлектрическими, дугогасящими, химическими и другими физическими свойствами, которые доказали его превосходство над другими дугогасящими средами, такими как масло или воздух.

Автоматический выключатель, который использовал воздух и масло в качестве изолирующей среды, их сила тушения дуги росла относительно медленно после движения разъединения контактов. В случае высоковольтных автоматических выключателей используются свойства быстрого затухания дуги, которые требуют меньше времени для быстрого восстановления, нарастает напряжение. В этом отношении автоматические выключатели SF₆ обладают хорошими свойствами по сравнению с масляными или воздушными выключателями. Поэтому при высоком напряжении до 760 кВ используются элегазовые выключатели.

Вакуумный выключатель

Выключатель, в котором в качестве дугогасительной среды использовался вакуум, называется вакуумным выключателем. В этом автоматическом выключателе неподвижный и подвижный контакт заключен в герметичный вакуумный прерыватель. Дуга погасла, поскольку контакты разделены в высоком вакууме. Он в основном используется для среднего напряжения в диапазоне от 11 кВ до 33 кВ. Высокая прочность изоляции: по сравнению с различными другими изоляционными средами, используемыми в вакуумном выключателе, это превосходная диэлектрическая среда. Это лучше, чем все другие среды, кроме воздуха и SF₆, которые используются при высоком давлении. Когда дуга открывается, раздвигая контакты в вакууме, происходит прерывание при первом нулевом токе. При прерывании дуги их электрическая прочность увеличивается в тысячи раз по сравнению с другими выключателями. Два вышеупомянутых свойства делают дробилки более эффективными, менее громоздкими и дешевыми по стоимости. Их срок службы также намного больше, чем у

любого другого автоматического выключателя, и почти не требуется техническое обслуживание [2].

Масляный выключатель

Масляный автоматический выключатель - это такой тип автоматического выключателя, который использовал масло в качестве диэлектрической или изолирующей среды для гашения дуги. В масляном выключателе контакты выключателя разделены внутри изоляционного масла. Когда в системе возникает неисправность, контакты выключателя размыкаются под изолирующим маслом, и между ними возникает дуга, и тепло дуги испаряется в окружающем масле. Масляный выключатель очень прост в конструкции. Он состоит из токоведущих контактов, заключенных в прочный, защищенный от атмосферных воздействий заземляющий металлический резервуар, и резервуар заполнен трансформаторным маслом. Масло действует как дугогасительная среда и как изолятор между токоведущей частью и землей. В верхней части масла воздух заполнен в баке, который действует как подушка для контроля вытесненного масла при образовании газа вокруг дуги, а также для поглощения механического удара при движении масла вверх. Бак выключателя надежно закреплен болтами для вибрации, возникающей при прерывании очень высокого тока. Масляный выключатель состоит из выхода газа, который установлен в крышке бака для удаления газов. Масляный выключатель очень надежен в эксплуатации и очень дешев. Наиболее важной особенностью масляного выключателя является то, что не используются специальные устройства для контроля дуги, вызванной движущимся контактом. Масло обладает высокой диэлектрической прочностью и обеспечивает изоляцию между контактами после того, как дуга погасла [3].

На ТЭЦ-4 в марте 2018 года были установлены элегазовые выключатели наружной установки.

Не так давно была произведена замена выключателей на шести высоковольтных линиях электропередачи филиала «Светлогорская ТЭЦ» РУП «Гомельэнерго». В процессе строительства, который был начат в марте текущего года, были выполнены: замена воздушных выключателей на элегазовые; замена трансформатора тока; привязка элегазовых выключателей к существующей схеме электромагнитной блокировки от ошибочных операций; восстановлен контур заземления. Данная реконструкция позволит значительно повысить надежность работы оборудования и увеличить межремонтный период.

Сегодня во многих странах устанавливаются выключатели типа 120-SFM-32B с пружинным приводом для наружной установки. Работа элегазовых выключателей этой серии основана на приведении в движение механизма с помощью пружин, заводка которых осуществляется при помощи электрического двигателя, а также, при необходимости, вручную. Элегазовые выключатели, в частности элегазовые выключатели 110 кВ и элегазовые выключатели 150 кВ, построенные на данном типе привода, способны выполнять всевозможные функции прерывания тока в различных электросетях и по праву считаются одними из самых надежных. Мы получаем компактную конструкцию, простоту в установке агрегата, которая тестировалась компанией CESI – мировым лидером по производству электроустановок.

Литература

1. Балаков, Ю.Н. О достигнутых параметрах выключателей / Ю.Н. Балаков, Б.Н. Неклепаев, А.В. Шунтов // Электрические станции. – 1996. – № 10. с. 56 – 60.
2. Электротехнический справочник / под ред. И.Н. Орлова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – Т. 2. – 711 с.
3. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.

УДК 621.3

**Теплогенератор Потапова как пример холодного ядерного синтеза.
Способы повышения эффективности теплогенератора**

Буйницкий С.В., Курилик А.С.

Научный руководитель – ассистент МУХИНА В.А.

В наше время никого не удивить заявлениями о том, что запасы органического топлива на Земле стремительно заканчиваются. С каждым годом увеличивается как население планеты, так и потребление им энергии. Мало того, что топливо недолговечно, вдобавок ко всему оно создаёт ещё одну глобальную проблему человечества – парниковый эффект, который, в свою очередь, ведёт к перегреву атмосферы Земли и климатической катастрофе. Эти и многие другие вытекающие проблемы заставляют человеческую цивилизацию искать альтернативу в производстве электричества.

В качестве замены уже существующему сырью выступило ядерное топливо. На данный момент успели возвести сотни электростанций по всему миру, несмотря на то, что ядерные электростанции опасны. А вдобавок к этому поднялся ещё один вопрос – что делать с отработанным топливом? На данный момент его оставляют в так называемых «могильниках», доверив эту «бомбу замедленного действия» будущим поколениям.

По оценкам учёных, залежей урана осталось примерно на 100 лет, если учитывать нынешние темпы роста энергопотребления в мире. Из этого можно сделать вывод, что уран лишь временная альтернатива в энергопроизводстве. Поэтому поиски более долговечного и безопасного производства энергии идут до настоящего времени.

Одним из примеров альтернативного производства энергии можно назвать теплогенератор Потапова. Впервые воссоздан этот аппарат был в 90-х годах прошлого столетия. Полной и непротиворечивой теории, которая могла бы описать работу данного устройства всё ещё не существует, что и подогревает интерес к данной разработке.

Первый, кто догадался вместо сжимаемого газа наполнить вихревую трубу несжимаемой жидкостью, был Ю.С. Потапов, находившийся в 80-х в Кишинёве. В ходе опыта он заметил, как вода делилась на те самые два потока, только не горячий и холодный, а горячий и тёплый (получившаяся вода была выше по температуре, чем исходная жидкость). Но удивительнее того было другое – выяснилось, что вырабатывает устройство больше энергии, чем потребляет.

В аппарате при помощи насоса создаётся давление от 4 до 6 атм. Под давлением вода подаётся в инжекционный патрубок, присоединенный к фланцу насоса. Жидкость заполняет полость улитки и начинается процесс вращения по изогнутому каналу для достижения эффекта кавитации. Кавитация – это процесс образования и разрушения пузырей вакуума в потоке жидкости, который сопровождается шумом и ударами, которые могут содержать разреженный пар. Следом за улиткой вода попадает в вихревую трубу, при чём при попадании туда жидкость уже набрала необходимую скорость и достигла одноименный характер движения. Потапов установил, что длина трубы должна в разы превышать её ширину. Вода направляется к противоположному краю трубы, который является уже горячим. Весь свой путь жидкость проходит по винтообразной спирали, которая находится у стенок трубы. Вода будет в движении до того момента, пока не достигнет тормозного устройства, находящегося в конце основного корпуса, где часть горячей жидкости выводится, что позволяет выровнять поток. Тем временем, навстречу горячему потоку, идущему по внутренней полости втулки основного тормозного устройства, запускают поток холодной жидкости. Таким образом, получается, что два потока воды с разными температурами движутся друг над другом и имеют зону контакта. Времени этого контакта двух потоков через стенки втулки достаточно, чтобы нагреть холодную жидкость. В итоге уже тёплый поток воды направляется к выходу из устройства. Так же, благодаря процессу кавитации, происходящему в жидкости на этапе прохождения ею тормозного устройства, воду можно дополнительно нагреть. И уже хорошо прогретая жидкость готова выйти из малого тормозного устройства по байпасу, после чего

пройти по основному отводящему патрубку, соединяющему два конца основной цепи элементов теплового устройства. Вихревая труба, в свою очередь, соединена отверстием в дне. Следовательно, горячая жидкость заканчивает свое движение по вихревой трубе проходом в отверстие дна. После горячая жидкость попадает в основной отводящий патрубок, где смешивается с теплым потоком. На этом движение жидкостей по системе теплогенератора Потапова закончено. На выход из нагревателя вода поступает с верхней части отводного патрубка - горячая, а из нижней его части - теплая, в нем же она смешивается, готовая к использованию. Горячая вода может применяться либо в водопроводе для хозяйственных нужд, либо в качестве теплоносителя в системе отопления.

Предполагается, что схема работы и действия данного устройства основаны на процессе кавитации. При этом жидкость, которая оказывает постоянное давление на «пузырь», стремится перемещаться из области высокого давления в область низкого, чтобы сохранить свою форму. В итоге, он не выдерживает давления и резко сжимается или «лопается», при этом создавая энергию, которая образует волну. Энергия своеобразных «пузырей» имеет большое значение силы, которая может разрушить немалые металлические конструкции. Именно поэтому теплогенератор оснащён контуром, в котором образуются «пузырьки» очень малого размера, которые лопаются в толще воды. Они не обладают большой силой, но обеспечивают увеличение тепловой энергии до 80%. Всё это время, в контуре поддерживается ток в 220В.

Мы задались необычным вопросом: «А можно ли при определенных ресурсах добиться повышения работоспособности и автоматизации теплогенератора?»

Отвечая на данный вопрос, мы решили отталкиваться от того, что главным элементом в теплогенераторе является котел, поэтому логичнее всего будет начать с его оптимизации. Мы выделили три направления снижения расходов, а так же эффективности его работоспособности:

- 1) увеличим эффективность сжигания топлива в самом котле;
- 2) уменьшим стоимость использования нашего котла;
- 3) повысим регулируемость его работы.

Для уменьшения затрат на отопление полезны своеобразные «интеллектуальные» функции, которые встраиваются в современных моделях котлов. Примером послужит плавное изменение тепловой мощности, которое происходит благодаря работы имитирующих газовых клапанов с электронными системами управления.

В конце мы хотим рассказать про самый интересный и практичный способ, который будет заключаться в отрегулированной и сбалансированной подачи тепла, так как при несоблюдении баланса мы не сможем добиться того или иногда тепла. Для этого используются балансировочные клапаны. Они закрепляются в любой части отопительного контура, что позволяет балансировать наш теплоноситель.

Экономия энергоресурсов – не является первичной выгодой для использования балансировочных клапанов. Надо учесть, что в сбалансированной системе циркуляционный насос может работать на минимальной скорости, что позволит сократить затраты на электроэнергию и продлевает срок его службы.

УДК 621.3

Асинхронные генераторы ветряных электростанций

Бабицкий В.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЗЕЛЕНКО В.В.

Принцип работы

Хорошо усвоить принцип работы асинхронного механизма поможет предварительное ознакомление с основами функционирования генераторных машин синхронного типа. Дело в том, что синхронные и асинхронные генераторы по своему устройству и способу действия очень схожи и отличаются лишь небольшими деталями (конструкцией вращающегося ротора, в частности). В механизмах первого класса используется ротор с размещёнными на нем постоянными магнитами. При его вращении от механического привода магнитные элементы наводят в статоре меняющееся по величине и направлению э/м поле, обеспечивающее протекание переменного тока в подключённой к его зажимам нагрузке. При этом сам ротор вращается без рассогласования с создаваемой им в катушках ЭДС (синфазно с ней). В отличие от синхронных машин, асинхронный генератор характеризуется наличием небольшого отставания вращения роторного элемента устройства по отношению к наводимому в статоре электромагнитному полю. Последнее как бы тормозит его движение, что принято называть «эффектом скольжения»

При вращении приводного вала под воздействием внешнего механического импульса (от двигателя внутреннего сгорания, например) за счёт остаточного магнетизма статора в решётке такого ротора наводится собственная ЭДС. Вследствие этого оба поля (и подвижное, и неподвижное) начинают взаимодействовать друг с другом в динамическом режиме. Поскольку поле в обмотках ротора наводится с задержкой относительно неподвижного статора генератора, он несколько отстаёт от наводимого в ней э/м поля (то есть вращается асинхронно).



Рисунок 1 – Асинхронный генератор

Преимущества и области применения

- Показатель нелинейных искажений синусоиды у них не превышает 2-х процентов (сравните 15 % у их синхронных аналогов);

- При электропитании сварочного оборудования они обеспечивают существенное улучшение качества сварки;

- Для стабилизации выходного напряжения в них могут применяться внешние устройства автоматического регулирования;

Роторы АГ при вращении выделяют ограниченное количество тепла, для компенсации которого не требуется мощных вентиляторных устройств.

Последнее свойство позволяет надёжно герметизировать внутреннюю полость агрегата, то есть защитить её от проникновения пыли и грязи. Благодаря этому обстоятельству существенно расширяется сфера применения асинхронных машин, способных работать в условиях большой запыленности и повышенной влажности. Возможность герметизации способствует тому, что электрогенераторы асинхронного типа имеют больший показатель по сроку службы и могут эксплуатироваться при пониженных температурах. Добавим к этому, что одной из фазных обмоток этих агрегатов допускается подключать нагрузки различной мощности.

Благодаря этим достоинствам, они широко применяются в качестве источников электроэнергии в следующих хозяйственных областях:

- Для энергоснабжения оборудования с реостатным или рекуперативным режимом торможения (подъёмные краны, транспортёры и тому подобное);

- В промышленном оборудовании, не нуждающемся в компенсации паразитной реактивной мощности и к которому не предъявляют высоких требований по качеству поставляемой энергии;

- В бытовых и полевых условиях, где требуются источники дешёвой электроэнергии с механическим приводом от дизельного двигателя;

Ветряная электростанция на базе асинхронного генератора

Вопрос о ветровых электрогенераторах в наше время, очень актуален. Многие европейские производители предлагают ветровые генераторы разной мощности, но стоят они не дешево. А вся система, включая ветровой электрогенератор, инвертор преобразования постоянного тока в переменный и аккумуляторные батареи, это очень дорогое удовольствие, которое вряд ли окупит себя, в ближайшее время использования. Такие ветровые установки не может себе позволить обычный потребитель электрической энергии.

Из всего сказанного, можно сделать вывод, что наиболее остро стоит вопрос об удешевлении получения электроэнергии из ветра.

При применении генераторов на постоянных магнитах, можно получить не очень большое напряжение, как правило, оно не превышает 10 В. Да и к тому же скорость ветра, это не постоянная величина. Установки на таких генераторах должны всегда снабжаться аккумуляторными батареями, и инвертором. Но исходя из того, наиболее оптимальные аккумуляторные батареи, это батареи 150 А/ч, то вряд ли кто захочет связываться с таким дорогим проектом (для примера аккумуляторная батарея танка ПТ-76 весит 65кг, и рассчитана на 140А/ч).

В ходе долгих поисков и экспериментов, предпочтение было отдано генератору на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. При использовании данной схемы было выявлено много достоинств и всего один недостаток.

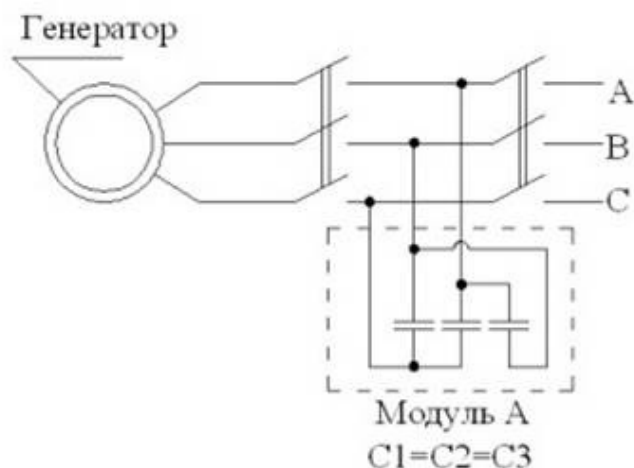


Рисунок 2 – Схема включения генератора

Достоинства: небольшие габариты и масса при достаточно большой мощности; нет необходимости в напряжении возбуждения; если использовать тихооборотный двигатель, то и мощность ротора можно уменьшить; простота конструкции повышает надежность при эксплуатации, вследствие отсутствия подвижного электрического контакта; снижается стоимость и трудоемкость обслуживания генераторной установки;

Недостаток: данный генератор нельзя перегружать.

Схема включения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором показана на рисунке №1. При вращении ротора двигателя остаточное магнитное поле действует на одну из обмоток статора. При этом возникает небольшой электрический ток, который заряжает один из конденсаторов C1-C3. Благодаря тому, что фаза напряжения на конденсаторе отстает на 90° , на роторе возникает магнитное поле уже большей величины, которое действует на следующую обмотку. Соответственно следующий конденсатор зарядится на большее напряжение. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ротор генератора не войдет в насыщение (1...1,15с). После этого можно включать автомат В2 и использовать вырабатываемую генератором энергию. Причем для нормальной работы двигателя в режиме генератора мощность нагрузки должна составлять не более 80 % примененного в качестве генератора двигателя. Остальные 20 % используются для поддержания напряжения на конденсаторах, т.е. поддержание генератора в рабочем состоянии. При превышении данного условия напряжение на конденсаторах исчезнет, а значит и исчезнет магнитное поле на якоре, что приведет к исчезновению напряжения на клеммах автомата В2. Причем это происходит практически мгновенно.

В этом есть свой недостаток и свои достоинства. Недостаток является в том, что повторная подача напряжения возможна только тогда, когда будет устранена причина перегрузки и отключен автомат В2. Генератор сонно войдет в рабочий режим (через 1...1,5с). После этого можно включать В2 и использовать энергию. К достоинству относят тот фактор, что генератор практически невозможно сжечь, так как напряжение на его клеммах исчезает мгновенно в течение 0,1...0,5с. Выходное напряжение имеет синусоидальную форму и полностью пригодно для дальнейшего использования. Выходная частота генератора 46...60 Гц, что в большинстве случаев достаточно для домашнего использования. Из-за нестабильности напряжения на выходе напряжения необходимо установить стабилизатор (описание схемы и работы описано в дополнительной статье).

Емкость добавочных конденсаторов указана в таблице №1, на один киловатт указанной мощности мотора, а для работы с нагрузкой – добавочная емкость на каждый киловатт нагрузки.

Таблица 1 – Емкость конденсаторов, включаемых в фазы, в микрофарадах на 1 кВт мощности.

Напряжение между фазами	Основная емкость конденсаторов (на 1 кВт мощности), мкФ		
	Режим холостого хода	Режим активной нагрузки	Режим реактивной нагрузки
127 В	40...50	10...20	50...60
220 В	12...15	3...6	1...2
380 В	4...5	1...2	5...6

К примеру, есть двигатель мощность 3 кВт. К нему предполагается подключить реактивную нагрузку (электродвигатель, сварочный аппарат), суммарной мощностью примерно 2 кВт. При этом мы хотим, чтобы напряжение между фазами было 380. Значит, емкость конденсатора $C1$ составит $(3 \cdot 5) + (2 \cdot 6)$ микрофарад. Так как $C1=C2=C3$, то нам понадобится три конденсатора емкостью 30 мкФ. Если конденсаторов необходимой емкости нет, то можно соединить конденсаторы параллельно, меньшей емкости. Конденсаторы должны быть бумажные или металобумажные на напряжение не ниже 450 В, а лучше на 650 В. Лучше включать генератор на напряжение между фазами 220 В, а между нулем и фазой 127 В. Это вызвано тем, что для нормальной работы генератора перекося фаз не должен превышать 45° . При такой схеме, удастся максимально разгрузит генератор. Кроме того, питание осветительных ламп накаливания и некоторые нагревательные приборы лучше питать постоянным током.

Для привода вала генератора применен редуктор. Можно использовать редуктор любой системы, кроме червячной. Как было уже сказано, вал генератора нужно вращать примерно с удвоенной скоростью, а вал ветродвигателя вращается со скоростью 500 об/мин при скорости ветра 5 м/с, отсюда и ограничение на использование двигателя в качестве генератора. При использовании двигателя можно увеличить высоту крыла на 500 мм. Наилучшим вариантом может быть двигатель на 360 об/мин, но можно и применить и двигатель на 720 об/мин. Увеличивать крыло по ширине не рекомендуется, так как при этом уменьшается частота вращения, уменьшать то же не следует, так как при увеличении скорости вращения сильно уменьшится мощность, причем закон уменьшения не линейный.

Сама ветрогенераторная установка может быть выполнена в любой удобной для вас схеме. Опору можно изготовить из дерева, бетона, металла. Можно применить опору которую используют для передачи электричества на расстояние, или свою. В качестве растяжек лучше использовать стальной трос диаметром 10..12 мм. Костыли, за которые крепятся растяжки, необходимо хорошо забетонировать. Каркас крыльев ветродвигатель можно изготовить из труб диаметром 1дюйм. Элероны можно изготовить из стального прутка диаметром 6мм. В качестве ведущего вола использовано толстостенная труба диаметром 2..2,5 дюйма, в нижний конец которой впрессован вал длиной 300...400мм. В нижнем конце вала сделана канавка под шкив. Подшипники взяты сферические с конусными зажимами марки 2000810 с соответствующим корпусом.

После сборки крыло необходимо сбалансировать. К опоре сбалансированное крыло крепиться любым удобным способом, но, главное, чтобы крепление было достаточно жестким и надежным. Экспериментально было установлено, что лучшим материалом для обтягивания крыла служит полиэтиленовая пленка толщиной 80...120мкм. Она достаточно прочная, легкая, дешевая и позволяет отказаться от тормозного механизма, который, кстати, в данном случае неприемлем, так как при сильном ветре крыло будет уничтожено. Обтягивать

полиэтиленовой пленкой нужно в несколько слоев спаивая по швам, паяльником через кусок полиэтиленовой пленки. Спаянный шов должен быть равным и прочным.

При подборе редуктора нужно руководствоваться следующим правилом: за номинальные обороты крыло ветродвигателя нужно брать величину 500 об/мин, что соответствует скорости ветра 5 м/с, частота вращения вала двигателя увеличивается на 2,3, далее путем несложных подсчетов получаем коэффициент передачи. Сам кронштейн легко прикрепить к опоре с помощью шести шпилек. Зубчатым редуктором крепление намного проще. Не рекомендуется делать вал ветродвигателя слишком длинным, так как его может попросту перекрутить. Вся конструкция необходимо заземлить. Сопротивление заземления должно быть не более 2 Ом. У подножия необходимо поставить шкаф, в котором необходимо разместить конденсаторы С1-С3, автоматы В1-В2, диоды V1-V6, стабилизатор напряжения, автомат управления, четыре аккумулятора и мощный преобразователь напряжения для обеспечения энергией во время штелей. Автомат управления обеспечивает переключение цепей питания в зависимости от нагрузки и скорости ветра. Мощный преобразователь напряжения обеспечивает заряд аккумулятора во время работы генератора в холостом ходу, а также питание сети от аккумуляторов при отсутствии ветра или сильно заниженном напряжении на генераторе. Когда нет напряжения, а аккумуляторы разряжены, автомат управления обеспечивает подачу энергии из штатной сети.

Литература

1. Торопцев, Николай Демидович Асинхронные генераторы автономных систем / Торопцев Николай Демидович. - М.: Знак, 2011.-518 с.
2. Асинхронные двигатели общего назначения / Бойко Е. П., Гаинцев Ю. Г., Ковалев Ю. М. и др.; Под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. - М.: Энергия, 1980. - 488 с., ил.;
3. Вольдек А.И./Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений .Изд. 2-е, перераб. и доп. Л. «Энергия »,1974.-840 с., ил.;
4. <http://radiostorage.net/720-vetryanaya-ehlektrostanciya-na-baze-asinhronnogo-dvigatelya.html>

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Провода с эффектом памяти формы

Качан П.С.

Научный руководитель – ст. препод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Исследование эффективности регулирования напряжения линий сверхвысоких номинальных напряжений с учетом потерь мощности на корону при различных погодных условиях

Бруцкий-Стемпковский Н.А., Острейко А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Особенности расчёта электрической сети нескольких номинальных напряжений методом ньютона в форме небаланса мощностей с учетом поперечных проводимостей

Острейко А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ВОЛКОВ А.А.

Газоизолированные линии электропередач

Поздняков М.Н., Коротченко С.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Устройство защиты от птиц антиприсадного типа "Торнадо"

Воробьев Г.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Стойка линии опоры линии электропередач

Романович Д.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Распорка для проводов воздушной линии электропередачи

Горновская Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Устройство для отпугивания птиц

Скурат Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Трансформатор трехфазный малогабаритный с повышенной защитой от грозовых импульсов

Креч А. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Секторное птицепрозрачное устройство для подвесного изолятора

Зайцев П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Устройство управления освещением и температурой окружающей среды с помощью моторизованной оконной шторы.

Кирик Е. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Анализ возможности выравнивания графика нагрузки Белорусской энергосистемы за счет внедрения электрического обогрева частных домов

Болтуть Н.С.

Научный руководитель – ПОПКОВА Н.А.

Контроллер распределения потока мощности

Окуленко А.Р., Жаров Д.Н., Реут С.В., Кабачевский А.О.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Безтрансформаторный трёхфазный трёхпроводный шунтирующий фильтр активной мощности с ИБП и стадия накопления энергии аккумулятора

Флерко М. В.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Алгоритм подбора сопротивления заземления в вертикально-слоистых моделях грунта

Морозова А.Э., Рыжков Н.С., Дроздовская Е.В., Гедройть В.В., Мурачев К.А.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Управление реактивной мощностью в децентрализованной гибридной энергосистеме с применением СТАТКОМ (статический синхронный компенсатор) методами GA, ANN и ANFIS.

Бондарева А.С., Голета Д.А.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Методы определения места повреждения кабелей

Бондарева А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Автоматизация управления работой подстанциями электрических сетей

Веракса Р.В.

Научный руководитель – ст. препод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Средства регулирования реактивной энергии и мощности в ОЭС Беларуси

Веракса Р.В.

Научный руководитель – препод. ПОПКОВА Н.А.

Основные виды и конструкции силовых выключателей

Книга Д.А., Лузгин Е.А., Клименкова О. А., Глинский Д.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Сверхпроводники и их применение

Титов А.Д., Мятлев Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Измерительные трансформаторы тока: назначение, типы, принцип работы

Петрович А.И., Попов Д.А., Маковик В.И., Махнач П.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Вольтодобавочные трансформатора и линейные регуляторы

Шамрило М.Ю., Дехтерёнок М.В., Русаков П.А., Дысь С.С.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Местные виды топлива Республики Беларусь

Барановский П.Г.
Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

Технические характеристики и способы подключения батарей конденсаторов в электрическую сеть.

Дюров В.В.
Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

Накопители энергии

Хитров И. С.
Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

Приложение для токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ

Флерко М.В., Паланевич А.П.
Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

УДК 620.9

Провода с эффектом памяти формы

Качан П.С.

Научный руководитель – ст. препод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Эффект памяти формы – явление возврата к первоначальной форме при нагреве, которое наблюдается у некоторых материалов после предварительной деформации.

Суть явления:

1. В исходном состоянии в материале существует определенная структура. На рисунке она обозначена правильными квадратами.

2. При деформации (в данном случае изгибе) внешние слои материала вытягиваются, а внутренние сжимаются (средние остаются без изменения). Эти вытянутые структуры — мартенситные пластины, что не является необычным для металлических сплавов. Необычным является то, что в материалах с памятью формы мартенсит термоупругий.

3. При нагреве начинает проявляться термоупругость мартенситных пластин, то есть в них возникают внутренние напряжения, которые стремятся вернуть структуру в исходное состояние, то есть сжать вытянутые пластины и растянуть сплюснутые.

4. Поскольку внешние вытянутые пластины сжимаются, а внутренние сплюснутые растягиваются, материал в целом проводит автодеформацию в обратную сторону и восстанавливает свою исходную структуру, а вместе с ней и форму.

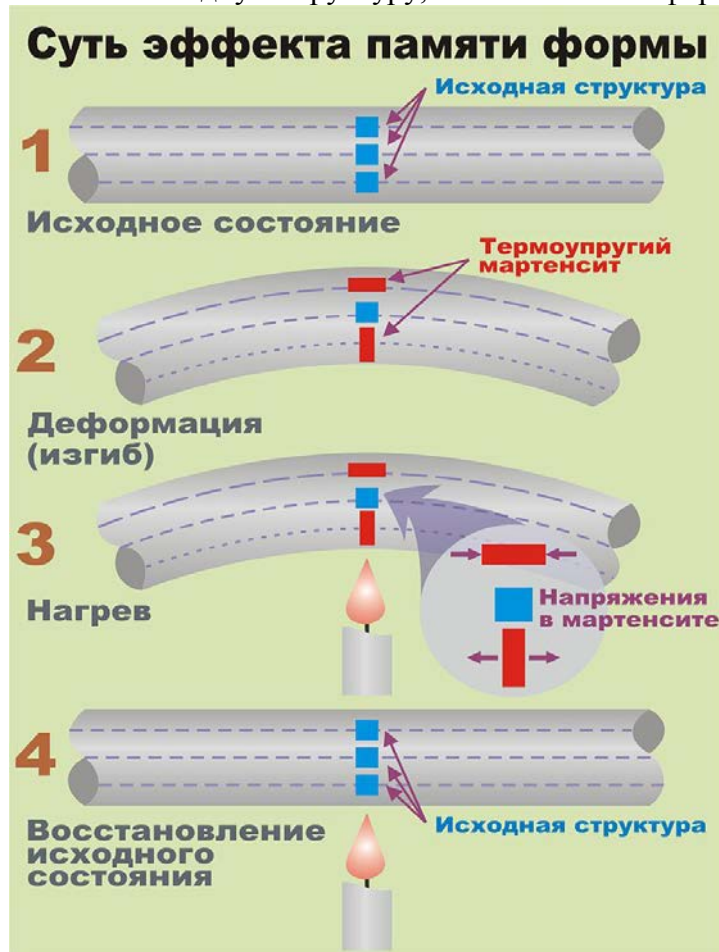


Рисунок 1 – Суть эффекта памяти формы

Лидером среди материалов с памятью формы по применению и по изученности является никелид титана (нитинол) — интерметаллид эквиатомного состава с 55 % Ni (по массе).

В настоящее время проводники с эффектом памяти формы нашли применение в качестве термокомпенсаторов для ВЛ (рис. 2):

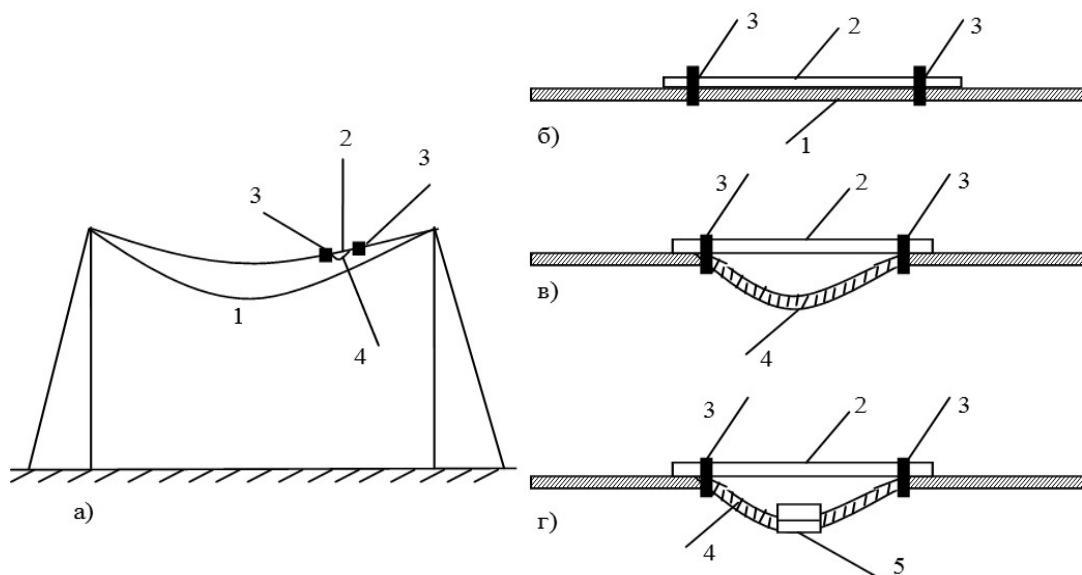


Рисунок 2 – Термокомпенсаторы для ВЛ

а – установка на линии; б – при охлажденном состоянии с возросшим тяжением; в – при нагреве в сокращенном состоянии; г – с ферромагнитным экраном.

Выводы

Исходя из всего сказанного выше можно сделать вывод, что термокомпенсаторы из материалов с эффектом памяти формы имеют широкую область применения. А именно: увеличение длины пролета линии, повышение пропускной способности линии по условию нагрева, повышение надежности пересечения ВЛ с инженерными сооружениями, борьба с гололедом, повышение пропускной способности и экономичности ЛЭП.

Литература

1. Лихачев В. А., Кузьмин С. Л., Каменцева З. П. Эффект памяти формы. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1987.
2. Тихонов А. С., Герасимов А. П., Прохорова И. И. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. — М.: Машиностроение, 1981. — 81 с.
3. Лихачев В. А., Малинин В. Г. Структурно-аналитическая теория прочности. — СПб.: Наука, 1993. — 441 с. — ISBN 5-02-024754-6.

УДК 621.311

Исследование эффективности регулирования напряжения линий сверхвысоких номинальных напряжений с учетом потерь мощности на корону при различных погодных условиях

Бруцкий-Стемпковский Н.А., Острейко А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Линии электропередач (ЛЭП) сверхвысоких номинальных напряжений (СВН), как правило, являются системообразующими в объединенных энергосистемах (ОЭС) и обеспечивают передачу больших мощностей на значительные расстояния. К ЛЭП СВН предъявляются повышенные требования по надежности, а также к рациональному регулированию режимов передачи мощности.

Потери мощности на корону в энергосистемах с большой протяженностью ЛЭП СВН 330-750 кВ могут достигать сотен мегаватт и могут быть вполне соизмеримы с нагрузочными потерями во всей энергосистеме. На величину потерь мощности на корону влияет ряд факторов: конструктивное выполнение ЛЭП, рабочее напряжение, состояние погодных условий, загрязненность воздушного пространства вдоль линии и т.д.

Одним из мероприятий по снижению потерь мощности на корону является регулирование рабочего напряжения линии. При снижении рабочего напряжения потери мощности на корону уменьшаются, поскольку уменьшается напряженность электрического поля на поверхности провода, которая и определяет величину потерь мощности на корону. В то же время, при снижении рабочего напряжения увеличиваются нагрузочные потери мощности, так как при той же передаваемой мощности возрастает ток линии. Поэтому возникает оптимизационная задача минимизации суммарных потерь мощности [1]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{нагр}} + \Delta P_{\text{кор}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ΔP_{Σ} – суммарные потери мощности в линии;

$\Delta P_{\text{нагр}}$ – нагрузочные потери мощности;

$\Delta P_{\text{кор}}$ – потери мощности на корону в ЛЭП.

Нагрузочные потери мощности в ЛЭП, например, при заданной мощности и напряжению в начале могут быть определены по известной формуле:

$$\Delta P_{\text{нагр}} = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot r, \quad (2)$$

где P_1, Q_1 – соответственно активная и реактивная мощность в начале линии;

U_1 – напряжение в начале линии;

r – активное сопротивление ЛЭП.

Анализ научно-технической литературы [2,3 и др.] и исследования, проведенные на кафедре «Электрические системы» БНТУ показали, что в достаточно широком диапазоне изменения рабочего напряжения линий с номинальными напряжениями 750 и 500 кВ зависимость удельных потерь мощности на корону $\Delta P_{\text{кор}}^{\text{ул}}$ от напряжения можно описать уравнением прямой линии:

$$\Delta P_{\text{кор}}^{\text{ул}} = a + b \cdot (U - U_{\text{ном}}), \quad (3)$$

где a, b – коэффициенты, зависящие от конструкции ЛЭП (геометрических размеров, конструкции фазы, сечения проводов в фазе и т.д.);

$U, U_{ном}$ – соответственно рабочее и номинальное напряжение линии.

В таблицах 1 и 2 приведены значения коэффициентов для линий номинального напряжения 500 и 750 кВ:

Таблица 1 – Значения коэффициентов a и b для расчета удельных потерь мощности на корону в линии номинального напряжения 750 кВ и проводом 4хАС–600/72

Состояние погоды	$a, \frac{\text{кВт}}{\text{км}}$	$b, \frac{\text{кВт}}{\text{кВ} \cdot \text{км}}$
Хорошая	6,10	0,055
Снег	18,40	0,162
Дождь	66,00	0,512
Изморозь	141,00	0,840

Таблица 2 – Значения коэффициентов a и b для расчета удельных потерь мощности на корону в линии номинального напряжения 500 кВ и проводом 3хАС–400/51

Состояние погоды	$a, \frac{\text{кВт}}{\text{км}}$	$b, \frac{\text{кВт}}{\text{кВ} \cdot \text{км}}$
Хорошая	2,25	0,020
Снег	7,75	0,090
Дождь	31,50	0,344
Изморозь	68,00	0,580

Тогда потери мощности на корону для линии определяются по формуле [3]:

$$\Delta P_{кор} = \frac{l}{2} [a + b \cdot (U_1 - U_{ном})] + \frac{l}{2} [a + b \cdot (U_2 - U_{ном})], \quad (4)$$

где l – длина линии;

U_1, U_2 – соответственно напряжения в начале и конце ЛЭП.

В качестве объекта исследования выберем простейшую электропередачу, состоящую из генераторов станции, повышающего трансформатора, ЛЭП СВН, статического источника реактивной мощности (СИРМ) в начале линии и нагрузки в конце линии.

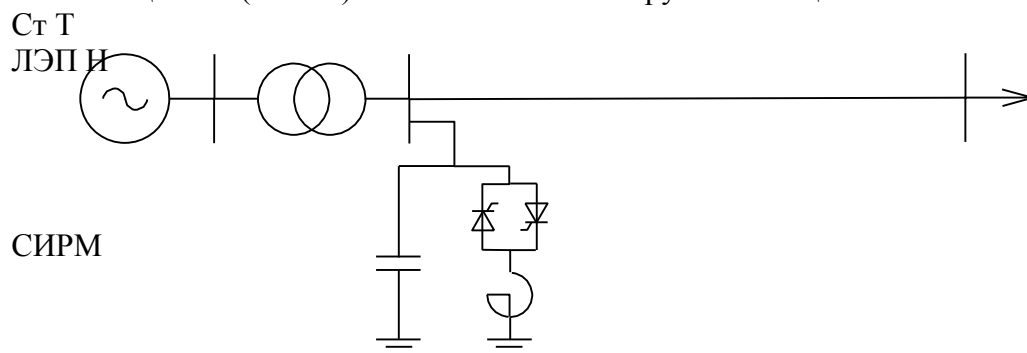


Рисунок 1 – Принципиальная схема исследуемой электропередачи

В качестве исходных данных примем, что линия работает в режиме близком к передаче натуральной мощности. Ориентировочное значение натуральной мощности для линии 750 кВ – $P_{нат} = 2000$ МВт. Примем длину линии равной $l = 250$ км, и марку провода 4хАС–600/72. Далее выберем генераторы станции: 4 генератора ТГВ-500-2УЗ, и трансформатор: 2 группы их трех однофазных трансформаторов ОРЦ-417000/750/20.

Оптимизационная задача поиска оптимального рабочего напряжения линии решается при соблюдении ряда условий:

- 1) Напряжение на шинах генератора не должно выходить за пределы $(0,95 - 1,05)U_{нГ}$;

2) Реактивная мощность генерации имеет пределы регулирования от 0 (т.е. не вводя генератор в режим недовозбуждения) до номинальной, определяемой номинальным $\cos \varphi$;

3) Напряжение в начале линии будем изменять в пределах $(0,98 - 1,05)U_{ном}$.

Для начала определим возможность регулирования напряжения в начале линии посредством генератора и СИРМ, а именно, изменяя напряжение на шинах и реактивную мощность генерации, при вышеназванных ограничениях, и изменяя реактивную мощность СИРМ. Моделирование осуществляется в программе расчета установившихся режимов RastrWin. Напряжение на шинах генераторов и в начале линии будем изменять согласованно:

Таблица 3 – Проверка регулирования напряжения в начале линии с помощью изменения параметров генератора и СИРМ

Напряжение на шинах генераторов U_r , кВ	Напряжение в начале линии U_1 , кВ	Напряжение в конце линии U_2 , кВ	Активная мощность генераторов P_r , МВт	Реактивная мощность генераторов Q_r , Мвар	Мощность СИРМ $Q_{СИРМ}$, Мвар
19,60	735,0	716,18	511,99	23,60	238,2
19,80	742,5	725,28	511,76	22,95	209,6
20,00	750,0	734,32	511,54	22,33	181,6
20,20	757,5	743,30	511,33	21,73	154,2
20,40	765,0	752,22	511,13	21,15	127,3
20,60	772,5	761,08	510,94	20,58	101,0
20,80	780,0	769,90	510,76	20,04	75,1
21,00	787,5	778,68	510,59	19,51	49,6

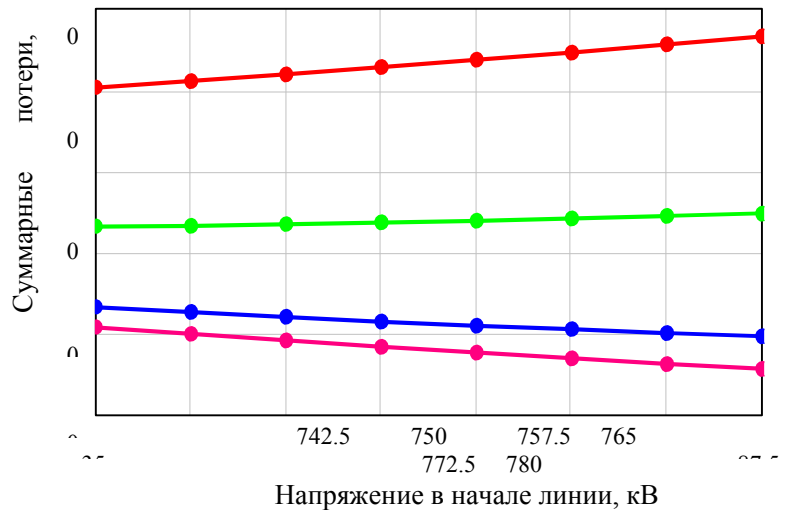
Из полученных результатов можно сделать вывод о физической возможности регулирования напряжения в начале линия в диапазоне $(0,98 - 1,05)U_{ном}$. Далее исследуем влияние различных погодных условий на режим линии при фиксированной нагрузке в конце линии $S = 2000$ МВт, путем расчета серии установившихся режимов:

Таблица 4 – Данные расчетов при фиксированной мощности нагрузки

Напряжение в начале линии U_1 , кВ	Погодные условия											
	Хорошие			Снег			Дождь			Изморозь		
	$\Delta P_{кор}$, МВт	$\Delta P_{нагр}$, МВт	ΔP_{Σ} , МВт	$\Delta P_{кор}$, МВт	$\Delta P_{нагр}$, МВт	ΔP_{Σ} , МВт	$\Delta P_{кор}$, МВт	$\Delta P_{нагр}$, МВт	ΔP_{Σ} , МВт	$\Delta P_{кор}$, МВт	$\Delta P_{нагр}$, МВт	ΔP_{Σ} , МВт
735,0	1,19	39,6	40,8	3,61	39,7	43,3	13,4	39,9	53,2	30,1	40,2	70,3
742,5	1,30	38,7	40,0	3,95	38,7	42,7	14,4	38,9	53,3	31,8	39,3	71,1
750,0	1,42	37,8	39,2	4,28	37,8	42,1	15,5	38,0	53,5	33,5	38,4	71,9
757,5	1,53	36,9	38,4	4,62	36,9	41,5	16,5	37,1	53,7	35,3	37,5	72,8
765,0	1,64	36,0	37,7	4,95	36,1	41,0	17,6	36,3	53,9	37,0	36,7	73,7
772,5	1,76	35,2	37,0	5,28	35,3	40,6	18,6	35,5	54,2	38,7	35,9	74,6
780,0	1,87	34,5	36,3	5,61	34,5	40,1	19,7	34,8	54,5	40,4	35,2	75,6
787,5	1,98	33,7	35,7	5,94	33,8	39,7	20,7	34,1	54,8	42,1	34,4	76,6

Рисунок 2 – Зависимости суммарных потерь мощности от напряжения для различных погодных условий

- 1 – Хорошая погода;
- 2 – Снег;
- 3 – Дождь;
- 4 – Изморозь.



Как видно из графиков и таблиц, при хорошей погоде и снеге потери на корону еще недостаточно велики, чтобы сильно повлиять на закономерности изменения потерь. При дожде потери на корону уже начинают оказывать сильное влияние, из-за чего зависимость суммарных потерь от напряжения оказывается практически параллельной оси ординат. При изморози потери на корону и вовсе начинают превосходить нагрузочные, и тем самым обуславливают увеличение суммарных потерь при увеличении напряжения.

На следующем этапе исследования будем рассматривать передаваемую мощность в качестве переменной величины. Для этого в качестве базовой определим натуральную мощность $P_{нат} = 2000$ МВт, тогда мощность в относительных единицах:

$$P_* = \frac{P}{P_{нат}} \tag{5}$$

В условиях реальной эксплуатации линии 750 кВ используются для передачи мощности в диапазоне $(0,4-1,2)P_*$. В этом диапазоне будем искать минимум функции суммарных потерь от напряжения (1). Значение напряжения в начале линии U_1 , соответствующее минимуму функции суммарных потерь назовем оптимальным напряжением $U_{опт}$ для передачи мощности. Как ранее было рассчитано, с помощью генераторов и СИРМ возможно добиться напряжения в начале линии в диапазоне $(0,98-1,05)U_{ном}$. Поэтому при расчетах будем пользоваться упрощенной моделью сети: шины бесконечной мощности (ШБМ) с присоединенной к ним линией и нагрузкой в конце линии.

Расчеты будем производить в программе RastrWin. Для поиска экстремума в программе RastrWin необходимо задать величину, по которой будет производиться поиск экстремума, начальное приближение и приращение изменяемого параметра, в нашем случае напряжение на ШБМ. В качестве примера приведем расчет $U_{опт}$ для $P_* = 1,1$ при дожде:

Таблица 5 – Последовательность поиска экстремума в программе RastrWin

Название	V_1	_1 2 0
Инициализация	750,000	61,81099
Шаг [1]-[1.0000]	752,500	61,80107
Шаг [2]-[2.0000]	755,000	61,79397
Шаг [3]-[3.0000]	757,500	61,78733
Шаг [4]-[4.0000]	760,000	61,78257
Шаг [5]-[5.0000]	762,500	61,78268
Шаг [7]-[4.5000]	761,25	61,78225
Шаг [8]-[3.5000]	758,750	61,78412
Шаг [9]-[4.7500]	761,875	61,78179
Шаг [10]-[4.2500]	760,625	61,78241

Расчет повторяется да тех пор, пока напряжение в конце линии, полученное на соседних итерациях не будет отличаться на достаточно малую величину.

Учитывая тот факт, что формула удельных потерь (3) дает удовлетворительный результат при напряжениях в диапазоне $(0,95-1,05)U_{ном} = 712,5-787,5$ кВ, а также то, что в условиях реальной эксплуатации рабочие напряжения ограничены сверху по условиям надежной работы изоляции, а снизу по условиям устойчивости параллельной работы генераторов, значения $U_{опт}$ выходящие за пределы $(0,98-1,05)U_{ном}$ будем учитывать только для более точного построения графиков, но не рассматривать в качестве оптимальных для передачи мощности.

В таблицах 6-9 приведем результаты только для тех значений $U_{опт}$, что попали в рабочий диапазон напряжений:

Таблица 6 – Данные результатов $U_{опт}$ при хорошей погоде

P , МВт	800	820	840	860	880	900	...
$U_{опт}$, кВ	732,36	743,97	755,47	766,86	778,15	789,365	...

Таблица 7 – Данные результатов $U_{опт}$ при снеге

P , МВт	...	1280	1320	1360	1400	1440	...
$U_{опт}$, кВ	...	732,13	746,78	761,28	775,64	789,82	...

Таблица 8 – Данные результатов $U_{опт}$ при дожде

P , МВт	...	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	...
$U_{опт}$, кВ	...	728,75	739,82	750,79	761,88	772,47	783,20	793,88	...

Таблица 9 – Данные результатов $U_{\text{опт}}$ при изморози

P , МВт	...	2100	2200	2300	2400
$U_{\text{опт}}$, кВ	...	665,17	683,74	702,30	720,71

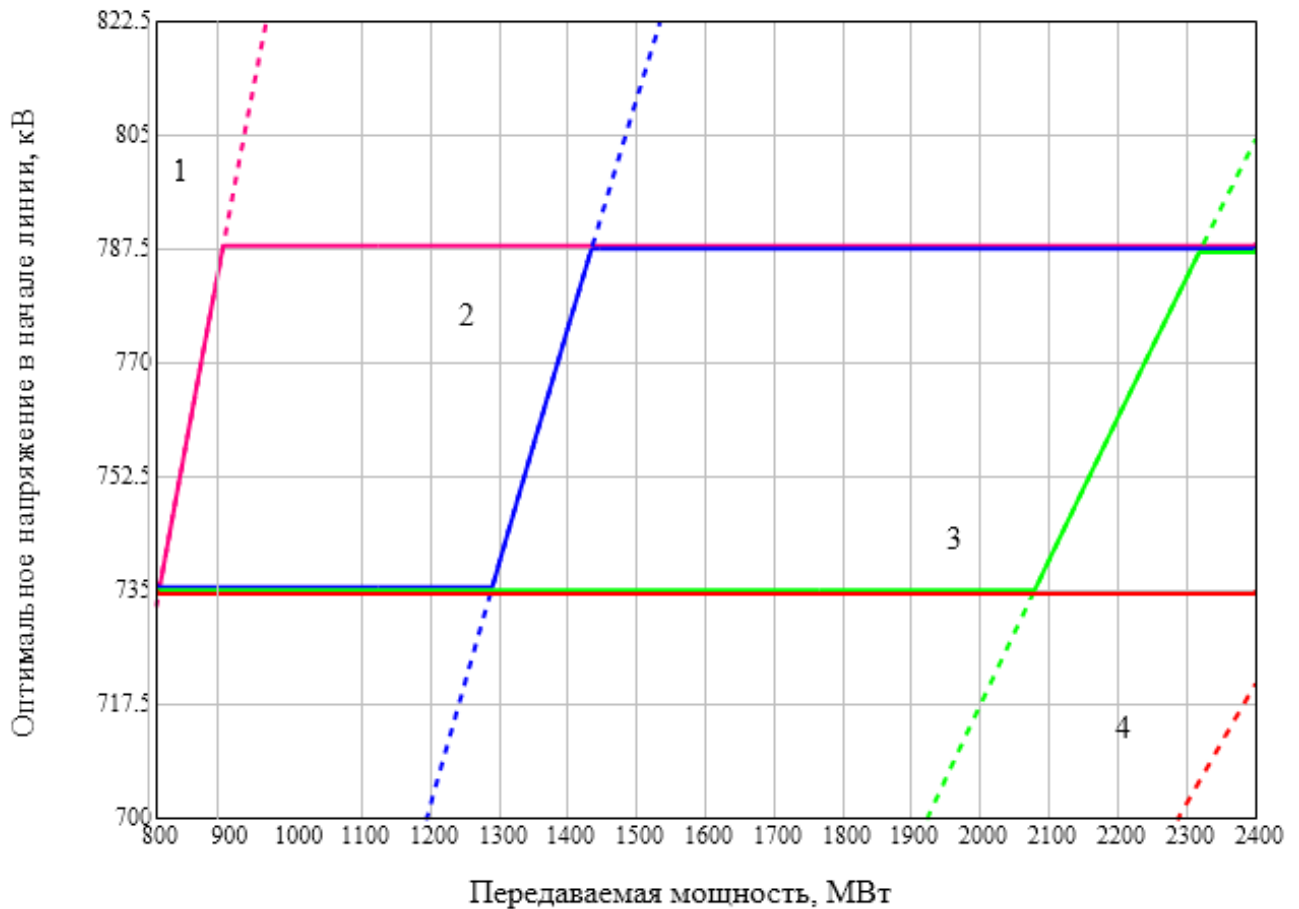


Рисунок 3 – Графики зависимости $U_{\text{опт}}$ от передаваемой мощности:
 1 – Хорошая погода; 2 – Снег; 3 – Дождь; 4 – Изморозь.

Пунктиром на графиках показаны значения, выходящие за диапазон $(0,98-1,05)U_{\text{ном}}$. Сплошными линиями показаны значения с учетом ограничений.

Как видно из графиков и таблиц, при хорошей погоде для диапазона мощностей 800-900 МВт существует $U_{\text{опт}}$, находящееся в диапазоне $(0,98-1,05)U_{\text{ном}}$. При увеличении мощности нагрузочные потери преобладают, поэтому $U_{\text{опт}}$ соответствует наибольшему рабочему напряжению. При снеге диапазон мощностей, в котором существует оптимум напряжения в начале линии находится в области 1280-1440 МВт. При значениях мощностей ниже 1280 МВт $U_{\text{опт}}$ принимается равным наименьшему рабочему напряжению, а при значениях выше 1440 МВт – наибольшему рабочему напряжению. При дожде диапазон мощностей, в котором существует оптимум напряжения в начале линии смещается в область 2075-2325 МВт. При значениях мощностей ниже 2075 МВт $U_{\text{опт}}$ принимается равным наименьшему рабочему напряжению, а при значениях выше 2325 МВт – наибольшему рабочему напряжению. При изморози потери на корону достигают таких значений, что для всего диапазона мощностей 800-2400 МВт $U_{\text{опт}}$ соответствует минимальному рабочему напряжению.

По полученным данным сделаем выводы:

Суммарные потери мощности и энергии в сетях сверхвысокого напряжения отнесенные ко всей передаваемой мощности являются небольшой величиной. Однако если рассматривать абсолютную величину потерь – то значения становятся довольно значительными. Так, например, при передаче мощности при неоптимальных напряжениях величина потерь мощности дополнительно увеличивается на 5-6 МВт при различных погодных условиях, что составляет до 14% от общей величины потерь. В эпоху перехода от индустриального общества к постиндустриальному, когда наука становится ведущим фактором производства, необоснованный перерасход углеводородов оправдать невозможно. Особенно в сложившейся экологической обстановке. Поэтому важность организационных мероприятий по снижению потерь, не требующих дополнительных капитальных затрат, сейчас особенно важна.

Логическим продолжением этого исследования может стать изучение режимов электропередач сверхвысокого напряжения при большем количестве вводных данных: динамика передаваемой мощности, протяженность линий, марка проводов на участках, потоки мощности на участках, различные погодные условия на всем протяжении линии или скоротечное их изменение.

Литература

1. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети. – Мн.: УП «Технопринт», 2004.
2. Дальние электропередачи 750 кВ. Ч. I / Под общ. ред. А.Н. Некрасова и С.С. Рокотяна. – М.: Энергия, 1975.
3. Федин В.Т., Прокопенко В.Г. Планирование характерных режимов электрических сетей 110-750 кВ по напряжению и реактивной мощности. // Электрические станции. – 1977. – № 12.

УДК 621.311

Особенности расчёта электрической сети нескольких номинальных напряжений методом ньютона в форме небаланса мощностей с учетом поперечных проводимостей

Острейко А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ВОЛКОВ А.А.

Часто при расчете режимов электрических сетей требуется определить параметры режима при задании нагрузок в мощностях и напряжения в балансирующем узле. Для решения требуется решить систему нелинейных уравнений, для которой не существует точного решения. Расчет таких систем уравнений производится итерационными методами.

Метод Ньютона является наиболее универсальным из всех итерационных методов: он обладает наилучшей сходимостью, слабой зависимостью числа итераций от сложности сети. Именно этот метод широко используется в современных программных комплексах для расчета режимов, таких как RastrWin, MUSTANG, K&T и других.

В качестве примера рассчитаем сеть трех номинальных напряжений (рис. 1). Расчет будет проводиться с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad.

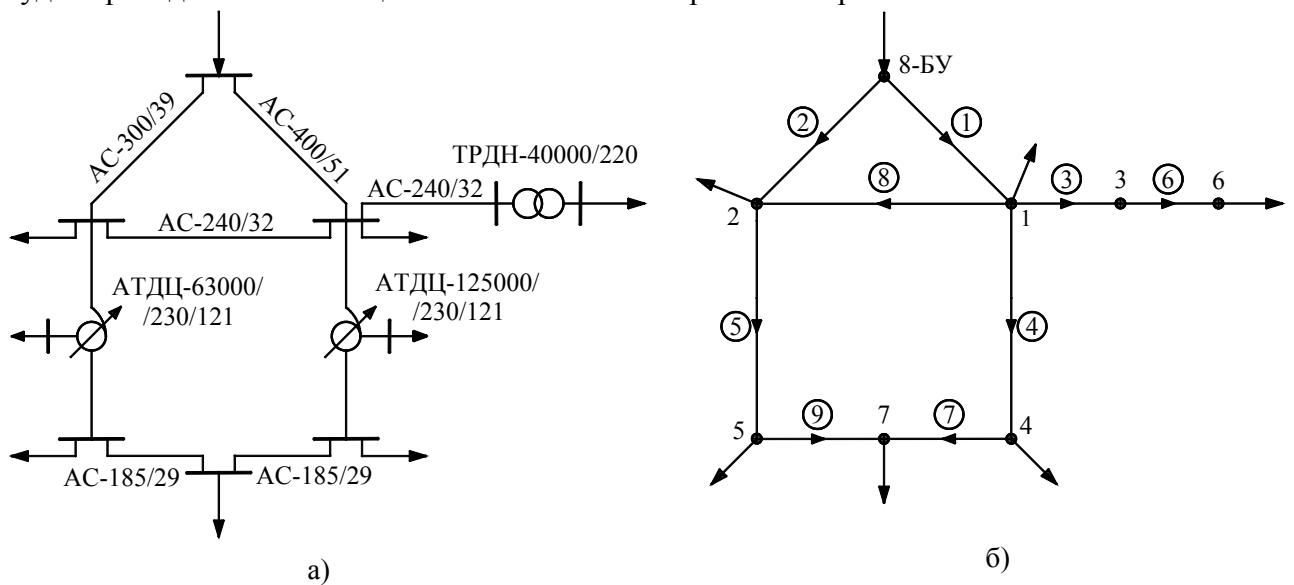


Рисунок 1 – Схема электрической сети
а – принципиальная; б – граф схемы замещения

Исходные данные по ветвям представим в виде таблиц:

Таблица 1 – Исходные данные по ветвям сети

Участок сети	Номинальное напряжение	Марка провода или трансформатора	Длина ветви, км
8-1	220	АС-400/51	40
8-2	220	АС-300/39	60
1-2	220	АС-240/32	50
1-3	220	АС-240/32	75
1-4	230/121	АТДЦ-63000/230/121	-
2-5	23/121	АТДЦ-63000/230/121	-
4-7	110	АС-185/29	15
5-7	110	АС-185/29	15
3-6	230/11	ТРДН-40000/220	-

Таблица 2 – Исходные данные по узлам сети

№ узла	1	2	3	4	5	6	7
P , МВт	-45	-50	0	-80	-25	-20	-40
Q , Мвар	-22	-20	0	-32	-11	-14	20

Напряжение в балансирующем узле примем $U_{\text{БУ}} = 240$ кВ. Далее необходимо рассчитать сопротивления ветвей и составить матрицу продольных сопротивлений и матрицу узловых проводимостей. Не будем описывать эти расчеты, они довольно подробно разобраны в [1]. Сосредоточимся на особенностях учета трансформаторных ветвей и поперечных проводимостей.

Для трансформаторных ветвей прежде всего необходимо привести сопротивления в матрице продольных сопротивлений:

$$Z_{\text{vi}} = k_{\text{ti}}^2 \cdot Z_{\text{ti}}, \tag{1}$$

где $Z_{\text{ti}} = R_{\text{ti}} + j \cdot X_{\text{ti}}$ – расчетное сопротивление трансформатора, Ом. Берется из расчетных данных или рассчитывается по каталожным;

k_{ti} – номинальный или действительный коэффициент трансформации трансформатора. Коэффициент трансформации берется в направлении ветви.

При наличии трансформаторных ветвей первая матрица инцидентий M в расчетах заменяется на приведенную M' [2, п. 1.4]. Это матрица размерностью $n \times m$, где n – число узлов сети, а m – число ветвей сети. В этой матрице значения элементов m'_{ij} определяются следующим образом:

$m_{ij} = 1$, если узел i является начальной вершиной нетрансформаторной ветви $i-j$;

$m_{ij} = k_{\text{ti}}$, если узел i является начальной вершиной трансформаторной ветви $i-j$;

$m_{ij} = -1$, если узел i является конечной вершиной ветви $i-j$;

$m_{ij} = 0$, если узел i не является вершиной ветви $i-j$, т.е. не связан с ней.

Поперечные проводимости учитываются в диагональных элементах матрицы узловых проводимостей Y_y . Составление этой матрицы подробно описано в [1]. Для учета поперечных проводимостей нужно лишь скорректировать диагональные элементы:

$$Y_{yii} = Y_{yii} + G_{ii} + j \cdot B_{ii}, \tag{2}$$

где G_{ii} – суммарная активная проводимость ветвей при i -ом узле;

B_{ii} – суммарная реактивная проводимость ветвей при i -ом узле. Причем при расчете в комплексных числах, например, индуктивная проводимость трансформаторов берется со знаком «-», а емкостная проводимость линий электропередач берется со знаком «+».

Т.е. учет поперечных проводимостей ветвей осуществляется переносом проводимостей в начале или конце ветвей в соответствующие узлы начала или конца ветви, где учитывается как шунт. При расчетах на ЭВМ для автоматизации расчетов могут использоваться конструкции, использующие специальные матрицы инцидентий. Например, введем специальную матрицу начал нетрансформаторных ветвей $M_{\text{нв}}$. Элементы этой матрицы $m_{\text{нв}ij}$ принимают следующие значения :

$m_{\text{нв}ij} = 1$, если узел i является начальной вершиной нетрансформаторной ветви $i-j$;

$m_{\text{нв}ij} = 0$, во всех остальных случаях.

Тогда учет поперечных проводимостей начал нетрансформаторных ветвей будет осуществляться по формуле:

$$Y_{yii} = Y_{yii} + M_{нв} \cdot \frac{dY_{ii}}{2} \cdot M_{нв}^T, \quad (3)$$

где dY_{ii} – диагональная матрица поперечных проводимостей ветвей.

Аналогичные операции можно провести для учета поперечных проводимостей концов нетрансформаторных ветвей, проводимостей начал трансформаторных ветвей и т.д.

После составления всех необходимых матриц конфигурации и параметров сети перейдем к расчету режима методом Ньютона в форме небаланса мощностей. Функция небаланса для i -ого узла выглядит следующим образом:

$$W_i(U_i) = U_i \cdot I_i^* - S_i, \quad (4)$$

где I_i^* – сопряженный вектор тока i -ого узла:

$$I_i = \sum_{j=1}^n (Y_{yij} \cdot U_j) + Y_{i-бу} \cdot U_{бу}, \quad (5)$$

Далее составляется вектор-функция небаланса мощностей в узлах. Матрица Якоби получается путем взятия производных по напряжению i -ого узла от каждой i -ой строки вектор-функции. В форме небаланса мощностей значения диагональных элементов равны:

$$J_{ij}(U_i) = Y_{yij}^* U_i, \quad (6)$$

а значения диагональных элементов определяются по формуле:

$$J_{ii}(U_i) = 2 \cdot Y_{yii}^* \operatorname{Re}(U_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (Y_{yij}^* U_j^*) + Y_{i-бу}^* U_{бу}^*, \quad (7)$$

Итерационный процесс происходит до тех пор, пока максимальное значение небаланса не станет меньше точности расчета. Значения напряжений на k -ой итерации рассчитываются по матричному выражению:

$$U^{(k+1)} = U^{(k)} - [J(U^{(k)})^{-1} \cdot W(U^{(k)})]^*, \quad (8)$$

а критерием окончания итерационного процесса будет неравенство:

$$\max [W(U^{(k+1)})] < \varepsilon, \quad (9)$$

где ε – точность расчета. Примем $\varepsilon = 0,1$ МВт. Далее приведем результаты расчета в программе MathCad. Исходная информация по узлам нагрузки:

$$P = \begin{pmatrix} -45 \\ -50 \\ 0 \\ -80 \\ -25 \\ -20 \\ -40 \end{pmatrix} \text{ МВт}; Q = \begin{pmatrix} -22 \\ -20 \\ 0 \\ -32 \\ -11 \\ -14 \\ 20 \end{pmatrix} \text{ Мвар}; S = P + j \cdot Q = \begin{pmatrix} -45 - 22j \\ -50 - 20j \\ 0 \\ -80 - 32j \\ -25 - 11j \\ -20 - 14j \\ -40 + 20j \end{pmatrix} \text{ МВА.}$$

Матрицы продольных сопротивлений и поперечных проводимостей:

$$Z_B = \begin{pmatrix} 3 + 16.8j \\ 5.88 + 25.74j \\ 9.075 + 32.625j \\ 0.285 + 16.385j \\ 0.775 + 28.784j \\ 0.013 + 0.363j \\ 2.43 + 6.195j \\ 6.05 + 21.75j \\ 2.43 + 6.195j \end{pmatrix} \text{ Ом}; Y_{\Pi} = \begin{pmatrix} 108j \\ 158.4j \\ 195j \\ 0.93 - 6.508j \\ 1.343 - 12.913j \\ 3.512 - 7.438j \\ 41.25j \\ 130j \\ 41.25j \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Результирующая матрица узловых проводимостей

$$Y_y = \begin{pmatrix} 0.0304 - 0.1455j & -0.0119 + 0.0427j & -0.0079 + 0.0285j & -0.0006 + 0.0321j & 0 & 0 & 0 \\ -0.0119 + 0.0427j & 0.0206 - 0.0891j & 0 & 0 & -0.0005 + 0.0183j & 0 & 0 \\ -0.0079 + 0.0285j & 0 & 0.0081 - 0.0347j & 0 & 0 & -0.0046 + 0.1316j & 0 \\ -0.0006 + 0.0321j & 0 & 0 & 0.0559 - 0.2009j & 0 & 0 & -0.0549 + 0.1399j \\ 0 & -0.0005 + 0.0183j & 0 & 0 & 0.0558 - 0.1746j & 0 & -0.0549 + 0.1399j \\ 0 & 0 & -0.0046 + 0.1316j & 0 & 0 & 0.0971 - 2.7514j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0549 + 0.1399j & -0.0549 + 0.1399j & 0 & 0.1097 - 0.2798j \end{pmatrix}$$

Суммарная приведенная матрица инцидентий

$$M_{\Sigma} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0.526 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0.526 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0.048 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Алгоритм задания матрицы Якоби:

$$J(U) = \begin{cases} \text{for } i \in 1 \dots \text{rows}(U) \\ \text{for } j \in 1 \dots \text{rows}(U) \\ J_{i,j} \leftarrow \left(\sum_{j=1}^7 \left(\begin{cases} 2 \cdot \overline{Y}_{y_{i,j}} \cdot R(U_i) & \text{if } i = j \\ \overline{Y}_{y_{i,j}} \cdot \overline{U}_j & \text{otherwis} \end{cases} \right) + \overline{Y}_{\Sigma_{i,8}} \cdot \overline{U}_{BY} \text{ if } i = j \right) \\ \overline{Y}_{y_{i,j}} \cdot U_i & \text{otherwis} \end{cases}$$

Алгоритм итерационного процесса:

$$U = \begin{cases} \text{while } 1 \\ U^{(k+1)} \leftarrow U^{(k)} - \left(J(U^{(k)})^{-1} \cdot W(U^{(k)}) \right) \\ W \leftarrow \text{Re}(W(U^{(k+1)})) \\ W_{\max} \leftarrow \max(|W|) \\ \text{break if } W_{\max} < \varepsilon \\ k \leftarrow k + 1 \end{cases}$$

Результаты расчета напряжений на каждой итерации:

$$U = \begin{pmatrix} 220 & 236.452 - 13.892j & 233.407 - 10.182j & 234.155 - 10.521j & 234.086 - 10.467j & 234.096 - 10.476j & 234.095 - 10.475j & 234.095 - 10.475j \\ 220 & 236.504 - 13.7j & 233.559 - 10.164j & 234.262 - 10.458j & 234.199 - 10.414j & 234.209 - 10.421j & 234.207 - 10.42j & 234.207 - 10.42j \\ 220 & 234.057 - 16.926j & 230.741 - 12.235j & 231.7 - 12.851j & 231.599 - 12.741j & 231.616 - 12.76j & 231.613 - 12.756j & 231.613 - 12.757j \\ 110 & 122.394 - 22.377j & 117.507 - 17.381j & 118.97 - 17.77j & 118.841 - 17.706j & 118.86 - 17.715j & 118.857 - 17.714j & 118.858 - 17.714j \\ 110 & 123.277 - 21.865j & 118.413 - 17.116j & 119.832 - 17.423j & 119.708 - 17.369j & 119.726 - 17.377j & 119.724 - 17.376j & 119.724 - 17.376j \\ 10 & 10.697 - 1.601j & 10.405 - 1.153j & 10.511 - 1.231j & 10.496 - 1.215j & 10.499 - 1.218j & 10.498 - 1.217j & 10.498 - 1.217j \\ 110 & 122.972 - 23.481j & 117.798 - 18.49j & 119.341 - 18.835j & 119.206 - 18.776j & 119.226 - 18.784j & 119.223 - 18.783j & 119.223 - 18.783j \end{pmatrix}$$

Результаты расчета напряжении на последней итерации:

$$U_{\Sigma} = \begin{pmatrix} 234.1 - 10.47i \\ 234.21 - 10.42i \\ 231.61 - 12.76i \\ 118.86 - 17.71i \\ 119.72 - 17.38i \\ 10.5 - 1.22i \\ 119.22 - 18.78i \\ 240 \end{pmatrix}, \text{кВ}; \quad \vec{|U_{\Sigma}|} = \begin{pmatrix} 234.329 \\ 234.439 \\ 231.964 \\ 120.17 \\ 120.979 \\ 10.569 \\ 120.694 \\ 240 \end{pmatrix}, \text{кВ}; \quad \arg(U_{\Sigma}) = \begin{pmatrix} -2.56 \\ -2.55 \\ -3.15 \\ -8.48 \\ -8.26 \\ -6.61 \\ -8.95 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}.$$

Сравним полученные результаты с программой RastrWin:

Таблица 3 – Результаты расчета по узлам в программе RastrWin

Номер	Тип	Название	P_н	cos f	Q_н	P_г	Q_г	U_ном	V	Delta
1	Нагр		45,0		22,0			220	234,329	-2,56
2	Нагр		50,0		20,0			220	234,439	-2,55
3	Нагр							220	231,964	-3,15
4	Нагр		80,0		32,0			110	120,171	-8,48
5	Нагр		25,0		11,0			110	120,979	-8,26
6	Нагр		20,0		14,0			10	10,569	-6,61
7	Нагр		40,0		-20,0			110	120,695	-8,95
8	База					263,7	78,4	220	240,000	

Таблица 4 – Данные расчета по ЛЭП в программе RastrWin

N_нач	N_кон	Марка	L,км	R	X	B	SI_нач	SI_кон	dP	dV%
8	1	АС 400/51 (220)	40,0	3,00	16,80	-108,0	159.6+J52.	158.1+J50.	1,4893	2,58
8	2	АС 300/39 (220)	60,0	5,88	25,74	-158,4	104.1+J25.	102.9+J29.	1,1987	2,53
1	3	АС 240/32 (220)	75,0	9,08	32,63	-195,0	20.3+J6.1	20.3+J16.3	0,0899	1,07
4	7	АС 185/29 (110)	15,0	2,43	6,20	-41,2	13.5-J15.6	13.4-J15.2	0,0701	-0,48
1	2	АС 240/32 (220)	50,0	6,05	21,75	-130,0	0.9+J4.5	0.9-J2.6	0,0001	-0,05
5	7	АС 185/29 (110)	15,0	2,43	6,20	-41,3	26.7-J5.1	26.6-J4.8	0,1224	0,26

Таблица 5 – Данные расчета по трансформаторам в программе RastrWin

N_нач	N_кон	R	X	G	B	Kт/r	SI_нач	dP	dQ	P_ш	Q_ш
1	4	1,03	59,20	0,9	6,5	0,5261	93.7+J26.9	0,17768	10,212	0,0510	0,357
2	5	2,80	104,00	1,3	12,9	0,5261	52+J12	0,14361	5,334	0,0736	0,710
3	6	5,60	158,70	3,5	7,4	0,0478	20.3+J16.3	0,06834	1,937	0,1888	0,400

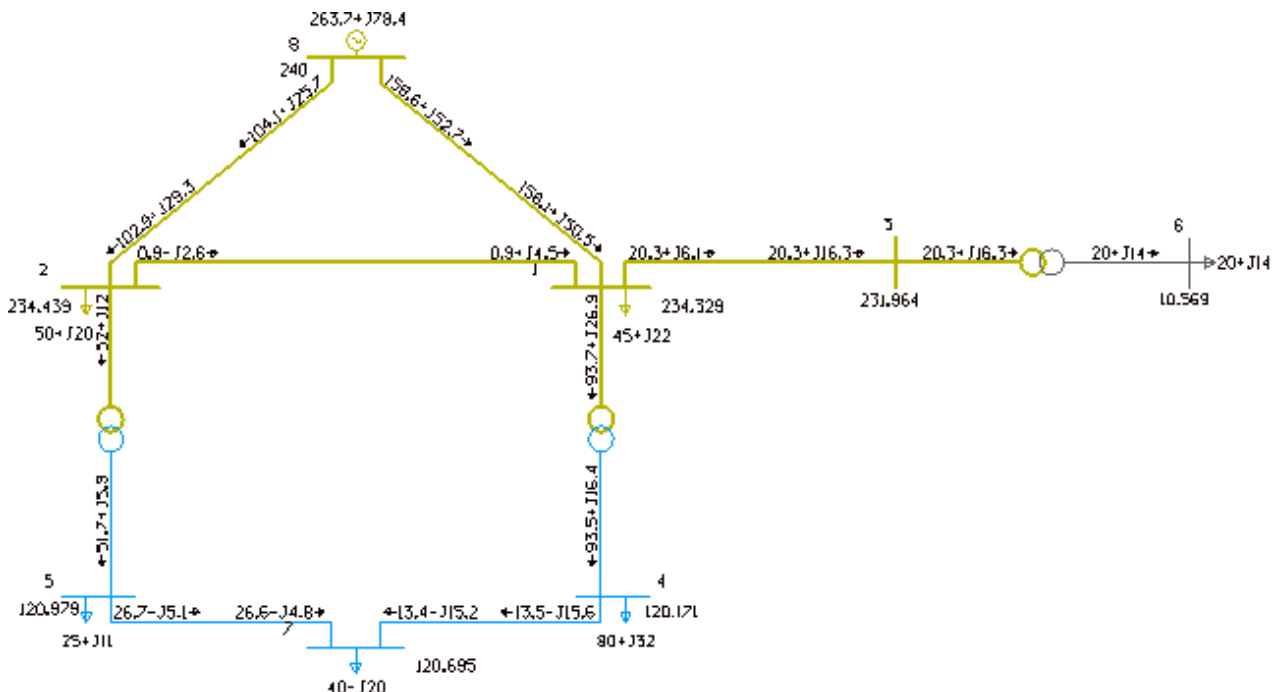


Рисунок 2 – Схема сети с нанесенными данными расчета в программе RastrWin

Как видно из сравнения, результаты расчета в MathCad и RastrWin совпадают.

В ходе данной работы был составлен и отлажен алгоритм расчета установившихся режимов электрических сетей нескольких номинальных напряжений методом Ньютона в форме небаланса мощностей. Помимо продольных сопротивлений линий и трансформаторов учтены поперечные проводимости, а также потери холостого хода в трансформаторах, что делает пригодным использование этого алгоритма для расчета реальных электрических сетей и систем.

Литература

1. Шиманская Т.А. 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». – Мн.: БНТУ, 2010.
2. Жуков Л.А., Стратан И.П. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем: Методы расчетов. – М.: Энергия, 1979.

УДК 621.3

Газоизолированные линии электропередач

Поздняков М.Н., Коротченко С.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

Применение традиционных кабелей связано с рядом проблем. Сегодня кабели с масляной, бумажной, синтетической изоляцией (в том числе и на основе сшитого полиэтилена) предусматриваются на критические мощности величиной примерно до 1700 МВт. Эти кабели плохо приспособлены для передачи энергии на расстояния свыше нескольких десятков километров из-за ограничений по термической стойкости и возможных резонансных явлений.

Диэлектрические потери в этих типах кабелей велики, из-за высокой диэлектрической проницаемости полимеров, бумаги и масла. Помимо прочего, традиционные кабели не являются экологически чистыми - они пожароопасны (при коротком замыкании в одной фазе в результате пожара повреждаются и другие), а электромагнитные поля в них не полностью локализованы — на поверхности земли, где они проложены, уровень электромагнитных воздействий может быть очень высоким. Также существуют технологические проблемы при вертикальной прокладке кабелей.

Строительство новых воздушных линий требует много места, портит ландшафт и часто негативно воспринимается общественностью, поэтому энергетические компании смещают акцент на альтернативные решения по передаче электроэнергии, в частности газоизолированные линии (ЛГИ).

ЛГИ за несколько десятков лет доказали свою техническую надежность, поскольку они безопасны при эксплуатации, а также имеют очень хорошие параметры передачи электроэнергии. Любое воздействие на людей или рядом находящиеся объекты минимально. Это означает, что системы ЛГИ также могут использоваться в существующих туннелях, зданиях или рядом с ними.

ЛГИ состоят из двух концентрических алюминиевых труб. Токоведущая жила представляет собой твердую металлическую трубу, как правило, из алюминиевого сплава. Жила поддерживается внутри металлической оболочки с помощью изоляторов, изготовленных из литых эпоксидных компаундов горячего отверждения.

Для повышения электрической прочности газовой изоляции вблизи поддерживающих изоляторов, в нижней части корпуса, устанавливаются ловушки частиц. Она гарантирует, что любые частицы, образующиеся в результате разрядов или содержащиеся в корпусе, задерживаются на внешней стенке и не влияют на качество изоляции. Частицы могут появляться в ЛГИ, несмотря на все соблюденные меры по чистоте линии. Из-за влияния электрического поля и под действием силы тяжести любая частица будет двигаться под этой ловушкой и, таким образом, будет нейтрализована, прежде чем она сможет оказать какое-либо отрицательное влияние на диэлектрическую прочность ЛГИ. Ловушка для частиц повышает надежность линии.

Чтобы удовлетворять современным экологическим и техническим нормам, системы ЛГИ заполнены смесью изолирующих газов, состоящих в основном из азота (80%) и элегаза (20%).

Внешняя оболочка изготовлена из коррозионно-стойкого алюминиевого сплава, которая обеспечивает надежную механическую и электротехническую герметизацию системы, и снабжается дополнительным покрытием, если линии будут прокладываться в земле. Модульная конструкция труб позволяет комбинировать их на любую длину.

Приоритетными областями применения ЛГИ сейчас являются внутриподстанционные связи, вводы электроэнергии в крупные города, вертикальные вводы, переход через реки и другие препятствия, встраивая их в мосты или транспортные туннели. Наиболее целесообразно их использовать, если передаваемая мощность 1000 – 4000 МВт.

Сейчас в основном используются ЛГИ на напряжение 220—500 кВ и их стоимость не превышает стоимости кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена той же мощности. Кроме того, надежность ЛГИ из-за практического отсутствия старения изоляции, по данным зарубежных компаний, существенно выше.

Также потери при использовании ЛГИ ниже, чем у кабелей или воздушных линий (удельное активное сопротивление 10 мОм/км, удельное индуктивное сопротивление 69 мОм/км). Диэлектрические потери незначительны, что помогает снизить эксплуатационные расходы. Тепловыделение лучше, чем у кабелей, благодаря большему внешнему диаметру.

Газоизолированные линии очень безопасны. Даже в случае нарушения внутренней изоляции, дуга останется внутри внешней оболочки. Не будет никаких внешних воздействий на людей или другие соседствующие объекты. Системы ЛГИ невоспламеняющиеся и пожаробезопасны. Результат – наилучшая защита как для людей, так и для окружающей среды.

И в заключение хотелось бы подчеркнуть, что ЛГИ имеют преимущества перед традиционными кабелями по пропускной способности (ток до 4500А), возможной предельной длине, уровню потерь электроэнергии, безопасности (в том числе и пожаробезопасности), совместимости с ЛЭП по системам автоматики и релейной защиты, возможностям вертикальной прокладки, уровню внешних электромагнитных полей, необходимости применения устройств компенсации реактивной мощности.

Литература

1. Н. Koch: “GIL – Gas insulated transmission lines”, Wiley, 2011.
2. D. Kunze: “Gas insulated transmission lines-underground power achieving a maximum of operational safety and reliability”, Jicable, 2007.
3. П. Руденко: «Линии с газовой изоляцией: технологии передачи электроэнергии следующего поколения», Электрические сети России, 2010.
4. Линии электропередачи с газовой изоляцией// Информ. Портал «Siemens». - Режим доступа: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/high-voltage/power-transmission-lines/gas-insulated-lines.html>

УДК 621.3

Устройство защиты от птиц антиприсадного типа "Торнадо"

Воробьев Г.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

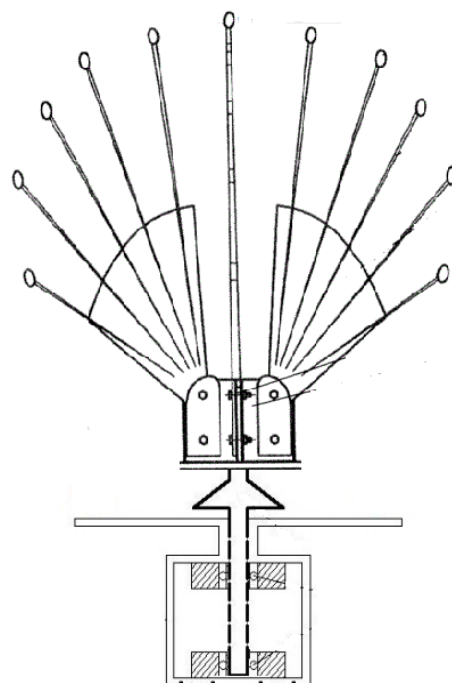
Известно устройство защиты птиц антиприсадного типа [1], содержащее основание, имеющее плоскую поверхность и выполненное с возможностью закрепления на элементе электротехнического оборудования, детали с крепежными пластинами, жестко закрепленные на основании со стороны плоской поверхности и ортогонально ей плоскостями крепежных пластин, веерообразные детали, каждая из которых изготовлена из диэлектрического полимерного материала или из диэлектрического композиционного материала на полимерной основе в виде крепежного элемента, подобного по форме сегменту круга, от которого в радиальных направлениях отходят несколько спиц с утолщениями на концах. Недостатком является неабсолютная защита электротехнического объекта связанная с привыканием птиц к защищаемому устройству из-за его статичности, в результате чего возобновляются проблемы на электрооборудовании и ЛЭП связанные с птицами.

Задачей заявляемого изобретения является улучшение эксплуатационных характеристик устройства, уменьшение возможности повреждения защищаемого объекта.

Технический результат достигается за счет того, что в прототип дополнительно устанавливается корпус с осью и подшипником, которые позволяют прототипу, под действием ветра вращаться вокруг оси, что в свою очередь обеспечивает более качественную защиту от птиц защищаемого объекта. Так же для уменьшения возможности повреждения этого устройства в его конструкцию дополнительно устанавливается колпачок, защищающий от попадания внутрь корпуса воды и снега.

Принцип действия устройства состоит в том, что веерообразные детали со спицами, закрепленные на оси, под действием потоков воздуха приходят в движение вокруг оси.

Рисунок 1 – Общий вид устройства

**Литература**

1. Авторское свидетельство СССР № 2579264 "устройство защиты птиц антиприсадного типа для электротехнического оборудования".
2. Федин В.Т. Основы инженерного творчества: Учеб. метод. пособие для студ. электроэнергет. спец./ В.Т. Федин.-Мн:БГПА, 2001.-50с.

УДК 621.315

Стойка линии опоры линии электропередач

Романович Д.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Известна стойка опоры линии электропередачи [1,2], выполненная в виде пространственной решетчатой конструкции, которая состоит, по меньшей мере, из одной из одной секции, содержащей пояса и решетки образующие ее грани. Секции собраны из сварных плоских ферм, при этом пояса соседних сварных плоских ферм в секции расположены по отношению к их решеткам таким образом, что образованный указанными поясами составной пояс секции имеет форму прямоугольной трубы.

Недостатком конструкции является сложность сборки и транспортировки стойки опоры ЛЭП.

Задачей заявленного изобретения является упрощение сборки и транспортировки опоры ЛЭП.

Стойка выполнена из жестких секций цилиндрической формы, уменьшающиеся в диаметре с увеличением высоты, за счет чего имеется возможность уменьшать габариты стойки опоры, при транспортировке цилиндрические секции складываются одна в одну (рисунок 1), крепление смежных секций происходит металлическими штифтами (рисунок 2).

Конструкция стойки и штифты выполнены из металла.

Технический результат достигается за счет того что в прототипе секции выполнены с цилиндрических стальных форм. При подъеме краном верхней секции до максимальной высоты стойки (рисунок 3), опора приобретает вид пирамиды. Выступы и заступы соседних секций соприкасаются, и их крепление происходит металлическими штифтами, что не дает конструкции вернуться в состояние транспортировки. Удобство в передвижении конструкции заключается в том, что стойка имеет незначительные габариты в сложенном состоянии.

Данная конструкция состоит из общедоступных и простых материалов. Доступность материалов дает возможность сооружения конструкций.

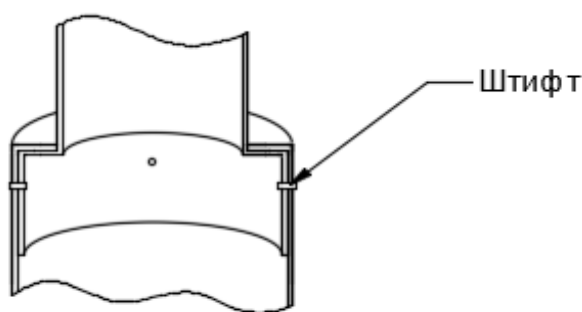


Рисунок 1 - Способ скрепления секции

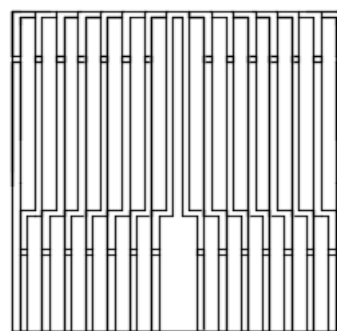


Рисунок 2 - Стойка опоры в состоянии транспортировки в разрезе

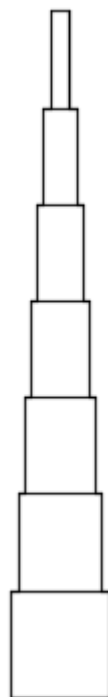


Рисунок 3 – Стойка опоры в возведенном состоянии

Литература

1. Авторское свидетельство №2330925. Стойка опоры ЛЭП.
2. Федин В.Т. Основы интеллектуального творчества учебное пособие для студентов Электроэнергетических специальностей /В.Т. Федин - МН: БГПА, 2001 - 50 с.

УДК 621.8

Распорка для проводов воздушной линии электропередачи

Горновская Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Известна распорка для проводов воздушной электропередачи, выполненная в виде плоского шарнирного многозвенного механизма.

К недостаткам этой распорки относится возможность резких соударений ограничителей при больших амплитудах колебаний проводов и как следствие низкая эксплуатационная надежность линии электропередачи.

Задачей изобретения является предотвращение образования гололедных отложений на воздушных линиях и повышение надежности сети.

Сущность изобретения заключается в создании конструкции распорки для проводов воздушных линий электропередачи, обеспечивающей эффективное предотвращение образования гололедных отложений на проводах линий за счет использования электромагнитного поля, протекающего по проводам тока, путем обеспечения взаимодействия данного поля с элементом распорки.

Технический результат заключается в том, что пружина 2 позволяет совершать колебания малой амплитуды (обусловлено жесткостью встраиваемой пружины) с частотой равной частоте переменного тока, протекающего по проводам, и как итог предотвращение образования гололедных отложений за счет постоянного смещения центра кристаллизации.

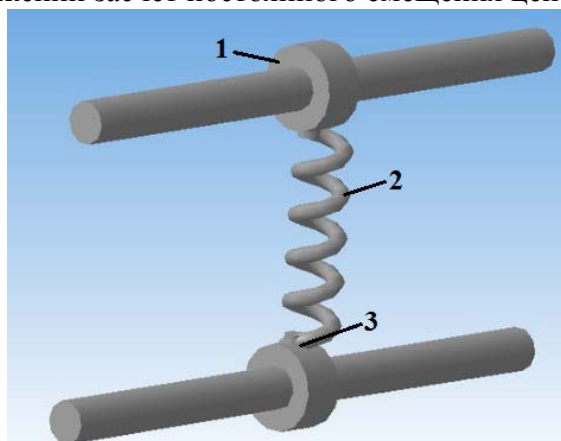


Рисунок 1 – Распорка для проводов воздушной линии электропередач

На рисунке 1 изображена схематично распорка для проводов воздушных линий электропередачи.

Предложенная распорка содержит три элемента:

- 1- Втулка;
- 2- Пружина;
- 3- Шарнирный механизм.

Литература

1. Авторское свидетельство 2504877 Н02G7/16 Распорка для проводов воздушных линий электропередачи. Д.М. Белый.
2. Авторское свидетельство 2091947 Н02G7/12 Распорка для проводов воздушных линий электропередачи. Д.М. Белый.

УДК 621.315.177

Устройство для отпугивания птиц

Скурат Д.А.

Научный руководитель – к.т.н, доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Изобретение относится к электроэнергетике, а именно к устройствам для отпугивания птиц, а также для защиты подвесных изоляторов от загрязнения продуктами жизнедеятельности птиц и самих птиц от поражения электрическим током на воздушных линиях 35-750 кВ.

Известно устройство для предотвращения посадки птиц на опоры ВЛ, содержащее грозозащитный трос, один конец которого запрессован во втулку, а другой конец расплетен в виде венчика.

К недостаткам данного устройства относится опасность для птиц из-за стремления ими сесть на устройство и возможности поранить крылья.

Наиболее близким техническим решением является устройство для исключения возможности посадки и гнездования птиц на траверсах опоры воздушной линии электропередач, содержащее антиприсадный элемент и стержень, прикрепленный к струбцине. Однако данное устройство обладает трудностью в связи с нанесением на каждой крышке контрастных рисунков, которые в точности будут напоминать хищника, а значит исключают возможность игнорирования птицей отпугивающих элементов [1].

Задачей изобретения является повышение эффективности воздействия устройства на птиц.

Устройство для отпугивания птиц, содержащее крышку из полимерного материала, выполненную в форме конуса, дно в виде обода, узел крепления в виде конструкции с подвижной трубкой, к основанию которой закреплен стержень, и неподвижной трубкой с микровыключателем. К подвижной части трубки прикреплена крышка.

Устройство работает следующим образом: при посадке птиц на крышку под весом птицы стержень нажимает на микровыключатель и издается звук.

Технический результат заключается в том, что имеется возможность создания звукового сигнала, а значит повышается эффективность воздействия на птиц.

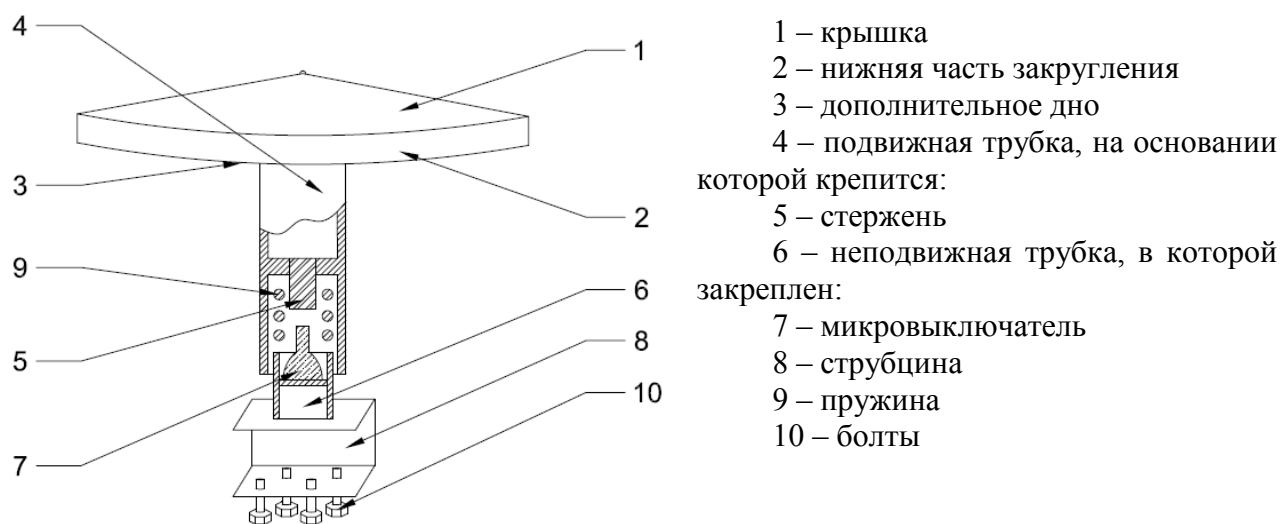


Рисунок 1 – Устройство для отпугивания птиц

Литература

1. Основы инженерного творчества: Учебно-методическое пособие для студентов электроэнергетических специальностей/В.Т. Федин. –Мн.: БНТУ, 2001.– 50 с.

УДК 621.3.049.61

Трансформатор трехфазный малогабаритный с повышенной защитой от грозовых импульсов

Креч А. С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Известен трехфазный малогабаритный трансформатор [1].

К недостаткам данного трансформатора относится низкая надежность ввиду возможного воздействия грозовых импульсов.

Задачей изобретения является повышение надежности работы трансформатора и повышении надежности электроснабжения потребителей электрической энергии.

На выводах высокого напряжения трехфазного малогабаритного трансформатора установлены роговые разрядники состоящие из двух частей, первая часть крепиться на верхней части вывода трансформатора, вторая – у основания вывода и соединена с заземленным корпусом трансформатора, при воздействии грозового импульса на выводы высокого напряжения воздушный промежуток рогового разрядника пробивается, что обеспечивает путь для протекания тока по контуру “корпус - земля” что в свою очередь приводит к снижению величины импульсного напряжения.

Технический результат заключается в повышении надежности работы трансформатора и повышении надежности электроснабжения потребителей электрической энергии.

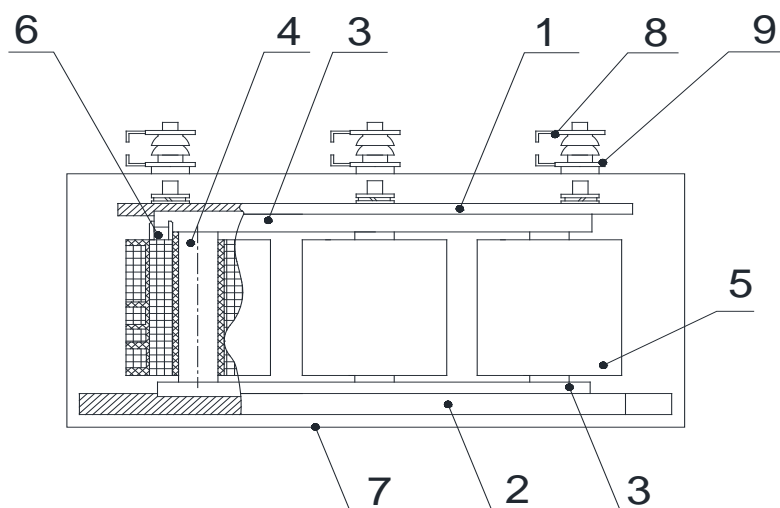


Рисунок 1 - Трансформатор трехфазный малогабаритный с повышенной защитой от грозовых импульсов

1,2 – верхний и нижний радиаторы; 3 – ярмо; 4 – стержень; 5 – катушечный блок; 6 - фиксирующие колодки; 7 – корпус; 8,9 – верхняя и нижняя часть рогового разрядника.

На рисунке 1 схематически показана структура и компоновка трансформатора трехфазного малогабаритного с повышенной защитой от грозовых импульсов с входящими в нее основными элементами 1-9.

Литература

1. Авторское свидетельство 123217 Н01F 30/12 Трансформатор трехфазный малогабаритный. В. Д. Кабанов, Н. Д. Копейкина, Е. Я. Денисенко, Н. Ю. Зенина, В. В. Груздева.

УДК 621.315.65

Секторное птицезащитное устройство для подвесного изолятора

Зайцев П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

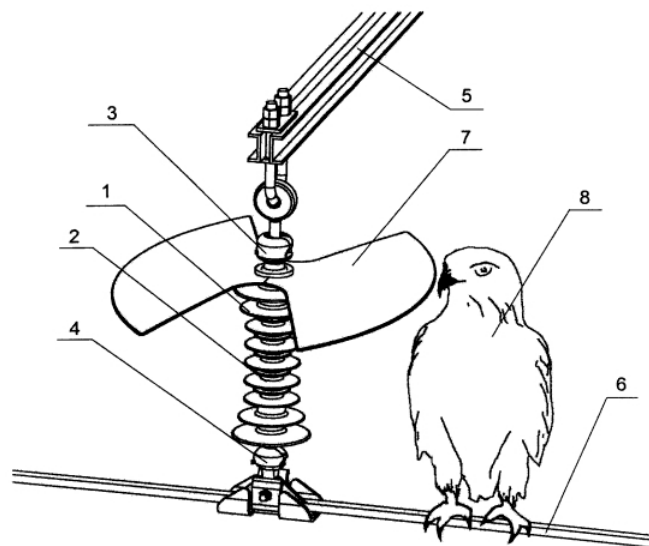
Известно устройство [1] для защиты линии электропередачи, имеющей в своем составе опоры с подвесными изоляторами, содержащими верхние и нижние оконцеватели, от электрического замыкания, между оконцевателями изоляторов и/или соединяемых с изолятором элементов электроустановок и/или прикрепляемых к изоляторам с помощью элементов крепления проводов птицами и/или продуктами их жизнедеятельности. Устройство представляет собой изготовленный из диэлектрика продолговатый кожух, выполненный с обеспечением размещения в нем части прикрепляемого к изолятору провода и/или, по меньшей мере, части элемента крепления провода к изолятору, причем кожух выполнен открытым снизу и содержит сверху в средней части отверстие, обеспечивающее возможность пропускания через него нижнего оконцевателя изолятора и/или, по меньшей мере, части элемента крепления провода к изолятору.

Недостаток данного устройства - громоздкость и большой расход материала.

Предлагается уменьшить габариты устройства и затраты материала изменив конструкцию устройства.

Устройство для защиты подвесного электрического изолятора имеет изоляционное тело и оконцеватели, выполнено с возможностью соединения с элементами электроустановок, из которых нижний имеет продолговатую форму, от электрического замыкания оконцевателей и/или соединяемых с изолятором элементов электроустановок птицами и/или продуктами их жизнедеятельности. Устройство выполнено из диэлектрика в виде юбки, выполненной из соединенных угловыми концами секторов и снабженной элементом крепления на изоляторе или соединяемом с верхним оконцевателем изолятора элементе электроустановки. Юбка также снабжена элементом фиксации ориентации юбки относительно изолятора. Изобретение благодаря увеличению расстояния по воздуху от заземленной части изолятора или электроустановки до места над токоведущей частью электроустановки, подвешенной с помощью изолятора, обеспечивает препятствие возможному короткому замыканию.

Рисунок 1 – Общий вид устройства

**Литература**

1. Патент RU 124035U1 Птицезащитное устройство для подвесного изолятора и изолятор, снабженный таким устройством.

УДК 621.3.049.61

Устройство управления освещением и температурой окружающей среды с помощью моторизованной оконной шторы.

Кирик Е. А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Известно устройство управления освещением [1].

Недостатком данного устройства является невозможность использования в жилых помещениях, контроля и удержания освещенности и температуры воздуха в помещении на нужном уровне.

Задачей изобретения является повышение уровня комфорта жилых помещений.

Цель достигается за счет дополнительного подключения датчиков внутренней освещенности и датчиков температуры воздуха в каждой комнате дома, блока даты и времени. Так же лампы дежурного освещения и дополнительного освещения, датчики движения и объёма заменяются моторизованными оконными шторами. Причем дополнительные датчики внутренней освещенности, датчики температуры воздуха соединены напрямую с контроллером, а моторизованные шторы подключены к инвертору, контроллер настроен на управляющий сигнал пользователя.

Датчики освещенности и температуры воздуха отправляют сигналы на контроллер, откуда сигнал через инвертор поступает прямо на моторизованные шторы. В зависимости от полученной информации контроллер отправляет сигнал на поднятие или закрытие штор для поддержания нужного уровня освещенности и температуры воздуха днем и приватности ночью. Блок даты и времени предназначен для того, чтобы процесс регулирования освещенности и температура начинался в определенное время, установленное пользователем, а не с восходом солнца. Так же, если необходимо выключить систему или изменить положение штор вне зависимости от показателей датчиков, контроллер настроен на входной управляющий сигнал пользователя.

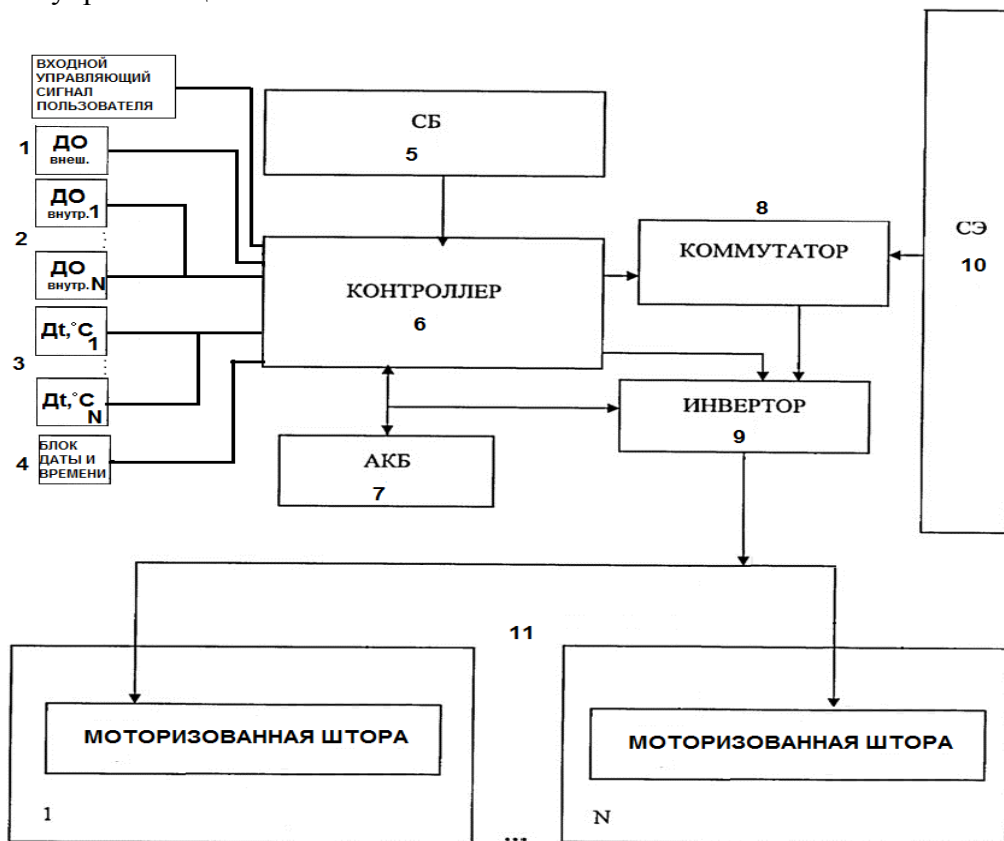


Рисунок 1 – Устройство управления освещением и температурой окружающей среды с помощью моторизованной оконной шторы

- 1 – внешний датчик освещенности;
- 2 – внутренние датчики освещенности;
- 3 – датчики температуры окружающей среду;
- 4 – блок даты и времени;
- 5 – солнечная батарея;
- 6 – контроллер;
- 7 – аккумуляторная батарея;
- 8 – коммутатор;
- 9 – инвертор;
- 10 – сеть электропитания;
- 11 – моторизованные шторы.

Причем выход солнечной батареи соединен с первым входом контроллера, выход внешнего датчика освещенности соединен со вторым входом контроллера, выходы внутренних датчиков освещенности соединены с третьим входом контроллера, датчики температуры воздуха соединены с четвертым входом контроллера, блок даты и времени соединен с пятым входом контроллера, вход/выход аккумуляторной батареи соединен с первым выходом/входом контроллера и первым входом инвертора, второй выход контроллера соединен со вторым входом инвертора, первый выход инвертора соединен в каждой комнате с входом моторизованной шторы, выход всех штор соединены со вторым выходом инвертора, третий вход инвертора соединен с выходом коммутатора, первый вход которого соединен с первым выходом контроллера, а второй вход коммутатора соединен с сетью электропитания.

Технический результат заключается в повышении уровня комфорта жилых помещений.

Литература

1. А.С. 2394401 Н05В37/02 Трансформатор трехфазный малогабаритный”. Н. В. Малютин, Ю. Л. Булкин, С. А. Ткачев.

УДК 621

Анализ возможности выравнивания графика нагрузки Белорусской энергосистемы за счет внедрения электрического обогрева частных домов

Болтуть Н.С.

Научный руководитель – ПОПКОВА Н.А.

С вводом Белорусской АЭС в состав энергетической системы, встаёт вопрос регулирования графика потребления электроэнергии. На рисунке 1 показаны максимумы потребления ОЭС Беларуси в 2015-2018 гг [1]. Как видно из графика, разница между максимальным и минимальным потреблением составляет в среднем 2000 МВт, что требует от оперативного персонала постоянного контроля за составом и режимом работой электрооборудования.

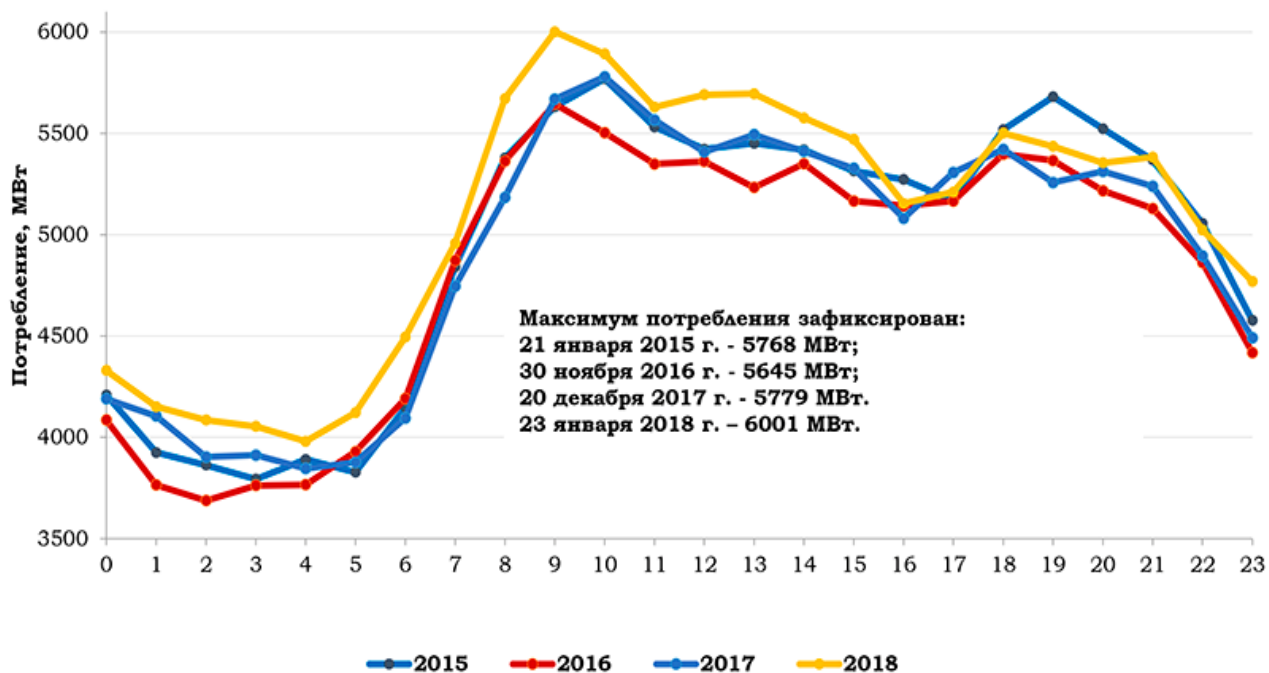


Рисунок 1 – Максимум потребления ОЭС Беларуси в 2015-2018 гг

В течении нескольких десятилетий в мире широко применяется практика экономической заинтересованности потребителей электроэнергии в выравнивании графика нагрузки. Суть использования экономических мер связан с введением в отношении между энергосистемой и потребителями эффективной системы дифференцированных по времени суток и дням недели тарифов на электроэнергию - почасовых тарифов, наибольший тариф устанавливается в периоды пикового потребления, минимальный – в период ночного минимума (в перспективе, подобные тарифы могут дрейфовать). Подобная тарифная политика становится для потребителя в длительной перспективе дополнительным условием его образа жизни, к которому он адаптируется самостоятельно и независимо от энергосистемы, решая сколько и когда ему приобретать электроэнергию.

Предположим, что подобная ценовая политика устанавливается в Республике Беларусь. Рассмотрим экономический эффект перевода частных домов с газовым отоплением на электрическое, с условием, что потребителю созданы все условия для перехода к подобной системе теплоснабжения (сниженная стоимость аккумуляторов и теплового оборудования, счетчики нового поколения, наличия разрешения и возможности подключения к сети).

Рассмотрим затраты на отопление электрическим котлом для рассматриваемого случая. Оптимальное распределение работы системы отопления выглядит следующим образом: от 60% до 80% — ночное функционирование; от 20% до 40% — дневное. Такая схема актуальна в том случае, если в доме днем не находятся жильцы. Время работы системы 16

часов в сутки, что вполне достаточно для поддержания комфортной температуры. Рассмотрим котел с тепловой мощностью 16 кВт и фактической потребляемой 16,7 кВт. Этот показатель напрямую зависит от КПД. Количество домов в Республике, которые в настоящее время отапливаются природным газом составляет примерно 670 тысяч [2]. Принимаем площадь $S_{кв}$ равной 150 м^2 , это средняя площадь частного дома, длительность отопительного сезона принимаем равной 7 месяцев.

Тогда ориентировочное энергопотребление на электрическое отопление для рассчитанного дома будут составлять:

$$P_{\text{пот.сумм}} = P_{\text{пот}} \cdot T = 16,7 \cdot 16 = 267,2 \text{ кВт/сутки} \quad (1)$$

Если хотя бы 2% домов перейдет на электрическое отопление, то в ночные минимумы энергосистема дополнительно получит потребление, равное:

$$P_{\text{пот.сумм}} = P_{\text{пот}} \cdot N \cdot 0,2 = 16,7 \cdot 670000 \cdot 0,02 = 223,8 \text{ МВт} \quad (2)$$

Таким образом при переводе населения на электрическое отопление, белорусская энергосистема способна выровнять графики нагрузки в ночное время.

Для выполнения данной процедуры необходимо:

1. Создать стимулирующие условия для населения для покупки и эксплуатации подобного оборудования.
2. Реализовать гибкую систему многоставочных тарифов, которая будет отвечать требованиям энергосистемы и подстраиваться под реальный график нагрузки.
3. Подготовить электрическую систему для передачи большей мощности (замена ЛЭП, модернизация РП и ТП, расчет режимов сети).

Литература

1. Сайт РУП “ОДУ”. – Режим доступа: <http://odu.by/deyatelnost/osnovnyepokazateli-raboty/> – Дата доступа: 02.11.2019.
2. Сайт ГПО “Белтопгаз”. – Режим доступа: <http://www.topgas.by/> – Дата доступа: 02.11.2019.
3. Ярошко В.М., Никишова М.В., Муляр Е.В. Задача оптимального распределения суточной нагрузки электропотребителя // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. 2004. №06. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadacha-optimalnogo-raspredeleniya-sutochnoy-nagruzki-elektropotrebatelya> – Дата доступа: 02.11.2019.

УДК 621.316.7

Контроллер распределения потока мощности

Окуленко А.Р., Жаров Д.Н., Реут С.В., Кабачевский А.О.
Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Система, называемая контроллером распределения потока мощности (DPFC), состоит из нескольких последовательных преобразователей малой мощности и одного шунтирующего преобразователя большой мощности без общей связи по постоянному току. Обмен энергией между шунтирующей и последовательной частями осуществляется через существующую линию передачи на частоте гармоника. Это решение позволяет DPFC полностью контролировать все параметры энергосистемы, а также снижает стоимость и одновременно повышает надежность устройства.

Распределенное устройство FACTS (D-FACTS) – это концепция использования нескольких преобразователей малой мощности, подключенных к линии передачи с помощью однообмоточных трансформаторов. Эта концепция дает ряд преимуществ по сравнению с обычными устройствами FACTS, такие как более низкая стоимость.

Устройства FACTS, особенно UPFC, обеспечивают быстрый и плавный контроль параметров энергосистемы. Однако по соображениям стоимости и надежности их применение ограничено.

DPFC использует несколько устройств D-FACTS последовательно с линией передачи и один обычный управляемый шунтирующий преобразователь напряжения для обеспечения активной мощности для каждого устройства D-FACTS.

Распределенные преобразователи расположены вдоль линии передачи. Для подачи активной мощности на все последовательные преобразователи общая линия должна иметь ту же длину, что и линия передачи, что слишком дорого, а иногда даже невозможно.

DPFC подключен к линии электропередачи с Y-Δ-трансформаторами на каждом конце, нейтральные точки которых являются плавающими. Однофазные преобразователи подключены к линии. Они могут вводить относительно небольшое напряжение на основной частоте. Требуемая активная мощность, которая необходима последовательным преобразователям поставляется шунтирующим преобразователем и передается по линии на частоте 3-й гармоники. Линия передачи передает ток как на основной частоте, так и на частоте третьей гармоники.

С концептуальной точки зрения каждый преобразователь может быть заменен на управляемый источник напряжения последовательно с полным сопротивлением. Каждый преобразователь генерирует напряжение на 2 разных частотах, каждый преобразователь может быть представлен двумя последовательно соединенными управляемыми источниками напряжения, один на основной частоте, а другой на частоте 3-й гармоники. Суммарная активная мощность, генерируемая двухчастотным источником напряжения, будет равна нулю, если преобразователь не имеет потерь.

Литература

1. Song, Yong Hua; Johns, Allan T.: Flexible ac transmission systems(FACTS), London, Institution of Electrical Engineers, 1999.
2. Gyugyi, L.: Unified power-flow control concept for flexible AC transmission systems, Generation, Transmission and Distribution [see also IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution], IEE Proceedings C, 1992.
3. Deepak Divan: A distributed static series compensator system for realizing active power flow control on existing power lines, Power Systems Conference and Exposition, 2004

УДК 621.316.1

Безтрансформаторный трёхфазный трёхпроводный шунтирующий фильтр активной мощности с ИБП и стадия накопления энергии аккумулятора

Флерко М. В.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

В этой работе представлен безтрансформаторный 3Ф3П ШАМФ (трехфазный трехпроводный шунтирующий фильтр активной мощности) включаемый в распределенную энергетическую сеть, который дополнен линейно-интерактивный двунаправленный ИБП (источник бесперебойного питания) для накопления энергии, полученной от ВГС (высшие гармонические составляющие) с помощью полупроводников. Предлагаемая система работает в двух режимах работы:

1. Нормальный режим работы. Ток основного источника питания заряжает резервную батарею, питаемую от полупроводников, и всё это поступает в оборудование для накопления энергии, в дополнение к функции АМФ (фильтр активной мощности)

2. Когда основной источник питания отключен. Устройство работает в качестве резервного источника питания для нагрузки. Осуществимость этого для распределенной энергетической сети улучшенная, т.к. нету необходимости в трансформаторах и компоненты рассчитаны на меньшие свойства, что обеспечивает более тонкую работу.

ПИ (пропорциональный интеграл) контроллера обеспечивает регулируемое синусоидальное напряжение с единичным коэффициентом мощности, низким ПГИ (полное гармоническое искажение) в распределенную энергетическую сеть. Для правильного хранения энергии аккумуляторов используется каскад, фильтрация активной мощности и работа ИБП, метод ССО (синхронная система отсчета) с ФАП (фазовая автоподстройка) Результат испытания опытной системы 5 кВт, испытанной в симуляции и лаборатории подтверждает заявленные характеристики в распределительной силовой энергетической сети.

Обусловленность использования: Так как в ЭС увеличивается нелинейная нагрузка, то появляются ВГС которые в конечном счёте отрицательно влияет на производительность и низкому постоянному напряжению на выходе ИБП. Гибридный фильтр мощности комбинирует пассивные и активные фильтр для компенсации этих гармоник.

Смысл данной установки чтобы в энергосистему интегрировать помимо ИБП и настройки на гармоническую и реактивную компенсацию мощности, но ни один не был интегрирован с ШАМФ.

На рисунке 1 представлена конфигурация такой линии, более подробная схема на рисунке 2.

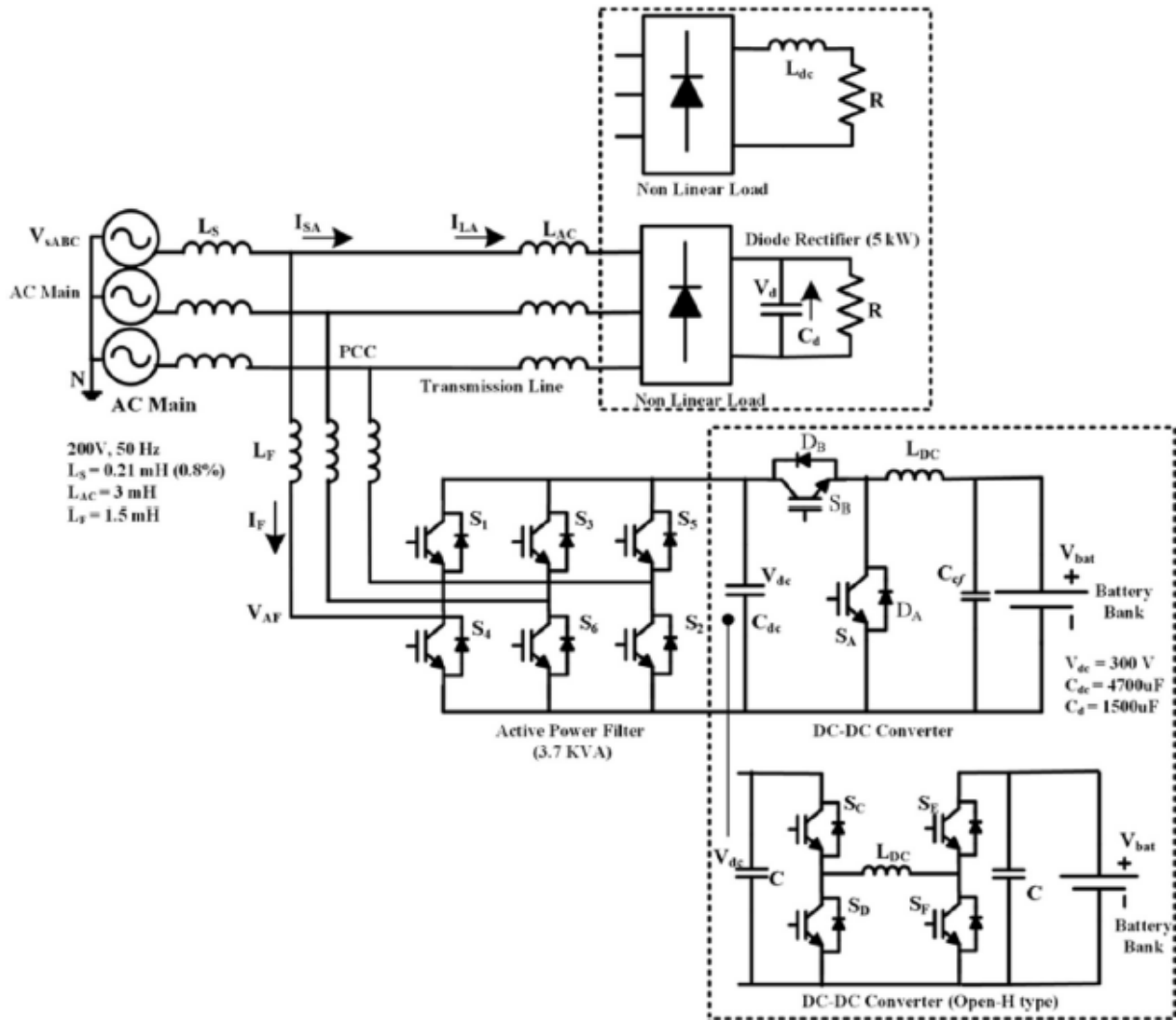


Рисунок 1 – Собранный прототип на 5 кВ

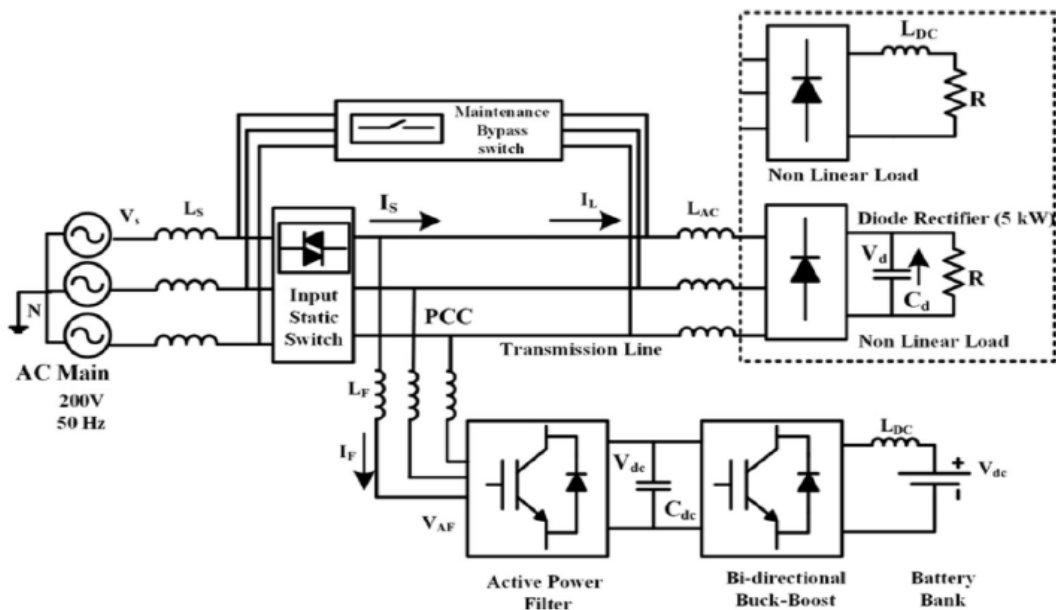


Рисунок 2 – Подробная экспериментальная схема.

Согласно рисунку 2, схема состоит из нелинейной выпрямительной нагрузки мощностью 5 кВт и 200 В. Параллельно нагрузке через точку РСС включается фильтр активной мощности (то есть за него проходят лишь ВГС) DC/AC инвертор, а далее двунаправленный DC/DC преобразователь, питающий/питающийся из батареи постоянного тока.

Моделирование в MATLAB следующих функций:

- 1) Устранение ВГС
- 2) Компенсация реактивной мощности
- 3) Накопление ЭЭ в нормальном режиме
- 4) Исполнение роли ИБП в аварийном.

Результаты модуляции:

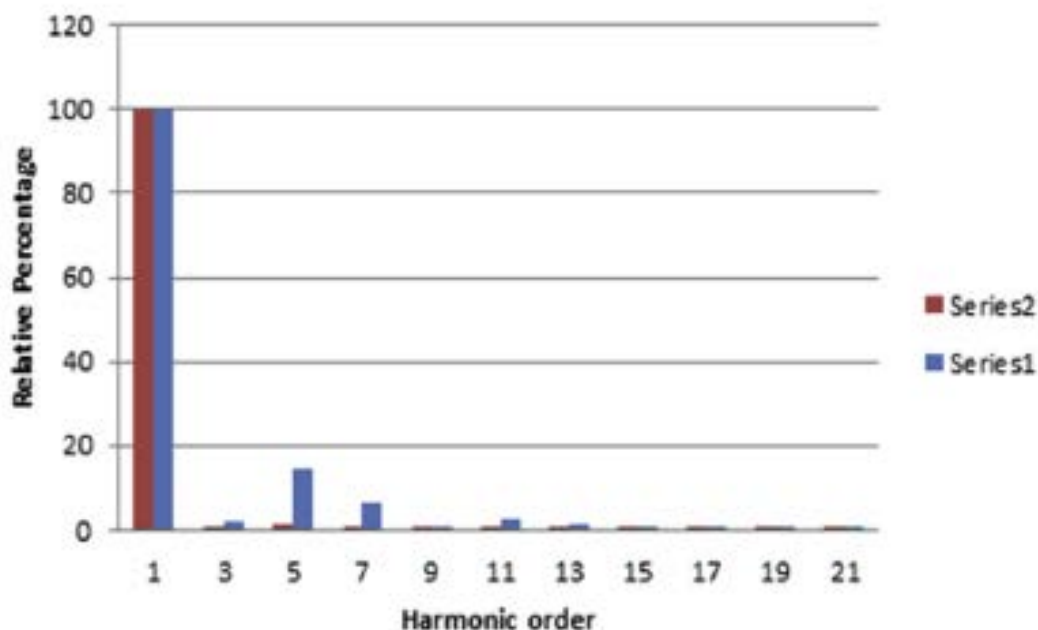


Рисунок 3 – Содержание гармоник согласно их номерам до (синий цвет) и после (красный цвет) компенсации ВГС.

Напряжение на нагрузке увеличилось на 4%.

Данных о продолжительности питания нагрузки в аварийных режимах, как ИБП не найдено.

Литература

1. Lee W-C, Lee T-K, Hyun D-S. A three-phase parallel active powerfilter operating with PCC voltage compensation with consideration for an unbalanced load. Power Electron IEEE Trans 2002;17:807e14.
2. Khadem S. K. Basu M, Conlon M F. Harmonic power compensation capacity of shunt active powerfilter and its relationship with design parameters. Power Electron IET 2014;7:418e30

УДК 621.316.1

**Алгоритм подбора сопротивления заземления
в вертикально-слоистых моделях грунта**

Морозова А.Э., Рыжков Н.С., Дроздовская Е.В., Гедройть В.В., Мурачёв К.А.
Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

Введение. Однородная почва – это только идеальный случай, который практически не возможен. Некоторые авторы разработали модели неоднородного грунта и на основе модифицирования формулы Шварца предложили теоретическую формулу сопротивления заземления для двухслойных моделей почвы, чтобы быстро рассчитать сопротивление заземления заземляющего тела в многослойных моделях грунта.

Методы расчета силового заземляющего сопротивления.

Для традиционного алгоритма расчета сопротивления заземления при проектировании ЛЭП используются формулы, рекомендуемые в различных стандартах для расчета сопротивления заземления простых заземляющих элементов. Рисунок 1 показывает комплексное заземляющее устройство, состоящее из заземляющих колец и горизонтальных лучей.

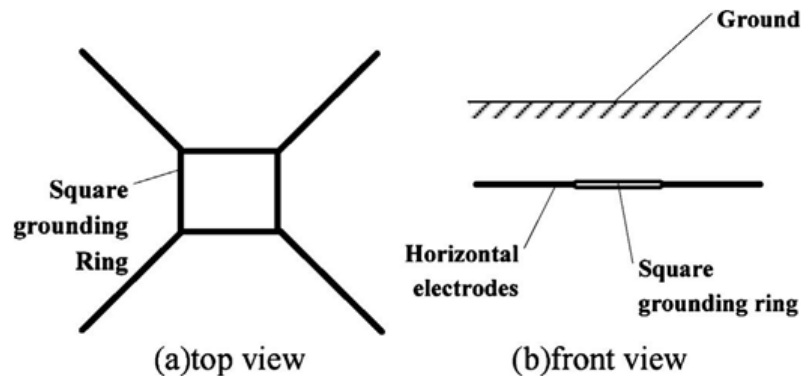


Рисунок 1 – Устройство заземления башни

Метод удельного сопротивления.

Потенциальные уравнения каждого заземления можно получить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \varphi_1 &= R_{11}I_1 + R_{12}I_2 + \dots + R_{1n}I_n & \varphi_1 &= \varphi_2 = \dots = \varphi_n = \varphi \\
 \varphi_2 &= R_{21}I_1 + R_{22}I_2 + \dots + R_{2n}I_n & I_1 &= I_2 = \dots = I_n = I \\
 \dots & & R_{ij} &= R_{ji} \\
 \varphi_n &= R_{n1}I_1 + R_{n2}I_2 + \dots + R_{nn}I_n
 \end{aligned}$$

Алгоритм, основанный на функциях Грина

Чтобы точно рассчитать сопротивление заземления, заземляющий электрод делится на n бесконечно малых элементов. Для этого используются формулы вида:

$$L = \sum_{j=1}^n L_j \quad V_P = \iint_S G(P, Q) J(Q) dS \quad V_P = \sum_{j=1}^n G(P, O_j) I_j$$

$$I = \sum_{j=1}^n I_j \quad V_P = \sum_{j=1}^n R_{ij} I_j$$

Требуется много времени для расчета сопротивления заземления с использованием функций Грина; эти функции могут быть довольно сложным в плоско-слоистых модельных песках, даже больше чем в многомерных моделях сложных грунтов.

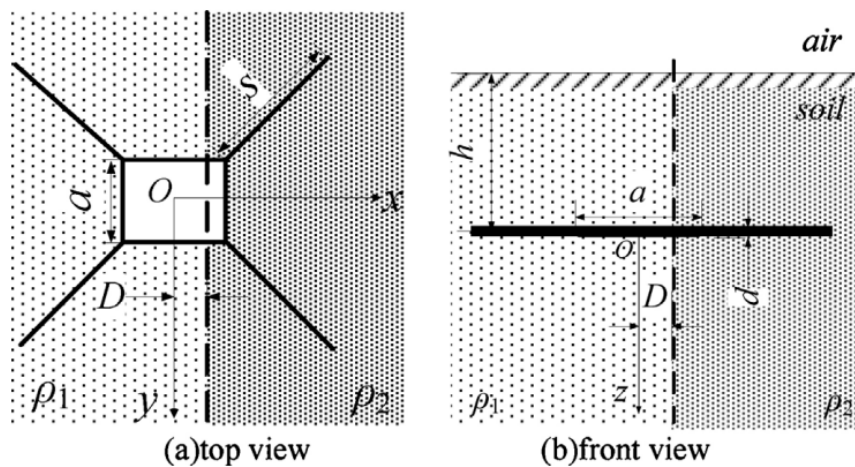


Рисунок 2 – Слоистая структура почвы и структура устройства заземления башни

Почва делится на два вертикальных слоя. Заземляющее устройство погружено в один слой на глубине h , местоположение границы раздела грунтов обозначено штриховой линией, а D - расстояние линии до геометрического центра заземляющего устройства от границы раздела между двумя слоями грунта.

Кривая подбора сопротивления заземления в вертикально-слоистом грунте.

Если задать X как абсциссу, а Y как ординату значения различного удельного сопротивления грунтовых слоев (кривая X - Y) будет построена, как показано на рисунке 3

l = 100 m		l = 200 m		l = 300 m		l = 400 m	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1.3154	1.5	1.1780	1.33	1.1185	1.25	1.0875
3	1.4880	2	1.3141	1.67	1.2272	1.5	1.1781
4	1.5952	2.5	1.4124	2	1.3122	1.75	1.2522
5	1.6607	3	1.4866	2.33	1.3814	2	1.3142
6	1.7142	3.5	1.5432	2.67	1.4367	2.25	1.3664
7	1.7521	4	1.5905	3	1.4841	2.5	1.4124
8	1.7797	4.5	1.6291	3.33	1.5237	-	-
9	1.8035	5	1.6587	-	-	-	-
10	1.8214	-	-	-	-	-	-

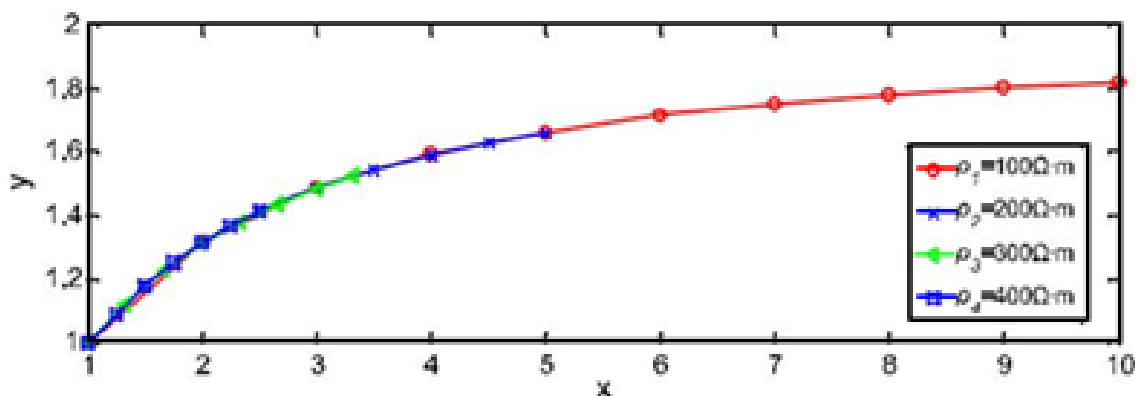


Рисунок 3 – Значения различного удельного сопротивления грунтовых слоев

Коэффициенты этих трех функций рассчитываются методом наименьших квадратов. Используя эти функции, кривая строится, как показано на рисунке 4.

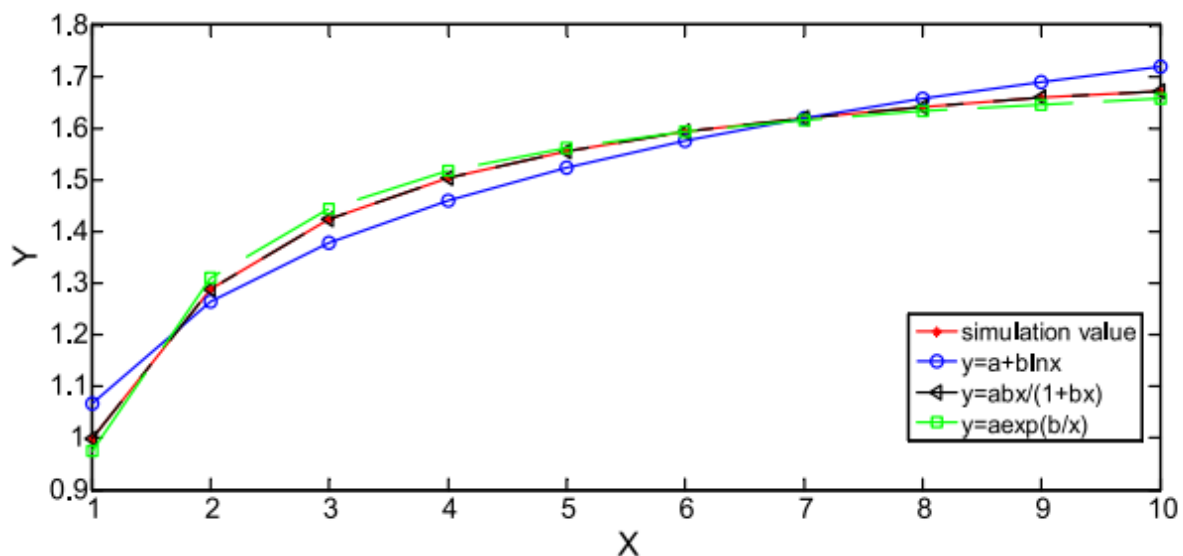


Рисунок 4 – Сравнение между тремя видами кривой соответствия функции и кривая истинного значения

Таблица 1 – Коэффициенты для трех подходящих функций.

Функция подгонки	a	b
Гиперболическая функция $y = \frac{abx}{1 + bx}$	1.8072	1.2380
Экспоненциальная функция $y = ae^{b/x}$	1.7577	-0.5892
Логарифмическая функция $y = a + b \ln x$	1.0676	0.2833

Заключение

1) По сравнению с другими алгоритмами точность подбора алгоритма достигает 99% при точных значениях R_{∞} и R_1 , или 90% при R_{∞} и R_1 , рассчитанных по эмпирической формуле.

2) Расчет сопротивления заземления башни в модели многослойного грунта с использованием предложенной формулы подгонки позволяет избежать моделирования сложного грунта и расчета комплексной интеграции в точных алгоритмах. Метод быстрый, точный на техническом уровне и простой в использовании.

3) Полученная формула подгонки подходит для расчета обычного кругового заземляющего устройства с горизонтальными лучами в вертикально-слоистом двухслойном грунте для инженерных практик.

Литература

1. IEEE Standard 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE, Inc., New York, 2000.
2. Nahman, J. Salamon, D. Analytical expression for the resistance of Rodbeds and of combined groundings systems in nonuniform soil, IEEE Trans. Power Deliv. 1 (3) (1986) 90–96.

УДК 621.316.1

Управление реактивной мощностью в децентрализованной гибридной энергосистеме с применением СТАТКОМ (статический синхронный компенсатор) методами GA, ANN и ANFIS.

Бондарева А.С., Голета Д.А.

Научный руководитель – ст. препод. СЕКАЦКИЙ Д.А.

В этой работе исследуется эффективность СТАТКОМ для управления напряжением и реактивной мощностью путем сравнения различных методов настройки, используемых для оценки параметров усиления контроллера СТАТКОМ при наличии высокой вероятностной неопределенности в потреблении входной энергии ветра и нагрузки реактивной мощности. Чтобы контролировать кратковременный отклик напряжения, СТАТКОМ управляет потребностью в реактивной мощности. Обычные способы настройки параметров усиления контроллера СТАТКОМ не работают удовлетворительно в случае случайных помех, и поэтому требуются усовершенствованные контроллеры, такие как генетический алгоритм (Genetic Algorithm – GA), искусственная нейронная сеть (Artificial Neural Network – ANN) и адаптивная система нечеткого вывода (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System – ANFIS). Основным вкладом работы является: исследование характеристик СТАТКОМ при наличии высокой вероятностной неопределенности со скачкообразными изменениями входной мощности ветра и нагрузки реактивной мощности, исследования системы во время динамических условий с использованием модели составной нагрузки вместо статической модели нагрузки в системе, сравнение контроля напряжения и реактивной мощности СТАТКОМ с использованием различных методов настройки. Сравнение результатов по всем методам настройки показывает, что усовершенствованные методы настройки способны сохранять оптимальные характеристики в широком диапазоне возмущений с использованием критерия Интеграла квадрата ошибок (ISE).

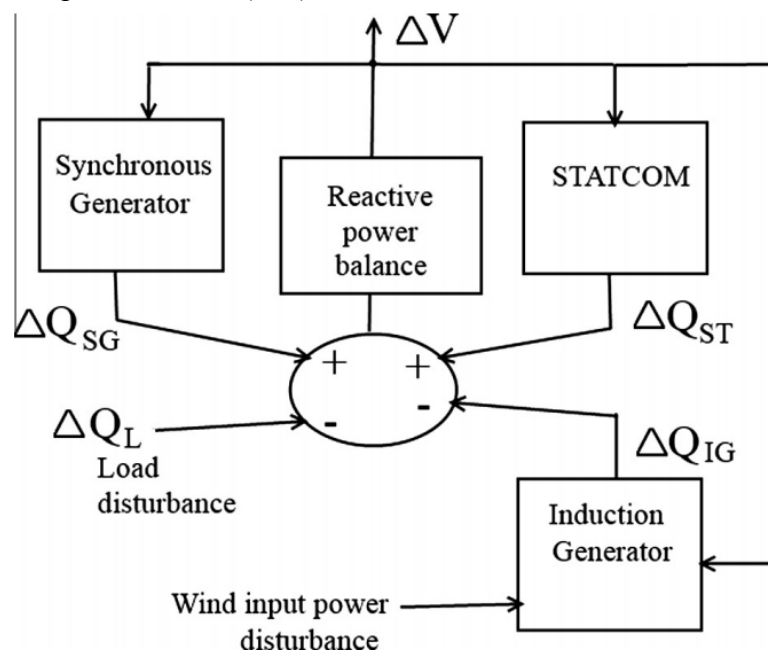


Рисунок 1 – Диаграмма баланса реактивной мощности с компенсацией СТАТКОМ.

Модель MATLAB Simulink была разработана для децентрализованной энергосистемы, показанной на рис. 1. В линеаризованной передаточной функции моделируется и реализуется каждый компонент. Системный контроль анализируется на наличие вероятностных нарушений в обоих входах. Чтобы регулировать отклик напряжения, компенсатор реактивной мощности должен генерировать дополнительную реактивную мощность в системе. Действие СТАТКОМ по выработке реактивной мощности зависит от угла, который контролируется путем настройки коэффициентов усиления КП и КІ. Рис. 2 и 3 дают

графическое представление о диапазоне и оптимальном значении K_P и K_I , полученных обычным методом

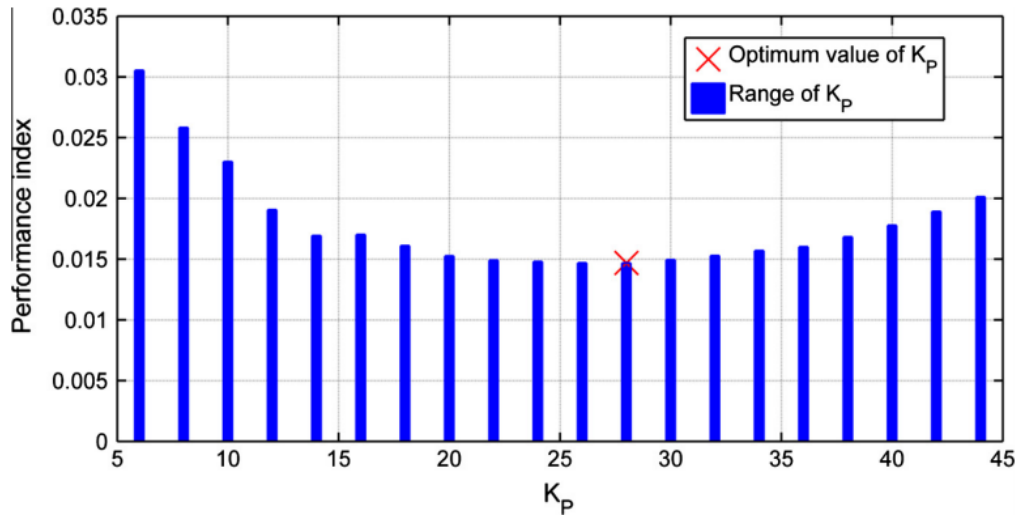


Рисунок 2 – Выбор КП с использованием обычного метода с 10% помех.

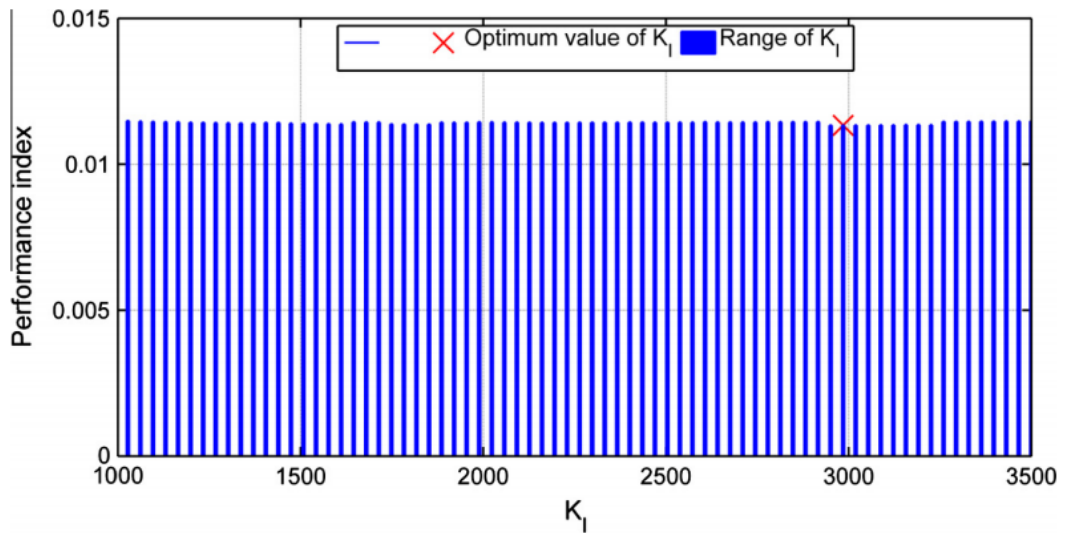


Рисунок 3 – Выбор КИ с использованием обычного метода с 10% возмущений.

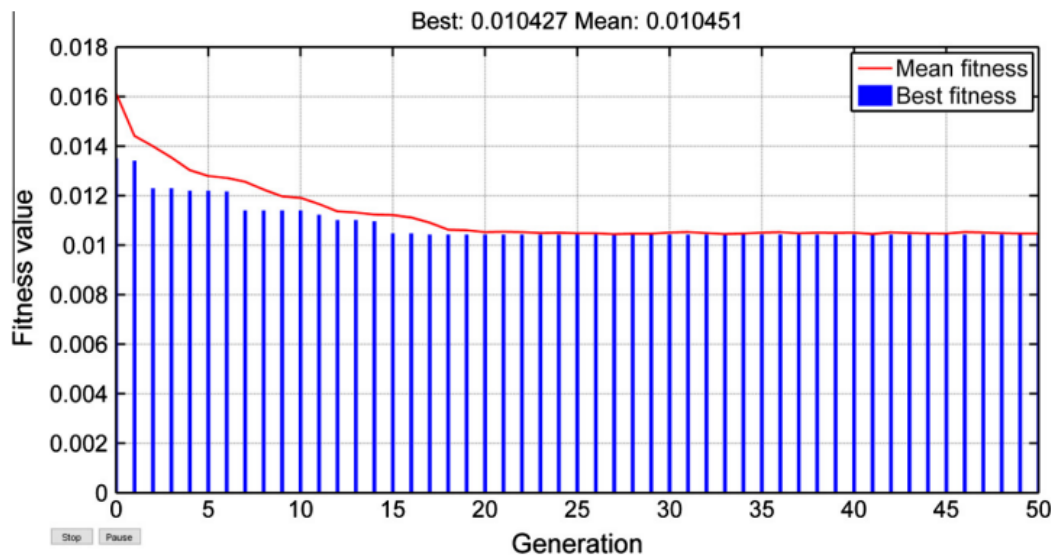


Рисунок 4 – Кривая сходимости для метода GA с 10% возмущений.

В этой работе представлена процедура настройки для констант усиления STATCOM КП и КІ с использованием методов GA, ANN и ANFIS. Важность использования методов предварительной настройки анализируется на наличие вероятностных нарушений в нагрузке и изменение входной мощности. Смешанная нагрузка, включающая статическую и динамическую нагрузки, используется для изучения системы вместо статической модели нагрузки. Константы усиления оцениваются с использованием минимизации индекса производительности, использования критерия ISE во всех четырех изученных методах. Параметры, полученные с помощью традиционного метода, используются для расчета параметров GA, а затем параметры ANN и ANFIS оцениваются с использованием результатов, полученных с помощью традиционного метода. Результаты показывают производительность при использовании каждого метода настройки и преимущества GA, ANN и ANFIS методов при возникновении больших возмущений.

Таблица 1 – Константы усиления контроллера в STATCOM для различных методов настройки.

S. No.	1% disturbances		5% disturbances		10% disturbances	
	K_p	K_i	K_p	K_i	K_p	K_i
Conventional method	28	1611	24	2676	28	2985
GA	4.1	4500	6.4	2320	6.82	2093
ANN	8.9	3145	16.8	2121	15.25	2106
ANFIS	12.1	3160	17.1	2060	15.4	2120

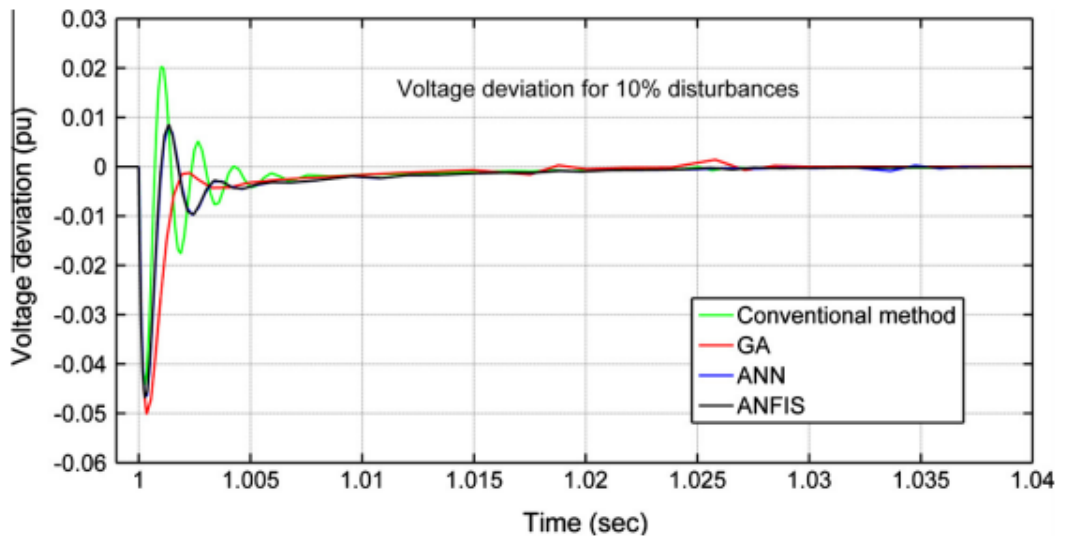


Рисунок 4 – Изменение напряжения в системе при 10% возмущениях

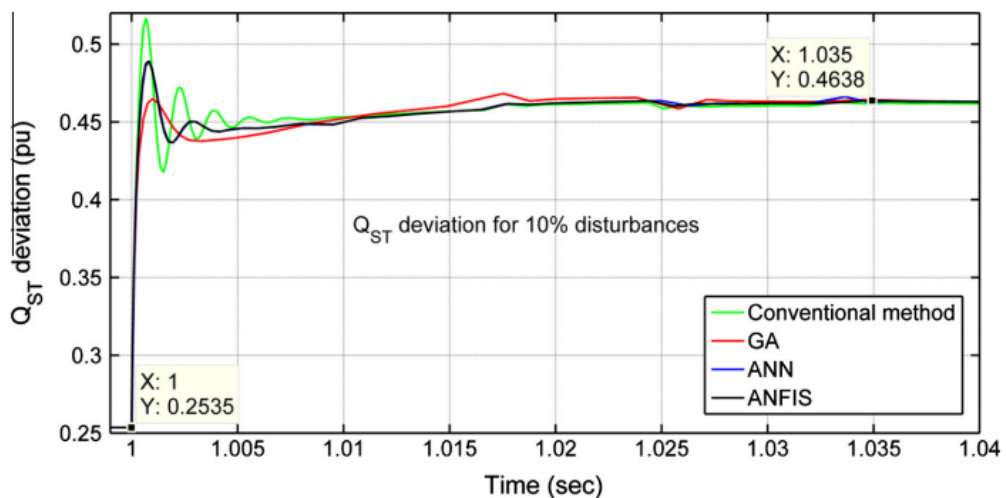


Рисунок 5 – Изменение реактивной мощности STATCOM в системе при 10% возмущениях

Таблица 2 – Генерация реактивной мощности STATCOM с различными помехами.

STATCOM reactive power value	For 1% disturbances (pu)	For 5% disturbances (pu)	For 10% disturbances (pu)
Before disturbances	0.2535	0.2535	0.2535
After disturbances	0.2739	0.3555	0.4638
For mitigating disturbances	0.0204	0.102	0.2103

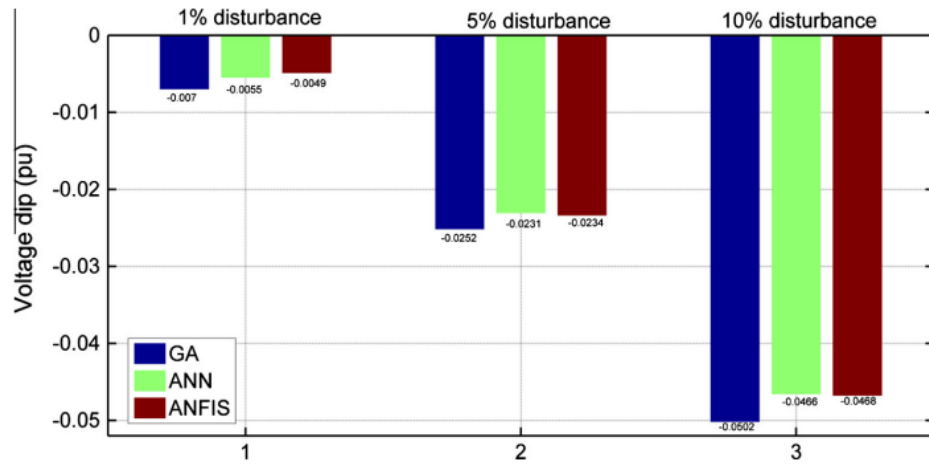


Рисунок 6 – Сравнительное исследование провала напряжения при различных возмущениях

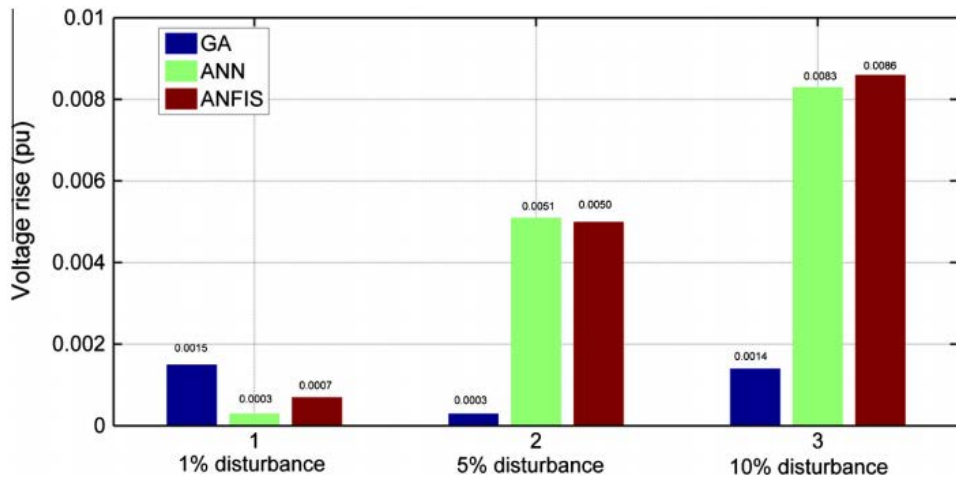


Рисунок 7 – Сравнительное исследование повышения напряжения при различных возмущениях

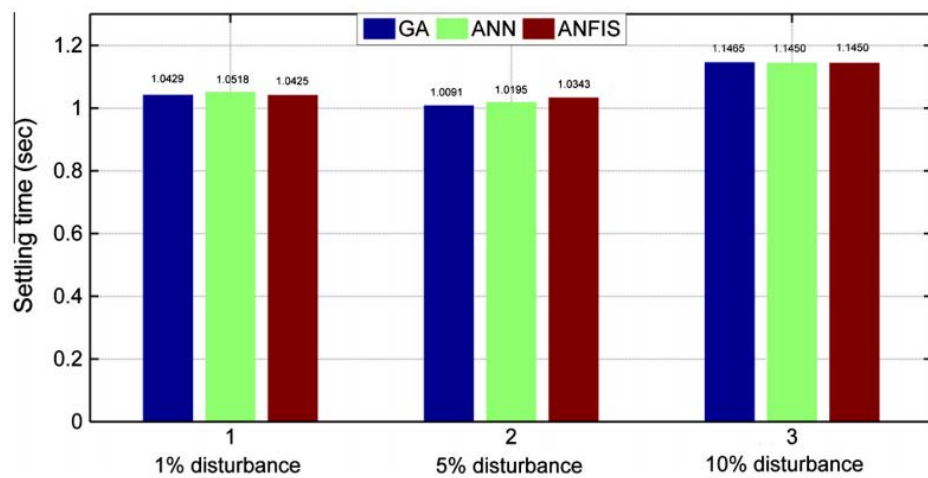


Рисунок 8 – Сравнительное исследование времени установления напряжения при различных возмущениях.

Литература

1. Tao M, Hongxing Yang, Lin Lu. Study on stand-alone power supply options for an isolated community. *Electric Power Energy System* 2015;65:1–1
2. Bansal RC, Bhatti TS, Kothari DP. A novel mathematical modelling of induction generator for reactive power control of isolated hybrid power systems. *Int J Model Simul* 2004;24(1):1–7

УДК621.3

Методы определения места повреждения кабелей

Бондарева А.С.

Научный руководитель – ст. препод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Помимо различного вида замыканий, среди самых частых причин повреждений кабелей можно назвать следующие: старение или окончание расчётного срока эксплуатации, перенапряжения, тепловая перегрузка, коррозия, неквалифицированная прокладка кабеля, дефекты производства, а также дефекты, возникающие при транспортировке и хранении.

Методика поиска повреждений кабеля предполагает следующий логический порядок выполнения действий в четыре этапа:

1. Анализ повреждения;
2. Предварительная локализация места повреждения;
3. Идентификация кабелей;
4. Точная локализация места повреждения.

Рассмотрим основные методы определения мест повреждения:

1. Метод импульсного тока:

При использовании метода импульсного тока в кабель подается импульс напряжения, чтобы в месте повреждения спровоцировать пробой. Этот пробой приводит к возникновению переходной волны, которая несколько раз проходит между местом повреждения и концом кабеля. При этом в каждой точке отражения она меняет свою полярность, поскольку в обоих случаях речь идет о низкоомных соединениях.

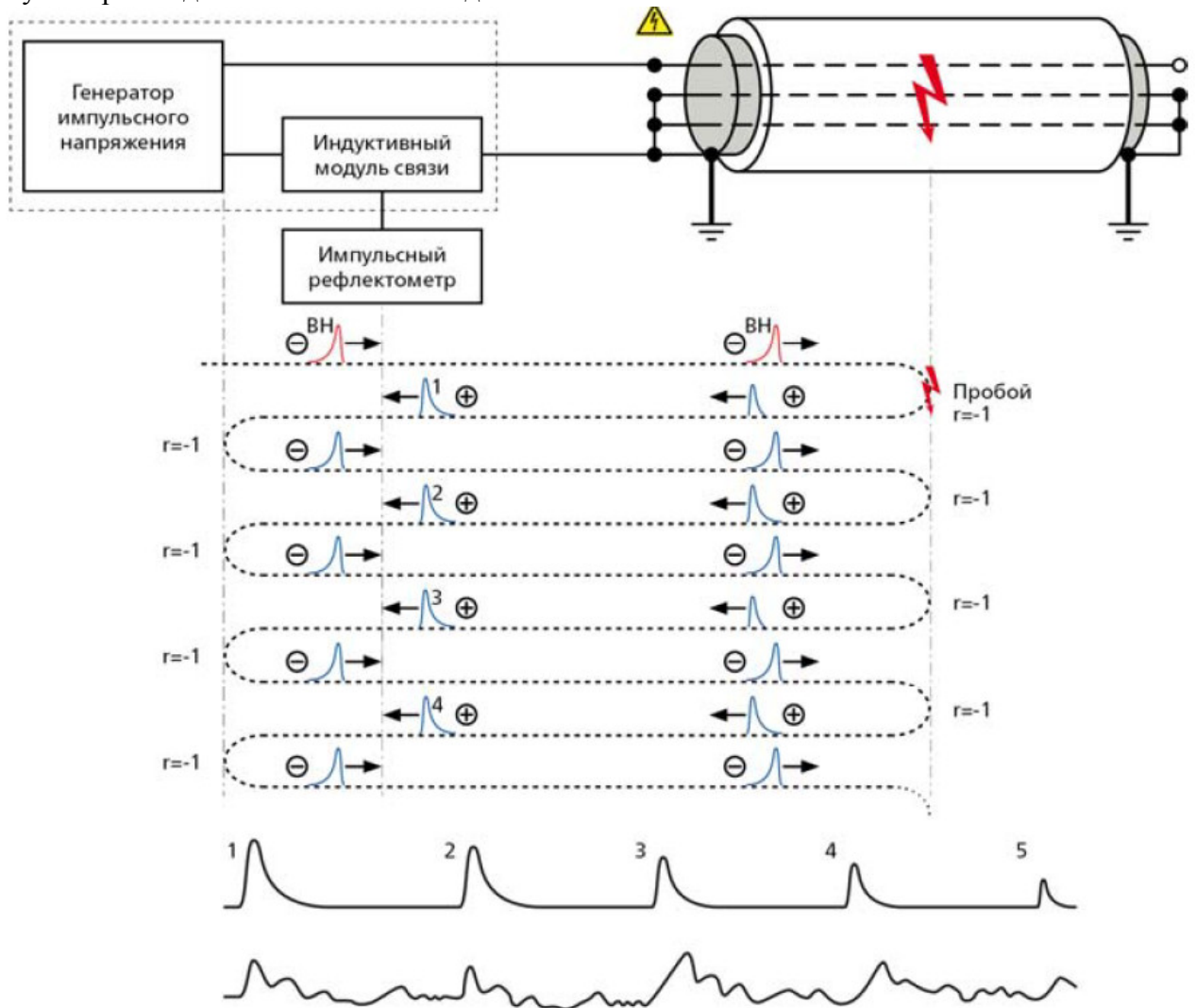


Рисунок 1 – Обнаружение повреждения с помощью импульсов тока

На основании интервала времени, с которым повторяется это отражение, можно определить расстояние до места повреждения. Такой метод лучше всего предназначен для работы с кабелями большой протяженности, поскольку распространяющийся по кабелю импульс очень широк. У кабелей малой протяженности множественные отражения накладываются друг на друга, что не позволяет определить временной интервал.

Для анализа переходного импульса служит индуктивный датчик, регистрирующий ток в кабельной оболочке. Сигналы датчика отображаются с помощью импульсного рефлектометра (приборы BAUR серии IRG). На основании интервала времени между вторым и третьим, или между третьим и четвертым импульсом можно рассчитать расстояние. Для этого пользователю необходимо лишь отметить два следующих друг за другом пика или фронта отображаемой прибором IRG переходной волны. Расстояние от генератора импульсного напряжения до места повреждения равняется разнице рассчитанных прибором расстояний в метрах до обоих пиков.

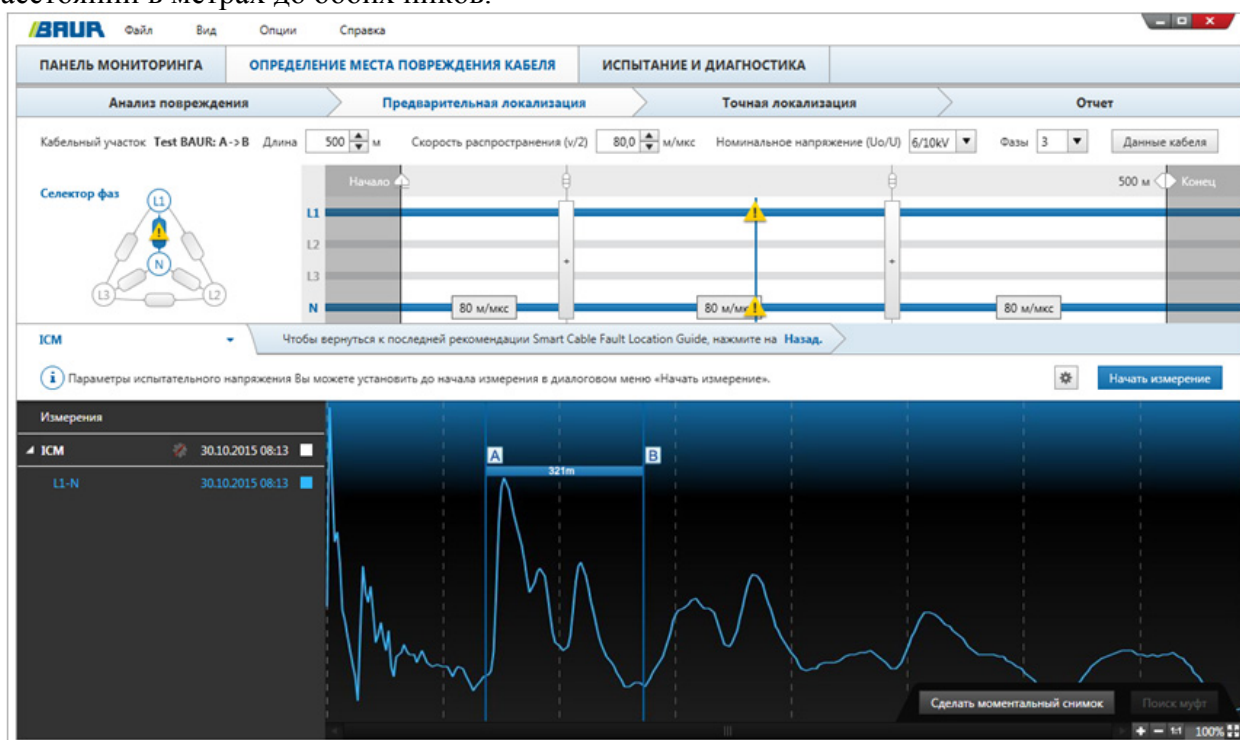


Рисунок 2 – График импульсного рефлектометра

Расстояние до повреждения наглядно определяется по графику программного обеспечения импульсного рефлектометра. Чтобы на экране были отображены по возможности все пики этой переходной волны, диапазон расстояния импульсного рефлектометра IRG следует настроить таким образом, чтобы он в несколько раз превышал длину кабеля.

2. Метод затухающего сигнала:

Для трудно обнаруживаемых повреждений и, прежде всего, для повреждений, возникающих при высоких напряжениях, подходит метод затухающего сигнала. Большинство повреждений высоковольтных кабелей можно определить с помощью стандартного импульсного напряжения до 32 кВ. Однако в случае периодически возникающих повреждений (заплывающих повреждений) может произойти так, что это напряжение является недостаточным для возникновения пробоя и не даёт возможности достоверно определить место повреждения. Тогда добиться цели позволит метод затухающего сигнала (метод Decay).

При использовании данного метода кабель подключается к источнику испытательного напряжения и его ёмкость «заряжается» до тех пор, пока воздействующее напряжение не приведет к пробоям. В случае использования метода затухающего сигнала, импульсный

рефлектометр выполняет оценку волны напряжения, осциллирующей после пробоя между источником напряжения и местом повреждения. В качестве датчика используется емкостной делитель напряжения. Оценка полученных данных также проста, как и при использовании метода ИСМ, выполняется с помощью импульсного рефлектометра IRG. На диаграмме оценки пользователь отмечает два следующих друг за другом положительных пика напряжения, фронта кривой напряжения или, например, две точки прохождения кривой через нуль и считает расстояние. Разница этих двух значений, деленная на 2, за вычетом длины измерительного кабеля образует расстояние до повреждения.

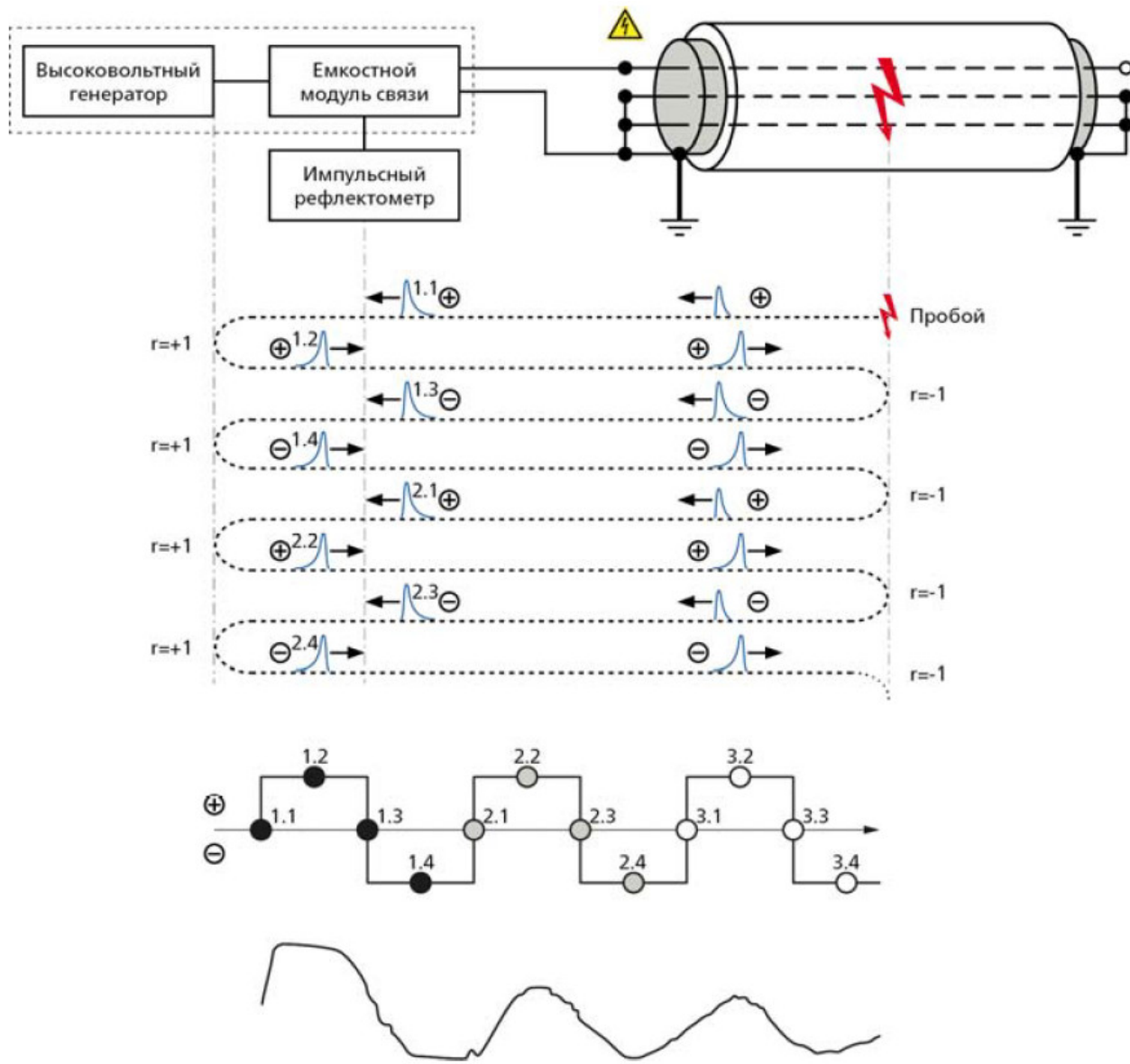


Рисунок 3 - Обнаружение повреждения методом затухающего сигнала

3. Дифференциальный метод сравнения:

Дифференциальный метод сравнения относится к методам предварительной локализации повреждений кабеля. Используется в разветвленных электросетях, где стандартные рефлектометрические методы не могут дать необходимых результатов. Название «дифференциальный метод сравнения» происходит от того, что выполняется сравнение двух параллельно полученных ИСМ-графиков, возникающих после подачи импульсной волны. Для этого генератор импульсной волны одновременно подсоединяется к поврежденной и к исправной фазе. Измерение методом импульсного тока выполняется один раз без переключки и второй раз — с установленной в конце кабеля переключкой между исправной и поврежденной фазой. Если повреждение расположено на главной жиле между

генератором и перемычкой, измерительный прибор выдаёт расстояние от перемычки до места повреждения. Однако если повреждение расположено на ответвлении, то измерение показывает расстояние от перемычки до начала этого ответвления. По причине сложности и трудоемкости процесса реализации данного метода, он используется относительно редко – только в случае нечасто встречающихся разветвленных сетей. В оборудовании BAUR используются все современные методы измерения с максимальным уровнем поддержки в процессе поиска повреждений.

Литература

1. Дементьев. В. С., Спиридонов В.К., Шалыт Г.М. Определение места повреждения силовых кабельных линий. // Госэнергоиздат. – 1962. – № 2. – С. 8–22.
2. Камнев, В. Н. Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок. //Москва. – 1977.– С. 48–56.
3. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических. Москва, Энергоатомиздат. – 1982.
4. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок // Москва, Энергоатомиздат. – 1987.

УДК 620.9

Автоматизация управления работой подстанциями электрических сетей

Веракса Р.В.

Научный руководитель – ст. прпод. МАКАРЕВИЧ В.В.

Системы автоматизации предназначены для эффективной организации оперативно-диспетчерского управления подстанцией (ПС) в нормальных, аварийных/послеаварийных режимах и диспетчерско-технологического управления процессами эксплуатации оборудования ПС и прилегающих электрических сетей.

1) Область применения

- ПС 220–750 кВ магистральных сетей;
- ПС 35–110 кВ распределительных сетей;

2) Виды систем автоматизации

• автоматизированные системы управления технологическими процессами подстанций (АСУТП ПС);

- системы сбора и передачи информации (ССПИ) и телемеханики;

3) Функции АСУТП, ССПИ:

Таблица 1 – Функции АСУТП

№	Базовые функции	Расширенные функции
1	сбор и обработка аналоговой и дискретной информации о режимах работы ПС;	аварийно-предупредительная сигнализация посредством SMS, электронной почты, голосовых сообщений;
2	контроль текущего режима и состояния главной схемы подстанции с АРМ персонала;	мониторинг и управление инженерными системами ПС;
3	ручной ввод сигналов положения («псевдо-ТС»);	технический учет электроэнергии;
4	автоматизированное управление оборудованием ПС;	контроль качества электроэнергии;
5	точная (до 1 мс) синхронизация всех низовых устройств с астрономическим временем (от систем ГЛОНАСС или GPS);	векторная графика, масштабирование, панорамирование, прокрутка, автоматическое изменение уровня детализации схемы;
6	предупредительная и аварийная сигнализация;	динамическая раскраска схемы в зависимости от измеряемых параметров и положения коммутационных аппаратов;
7	регистрация аварийных событий;	автоматическое считывание осциллограмм с устройств РЗА;
8	ведение архивов и предоставление отчетов;	оперативный ввод-вывод функций и ступеней защит;
9	возможность резервирования элементов системы и технологической сети;	отображение и обработка параметров срабатывания РЗА (токов срабатывания)

4) Структурная схема АСУ ТП

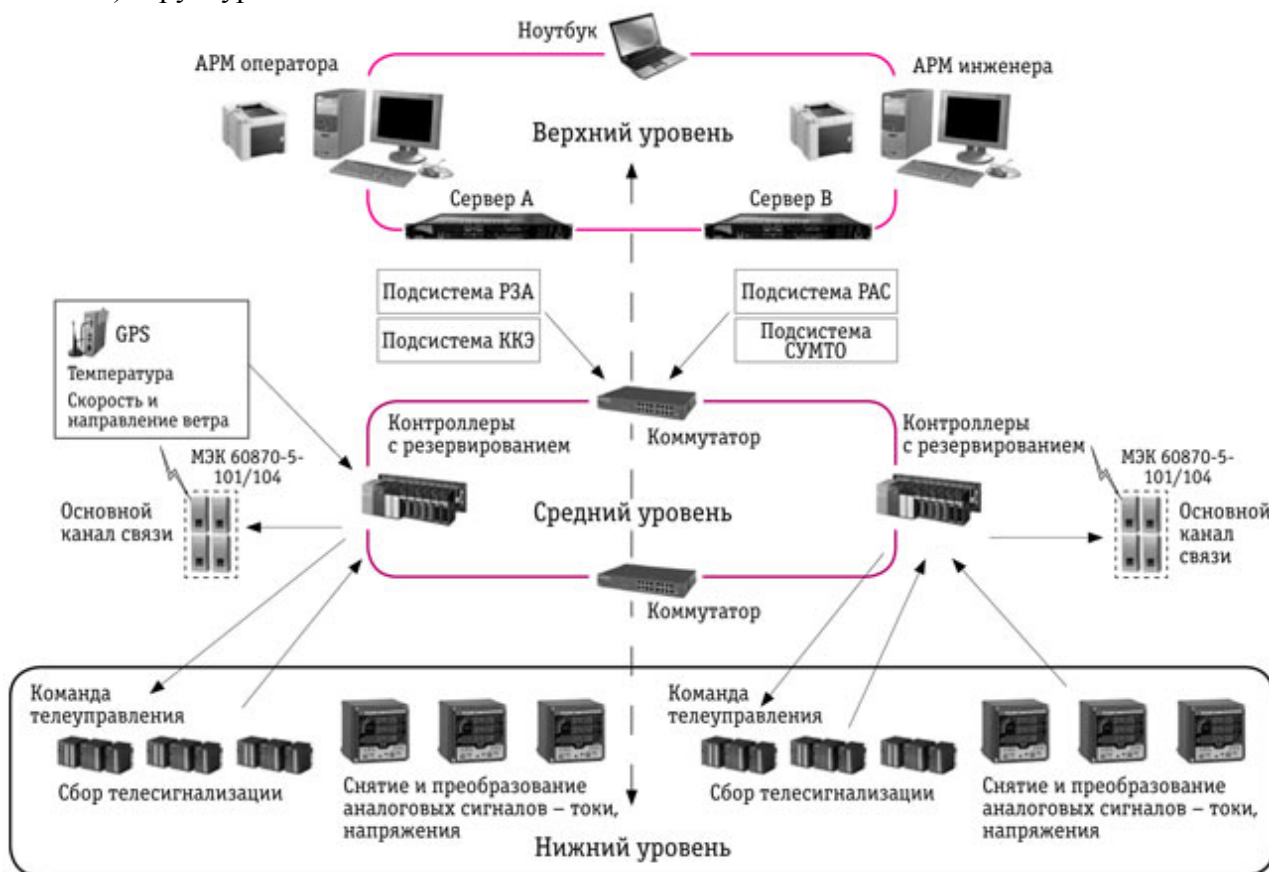


Рисунок 1 – Общая структурная схема ПТК АСУ ТП для энергетики

ПТК АСУ ТП реализуется как 3-уровневый архитектурный комплекс. Нижний уровень – информационно-измерительный комплекс (ИИК), состоящий в основном из измерительных счетчиков и преобразователей. Средний уровень – контрольно-коммуникационный уровень, состоит из устройств сбора, обработки и передачи информации и технических средств приема-передачи данных. В состав входят контроллеры модульного типа (Siemens серии S7-400, Mikronika серии SO-52x и др.) и сетевое оборудование (Cisco, Ruggedcom, Alcatel, MOXA). Верхний уровень – информационно-вычислительный комплекс (ИВК), состоит из серверного оборудования (HP, Advantech) и автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов.

Выводы

На сегодняшний день внедрение на подстанциях АСУ ТП является необходимым минимумом для реализации программы повышения надежности. В случае полноценной реализации программы повышается эффективность управления подстанцией благодаря возможности ведения заданного режима, предотвращения отказов оборудования, локализации и устранения последствий отказов оборудования и сохранения надежности и безопасности работы автоматизируемого оборудования подстанций, а также эффективности и комфортности работы оперативного и обслуживающего персонала.

Литература

1. Управление и инноватика в теплоэнергетике / Андрушин А.В [и др.]. — М: МЭИ, 2011.
2. Зайцев, Н. Г. Информационное и математическое обеспечение АСУП / Зайцев Н. Г. — Киев, 1974.—143 с.

УДК 620.9

Средства регулирования реактивной энергии и мощности в ОЭС Беларуси

Веракса Р.В.

Научный руководитель – препод. ПОПКОВА Н.А.

Задачей регулирования напряжения в энергосистеме и на промышленных предприятиях является обеспечение качества электроэнергии, удовлетворяющего установленным нормам, экономичной совместной работы электрических сетей энергосистемы и электроприемников и связанных с ними механизмов, обеспечение необходимого запаса устойчивости энергосистемы, соответствия уровня напряжения значениям, допустимым для оборудования электрических станций и сетей, а так же поддержания согласованных перетоков по реактивной мощности по межгосударственным линиям. Одними из решений этой задачи являются:

- Поддержание оптимального распределения потоков реактивной мощности в сетях, обеспечивающего минимум потерь активной и реактивной мощности.

- Поддержания требуемого баланса ОЭС по реактивной мощности.

Дежурные диспетчеры РУП «ОДУ», ЦДС, ОДС и оперативный персонал электростанций и подстанций обязаны осуществлять непрерывный контроль, за выдерживанием заданных графиков реактивной мощности генераторов и синхронных компенсаторов. Отклонения напряжения и реактивной мощности от величин, заданных графиком, не должны превышать 1%.

Сущность регулирования напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных Сопротивлениях.

Регулирование напряжения осуществляется путем:

- регулирования реактивной нагрузки генераторов и синхронных компенсаторов;
- изменения под нагрузкой коэффициента трансформации трансформаторов, автотрансформаторов и вольтодобавочных трансформаторов всех видов;
- перевода в часы минимальных нагрузок части генераторов и СК в режим недо возбуждения;
- изменения количества включенных шунтирующих реакторов на ВЛ 750 кВ;
- изменения количества включенных статических конденсаторов у потребителей и в сети ОЭС Беларуси;
- отключения в резерв линий 330 кВ.

Регулируя напряжение в системе, диспетчер должен добиваться того, чтобы во всех контрольных точках системы уровень напряжения находился в пределах графика. Если указанное условие почему-либо неосуществимо (например, праздничные дни, послеаварийный режим), следует добиваться меньшего количества точек с отклонением напряжения от нормы, разрешая в некоторых точках повышение (понижение) напряжения выше (ниже) нормы, но не допуская в других точках отклонения против установленных графиком крайних пределов.

Таким образом, к средствам регулирования реактивной энергии и мощности мы можем отнести:

- РПН автотрансформаторов и вольтодобавочных трансформаторов;
- Режим недо возбуждения генераторов и СК;
- Шунтирующие реакторы;
- Статические конденсаторы;
- Отключение в резерв линий.

Эта линия, протяженностью 417 км, обладает значительной емкостной проводимостью, а, следовательно, и большой зарядной мощностью (~1000 МВАр). Для ограничения напряжения по концам ВЛ как в режиме холостого хода, так и в других режимах, на ВЛ-707

установлены поперечно включенные в линию шунтирующие реакторы (ШР) - на ПС Белорусская одна реакторная группа 330 МВА, а со стороны Смоленской АЭС - две реакторные группы по 330 МВА каждая. Кроме этих реакторных групп на ВЛ-707 на ПС Белорусская установлен второй ШР мощностью 330 МВА.

Характерной особенностью режимов работы основной сети ОЭС Беларуси при регулировании напряжения и потоков реактивной мощности является большая протяженность ВЛ 750÷330 кВ и, соответственно, большая зарядная мощность и их небольшая нагрузка в часы минимальных нагрузок и выходные дни, что создает большие трудности с компенсацией избыточной реактивной мощности и регулированием напряжения.

В связи с тем, что в часы минимальных нагрузок и особенно летом в воскресные и праздничные дни возникают большие трудности с обеспечением необходимых уровней напряжения и компенсацией избытков реактивной мощности, диспетчер РУП «ОДУ» и соответствующий оперативный персонал должен обеспечить своевременный переход объектов на график напряжения выходного дня или ночного минимума, поскольку задержка приведет к затруднению, а иногда и невозможности понизить уровни напряжения, если генераторы крупных электростанций и СК к этому моменту будут полностью использованы по режиму потребления реактивной мощности.

Выводы

Трудности с компенсацией реактивной мощности и регулирования напряжения в часы минимальных нагрузок и выходные дни является насущной проблемой так как, ОЭС Беларуси состоит из ВЛ 750÷330 кВ большой протяженностью, соответственно этими линиями вырабатывается большая зарядная мощность. Таким образом, перед ДС РУП «ОДУ» (в частности ДД РУП «ОДУ»), стоит задача своевременного использования средств регулирования реактивной энергии и мощности (перечисленными выше), для поддержания уровня напряжений.

Литература

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов : в 2 т. / редкол.: Р.В. Аметистова (гл ред) [и др.]. — Москва:Издательский дом МЭИ,200 - 2008. – 2т.

УДК 621.3.06

Основные виды и конструкции силовых выключателей

Книга Д.А., Лузгин Е.А., Клименкова О. А., Глинский Д.А.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

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

Силовые выключатели предназначены для включения и отключения рабочих токов и автоматического отключения (и включения) токов КЗ. Силовые выключатели можно разделить по нескольким признакам. Рассмотрим несколько классификаций.

По назначению выделяют:

1.сетевые выключатели на напряжение от 6 кВ и выше. Используются в цепях переменного тока для включения и выключения потребителей в нормальных неаварийных режимах работы, а также отключение при возникших коротких замыканиях;

2.генераторные выключатели на напряжения от 6 до 20 кВ, для подключения в эти цепи генераторов. Выдерживают пусковые токи, а также режимы К.З.;

3.выключатели на напряжение от 6 до 220 кВ, Для электротермических установок. Может работать также и в аварийных режимах.

4.выключатели нагрузки. Применяются в сетях 3-10 кВ с изолированной нейтралью для коммутации небольших нагрузок;

5.реклоузеры-подвесные дистанционно управляемые выключатели, выполняющие функцию автоматического отключения секции линии электропередачи в случае возникновения перегрузки в этой секции;

6.выключатели специального назначения. Они выпускаются не серийно, а под заказ и изготавливаются с учётом местных условий эксплуатации.

По виду и расположению этого механизма силовые выключатели разделяются:

1.Опорные;

2.Подвесные. Имеют подвешивающую к portalу конструкцию;

3.Выкатные. Оснащены механизмом для выкатывания из распределительного устройства;

4.Встраиваемые в КРУ (комплектные распределительные устройства).

По используемой гасящей электрическую дугу среде различают: воздушные, масляные, электромагнитные, вакуумные, элегазовые.

Воздушные. Воздушные выключатели на напряжение от 35 кВ и выше предназначены для отключения больших токов короткого замыкания. Воздушные выключатели на напряжение 15 кВ применяются на электростанциях как генераторные. Их преимущества: быстродействие, большая отключающая способность, незначительное обгорание контактов, отсутствие дорогих и недостаточно надежных вводов, пожаробезопасность, меньшая масса по сравнению с баковыми масляными выключателями. Недостатки: наличие громоздкого воздушного хозяйства, опасность взрыва, отсутствие встроенных трансформаторов тока, сложность устройства и эксплуатации.

Масляные. В высоковольтных масляных выключателях для заполнения устройства гашения дуги используется трансформаторное масло. Процесс гашения электродуги происходит в результате того, что потоки газа, которые возникают при разложении масла, охлаждают дугу. Высоковольтные выключатели масляного типа используются при напряжении от 10 до 20 кВ или от 110 до 220 кВ. Высоковольтные масляные выключатели подразделяются на: маломасляные и баковые. Разница между ними заключается в количестве используемого масла, а также в способе изоляции основания от системы контактов. Основные недостатки баковых выключателей: взрыво- и пожароопасность; необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и вводах; большой объем,

масла, что обуславливает большую затрату времени на его замену, необходимость больших запасов масла; непригодность для установки внутри помещений.

Электромагнитные. В этом выключателе гашение электрической дуги производится взаимодействием плазмы дуги с магнитным полем в дугогасительных камерах с узкими щелями или с камерами с дугогасительными решётками. Преимуществами являются полная взрыво- и пожаробезопасность (в отличие, например, от масляных выключателей), не используется сложная пневматическая система, малый износ дугогасительных контактов, возможность использования в установках с частыми коммутациями, относительно высокая отключающая способность.

Вакуумные. В высоковольтных выключателях вакуумного типа именно вакуум служит средой для гашения электрической дуги. Это связано с тем, что вакуум отличается более высоким показателем электропрочности, чем другие среды. Использование выключателей вакуумного типа допустимо только при напряжении не выше 110 кВ. Основными преимуществами ВВ (по сравнению с масляными и газовыми выключателями), определяющими рост их доли на рынке, являются: более высокая надежность, меньшие затраты на обслуживание.

Элегазовые силовые выключатели. Элегаз (SF_6 – шестифтористая сера) представляет собой инертный газ, плотность которого превышает плотность воздуха в 5 раз. В элегазовых выключателях применяют автопневматические дугогасительные устройства, в которых газ в процессе отключения сжимается поршневым устройством и направляется в зону дуги. Элегазовый выключатель представляет со-ой замкнутую систему без выброса газа наружу.

Конструкция элегазового выключателя представлена на рисунке 1.

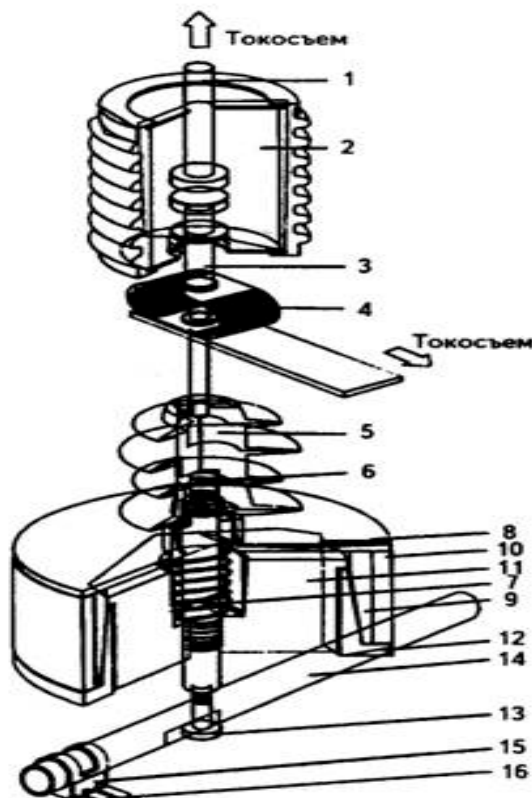


Рисунок 1 – Устройство вакуумного выключателя ВВ/TEL

1 - неподвижный контакт ВДК; 2 - вакуумная дугогасительная камера (ВДК); 3 - подвижный контакт ВДК; 4 - гибкий токошьем; 5 - тяговый изолятор; 6 - пружина поджатия; 7 - отключающая пружина; 8 - верхняя крышка; 9 - катушка; 10 - кольцевой магнит; 11 - якорь; 12 - нижняя крышка; 13 - пластина; 14 - вал; 15 - постоянный магнит; 16 - герконы (контакты для внешних вспомогательных цепей)

Литература

1. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]. – 2019.– Режим доступа: <https://www.elektro-expo.ru/ru/ui/17164/>. – Дата доступа: 05.11.2019
2. Высоковольтные выключатели: классификация, устройство, принцип действия [Электронный ресурс]. – 2008-2019.– Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/309-vysokovoltnye-vykljuchateli.html> . – Дата доступа: 05.11.2019
3. Коммутационные аппараты главных цепей КСО выключатели [Электронный ресурс]. –2007- 2019.– Режим доступа: https://baurum.ru/_library/?cat=equipment+-ts&id=4093 . – Дата доступа: 05.11.2019

УДК 538.945

Сверхпроводники и их применение

Титов А.Д., Мятлев Е.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПРОКОПЕНКО В.Г.

При абсолютном нуле электрическое сопротивление должно стремиться к нулю. Если кристалл идеальный, то его атомы строго неподвижны, и электроны перемещаются совершенно свободно, не испытывая сопротивления со стороны кристаллической решетки. Такой кристалл называется идеальным проводником с нулевым сопротивлением.

Возникновение сверхпроводящего состояния связывается с тем, что при температурах ниже точки перехода электрон локально искажает решетку, создавая область притяжения для другого электрона, при этом силы притяжения между ними будут превосходить силы отталкивания. Соударение между электронами и решеткой становятся невозможными, и ток будет протекать даже в отсутствии внешнего источника тока (напряжения).

Помимо сверхпроводимости, сверхпроводники обладают еще одной отличительной чертой, а именно – эффектом Мейснера. Это явление быстрого затухания магнитного поля в сверхпроводнике. Сверхпроводник является диамагнетиком, то есть в магнитном поле в сверхпроводнике индуцируются макроскопические токи, которые создают собственное магнитное поле, которое полностью компенсирует внешнее[1].

Также одно из свойств является возможность пропустить через себя ток предельной величины. Этот параметр называется критическим током. Это значение максимального постоянного тока, который может выдерживать сверхпроводник без потери сверхпроводящего состояния. При превышении данной температуры сверхпроводник теряет свойство сверхпроводимости. Данное свойство можно применять в ограничителях тока короткого замыкания. Экономически обоснованно применять данные установки для защиты крупных энергосистем. В ограничителях тока короткого замыкания применяется специальная сверхпроводниковая заряженная лента. Принцип действия основывается на том, что при многократном превышении критического тока, заряженная лента выходит из своего сверхпроводящего состояния и появляется собственное сопротивление проводника. Главное отличие такой установки от используемых заключается в следующем: при пропуске токов многократно превышающие допустимые обмотка установки не воспламеняется[2].

Применение свойств сверхпроводимости все больше используют в науке и технике. Например, по сверхпроводящему кабелю диаметром несколько сантиметров можно передавать столько же электроэнергии, как и по сети ЛЭП, причем с очень малыми потерями. Сильноточные технологии, которые предназначаются для устройств больших мощностей, применяются в электроэнергетике, промышленности и на транспорте. В этих отраслях сверхпроводниковые технологии ведут к созданию электрооборудования в 2–3 раза меньшей массы, более экологичного, более надежного с большим сроком эксплуатации. Применение сверхпроводимости может привести к созданию сверхбыстрых электронно-вычислительных машин. Речь идет о так называемых криотронах – переключающих сверхпроводящих элементах. Такие устройства могут легко сочетаться со сверхпроводящими запоминающими элементами. Важным преимуществом криотронов перед обычными полупроводниковыми устройствами является отсутствие потребности в энергии в стационарном состоянии. После создания переходов Джозефсона было предложено заменить ими криотроны, и оказалось, что время переключения такой системы составляет около 10-12 с. Именно это и открывает широкие перспективы для создания мощнейших вычислительных машин, но пока эти разработки являются лишь лабораторными образцами.

Предполагается, что в электроэнергетике будет происходить постепенная замена традиционного резисторного оборудования на более дешевое и компактное сверхпроводниковое оборудование, которое существенно выше по надежности и эффективности[3].

Литература

1. В.Л. Гинзбург Сверхпроводимость. - М.: Наука. - 1990.-112с.
2. В.С. Лутинов Физические основы сверхпроводимости. - М.: Высш. шк., - 1989.-90с.
3. В.В. Шмидт Введение в физику сверхпроводников. - М.: Знание. - 1982.-402с.

УДК 621.3

Измерительные трансформаторы тока: назначение, типы, принцип работы

Петрович А.И., Попов Д.А., Маковик В.И., Махнач П.В.
Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Измерительный трансформатор тока — это специальный прибор узкого направления, который предназначен для измерения переменного тока и его контроля. Чаще всего применяется в системах релейной защиты (автоматики) и измерительных приборов. Его использование необходимо тогда, когда непосредственное присоединение прибора для измерения, к электрической сети с переменным напряжением невозможно или небезопасно для персонала обслуживающего его. А также для организации гальванической развязки первичных силовых цепей от измерительных. Расчёт и выбор измерительного трансформатора тока выполняется таким образом, чтобы изменения формы сигнала были сведены к нулю, а влияние на силовую контролируемую цепь было минимальным.

Главная функция этого измерительного прибора — это отображение изменений тока, максимально пропорционально. Трансформаторы тока гарантируют полную безопасность измерений, отделяя измерительные цепи от первичных с опасным высоким напряжением, которое чаще всего составляют тысячи вольт. Требования, предъявляемые к их классу точности очень велики, так как от этого зависит работа дорогостоящего мощного оборудования.

Трансформаторы измерительные выпускают с двумя и больше группами вторичных обмоток. Первая применяется для включения устройств релейной защиты и сигнализации. А другая, с большим классом точности, для подключения устройств точного измерения и учёта. Они помещены на специально изготовленный ферромагнитный сердечник, который набран из листов специальной электротехнической стали довольно тонкой толщины. Первичную обмотку непосредственно включают последовательно в измеряемую сеть, а ко вторичной обмотке подключают катушки различных измерительных приборов, чаще всего амперметров и счетчиков электроэнергии.

В трансформаторах тока, как и в большем количестве других таких электромагнитных устройств, величина первичного тока больше, чем вторичного. Первичная обмотка исполняется из провода разного сечения или же шины, в зависимости от номинального значения тока. В трансформаторах тока 500 А и выше, первичная обмотка чаще всего выполнена из 1-го единственного витка. Он может быть в виде прямой шины из меди или алюминия, которая проходит через специальное окно сердечника. Корректность измерений любого измерительного трансформатора характеризуется погрешностью значения коэффициента трансформации. Для того чтобы не перепутать концы, на них обязательно наносится маркировка.

Аварийная работа, связана с обрывом вторичной цепи ТТ при включенной в цепь первичной, это приводит к очень сильному намагничиванию сердечника и даже при обрыве вторичной обмотки. Поэтому при включении без нагрузки вторичные обмотки соединяются накоротко. По классу точности все измерительные ТТ разделены на несколько уровней. Особенно точные, называются лабораторные и имеют классы точности не больше 0,01–0,05.

Измерительные токовые трансформаторы выпускаются различных типов. Все они имеют одно и то же назначение, но отличаются составными элементами и принципом действия. Каждая разновидность применяется для достижения определённых целей, что позволяет выбирать оптимальный вариант для каждого случая.

По конструкции и исполнению трансформаторы тока используемые в измерительных цепях делятся на:

Катушечные. Этот вид измерительных трансформаторов считается наиболее простым по конструкции. Свою популярность он приобрёл ещё в советские времена, когда не было более качественных и эффективных устройств. Такие трансформаторы имеют небольшие

размеры и приемлемую цену, которая обусловлена возможностью механизации обмоточных работ.



Рисунок 1 – Катушечный трансформатор тока

Проходные. Эти устройства считаются наиболее часто используемыми. Они нашли широкое применение в различных распределительных приборах, рассчитанных на напряжение от 6 до 35 кВ. Их устройство не отличается особой сложностью. Трансформаторы этого типа ценятся за то, что дают возможность в закрытых распределительных устройствах сэкономить проходной изолятор.



Рисунок 2 – Проходной трансформатор тока

Стержневые. Данные трансформаторы часто называют одновитковыми. Главная их особенность — увеличение точности при повышении силы тока и уменьшение — при понижении. Она обусловлена тем, что первичная обмотка только один раз проходит через

отверстие сердечника, что приводит к численному равенству количества ампер-витков и номинального тока.

Шинные трансформаторы. Они представляют собой изделия, в конструкцию которых входят сердечники со вторичной обмоткой, а первичная — отсутствует. В главной изоляции прибора предусмотрено специальное отверстие, через которое пропускается шина распределительного устройства, выполняющая роль первичной обмотки. Эта разновидность трансформатора очень похожа на стержневую. Лишь при малых показаниях напряжения через отверстие в сердечнике прокладывают несколько витков проводника, что даёт возможность получить многovitковую конструкцию прибора.



Рисунок 3 – Шинный трансформатор тока

Переносные. Это устройство электрики называют токоизмерительные клещи. Они являются переносным и удобным измерительным трансформатором тока, у которого магнитная система размыкается и замыкается уже вокруг того провода в котором и нужно измерять значение тока.



Рисунок 4 – Переносной трансформатор тока

При выборе трансформатора тока стоит знать главное, что при протекании по первичной обмотке номинального тока в его вторичной обмотке, которая замкнута на измерительный прибор, будет обязательно 5 А. То есть если нужно проводить измерение токовых цепей где его расчётная рабочая величина будет примерно равна 200 А. Значит, при установке измерительного трансформатора 200/5, прибор будет постоянно показывать верхние пределы измерения, это неудобно. Нужно чтобы рабочие пределы были примерно в середине шкалы, поэтому в этом конкретном случае нужно выбирать трансформатор тока 400/5. Это значит что при 200 А номинального тока оборудования на вторичной обмотке будет 2,5 А и прибор будет показывать эту величину с запасом в сторону увеличения или уменьшения. То есть и при изменениях в контролируемой цепи будет видно насколько данное электрооборудование вышло из нормального режима работы.

Литература

1. Трансформаторы силовые и измерительные. Справочник. Том 1 / Под ред. Акимова Е. Г. — 2005
2. Трансформаторы тока. В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, Л. В. Жалалис и др. — Л.: Энергия, 1980
3. Справочник по электроизмерительным приборам. Под ред. К. К. Илюнина — Л.: Энергоатомиздат, 1983

УДК 621.3

Вольтодобавочные трансформатора и линейные регуляторы

Шамрило М.Ю., Дехтерёнок М.В., Русаков П.А., Дысь С.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРАШЕВИЧ Н.С.

Вольтодобавочным трансформатором (ВДТ) называется устройство, состоящее из двух трансформаторов: последовательного, первичная обмотка которого включается в рассечку линии, и специального регулировочного трансформатора или автотрансформатора с переменным коэффициентом трансформации. Регулировочный автотрансформатор питается от обмотки низшего напряжения силового трансформатора.

Линейным регулятором называется трехфазное вольтодобавочное устройство, которое работает по автотрансформаторной схеме.

Вольтодобавочные трансформаторы (линейные регуляторы) применяются для регулирования напряжения в отдельных линиях или в группе линий. Их применяют, например, для улучшения работы сетей, в которых используются трансформаторы без регулирования под нагрузкой. Линейные регуляторы позволяют создать в сети дополнительную ЭДС, которая складывается с вектором напряжения сети и изменяет его. На рис. 1 показано схематическое изображение вольтодобавочного трансформатора (линейного регулятора).

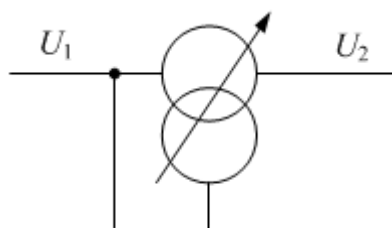


Рисунок 1 – Схемное изображение линейного регулятора

Установка вольтодобавочного трансформатора позволяет выравнивать напряжение в электросети; устранять несимметрию напряжения на определенном участке цепи; снижать опасные последствия отгорания нулевого проводника

Вольтодобавочные трансформаторы имеют одну обмотку, включенную последовательно с линией, в которой регулируется напряжение. Эта обмотка питается от регулировочного (питающего) трансформатора, а первичная обмотка последнего – от сети или постороннего источника тока. В зависимости от схемы соединения обмоток вольтодобавочные трансформаторы могут создавать добавочную ЭДС, сдвинутую по фазе относительно основного напряжения или совпадающую с ним. На рис. 2 изображена принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора.

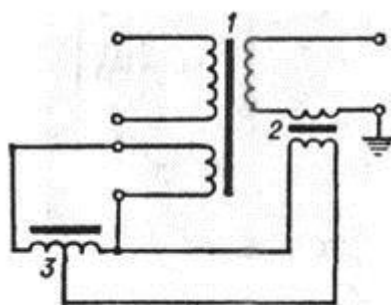


Рисунок 2 – Принципиальная схема включения вольтодобавочного трансформатора

1. основной трансформатор;
2. последовательный трансформатор
3. регулировочный трансформатор

Более детальная схема линейного регулятора, иллюстрирующая также принцип переключения контактов, представлена на рис. 3.

На ней показаны регулировочный трансформатор 1 и последовательный трансформатор 2. Первичная обмотка 3 регулировочного трансформатора является питающей. Она может быть включена и на фазное А – 0 и на линейное напряжение (А – В, А – С). Вторичная обмотка 4 регулировочного трансформатора имеет такое же переключающее устройство 5 как и трансформатор с РПН.

Один конец первичной обмотки 6 последовательного трансформатора присоединен к средней точке вторичной обмотки регулировочного трансформатора. Другой к переключающему устройству. Вторичная обмотка 7 последовательного трансформатора соединена последовательно с обмоткой силового трансформатора. Добавочная ЭДС в обмотке 7 складывается с ЭДС силового трансформатора и изменяет ее.

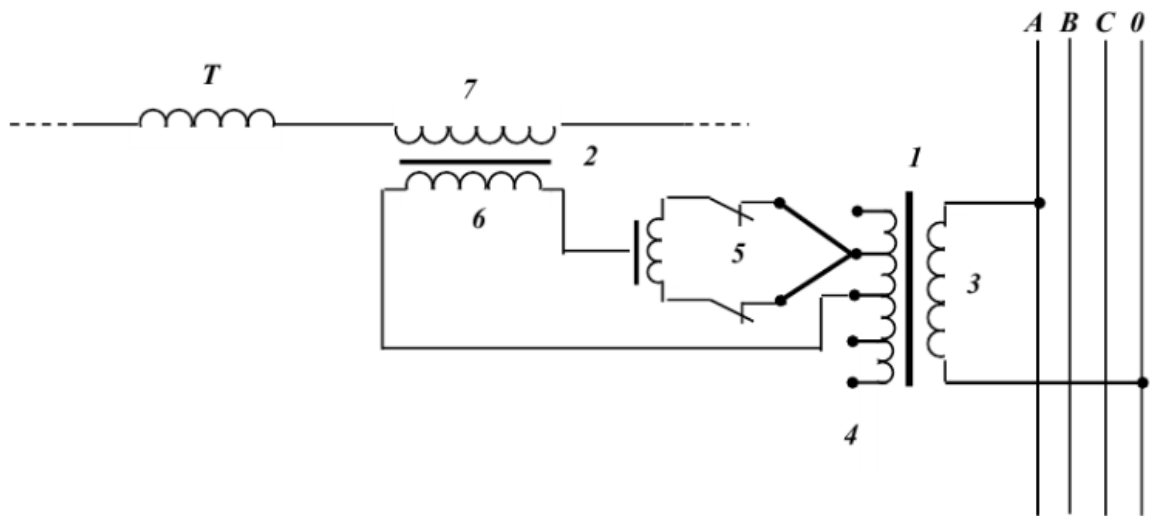


Рисунок 3 – Принцип работы вольтодобавочного трансформатора

Линейные регуляторы работают по автотрансформаторной схеме и представляют собой маслонаполненную конструкцию, имеющую шесть линейных выводов для включения регулятора в расщелку линии в любой ее точке. Схема включения линейного регулятора показана на рис. 4.

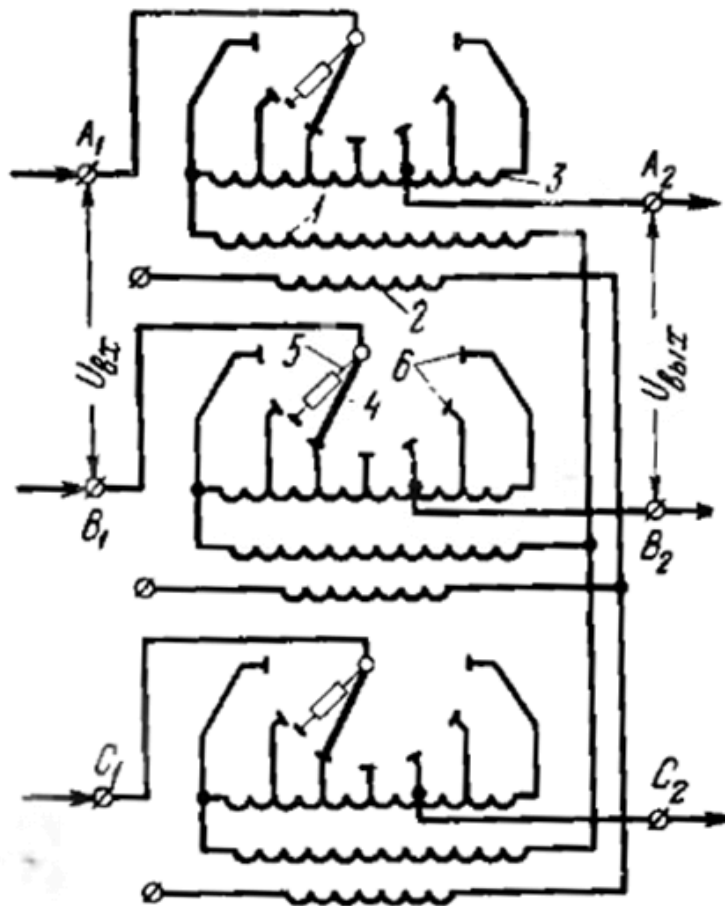


Рисунок 4 – Схема включения линейного регулятора

1. Обмотка возбуждения высшего напряжения; 2. Обмотка питания цепей управления; 3. Вольтодобавочная обмотка; 4. Подвижный контакт переключателя; 5. Вспомогательный контакт переключателя с активным токоограничивающим сопротивлением; 6. Неподвижные контакты

Включая первичную обмотку питающего трансформатора в разные фазы сети, можно получить разные напряжения на выходе регулятора. В линейном регуляторе выполняется пофазное регулирование. Различают продольное, поперечное и продольно-поперечное регулирование.

При продольном регулировании добавочная ЭДС линейного регулятора ΔE совпадает по фазе с фазными напряжениями сети. Такой вид регулирования называют также регулирование по модулю.

При поперечном регулировании ЭДС силового трансформатора и добавочная ЭДС оказываются сдвинутыми на 90° . Такое сдвиг можно получить, если, например, для регулирования напряжения в фазе А, обмотку питающего трансформатора включить на линейное напряжение В-С. При этом результирующая ЭДС обмотки силового трансформатора и вторичной обмотки последовательного трансформатора изменяется по фазе. Поэтому такой вид регулирования называют также регулированием по фазе. Продольно-поперечное регулирование позволяет регулировать исходное напряжение как по модулю, так и по фазе. Его можно выполнить для регулирования напряжения в фазе А при включении первичной обмотки питающего трансформатора на линейное напряжение А-В. Вектор добавочной ЭДС при этом будет направлен вдоль линейных напряжений.

Векторные диаграммы изображающие разные виды регулирования показаны на рис. 6.

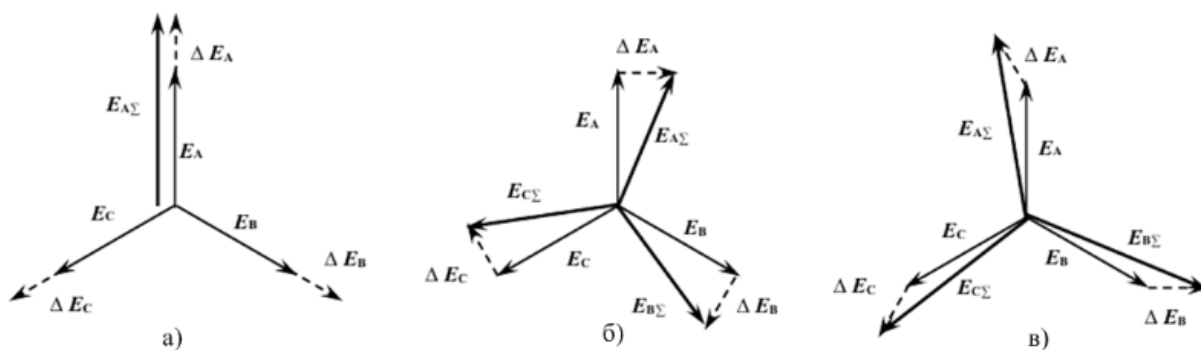


Рисунок 6 – Регулирование напряжения с помощью линейного регулятора: а) продольное; б) поперечное; в) продольно поперечное.

Линейные регуляторы с продольным регулированием позволяют регулировать напряжения на проблемном участке протяженной сети или при отсутствии на трансформаторе устройства РПН.

Линейные регуляторы с поперечным или продольно-поперечным регулированием выполняют более узкие функции. С их помощью улучшаются условия работы неоднородных замкнутых сетей.

В настоящее время термин «вольтодобавочный трансформатор» сохранился только за серией специальных регулировочных трансформаторов типа ВРТДНУ, предназначенных для включения в нейтраль автотрансформаторов старых типов, не имеющих РПН в нейтрали или на стороне среднего напряжения. Указанная серия автотрансформаторов выпускается на мощность 120-750 МВА. Регулирование напряжение в радиальных линиях осуществляют при помощи линейных регуляторов типа ЛТМ: ЛТМН, ЛТДН.

Литература

1. Иванов-Цыганов А.И. Электротехнические устройства радиосистем: Учебник. - Изд. 3-е, перераб. и доп.-Мн: Высшая школа, 2000г. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://electricps.ru/vdt> – Дата доступа: 20.03.2019
2. Алексеев О.В., Китаев В.Е., Шихин А.Я. Электрические устройства/Под ред. А.Я.Шихина: Учебник. – М.: Энергоиздат, 2000– 336 с. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://electricps.ru/vdt> – Дата доступа: 20.03.2019
3. Беркович М. А. и др. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов/ М. А. Беркович, В. А. Гладышев, В. А. Семенов. — 3-е изд., [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://electricps.ru/vdt> – Дата доступа: 20.03.2019

УДК 621.3

Местные виды топлива Республики Беларусь

Барановский П.Г.

Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

На сегодняшний день в Беларуси за счет собственных источников покрывается только 17% потребностей в топливно-энергетических ресурсах. Поэтому развитие нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и увеличение доли использования местных видов топлива (МВТ) является приоритетным направлением энергетической политики страны. В 2003 г. в Республике Беларусь было потреблено 34,7 млн т у.т., из которых доля местных видов топлива, горючих отходов производства и вторичных возобновляемых энергоресурсов составила лишь 5,6 млн т у.т., то есть 16,3% в полном топливно-энергетическом балансе страны. Задача, стоящая перед правительством в ближайшие годы – увеличить долю местных видов топлива до 25%. Наилучшей альтернативой углю, нефти и газу в условиях Беларуси является использование биомассы в качестве топлива. Уже сегодня в Беларуси на многих котельных вместо угля сжигают дрова, однако, для более эффективного использования древесных отходов необходимо производить тепло и энергию за счет сжигания отходов лесозаготовки и деревообработки.[2]

Беларусь располагает запасами собственных топливных ресурсов и определенным потенциалом возобновляемых источников энергии, которые можно вовлечь в энергобаланс как в ближайшие годы, так и в перспективе. Рассмотрим их более детально.

Древесное топливо. Дрова, лесосечные отходы и отходы деревообработки являются основным источником местных возобновляемых топливных ресурсов. Запас древесины на корню в лесах Беларуси достиг 1,37 млрд. куб. м, а площадь земель Гослесфонда – 9,3 млн. га. Древесными топливными ресурсами обладают все области страны. Ежегодный текущий прирост составляет 32,37 млн. куб. м, средний прирост за вычетом отпада – 25 млн. куб. м. Однако объем промышленного использования составляет на более 85%. По данным Минлесхоза, есть возможности увеличения заготовки древесного топлива. К концу 2012 г. можно довести объем его заготовки до 11 млн. куб. м (3,1 млн. т.у.т.).

Торф. В стране разведано более 9000 торфяных месторождений общей площадью 2,54 млн. га и первоначальными запасами торфа 5,65 млрд. т. Оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4 млрд. т, что составляет 70% от первоначальных. Промышленные запасы топливного торфа приблизительно равны 250 млн. т или 5,5% оставшихся запасов. Извлекаемые при разработке месторождений запасы оцениваются в 100-130 млн. т. Потребителем этого топлива является преимущественно коммунально-бытовой сектор. Для увеличения объемов добычи торфа требуется подготовка 2910 га новых площадей торфяных месторождений и закупка дополнительного технологического оборудования для добычи и транспортировки.

Гидроэнергетические ресурсы. Потенциальная мощность всех водотоков Беларуси составляет 850МВт, в том числе технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250МВт. Основными направлениями развития малой гидроэнергетики являются сооружение новых, реконструкция и восстановление существующих ГЭС. Особого рассмотрения требуют вопросы сооружения каскадов ГЭС на реках Сож, Днепр, Припять, так как возможные масштабы затопления прилегающих территорий ограничены зоной загрязнения радионуклидами.

Биогаз. Результаты испытаний установок для производства биогаза из отходов животноводческих комплексов подтвердили требование комплексной оценки их эффективности. Потенциально возможное получение товарного биогаза от всех источников оценивается в 160 тыс. т у.т. в год.

Коммунальные отходы. Потенциальная энергия, заключенная в коммунальных отходах, образующихся на территории Беларуси, равноценна 470 тыс. т.у.т. При их биопереработке в целях получения газа эффективность составит не более 20-25процентов.

По областным городам ежегодная переработка коммунальных отходов в газ позволила бы получить около 50 тыс.т.у.т., а по г.Минску - до 30 тыс. т. у.т.

Фитомасса. В качестве сырья для получения жидкого и газообразного топлива можно применять периодически возобновляемый источник энергии - фитомассу быстрорастущих растений и деревьев. По экспертным оценкам, к 2010 г. за счет названного источника может быть получено 50-70тыс. т у.т. Начата реализация программы по освоению технологии выращивания быстрорастущих пород растений в организациях концерна "Белтопгаз".

Отходы растениеводства. Общий потенциал отходов растениеводства оценивается до 1,46 млн. т у.т. в год. Решения о целесообразных объемах их сжигания для топливных целей следует принимать, сопоставляя конкретные нужды хозяйств в индивидуальном порядке. К концу прогнозируемого периода объем использования отходов растениеводства оценивается на уровне 20-30тыс. ту.т.

Бурые угли. Известны 3 месторождения бурых углей: Житковичское, Бриневское и Тонежское с общими запасами 151,6 млн. т. Разведаны детально и подготовлены для промышленного освоения Северная (23,5 млн. т) и Найдинская (23,1 млн. т) залежи углей Житковичского месторождения, две другие - Южная (13,8 млн. т) и Кольменская (8,6млн.т) - разведаны предварительно. Разработка угольных месторождений возможна открытым способом, однако в ближайшей перспективе не рекомендована республиканской экологической комиссией, поскольку в результате вынужденного резкого снижения грунтовых вод возможный экологический ущерб из-за гибели лесных угодий, рыбных прудов, снижения урожайности сельхозугодий, запыленности территорий значительно превысит получаемые выгоды.

Горючие сланцы. Прогнозные запасы горючих сланцев (Любанское и Туровское месторождения) оцениваются в 11 млрд. т, промышленные – 3 млрд.т. Наиболее изученным является Туровское месторождение, в пределах которого предварительно разведано первое шахтное поле с запасами 475-697млн. т (1 млн. т таких сланцев эквивалентен примерно 220 тыс. т у.т.). По своим качественным показателям белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой их зольности и низкой теплоты сгорания. Они не пригодны для прямого сжигания, а требуют предварительной термической переработки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость получаемых продуктов (коксовый газ и сланцевое масло) на 30 процентов выше мировых цен на нефть с учетом ее доставки на территорию республики [1].

Таким образом, увелечение роли биомассы как источника энергии можно по праву считать актуальным и перспективным проектом, ведь увеличение ее использования ведет к улучшению как экологической, так экономической ситуации в мире. Учитывая географические особенности стран, можно выгодно использовать их потенциал. Конечно же нельзя отрицать, что установки, использующие биомассу в качестве источника энергии, относительно маломощны и достаточно дорогостоящие, но именно они помогают снизить потребление газа, угля, нефти и сократить их добычу, что существенно уменьшит загрязнение окружающей среды, поможет избежать глобальное изменение климата и нарушения теплового баланса атмосферы.

Литература

1. Черноусов С.В. Энергетика Беларуси смотрит в будущее. – Мн.: Энергоэффективность, 2006.- №1 – с.5-8.
2. Газета «Энергетика Беларуси» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energo.by/content/infocenter/otraslevaya-pressa/gazeta-energetika-belarusi/>. – Дата доступа: 04.11.2019.

УДК 621

Технические характеристики и способы подключения батарей конденсаторов в электрическую сеть.

Дюров В.В.

Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

Передача реактивной мощности по линии электропередачи приводит к снижению напряжения, особенно заметному на воздушных линиях электропередачи, имеющих большое реактивное сопротивление. Кроме того, дополнительный ток, протекающий по линии, приводит к росту потерь электроэнергии. Если активную мощность нужно передавать именно такой величины, которая требуется потребителю, то реактивную можно сгенерировать на месте потребления. Для этого и служат конденсаторные батареи.

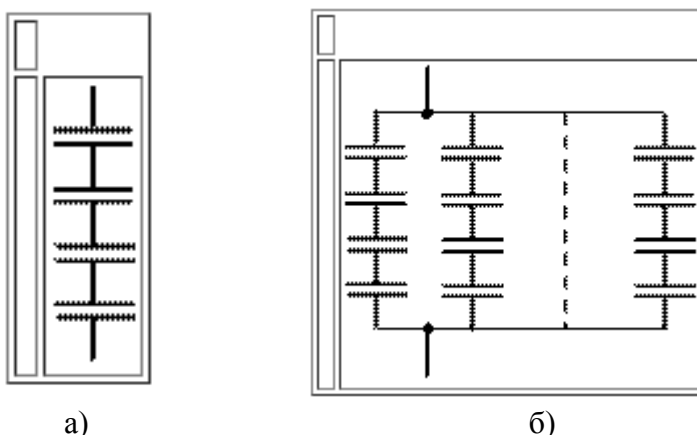
БСК – батарея, собранная из единичных конденсаторов, путем их параллельно-последовательного соединения, а также комплект вспомогательного оборудования и металлоконструкций.

БСК состоит из отдельных конденсаторных элементов КЭ. Обкладками этого КЭ является многослойная (до 10 слоев) фольга, свернутая в рулон, толщиной несколько микрон.

Диэлектриком является специальная конденсаторная бумага, пропитанная маслом. Она также многослойная толщиной несколько микрон. Также диэлектриком может быть полипропиленовая пленка.

Этот рулон помещается в металлический корпус цилиндрической формы, заливается маслом или синтетической жидкостью. Получаем готовый конденсаторный элемент (КМ – залитый маслом, КС – залитый синтетической жидкостью).

КЭ соединяются последовательно для получения нужного напряжения (рис. 1а) и параллельно для получения нужной мощности. Параллельных цепочек может быть столько, сколько необходимо для обеспечения требуемой мощности (рис 1б):



а) б)
Рисунок 1 – Последовательное (а) и параллельное (б) соединение КЭ

Технические особенности БСК:

1. При одной и той же мощности масляные конденсаторы имеют большие габариты в 1,5-2 раза, а синтетические конденсаторы не могут работать при температуре ниже -10 °С .
2. Мощность конденсаторов зависит от квадрата напряжения.

$$Q = \frac{C \cdot U^2}{2} \tag{1}$$

Предположим, что из десятка батарей одна отключилась ⇒ степень компенсации уменьшилась ⇒ из сети будет потребляться большая мощность ⇒ увеличились токи ⇒ повысились потери напряжения ⇒ напряжение на самой БК

уменьшилось \Rightarrow уменьшилась мощность \Rightarrow уменьшилась степень компенсации \Rightarrow из сети потребляется большая мощность и т. д. Этот процесс называется лавина напряжения.

То же самое происходит при уменьшении напряжения.

БК разряжаются очень медленно (сутками). Поэтому необходимо применять разрядные сопротивления, в батареях большой мощности разрядные сопротивления внутри и на схемах их не показывают, они постоянно подключены, создавая дополнительные потери.

Существуют следующие схемы подключения БСК:

1. В цепях низкого напряжения $U=0,4$ кВ;
 - а. Подключение БСК по схеме общего выключателя с двигателем (рис. 2а);
 - б. Подключение БСК к шинам 0.4 кВ (рис. 2б);
 - в. Подключение БСК к линии (рис. 2в);.

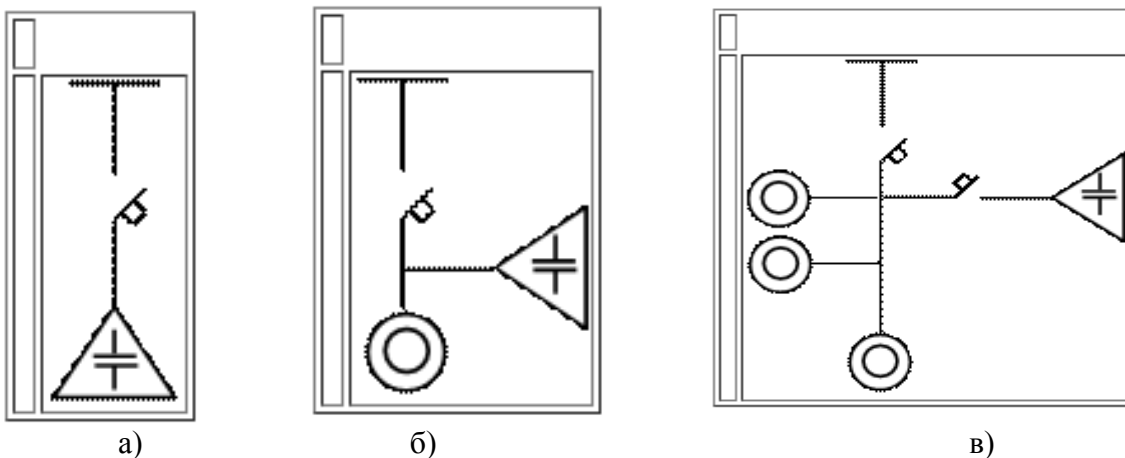


Рисунок 2 – Подключение БСК в сети 0,4 кВ

2. В цепях высокого напряжения $U=6-10$ кВ;
 - а. Подключение БСК через рубильник и предохранитель (рис. 3а);
 - б. Подключение БСК через выключатель, $Q \geq 400$ кВАр (рис. 3б);
 - в. Подключение БСК к двигателю (рис. 3в);.

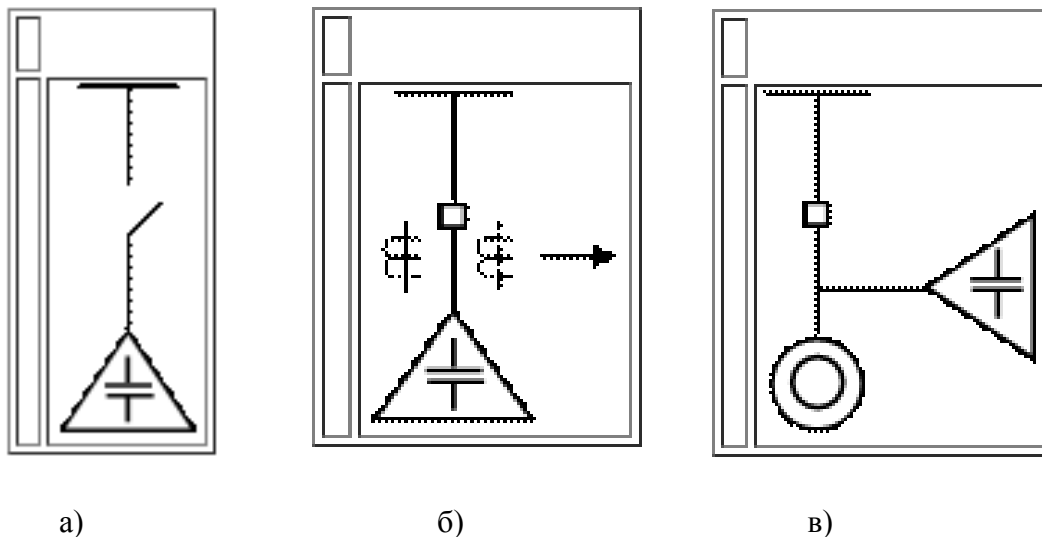


Рисунок 3 – Подключение БСК в сети 0,4 кВ

Литература

1. Общие сведения по использованию БСК [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5864538/>. – Дата доступа: 29.10.2019.
2. Конструкция и техническая характеристика БСК. [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-42276.html>. – Дата доступа: 04.11.2019.
3. Схемы подключения БСК [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-42277.html>. – Дата доступа: 05.11.2019.

УДК 621.3

Накопители энергии

Хитров И. С.

Научный руководитель – ГАПАНЮК С.Г.

На сегодняшний день человечество не может обойтись без использования электроэнергии. Она применяется повсеместно: в быту, на предприятиях, в сельском хозяйстве и т.д. С каждым годом потребление электроэнергии растёт, вследствие чего возникает проблема нехватки электроэнергии. Но также в связи с этим появляется и другая проблема: с увеличением потребителей увеличивается и неравномерность потребления ими энергии. Неравномерность потребления электроэнергии с течением времени является сложностью для энергосистемы так как зачастую маневренность электрических станций достаточно низкая. Для примера приведём суточный график потребления мощности с подстанции 10/0,4 кВ с коммунально-бытовым характером нагрузки в понедельник (рис.1).



Рисунок 1 – Суточный график нагрузки

Как видно из графика потребление электроэнергии сильно варьируется. В ночные часы потребление минимально, а в вечерние часы наблюдается пик потребления. Одним из вариантов решения проблемы неравномерности использования электроэнергии, является введение дифференцированных тарифов на электроэнергию. К примеру, чтобы энергия в ночные часы стоила в 5-6 раз дешевле, чем днём. Это заставит потребителей задуматься о том как сэкономить, а именно запасти энергию за ночь для дальнейшего использования днём.

Решение можно найти благодаря ряду производителей, которые предлагают аккумуляторы заряжающиеся от сети в выбранном промежутке времени, а после же запасённая энергия может быть использована в любое время. Это поможет сгладить график нагрузки.

Другое преимущество — появляется возможность подключать к электросети приборы с большей мощностью, чем позволяет линия электропередачи, идущая к потребителю. Накопитель потихоньку запасает энергию на протяжении длительного промежутка времени,

а затем отдает большую мощность на протяжении относительно короткого промежутка времени[1].

Остановимся более подробно на различных видах аккумуляторов. На сегодняшний день наиболее широко используются литий-ионные аккумуляторы. Скорее всего, вы с ними знакомы так как именно их зачастую монтируют в различные девайсы.

Они обладают такими достоинствами как: высокая плотность накапливаемой энергии, пренебрежительно малый уровень «эффекта памяти», низкое выходное сопротивление, что позволяет на пиках нагрузки отдавать потребителю большую мощность. Но есть и недостатки. При неправильных зарядке и эксплуатации аккумуляторы не просто выходят из строя, они могут воспламениться и даже взрываться. Проблема решается с помощью микропроцессорных контроллеров в зарядных устройствах, тем не менее, иногда такие устройства могут давать сбои[1].

В последнее время ведутся разработки водородных аккумуляторов, в них вода расщепляется на кислород и водород благодаря электролизу. Энергия запасается в виде водорода, который позже используется для выработки электричества. Но имеется следующий нюанс – водород является взрывоопасным веществом и легко улетучивается из резервуара, где он хранится.

Конкурентом литий-ионных аккумуляторов являются суперконденсаторы. В отличие от аккумуляторов, в которых электроэнергия запасается в виде химической энергии, которая затем преобразуется обратно в электрическую эти преобразования обуславливают потери энергии, суперконденсаторы накапливают непосредственно электрическую энергию. Также в отличие от аккумуляторов у них практически не ограничено количество циклом зарядки-разрядки. КПД суперконденсаторов близко к 100%. Они так же безопасны в эксплуатации и не содержат вредных для окружающей среды веществ. Но у суперконденсаторов есть один существенный недостаток – это очень дорогое оборудование, а так же плотность хранения энергии не столь велика как у аккумуляторов.

Можно сказать что на сегодняшний день есть возможность снизить пики нагрузки энергосистемы благодаря использованию потребителями накопителей электроэнергии. В основном выбор падает на литий-ионные аккумуляторы в виду того что они обладают такими преимуществами как дешевизна по сравнению с другими, большая плотность накапливаемой энергии. Но к сожалению на данный момент потребитель не сильно заинтересован в использовании накопителей энергии. Стоит обратить внимание на решение этой проблемы и стимулировать потребителя идти на такие меры, а также продвигать, развивать и модернизировать накопители электроэнергии.

Литература

1. Электротехнический интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.elec.ru/articles/nakopiteli-energii-dlya-effektivnoj-raboty-energос/>. – Дата доступа 05.11.2019.
2. Институт энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://energy.hse.ru/accenergy>. – Дата доступа 05.11.2019.
3. Всё об альтернативной энергетике [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://tcip.ru/blog/ups/nakopitel-energii-ot-ekomotors-5-7-kvt.html>. – Дата доступа 05.11.2019.

УДК.621.3.06

Приложение для токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ

Флерко М.В., Паланевич А.П.
Научный руководитель – ГАПАНИОК С.Г.

Токи короткого замыкания (ТКЗ) являются опасным явлением в электрических сетях. Их протекание по элементам сети, даже за миллисекунды, может привести к повреждению их изоляции и токоведущих частей.

Поэтому необходимо знать реальные значения ТКЗ, которые используются для выбора автоматических выключателей и уставок их срабатывания.

В данной работе было выполнено дополнение существующего ГОСТ 28249-93 по расчетам ТКЗ в сетях до 1 кВ более детальными работами в направлении учёта нагрева и дугового характера ТКЗ.

На практике значения ТКЗ определяют на основе замеров сопротивления петли «фаза-ноль», и далее делят фазное напряжение в точке замера на это сопротивление. Как результат получают значение тока однофазного короткого замыкания, которое из всех типов КЗ является минимальным и по его величине выбирают АВ.

Проектные организации используют ГОСТ 28249-93 и прочие нормативные документы, где для нахождения ТКЗ применяется метод симметричных составляющих, который позволяет получить мгновенные значения для любого момента времени, там же есть учет несимметрии с помощью таких параметров как сопротивление соответствующих последовательностей, дугового характера ТКЗ сопротивлением дуги, которое принимается в зависимости от типа выбираемого оборудования, ном. напр. сети и мощности питающего трансформатора, а так же учитывается нагрев провода начиная от времени 0,1 секунда.

В ГОСТ даны таблицы по учету дуги при КЗ, но для учета нагрева там графики не на все случаи и лучше использовать работы профессора Голубева [1], где на основе подстановки соответствующих значений токов, сечений и марки кабеля до потребителя, и расчетного времени протекания ТКЗ по кривым определяется коэффициент токоограничения, помножив на который ТКЗ мы получим ТКЗ с учетом нагрева.

ТКЗ

Исходные данные

Материал провода Медь Алюминий Сталь

Длина провода м

Сечение провода кв. мм

Сопротивление "фаза-ноль":

 активное Ом

 реактивное Ом

Мощность питающего трансформатора кВА

Место короткого замыкания в разделке кабелей в шинпроводе ШМА КЗ в конце шинпровода ШМА

Номинальное напряжение сети 400 В 525 В 690 В

Температура проводника С

Время КЗ с

А

Рисунок 1 – Интерфейс разработанного приложения

Тем не менее методика получается громоздкой и нужно иметь несколько справочников для того, чтобы определять необходимые значения и коэффициенты в зависимости от условий расчета. Поэтому было разработано приложение, которое автоматически рассчитывает значения в зависимости от исходных данных, его интерфейс представлен на рисунке 1.

Литература

1. Голубев М.Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4-35 кВ, 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980.-88 с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Перспективы развития термоядерного синтеза

Бохон Е.А., Соловьев С.С.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

Потери в трансформаторе и способы их уменьшения

Сергеенко И.М., Шалыгин Н.Г.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Автоматическое регулирование мощности компенсирующих устройств и их управление

Чучков А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

Глубокие нейронные сети и их реализация в современном мире, возможность применения нейронных сетей в энергетике

Лобиков С.А., Акуленко М.Д.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Назначение и классификация пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н. КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Экологичная альтернатива элегазу

Поздняков М.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Высококочувствительный сигнализатор напряжения

Ермолинская Л.Э., Тарарай А.О.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

Уменьшение потерь электроэнергии

Гаврилова В.В., Федюкова М.С.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Перспективы развития РЗиА распределительных сетей 6-10 кВ

Поддипалин О.Я.

Научный руководитель – к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

Нелинейные ограничители перенапряжения

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н. ДЕРЮГИНА Е.А.

Аморфные металлические сплавы

Веселов Ю.В.

Научный руководитель – к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

Применение автономных осветительных систем для наружного освещения

Петровская Е.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

Разрядники с длинно-искровыми промежутками

Агеенко Ю.В., Березан П.В., Мелешко М.С.

Научный руководитель – к.т.н. ДЕРЮГИНА Е.А.

Способы охлаждения асинхронного двигателя

Ализода Зубайдулло

Научный руководитель – к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

Особенности зарядных устройств электромобилей TESLA

Стаскевич П.И.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

Получение электрической энергии посредством редуцирования давления поступающего газа

Богушевич В.И.

Научный руководитель – ст. препод. СТАЛОВИЧ В.В.

Актуальность применения автоматического выключателя или плавкого предохранителя

Минюк Н.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

Архитектурное освещение, его виды и основные требования

Сурович П.В.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

История развития и современные проблемы качества электрической энергии

Демещик А.В., Хуршедзода С.

Научный руководитель – ст. препод. СТАЛОВИЧ В.В.

Драйверы для светодиодов

Мацук А.С., Клявдо М.А.

Научный руководитель- к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В. Б.

Понятие потерь в трансформаторах. Добавочные потери

Коновалов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент. КОНСТАНТИНОВА С.В.

УДК 564.062.2

Перспективы развития термоядерного синтеза

Бохон Е.А., Соловьев С.С.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

За последние 100 лет человечество совершило большой прорыв в промышленности. Этому способствовала «безграничная» добыча ресурсов. В эпоху индустриальной революции люди не сильно задумывались о возможности истощения полезных ископаемых и добывали их в непомерном количестве. На сегодняшний день проблема истощения полезных ископаемых является одной из важнейших мировых проблем. Человечество всегда будет зависеть от энергии, большинство которой на данный момент вырабатывается за счёт сжигания полезных ископаемых. Эти потребности могут привести к энергетическому кризису.

Многие страны, почти исчерпавшие свои ресурсы, начали задумываться о развитии альтернативных источников энергии. Данное направление является перспективным, однако не очень эффективным по сравнению с традиционными источниками. На 2010 год на долю альтернативной энергии, за исключением гидроэнергетики, приходилось всего 4,9% от всей потребляемой энергии. В 2017 году этот показатель достиг 9,6%, но уже в 2018 году он упал до 8,4% [1].

World gross electricity production, by source, 2017

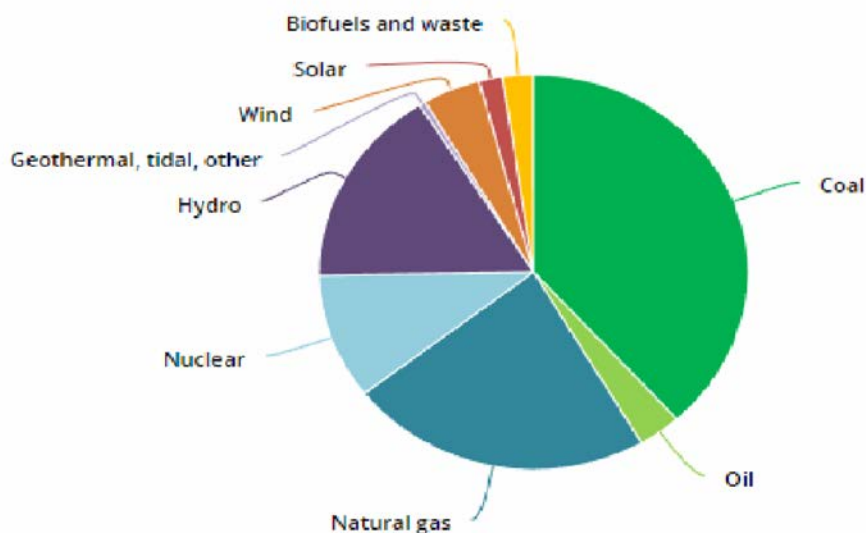


Рисунок 1 – Мировая выработка электроэнергии из различных источников

Другим альтернативным решением стало развитие атомной энергетики. Эта отрасль имеет ряд преимуществ перед традиционными ТЭС, однако оценки выработки энергии находятся в пределах 10-15%. Среди «нетрадиционных» станций лидируют гидроэлектростанции, на долю которых приходится порядка 15-20 % выработки мировой энергии. Оставшаяся выработка, около 60%, приходится на тепловые станции, работающие на угле и природном газе (рис.1).

А теперь посмотрим на оставшиеся запасы ископаемых:

В Великобритании нефть закончится через 5,2 года, газ - через 3 года, уголь - через 4,5 года. Во Франции и того хуже – эти ресурсы истощатся меньше чем через год. Германия, напротив, может прожить еще 250 лет на угле, но только два года на газе и меньше года на нефти. В Италии нефти хватит на год, газа - меньше, чем на год. В Болгарии уголь закончится только через 43 года, в Польше - через 34 года.

Как видно из статистики, некоторые страны вынуждены будут в скором времени или увеличивать импорт ресурсов, или развивать другие способы выработки энергии.

Одним из перспективных направлений является ноу-хау энергетики – термоядерный синтез. Идея выработки энергии из реакции синтеза, используя водород в качестве топлива появилась ещё в 1951 году. Первый экспериментальный ядерный реактор был построен в Великобритании уже в 1983 году (*JET*) [2]. Однако первый опыт получения 16 Мегаватт из термоядерной реакции мало кого обнадежил. Соотношение затраченной энергии к полученной – так называемый коэффициент энергоэффективности, составлял всего 0.7, в то время как для поддержания длительной термоядерной реакции этот показатель должен равняться 20, а то и больше.

Низкая энергоэффективность – далеко не единственная проблема на пути учёных. Основной проблемой является поддержание требуемой температуры для успешного проведения синтеза – порядка 10^8 К. Современные технологии позволяют достичь такой температуры, однако поддерживать её возможно менее двух минут, что делает пока что невозможным длительную работу термоядерных реакторов.

Но почему же несмотря на все эти сложности, учёные всего мира заинтересованы в развитии данного направления? Ответ кроется в сравнении с противоположным явлением, с делением ядер. В отличие от атомной энергетики, в реакциях термоядерного синтеза происходит синтез ядер.

Реакция синтеза заключается в следующем: два или более относительно лёгких атомных ядра в результате теплового движения сближаются настолько, что короткодействующее сильное взаимодействие, проявляющееся на таких расстояниях, начинает преобладать над силами кулоновского отталкивания между одинаково заряженными ядрами, в результате чего образуются ядра других, более тяжёлых элементов. Примером является реакция дейтерий-тритиевой смеси с образованием ядра гелия-4 и испусканием нейтрона (рис.2). Именно эту реакцию планируется использовать в дальнейшей перспективе получения электроэнергии.

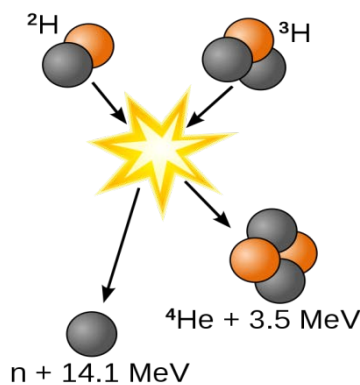


Рисунок 2 – Термоядерный синтез

На данный момент уже строится Международный Экспериментальный Термоядерный Реактор (ITER), расположенный в Кадараше (Франция) [3].

ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) станет уникальным экспериментальным инструментом, способным к увеличению длительности плазмы и улучшению удержания. С помощью такого реактора специалисты собираются преодолеть разрыв между нынешними небольшими экспериментальными установками и термоядерными электростанциями будущего. Для этого перед ITER ставятся следующие задачи:

1. Выработки 500 МВт мощности термоядерного синтеза импульсами длительностью 400 с. При 50 МВт мощности впрыскиваемого тепла он будет производить 500 МВт мощности термоядерного синтеза для длинных импульсов от 400 до 600 секунд.

2. Продемонстрировать интегрированную работу технологий для термоядерной электростанции. Ученые смогут изучать плазму в условиях, аналогичных тем, которые ожидаются на будущей электростанции, и тестировать такие технологии, как отопление, управление, диагностика, криогеника и дистанционное обслуживание в интегрированном виде.

3. Получение дейтерий-тритиевой плазмы, в которой реакция поддерживается за счет внутреннего нагревания. В горячей плазме энергия ядер гелия, образующихся, когда изотопы водорода сливаются, становится достаточно большой (из-за большого числа реакций) для того, чтобы превышать нагрев плазмы, который впрыскивается от внешних источников. Будучи первым в мире подобным горящим плазменным устройством, ITER предоставит ученым уникальную возможность нанести на карту новую территорию в управляемом ядерном синтезе.

4. Одной из задач на более поздних этапах работы ITER является демонстрация возможности производства трития в вакуумном сосуде. Мировых поставок трития (который используется с дейтерием для подпитки реакции синтеза) недостаточно для удовлетворения потребностей будущих электростанций. ITER предоставит уникальную возможность испытать макет внутрипосадочных тритиевых blankets в реальных условиях термоядерного синтеза (рис.3).

5. Продемонстрировать характеристики безопасности термоядерного устройства. В 2012 году, когда организация ITER получила лицензию в качестве ядерного оператора во Франции, термоядерное устройство ITER стало первым в мире, успешно прошедшим тщательную проверку своего обоснования безопасности. Одной из основных целей работы ITER является демонстрация контроля реакций плазмы и термоядерного синтеза с незначительными последствиями для окружающей среды.

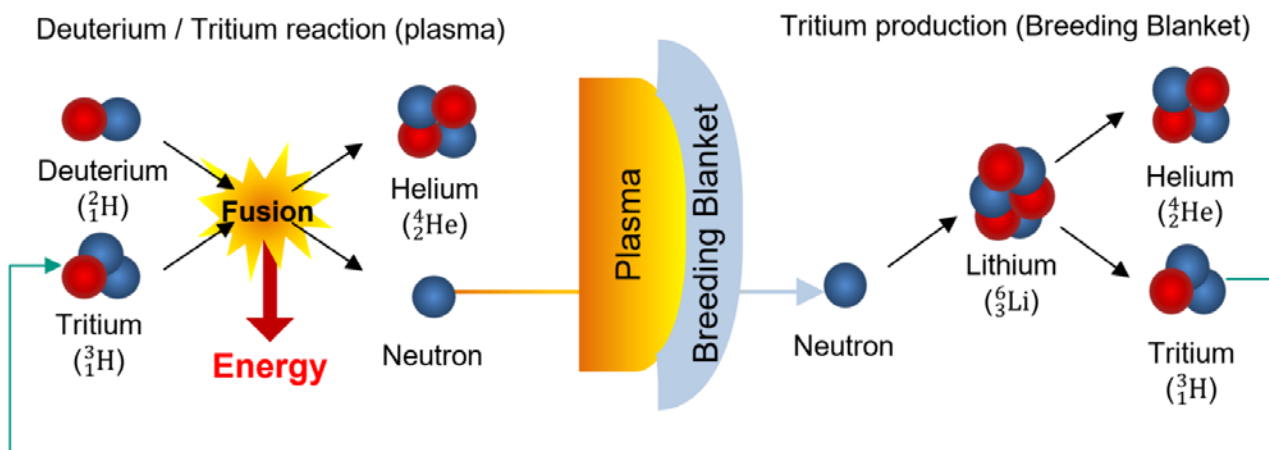


Рисунок 3 – Схема получения трития во внутрипосадочных blankets

После окончания строительства здания реактора начнется сборка и установка машины ITER. За этапом сборки ITER, который включает сборку основного оборудования, а также установку всех систем установки, последует этап ввода в эксплуатацию, чтобы обеспечить совместную работу всех систем. Ввод в эксплуатацию закончится достижением первой плазмы.

Предполагается, что эксплуатационная фаза ITER продлится 20 лет: во-первых, запланирован многолетний период «откачки» в чистом водороде, в течение которого машина будет оставаться доступной для ремонта, и будут проверены наиболее перспективные физические режимы. За этой фазой последует работа в дейтерии с небольшим количеством трития для проверки защитных свойств стен. Наконец, ученые начнут третью фазу с более частой работой с равной смесью дейтерия и трития при полной мощности термоядерного синтеза.

Важнейшей частью ITER является токамак - вакуумная камера в форме пончика. Термин «токамак» происходит от русской аббревиатуры, которая означает «тороидальная камера с магнитными катушками». Именно в этой камере будут происходить термоядерные реакции.

Для начала процесса воздух и примеси удаляются из вакуумной камеры. Затем магнитные системы, которые помогут ограничить и контролировать плазму, заряжаются и вводятся

газообразное топливо. Когда через сосуд проходит мощный электрический ток, газ электрически распадается, ионизируется (электроны отрываются от ядер) и образует плазму.

Впервые разработанный советскими исследователями в конце 1960-х годов, токамак был принят во всем мире как наиболее перспективная конфигурация устройства для магнитного синтеза. ITER станет крупнейшим в мире токамаком - в два раза больше самого большого в настоящее время оборудования, а объем плазменной камеры будет в десять раз больше. Сам реактор состоит из следующих элементов:

1. Магнитная система. Десять тысяч тонн сверхпроводящих магнитов создадут магнитные поля, чтобы инициировать, ограничивать, формировать и контролировать плазму ITER.

2. Вакуумная камера. Вакуумный сосуд из нержавеющей стали содержит реакции синтеза и выступает в качестве первого защитного барьера.

3. Бланкет. Защищает стальной вакуумный сосуд и внешние компоненты машины от нейтронов высокой энергии, образующихся в ходе реакции синтеза.

4. Дивертор. Расположенный в нижней части вакуумной камеры, дивертор контролирует выбросы отработавших газов и примесей из реактора и выдерживает самые высокие поверхностные тепловые нагрузки машины ITER.

5. Криостат. Криостат из нержавеющей стали (29 x 29 м) окружает вакуумный сосуд и сверхпроводящие магниты и обеспечивает ультра-холодную вакуумную среду.

Поскольку этот проект является самым масштабным в своём роде, в его разработке и финансировании участвует несколько стран (рис. 4). Стоимость проекта первоначально оценивалась в 12 млрд \$ [4].

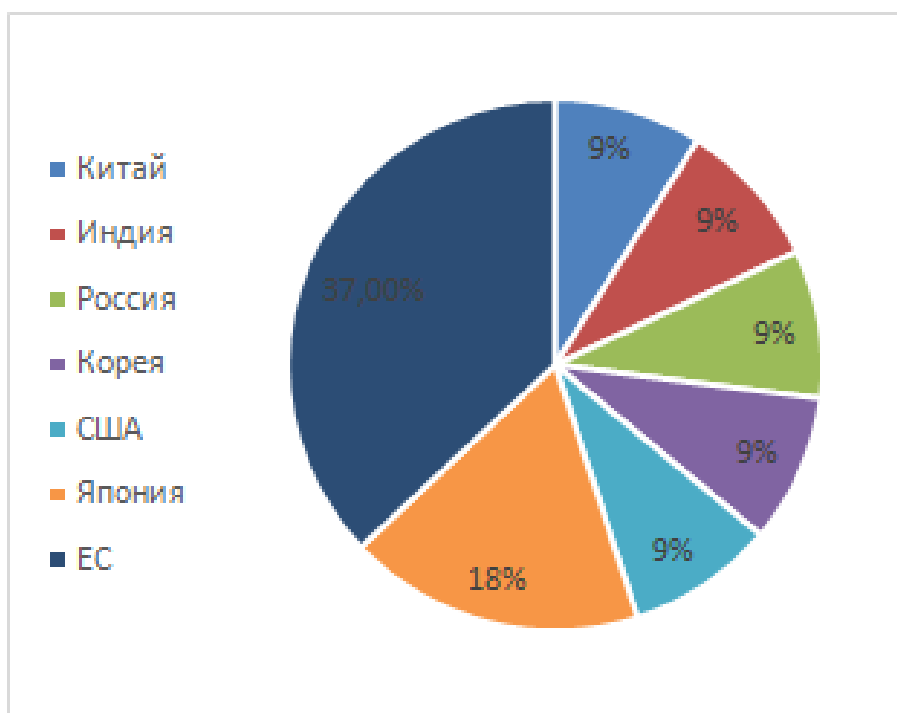


Рисунок 4 – Вклады стран участников

Разработка реактора ITER является лишь первым шагом на пути создания первой полномасштабной термоядерной электростанции. Существует проект электростанции DEMO на термоядерном синтезе, задача которой как раз и продемонстрировать привлекательность коммерческого использования технологии. Этот комплекс должен будет непрерывно (а не импульсно, как ITER) генерировать 2 ГВт энергии. Сроки реализации нового глобального проекта зависят от успехов ITER, но по плану 2012 года первый пуск DEMO произойдет не раньше 2044 года.

Реакции термоядерного синтеза обладают рядом очевидных преимуществ:

1. Единственными материальными «побочными» продуктами термоядерного синтеза являются гелий-4, безвредный инертный газ, и тритий, который используется в качестве дополнительного топлива.

2. Дейтерий легко добывается из воды. Лития более чем достаточно в земной коре. Тритий можно воспроизводить в реакторе. Для работы термоядерного реактора на основе D—T- синтеза необходимы только три этих вещества.

3. Электростанция с термоядерным реактором не производит выбросов так называемых парниковых газов, угарного газа или пылевых загрязнителей, как это делают электростанции на природном топливе.

4. Минимизация вероятности аварийного взрывного увеличения мощности.

В качестве недостатков термоядерного синтеза можно отметить следующие:

1. Несмотря на то, что непосредственно в процессе D—T-синтеза не образуется радиоактивных отходов, высвобождающиеся нейтроны со временем радиоактивно заражают защитную оболочку реактора. Эту проблему можно частично решить за счет использования малочувствительных к радиации материалов.

2. В процессе работы термоядерного реактора некоторое количество радиоактивного трития может быть выброшено в окружающую среду. Его период полураспада составляет 12 лет.

На основе вышеизложенного материала можно сделать вывод, что перспективы выработки энергии на основе термоядерного синтеза вполне могут считаться оправданными.

Литература

1. International Energy Agency [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://www.iea.org/statistics/electricity>. Дата доступа: 06.11.2019.

2. Новостной портал [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://hi-news.ru/technology/v-velikobritanii-uspeshno-zapustili-eksperimentalnyj-termoyadernyj-reaktor.html>. Дата доступа: 06.11.2019.

3. Unlimited Energy [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>. Дата доступа: 06.11.2019.

4. Самая грандиозная научная стройка современности [Электронный ресурс]. – Код доступа: <https://tech.onliner.by/2018/07/13/termoyadernyj-reaktor-iter>. Дата доступа: 06.11.2019.

УДК 621.314

Потери в трансформаторе и способы их уменьшения

Сергеенко И.М., Шалыгин Н.Г.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Трансформатор — статическое электромагнитное устройство и как любое устройство он не может работать без потери мощности. Так как в трансформаторе отсутствуют вращающиеся элементы, то механические потери в нем отсутствуют. Все потери в трансформаторе — это потери активной мощности, возникающие в магнитной системе, обмотках и других составляющих трансформатора в зависимости от режима его работы, которые всегда приводят к лишнему расходу средств и материалов, что является главным фактором удорожания энергии. Поэтому в энергетике остро стоит вопрос об уменьшении потерь в трансформаторах. В данной работе рассмотрим причины возникновения различных видов потерь в трансформаторе, а также постараемся найти пути их уменьшения для улучшения качества работы трансформатора и рационального использования средств и ресурсов.

Для того, чтобы начать искать методы решения борьбы с потерями в трансформаторе, для начала следует разобраться с причинами их возникновения. Как уже говорилось выше, потери в трансформаторе складываются из постоянных и переменных потерь, которые характеризуются потерями холостого хода и короткого замыкания.

Для начала разберемся с потерями холостого хода. Холостой ход - это режим работы трансформатора, который основан на питании какой-то одной обмотки, когда состояние всех остальных разомкнуто. При таком типе работы все утечки, которые неизбежно возникают при номинальных значениях уровня напряжения и частоты, принято называть потерями холостого хода. Потери холостого хода в трансформаторе складываются из нескольких составляющих: магнитные потери мощности холостого хода, наблюдающиеся в стальных частях, потери в первичной обмотке из-за тока холостого хода и диэлектрические потери, возникающие в изоляционном слое. Последние актуальны только для приборов, работающих при повышенных частотах. Для трансформаторов, которые работают на частоте 50 Гц, такие потери не существенны и, как правило, не учитываются. Также менее одного процента от потерь холостого хода приходится на потери в первичной обмотке. Самая существенная доля потерь приходится на магнитные потери в магнитопроводе трансформатора.

Магнитные потери в свою очередь можно разделить на две составляющие: потери на гистерезис и потери от вихревых токов. В сердечнике любого электромагнита после выключения тока всегда сохраняется некоторая часть магнитных свойств, называемая остаточным магнетизмом. При всяком изменении направления тока в обмотке необходимо сначала размагнитить сердечник, и только после этого он может быть намагничен в новом направлении. Для этого потребуется приложить какой-то магнитный поток противоположного направления. Этот магнитный поток получил название коэрцитивная сила. Иначе говоря, изменение намагничивания сердечника всегда отстает от соответствующих изменений магнитного потока, создаваемого обмоткой трансформатора.

Это отставание магнитной индукции от напряженности магнитного поля носит название гистерезиса. При каждом новом намагничивании сердечника для уничтожения его остаточного магнетизма приходится действовать на сердечник магнитным потоком противоположного направления. Практически это будет означать затрату какой-то части электрической энергии на преодоление коэрцитивной силы, затрудняющей поворот доменов в новое положение. Затраченная на это энергия выделяется в железе в виде тепла и представляет потери на перемагничивание, что и является потерями на гистерезис в трансформаторе.

Величина остаточного магнетизма зависит от свойств используемого материала сердечника. Установлено, что коэрцитивная сила достигает большего значения у закаленной стали и меньшего - у мягкого железа. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что железо, применяемое для изготовления магнитопровода в трансформаторах, должно выбираться всегда мягкое, с очень небольшой коэрцитивной силой. Чаще всего для изготовления магнитопроводов

используют электротехническую сталь. Также используют аморфное железо, феррит и пермаллой. Применение данных материалов при изготовлении магнитопровода существенно уменьшает потери на гистерезис и тем самым повышает коэффициент полезного действия трансформатора. Удешевление указанных материалов или изобретение более дешевого аналога с подобными свойствами приведет к улучшению экономических показателей.

Кроме потерь на гистерезис большую часть потерь составляют потери на вихревые токи. В трансформаторах неподвижные металлические детали пересекаются силовыми линиями меняющегося по величине магнитного поля. В этих металлических деталях наводятся ЭДС самоиндукции. Под действием этих ЭДС в массе магнитопровода протекают вихревые токи (токи Фуко), которые замыкаются в массе, образуя вихревые контуры токов. Вихревыми токами называются электрические токи, возникающие вследствие электромагнитной индукции в проводящей среде при изменении пронизывающего ее магнитного потока.

Вихревые токи порождают свои собственные магнитные потоки, которые по правилу Ленца противодействуют основному магнитному потоку катушки и ослабляют его. Кроме того, они вызывают, нагрев сердечника, что является бесполезной тратой энергии и снижает КПД трансформатора.

Для уменьшения мощности вихревых токов, увеличивают электрическое сопротивление магнитопровода, для этого магнитопровод набирают из отдельных тонких пластин, изолированных друг от друга с помощью специального лака или окалины. Этот метод получил название шихтовка. Плоскость пластин должна быть параллельна направлению магнитного потока. При таком делении сечения сердечника магнитопровода вихревые токи существенно ослабляются, так как уменьшаются магнитные потоки, которыми сцепляются контуры вихревых токов. Вследствие, понижаются ЭДС, создающие вихревые токи. В материал сердечника также вводят специальные добавки, увеличивающие его электрическое сопротивление. Для увеличения электрического сопротивления ферромагнетика электротехническую сталь производят с добавкой кремния.

Потери короткого замыкания (электрические потери) обусловлены нагревом обмоток трансформаторов при протекании по ним электрического тока. Мощность электрических потерь пропорциональна сопротивлению и квадрату тока и определяется суммой потерь в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Электрические потери называют переменными, так как они зависят от протекающего тока по обмоткам. Если мы хотим уменьшить потери короткого замыкания, то нам следует уменьшить сопротивление обмоток трансформатора, для этого при изготовлении обмоток следует использовать металлы, имеющие малое удельное сопротивление (медь и алюминий). Обычно используют алюминий, так как он намного дешевле меди и имеет довольно малое удельное сопротивление.

В данной работе мы разобрали причины возникновения потерь в трансформаторах и способы их уменьшения. Можно сделать вывод, что для уменьшения потерь следует проводить комплекс различных мероприятий при изготовлении и эксплуатации трансформаторов. Данные мероприятия повышают стоимость изготовления трансформаторов, но в ходе эксплуатации данные мероприятия значительно уменьшают потери различного рода, что позволяет нам экономить ресурсы и средства, затраченные на выработку и передачу электроэнергии.

Литература

1. Кацман, М. М. Электрические машины. - 15-е изд., стер. - Москва : Академия, 2016. - 492 с. : ил. - (Профессиональное образование. Профессиональный модуль)

УДК 621.311

**Автоматическое регулирование мощности компенсирующих устройств
и их управление**

Чучков А.В.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

При постоянном росте тарифов на электроэнергию и дефиците финансовых средств важную роль играют мероприятия, которые способны дать максимально результативную экономию при минимальных материальных затратах.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) – самый дешевый и один из наиболее эффективных и комплексных способов снижения затрат на электроснабжение промышленного предприятия. КРМ позволяет не только снизить затраты на оплату потребляемой электроэнергии за счёт снижения потребления и генерации реактивной энергии, а так же потерь активной мощности, но и позволяет:

- оптимизировать режим работы электрических сетей и снизить затраты на их эксплуатацию;
- поддерживать постоянный уровень напряжения у потребителя электроэнергии;
- предотвращает необходимость в использовании более мощных трансформаторов и кабелей повышенного сечения;
- увеличить коэффициент мощности до нормируемой величины;
- повысить качество электроэнергии.

Самым распространённым и эффективным средством КРМ на промышленных предприятиях является использование конденсаторных установок. Преимущества конденсаторных установок заключается в следующем:

- высокий КПД;
- отсутствие вращающихся частей;
- простота монтажа и эксплуатации;
- относительно невысокие капиталовложения;
- возможностью установки в любых точках сети электроснабжения;
- бесшумность во время работы и т.д.

Максимальный результат от КРМ получают при внедрении автоматизированных конденсаторных установок (АКУ).

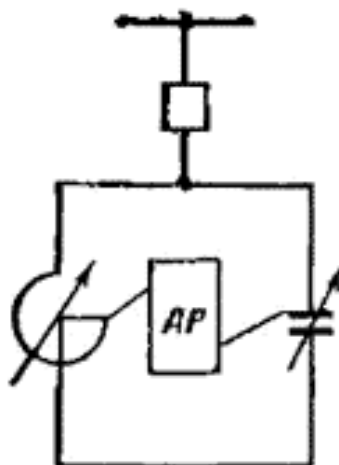


Рисунок 1 – Принципиальная схема статического КРМ

На рис. 1 показано управляемое ферромагнитное устройство, являющееся статическим компенсатором реактивной мощности, состоящее из управляемого реактора, параллельно включенного с конденсаторной установкой (КУ). Управляемый реактор представляет собой электромагнитный аппарат, индуктивное сопротивление которого плавно регулируется путем подмагничивания ферромагнитного сердечника постоянным током управления. Форсируемая

КУ подключается к одной из обмоток реактора. Помимо компенсации реактивной мощности, КУ служит для ограничения влияний высших гармоник в электрической системе.

Использование в статических компенсирующих устройствах искусственной коммутации, базирующейся на использовании электронной техники, раскрывает принципиально иные возможности быстродействующего регулирования реактивной мощности. Благодаря этому имеет место развитие данного направления в энергетике, что способствует достижению более высоких динамических характеристик устройств компенсации реактивной мощности в сетях электроснабжения.

Для того, чтобы получить максимальный результат при компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения в сетях до 10 кВ, имеющих частые и значительные колебания, применяются статические источники реактивной мощности (ИРМ). ИРМ состоят из конденсаторной установки, не имеющей регулирования, и регулирующего звена из индуктивности (реактора) с управляемыми полупроводниковыми вентилями.

Полная реактивная мощность ИРМ изменяется благодаря переменной составляющей реактивной мощности реактора, которая вычитается из постоянной составляющей реактивной мощности КУ:

$$Q_K = Q_C - Q_L,$$

где Q_K - полная реактивная мощность установки, квар;

Q_C - реактивная мощность КУ, квар;

Q_L - реактивная мощность индуктивности, квар.

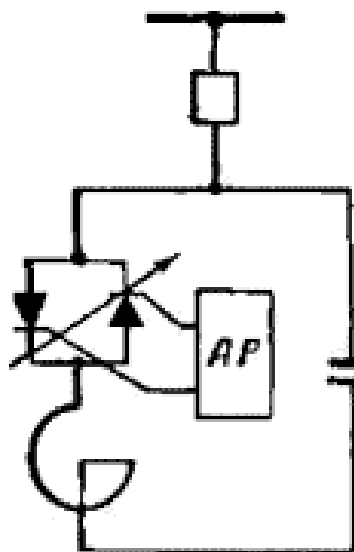


Рисунок 2 – Принципиальная схема управляемого статического ИРМ с искусственной коммутацией вентиляей

На рис. 2 показана принципиальная схема управляемого статического ИРМ. Каждая фаза ИРМ состоит из индуктивности и двух управляемых вентиляей, которые включены встречно-параллельно. Изменение режимов работы выполняется при помощи напряжения, подаваемого автоматическим регулятором (АР) на вход электронной схемы управления вентилями.

Компенсация реактивной мощности при резкопеременных нагрузках с помощью источника реактивной мощности происходит за минимально возможное время, при этом под влиянием ИРМ отклонение напряжения на шинах, питающих эти нагрузки, составляет приблизительно 2—2,5 %. При отсутствии ИРМ на предприятии отклонения напряжения составляют 15—17 %. Положительно сказывается влияние этого устройства на отклонение напряжении в других точках электрических сетей предприятия, составляющее до 1—2 %.

Схемы с ИРМ могут использоваться на практике и для регулирования напряжения на каждой фазе сети. Так как данное устройство состоит из трех независимых фаз, то существует возможность использования этого устройства для выравнивания не симметрий путем по фазного автоматического регулирования реактивной мощности.

Литература

1. Кочкин В.И., Нечаев О.П., Применение статических компенсаторов реактивной мощности с электрических сетях энергосистем и предприятий. / М.: Изд-во «НЦ ЭНАС», 2002. 248 с.
2. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/avtomaticheskoe-regulirovanie-moschnosti-kondensatornyh-ustanovok-18.html>. Дата доступа: 05.11.2019.
3. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/avtomaticheskoe-regulirovanie-moschnosti-kondensatornyh-ustanovok-3.html>. Дата доступа: 05.11.2019.

УДК 621.3.078, 004.02, 004.08

**Глубокие нейронные сети и их реализация в современном мире,
возможность применения нейронных сетей в энергетике**

Лобиков С.А., Акуленко М.Д.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

Нейронная сеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Это как ребенок, который с каждым разом решает пример, делая значительно меньше ошибок.

В современном мире нейронные сети развиваются в экспоненциальной прогрессии. Появляются всё новые виды нейронных сетей, и программ, реализующих их. Они стали применяться во многих сферах жизнедеятельности. В данной работе рассматриваются перспективы применения их в энергетической системе.

Работает нейронная сеть следующим образом: на входы нейронов поступают сигналы, которые суммируются, при этом учитывается значимость каждого входа, далее выходные сигналы одних нейронов поступают на входы других. Значимость каждого входа может быть положительной либо отрицательной. Связи с положительной значимостью называются возбуждающими, а с отрицательной - тормозящими. Эти связи определяют вычисления нейронной сети, а значит - её память и поведение, принцип примерно тот же, что и в нашем мозге. Нейронные сети могут распознавать образы или решать задачи классификации. Важным этапом в создании искусственной нейронной сети является ее обучение, которое заключается в настройке параметров данной сети.

Нейронные сети в энергетике могут применяться для улучшения различных аспектов операций на электрических станциях. Они могут предсказывать нагрузку, помогать персоналу управлять безопасностью, оптимизировать обратное давление турбин и моделирование процессов.

Наибольшее распространение в энергетике получили три вида искусственных нейронных сетей:

- многослойные сети прямого распространения;
- сети Кохонера;
- рекуррентные сети.

Многослойные персептрон не программируется в привычном смысле, и для реализации конкретной задачи выполняется его обучение путем подбора множества его коэффициентов W . Персептрон – это модель восприятия информации мозгом, в данном случае в компьютере. Сначала эти коэффициенты активируются начальными значениями и на вход сети подается вектор входных сигналов X , а затем при помощи функции активации производится вычисление вектора выходных значений Y , который сравнивается с известным значением $U1$, полученным опытным путем. Затем анализируется отклонение расчетного значения от заданного, и, если оно больше, корректируется W и повторяется процесс. Если расчетное значение меньше заданного, то сеть считается обученной. Данный подход называют обучением с “учителем”.

Для сети Кохонена, которая используется для построения клиентского профиля потребления электроэнергетики, применяется настройка нейронной сети “без учителя”, так как отсутствует заранее известный выходной вектор Y . Главную роль в обучении сети Кохонена принимает функция конкуренции, данная функция выбирает нейрон-победитель, который и является центром кластера данных.

Идея же рекуррентных нейронных сетей состоит в том, что сеть использует информацию последовательно. В отличие от традиционных нейронных сетей, где все входы и выходы независимы, рекуррентные нейронные сети помогают предсказать следующие значения, проанализировав предыдущие. Сеть называют рекуррентной, потому что она выполняет одну и ту же задачу для каждого элемента последовательности, а выход нейронной сети зависит от предыдущих вычислений.

Высокие результаты работы нейронных сетей исходят из того, что качество работы экспертной системы всегда стабильно и не зависит от внешних человеческих факторов. Также, искусственная нейронная сеть способна извлекать и применять ранее неизвестные знания. Диагностика является частым случаем классификации событий, причем наибольшую ценность представляет классификация тех событий, которые отсутствуют в обучающей нейронной сети наборе. Здесь проявляется преимущество – они способны осуществлять такую классификацию, обобщая прежний опыт и применяя его в новых случаях.

Для более успешного обучения необходима поддержка и других государств, например, для предоставления доступа к информации (базе) о загрязняющих факторах. Еще нужно обеспечить большие вычислительные мощности, в процессе обучения нейронной сети. В результате это приведет к быстрому и качественному, безошибочному обучению.

В наше время, когда производственные выбросы портят окружающую среду, а их количество все возрастает, они оказывают существенное влияние на здоровье людей. По данным Всемирной Организации Здравоохранения в 2016 году приблизительно 18% преждевременных смертей связано с болезнями легких в результате загрязнения окружающего воздуха. По оценкам Международного агентства Всемирной Организации Здравоохранения по изучению рака было доказано, что загрязненный воздух является канцерогенным. А канцерогенное воздействие на человека является одной из многих причин возникновения рака. Это заставляет задуматься о мерах по сокращению выбросов, к переходу в некоторых отраслях к экологически чистым и возобновляемым источникам энергии, а также о применении улучшенных фильтров на производстве.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды являются тепловые электростанции. Для Республики Беларусь данную проблему поможет решить атомная электростанция в городе Островец, которая производит существенно меньше выбросов загрязняющих веществ, по сравнению с тепловыми электростанциями. Однако недостатками атомной электростанции являются трудности с утилизацией отработанного ядерного топлива и самих прошедших эксплуатацию ядерных реакторов и тяжелые последствия возможных аварий.

Незначительное повышение фона радиации вблизи работающей атомной электростанции не вредит человеку. Как показывают исследования, уровни естественного излучения варьируются в довольно широких пределах, а организм человека не только подготовлен к колебаниям радиационного воздействия, но и в значительной степени ими сформирован. Наблюдая за населением отдельных регионов Земли с повышенным уровнем естественного фона (до десяти раз) превышающим средние значения, не было обнаружено каких-либо неблагоприятных последствий для организма. К сожалению, об этом мало кому известно.

Литература

1. <https://minzdrav.gov-murman.ru>.
2. Кустикова В.А. Свёрточные нейронные сети. Глубокие остаточные сети. Нижегородский институт информационных технологий, математики и механики.
3. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс. — М.: Вильямс, 2008.
4. Жианчанг Мао, Энил Джейн. Введение в искусственные нейронные сети // Открытые системы. СУБД. — 1997. — № 4.
5. Sledge I. J., Keller J. M. Growing neural gas for temporal clustering // 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'08), December 8–11, 2008, Tampa, Florida, USA.

УДК 621.3

Назначение и классификация пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н. КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Пускорегулирующий аппарат - светотехническое изделие, с помощью которого осуществляется питание газоразрядной лампы от электрической сети, обеспечивающее необходимые устойчивые режимы зажигания источника света, разгорания и нормальную работы лампы и конструктивно оформленное в виде единого аппарата или нескольких отдельных блоков.

С помощью пускорегулирующего аппарата обеспечивается следующее:

— зажигание разрядной лампы, т.е. пробой межэлектродного промежутка и формирования в нём требуемого вида разряда. Для выполнения этой функции необходимо наличие зажигающего устройства, которое зачастую является составным элементом ПРА. Надежность зажигания лампы обеспечивается выходными параметрами ПРА в режиме холостого хода, т.е. в режиме работы схемы включения при негорящей лампе [1, стр.7].

— разгорание разрядной лампы [1, стр.7], т.е. установление рабочих параметров лампы после того, как она зажглась. На время разгорания лампы и характер изменения тока в ней в течение этого процесса влияет газовое наполнение лампы, соотношение температур её колбы в холодном и рабочем состоянии, а также тип и параметры пускорегулирующих аппаратов.

— устойчивость режима работы разрядной лампы в контуре. При этом контур способен автоматически восстанавливать первоначальное значение тока при его флюктуационных изменениях. Наличие любого случайного отклонения значений тока у ПРА, происходящего с помощью токоограничивающих элементов, таких как стабилизаторы тока, связано с особенностью статических вольт-амперных характеристик ламп. Для разрядных ламп, имеющих падающие ВАХ обеспечить стабильный режим работы от источника напряжения без использования токоограничивающих элементов-балластов принципиально невозможно. Осуществить устойчивую работу от сети без использования балласта возможно только для ламп с возрастающими ВАХ. Но здесь необходимо учитывать наклон характеристики, т.к. при малом его значении работа без токоограничивающих элементов не всегда экономически целесообразна из-за низкой стабильности работы набора лампы—ПРА.

Классификацию схем ПРА можно проводить по многообразным признакам:

- по типу токоограничивающего элемента,
- по условиям зажигания и работы лампы,
- по типу источника питания или виду входной энергии ПРА делят на аппараты, работающие от источника переменного (одно- и многофазного) [2, стр.76] и постоянного напряжения.
- по количеству ламп, с которыми они могут работать, ПРА разделяют на индивидуальные и групповые.
- по возможности регулирования светового потока бывают ПРА регулируемые и нерегулируемые.
- по конструкции ПРА могут делаться встраиваемыми в световой прибор, интегрированными с источником света и независимыми.
- по уровню шума выделяют с нормальным, пониженным, низким и особо низким уровнем шума ПРА.

Самой удобной и наглядной классификацией является классификация по типу токоограничивающего элемента. По этому типу ПРА разделяются на электромагнитные (ЭмПРА), выполненные с использованием дросселей, конденсаторов, резисторов и трансформаторов [2, стр.76], полупроводниковые, комбинированные, электронные (ЭПРА), выполненные на базе полупроводниковых элементов [1, стр.9], безбалластные ПРА, работающие без токоограничивающего элемента для специальных безбалластных ламп.

Классификацию можно наглядно представить в виде схемы:

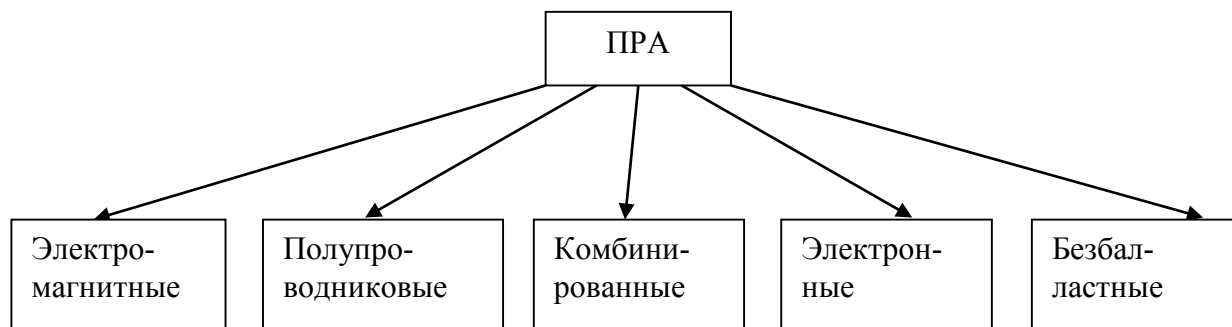


Рисунок 1 – Классификация ПРА для разрядных ламп по типу токоограничивающего элемента

Литература

1. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А. Е. Краснопольский, В. Б. Соколов, А. М. Троицкий; под общ. ред. А. Е. Краснопольского. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 208 с.
2. Электрическое освещение: учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. — Минск: Техноперспектива, 2011. — 542с.

УДК 621.3.048.83

Экологичная альтернатива элегазу

Поздняков М.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

В течение примерно 50 лет SF₆ обеспечивала хорошую и надежную работу в отрасли высоковольтного оборудования благодаря хорошим дугогасительным свойствам и возможности работы с высокими напряжениями. Теперь, когда безопасность планеты становится всеобщей проблемой, мировая энергетика ищет ему замену.

Газ SF₆ представляет собой искусственное химическое соединение, молекула которого содержит один атом серы и шесть атомов фтора. Этот газ не встречается в природе в естественном состоянии.

При комнатной температуре SF₆ существует в газообразном состоянии, и он тяжелее воздуха. Благодаря сильным связям атомов серы и фтора, элегаз при нормальных условиях является инертным. Его электрические свойства делают элегаз удобной изолирующей и дугогасящей средой в коммутационном оборудовании распределительных сетей.

При сжигании элегаз распадается на токсические соединения. Это происходит, например, при возникновении внутренней электрической дуги в оборудовании. В таких случаях элегаз и его токсичные продукты высвобождаются в атмосферу. Токсические осадки могут остаться в корпусах оборудования, поэтому при демонтаже и переработке систем после завершения их срока службы требуются специальные меры предосторожности.

Но главная проблема элегаза в том, что у него потенциал глобального потепления (GWP) в 23500 раз больше, чем у CO₂, и он остается в атмосфере в течение 3200 лет. Более того, за последние пять лет его концентрация в атмосфере увеличилась на 20%.

Потенциал глобального потепления (GWP) - это величина, используемая для определения вклада газа в глобальное потепление. Это не абсолютный показатель, но указывает на потенциал потепления парниковых газов в отношении климата по сравнению с потенциалом углекислого газа. В частности, он рассчитывается на основе 100-летнего потенциала потепления на 1 кг газа относительно 1 кг CO₂. ППП включает в себя 2 ключевых параметра: радиационную эффективность газа (поглощение в атмосфере) и временной масштаб (сколько времени требуется для удаления вещества из атмосферы). С учетом такого высокого ППП элегаза было решено найти ему замену в энергетике.

После нескольких лет исследований, был найден достойный вариант - g³ (g в кубе) - газовая смесь, состоящая из CO₂, O₂ и фторнитрила Novac 4710. Примечательно, что эта революционная газовая смесь может снизить воздействие на климат более чем на 99%, по сравнению с SF₆.

Novac 4710 имеет химическую формулу (CF₃)₂CFCN. Газ в чистом виде имеет относительную диэлектрическую прочность в два раза больше, чем у SF₆, при одинаковом давлении. Также он имеет важные экологические свойства, такие как низкий потенциал глобального потепления (GWP) при смешивании с инертными газами и нулевой потенциал истощения озона (ODP).

Газ Novac 4710 имеет основные характеристики и преимущества: отличные диэлектрические свойства для приложений среднего и высокого напряжения; широкий диапазон рабочих температур и сред; не воспламеняется; не разрушает озоновый слой; широкий запас прочности для работников при использовании в соответствии с назначением; совместим с широким спектром компонентов оборудования.

На практике необходимо учитывать некоторые отличия Novac 4710 от SF₆. Было обнаружено, что многие материалы, работающие в настоящее время с элегазом, совместимы с Novac 4710. Но, хотя он совместим с большинством часто встречающихся металлов, на него могут негативно влиять некоторые компоненты, содержащиеся в смазках и эластомерах, используемых в прокладках и уплотнительных кольцах.

Газ Novac 4710 не может быть использован самостоятельно из-за его сжижения при низкой температуре. Было обнаружено, что лучший компромисс достигается, если его смешать с CO_2 (из-за его дугогасящей способности). В результате была создана g^3 – газовая смесь, которая может стабильно работать в разъединителях и выключателях.

В газообразном состоянии фторнитрил, содержащийся в g^3 , совместим с большинством металлов и твердых пластмасс, используемых в высоковольтном оборудовании. Контактная поверхность с медью, алюминием, латунью, никелем, сталью или нержавеющей сталью в течение нескольких месяцев при повышенной температуре (120°C), газ не показывает никаких изменений.

Затем особое внимание было уделено материалу прокладки. EPDM – это типичный эластомер, используемый в качестве прокладочного материала в высоковольтном оборудовании, заполненном SF_6 . Сочетание свойств материалов в сочетании с конструкцией прокладки позволяет газонепроницаемым подстанциям быть надежно изолированными в течение всего срока их службы и соответствовать максимально допустимому уровню утечки 0,5% на отсек в год. Поскольку молекула CO_2 намного меньше, чем молекула SF_6 , было обнаружено, что стандартный EPDM не подходит для обеспечения низкой скорости проникновения g^3 . Для этих целей была успешно испытана разновидность бутилкаучука – эластомерного материала, широко используемого в автомобильной промышленности для шин. Результаты испытаний ясно показали, что скорость проникновения смеси g^3 была в допустимых пределах. Кроме того, новый материал прокладки был пригоден для того, чтобы выдерживать нагрузки окружающей среды.

Изоляция: диэлектрические показатели были проверены в распределительном оборудовании на 145 кВ, использующем газовую изоляцию. Полученные результаты находятся в диапазоне 87-96 % от того, что показывает SF_6 . Выявленное различие может быть минимизировано незначительной модификацией конструкции либо повышением давления.

Рост температуры: теплопроводность газовой смеси незначительно ниже, чем у SF_6 , но намного превышает теплопроводность чистого CO_2 . Испытания показывают, что различие в росте температуры составляет от 5 до 6°C . Это может быть компенсировано добавлением охлаждающих радиаторов на корпус, или пазов на проводниках, которые улучшат конвекционное охлаждение.

Выключение: газовая смесь обладает хорошими свойствами отключения тока в шине и пригодна в качестве замены элегаза. Испытания по гашению дуги проводились с использованием колонкового выключателя на 145 кВ, и показали достаточно хорошие результаты. Суть заключалась в использовании газовой смеси в дугогасительной камере, но из-за различного поведения потока газа и газовой смеси, конструкцию дугогасительной камеры пришлось усовершенствовать для использования g^3 . На разрывную способность газовой смеси g^3 в значительной степени влияет содержание CO_2 в ней. По сравнению с SF_6 , CO_2 представляет собой меньшую молекулу с более низкими показателями термического разрушения. Размер молекулы CO_2 влияет на поток газа и снижает повышение давления внутри дугогасительной камеры. Благодаря модернизации сердца камеры можно поддерживать нужное давление в тепловом потоке в течение всего процесса искрения. Испытания в модернизированной камере показали успешные результаты во всех необходимых опытах, таких как отказы клемм, короткие замыкания и тесты емкостного переключения. Размер модернизированной камеры сравним с существующими камерами самонастройки SF_6 .

При воздействии электрической дуги образуются побочные продукты разложения. Они в основном образуются в виде CO_2 . Что касается токсичности побочных продуктов, были проведены сравнительные испытания g^3 и SF_6 во время срабатывания автоматического выключателя. Побочные продукты были проанализированы независимыми фармацевтическими лабораториями, и сделан вывод, что от дуги в g^3 они имеют тот же класс токсичности, что и те, которые вырабатываются SF_6 в тех же условиях.

Мониторинг газа g^3 осуществляется так же, как это было с SF_6 . Традиционные датчики (реле давления с температурной компенсацией) должны быть адаптированы только к обнов-

ленному давлению. Цифровые датчики для онлайн-мониторинга не требуют изменений: только программное обеспечение нуждается в обновлении в соответствии с физическими свойствами смеси g^3 .

Чтобы адаптировать существующие ГИП на 35-145 кВ к новой газовой смеси необходимы некоторые приспособления - главным образом, в камере выключателя. Однако, основной корпус и габариты g^3 -ГИП имеют те же размеры, что и его предшественник SF₆. Таким образом, она остается самой компактной ГИП на рынке.

В случае открытия устройства сброса давления и последующего выброса, загрязненного g^3 , сначала необходимо проветрить подстанцию для удаления загрязненных газов, а работники должны носить соответствующее автономное дыхательное оборудование, как в случае с SF₆.

Также возможно заполнить газоизолированные линии, вводы и соединения трансформатора смесью g^3 . Поскольку газовая смесь стабильно работает до -25°C, вполне возможна установка на улице. По-прежнему существует вероятность того, что температура работы g^3 может быть увеличена до отметки -30° C, но экономические показатели будут намного хуже, поэтому разработка g^3 для этого не планируется. Для конкретных применений, таких как автоматические выключатели с рабочей температурой до -40 ° C, можно использовать g^3 с нагревательным ремнем, чтобы избежать сжижения при -30 ° C.

Ведется разработка решений для утилизации g^3 . Цель состоит в том, чтобы использовать g^3 в замкнутом контуре, как это уже имеет место для SF₆. Однако для g^3 процесс является более сложным, поскольку он представляет собой газовую смесь. Есть 2 варианта последующего обращения: либо повторно использовать смесь и сохранить соотношение исходных газов; или отделить компоненты и затем повторно смешать их для дальнейшего использования.

На основе оценки полного жизненного цикла, принимая во внимание всю подстанцию, при использовании можно уменьшить выбросы CO₂ более чем на 50%. Таким образом, ГИП 35-145 кВ с g^3 имеют на сегодня самый низкий уровень выбросов CO₂ среди всех ГИП в мире.

Сейчас g^3 уже активно используется на:

- 5 участках ЛГИ 420 кВ, протяженностью более 2 километров;
- 12 ГИС 145 кВ в сумме на 70 отсеков с выключателями;
- 6 площадках с трансформаторами тока AIS 245 кВ.

В заключение хотелось бы сказать, что g^3 является намного более экологически безопасным, и отвечает всем очень жестким спецификациям для распределительного устройства высокого напряжения: высокая диэлектрическая прочность, хорошая дугогасительная способность, низкая температура кипения, высокая теплоотдача, совместимость с существующими материалами распределительного устройства, простота в обращении. За последние годы прослеживается тенденция роста профессионализма у управляющих активами в компаниях электрических сетей. Этот рост приводит к более сбалансированному подходу, при котором в процессе принятия решений учитываются качество сети, управление затратами, риски безопасности и устойчивость развития. Компании все больше концентрируются на общих затратах владения (ТСО), вместо стоимости первоначального приобретения.

Управляющие активами в крупных электрических компаниях, учитывают применение элегаза и с финансовой точки зрения. При расчетах они вводят определенный процент в качестве компенсации потенциального риска использования SF₆ и его побочных продуктов в течение времени эксплуатации. Технологии, не использующие SF₆, получают дополнительные 5-10 процентов преимущества за счет возможной экономии в течение срока эксплуатации. Это приводит к более сбалансированному процессу принятия решений в таких компаниях, поскольку при расчете затрат учитываются не только первичные затраты. Недавно проведенные независимые исследования показали, что коммутационное оборудование, не использующее элегаз, не только технически эквивалентно элегазовому оборудованию, но также и наиболее конкурентоспособно по затратам всего времени использования. Компании электрических сетей, промышленные пользователи, владельцы железных дорог и подземной инфраструктуры, а также общественные частные инвесторы в области здравоохранения

становятся все больше озабоченными аспектами здоровья и безопасности, связанными с элегазом и его токсичными побочными продуктами, равно, как и его влиянием на глобальное потепление. Применение SF₆ должно прекратиться независимо от того, доступны ли на рынке альтернативные технологии.

Для Беларуси эта технология имела бы смысл, можно переходить от масляного оборудования сразу к газонаполненному с g³, перешагнув ступень с элегазовым наполнением. Однако, чаще по-прежнему выбираются более экономичные варианты модернизации нашей энергосистемы.

Литература

1. Подстанции с газовой изоляцией переходят на g³, решение без SF₆ // Информ. Портал «Think Grid». - Режим доступа: <https://think-grid.org/gas-insulated-substations-are-switching-g%C2%B3-sf%E2%82%86-free-solution/>
2. Порт, В. и Шунеберг Г.С. «Зеленые переключения - возможность избежать выбросов SF₆ из электрических сетей», Пятый международный симпозиум по газам не-CO₂ (НСДУ-5), Вагенинген, Нидерланды 2009.
3. Смит, К. «Тенденции SF₆ и его конечного применения. 1961-2003», Конференция по SF₆ и окружающей среде, Скоттсдейл, штат Аризона, 1-3 декабря 2004 года.
4. Пауэлл, АН. «Экологические аспекты использования гексафторида серы», ERA технолоджи Лтд, 2002.

УДК 621.38

Высокочувствительный сигнализатор напряжения

Ермолинская Л.Э., Тарарай А.О.

Научный руководитель – к.т.н. ГОРНОСТАЙ А.В.

Электроустановки – это объекты повышенной опасности. В процессе эксплуатации электроустановок возможно воздействие различных негативных факторов на человека. Поэтому на каждом промышленном предприятии имеется служба охраны труда, которая должна обеспечивать максимальную безопасность обслуживающего персонала.

Эксплуатация электроустановок должна осуществляться в строгом соответствии с требованиями нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов и норм комплектования средствами защиты работающих в электроустановках. Требования безопасности при эксплуатации электроустановок для всех работодателей и работающих, выполняющих указанные работы, устанавливает Технический кодекс установившейся практики ТКП 427-2012 (02230) [1]. Требования настоящего ТКП применяют также при организации и выполнении в действующих электроустановках строительных, монтажных, наладочных, ремонтных работ, испытаний, измерений и диагностики.

В соответствии с требованиями ТКП 427–2012 при производстве работ на электроустановках проводится комплекс организационных, технических и дополнительных мероприятий по соблюдению техники безопасности. Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям используют защитные оболочки, защитные ограждения (временные или стационарные), безопасное расположение токоведущих частей, изоляцию токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная), изоляцию рабочего места, предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

В качестве дополнительных средств защиты в электроустановках могут применяться бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения со световой и (или) звуковой сигнализацией, предупреждающие о приближении на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Рекомендуются применять данные сигнализаторы, предназначенные для размещения на каске, в кармане куртки, в рукоятке указателя напряжения. Сигнализаторы не предназначены для определения отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок, для чего могут быть использованы только указатели напряжения.

В настоящее время на рынке Республики Беларусь предлагается достаточно широкий спектр бесконтактных сигнализаторов напряжения от разных производителей [2]. Нами проведен анализ технических характеристик, результаты которого представлены в таблице 1.

Анализ приведенных в таблице характеристик представленных на рынке моделей бесконтактных сигнализаторов напряжения позволяет сделать два важных вывода:

1. Все приведенные в таблице модели сигнализаторов напряжения предназначены для работы в диапазоне высоких напряжений (6 кВ и выше).
2. Чувствительность большинства из них не превышает 2 м, и только две модели при напряжении выше 6 кВ имеют более высокие показатели чувствительности.

Между тем электробезопасность обслуживающего персонала электроустановок до 1 кВ является не менее актуальной.

Известно, что некоторые материалы при помещении их в магнитное поле изменяют свои геометрические размеры. Это явление называют магнитострикцией, а такие материалы – магнитострикционными. Явление магнитострикции находит широкое применение в технике (магнитострикционные стабилизаторы частоты, магнитострикционные приемники и передатчики ультразвука и т.д.) [3].

Таблица 1 – Основные технические характеристики сигнализаторов напряжения

Название и марка сигнализатора	Внешний вид	Контролируемый диапазон напряжений, к В	Чувствительность, м (не менее)
Сигнализатор напряжения наручный СНН-10		6-10	1,2
Сигнализатор напряжения индивидуальный касочный СНИК		6-10	2
Сигнализатор напряжения индивидуальный универсальный СНИУ.Д		6-10	2
Сигнализатор напряжения индивидуальный касочный "Радиус"		6-10	2
Сигнализатор напряжения наручный СНН-35		35	3
Сигнализатор высокого напряжения СНВЗ		6 и более	6

На рисунке 1 представлена схема высокочувствительного сигнализатора напряжения в электроустановках, основанная на использовании эффекта магнестрикции для индикации магнитных полей, возникающих в электроустановках, находящихся под напряжением ниже 1 кВ [4].

Сигнализатор напряжения содержит датчик магнитного поля 1, дифференциальный усилитель 2, блок питания 3, электронный ключ 4 и блок звуковой сигнализации 5. Блок звуковой сигнализации 5 выполнен на последовательно соединенных импульсном генераторе 6 и громкоговорителе 7.

Датчик магнитного поля 1 выполнен в виде волоконного интерферометра Маха-Цендера и содержит пьезоэлектрический цилиндр 8, инерционный элемент 9, световоды 10 и 11, светодиоды 12 и 13, фотоприемники 14 и 15.

Пьезоэлектрический цилиндр 8 обеспечивает ускорение инерционного элемента 9, т.е. перемещение этого элемента в направлениях, показанных на рис. 1 стрелками, необходимое для нормальной работы датчика 1. Для этого на пьезоэлектрический цилиндр 8 подается синусоидальное напряжение от специального источника, который на рис. 1 не показан.

Инерционный элемент 9 представляет собой определенную массу из немагнитного материала, соединенную внутри пьезоэлектрического цилиндра 8 со световодами 10 и

11. Инерционный элемент 9 при подаче на пьезоэлектрический цилиндр 8 синусоидального напряжения начинает колебаться, при этом под действием возникающего ускорения a , он перемещается в направлениях, указанных стрелками, чем обеспечивает перемещение связанных с ним световодов 10 и 11, необходимое для нормальной работы интерферометра.

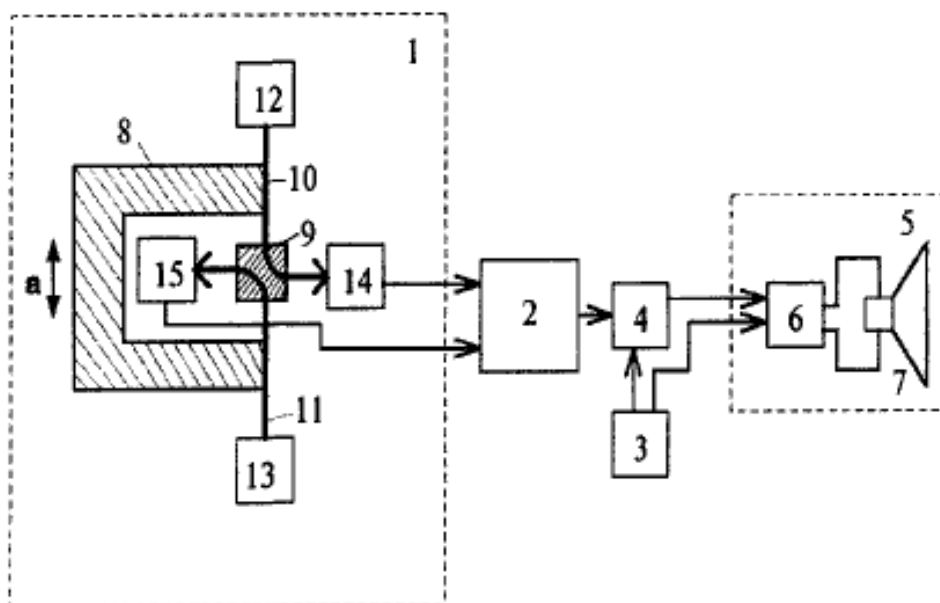


Рисунок 1 – Структурная схема сигнализатора напряжения

Световоды 10, 11 используются в качестве чувствительного элемента датчика 1 и соединены с инерционным элементом 9. При этом один из световодов (далее в описании - световод 10) имеет нанесенный непосредственно на его поверхность слой магнитоэлектрического материала. При работе датчика 1 в результате изменения размеров световода 10 под воздействием возникающего магнитного поля в этом плече интерферометра возникает дополнительный сдвиг фазы световой волны, что позволяет в конечном итоге снимать сигнал, пропорциональный изменению напряженности внешнего магнитного поля. Светодиоды 12 и 13 служат для создания необходимых световых потоков в световодах 10 и 11. Фотоприемники 14 и 15 необходимы для преобразования световых потоков, поступающих от светодиодов 12 и 13, в электрические сигналы.

Сигнализатор напряжения работает следующим образом.

Перед началом работы оператор вдали от электроустановки включает питание устройства. Пьезоэлектрический цилиндр 8 под действием синусоидального напряжения начинает колебаться и перемещает инерционный элемент 9 в направлениях, показанных на рис. 1 стрелками. Световоды 10 и 11, соединенные с инерционным элементом 9, также начинают перемещаться в указанных направлениях. При этом происходит изменение относительной длины световодов 10 и 11 пропорционально возникающему ускорению a . При продольном воздействии усилий на световоды 10 и 11 происходит их удлинение, приводящее к изменению фаз излучений от светодиодов 12 и 13, пропускаемых через эти световоды.

В случае отсутствия внешнего магнитного поля возникающий фазовый сдвиг в световодах 10 и 11 будет одинаковым и на входы усилителя 2 с выходов фотоприемников 14 и 15 поступают одинаковые сигналы, соответственно на выходе усилителя 2 отсутствует управляющий сигнал, электронный ключ 4 закрыт и звуковой генератор 6 не работает.

При приближении к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением, на расстоянии 8...10 м на датчик 1 начинает действовать магнитное поле, возникающее в токоведущих частях электроустановки вследствие протекания по ним токов согласно закону Био-Саварра-Лапласа. Возникающее магнитное поле приводит к дополнительному изменению

размеров световода 10 вследствие нанесенного на его поверхность слоя магнитоотрицательного материала, в результате чего в этом плече интерферометра возникает дополнительный сдвиг фазы излучения от светодиода 12. Это изменение регистрируется фотоприемником 14, фототок которого изменяется и становится отличным от фототока фотоприемника 15. Сигналы с выходов фотоприемников 14 и 15 поступают на входы дифференциального усилителя 2.

Полученный в результате сигнал рассогласования усиливается дифференциальным усилителем 2 и подается на управляющий вход электронного ключа 4. Электронный ключ 4 открывается и второй потенциал блока питания 3 по силовой цепи прикладывается к импульсному генератору 6. Генератор 6 включается и генерирует сигналы, которые и воспроизводит громкоговоритель 7, осуществляя звуковое оповещение обслуживающего персонала электроустановки. При выходе из зоны действия магнитного поля датчик 1 улавливает это изменение, сигнал на выходе усилителя 2 прекращается, электронный ключ 4 закрывается, генератор 6 обесточивается и звуковое оповещение прекращается.

Использование персоналом электроустановок предлагаемого сигнализатора напряжения ВСН-1 позволит обеспечить индикацию магнитных полей в электроустановках в диапазоне напряжений от 0,3 кВ и выше на расстоянии не менее 8 метров, позволит снизить электротравматизм персонала.

Литература

1. 1. Кодекс установившейся практики: Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок: ТКП 427-2012 (02230). – Введ. 28.11.2012. Минск: Минэнерго, 2012. –82 с.
2. 2. Letra. Инструмент и электрозащитные средства. Каталог товаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.letra.by/catalog/7643,signalizatory-i-indikatory-toka>. – Дата доступа: 27.09.2019
3. 3. Белов, К.П. Магнитоотрицательные явления и их технические приложения / К.П. Белов. – М.: Наука. Гл. ред. Физ. Мат. лит., 1987. – 160 с.
4. 4. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения: патент Республики Беларусь 6501 МПК G 01R33/06, G 01R 33/032, G 01R 33/19 (2009) / А.В. Горностай, Ю.А. Ролик; дата публ.: 30.08.2010

УДК 621.316

Уменьшение потерь электроэнергии

Гаврилова В.В., Федюкова М.С.

Научный руководитель – ПРОТАСЕНЯ М.Л.

В настоящее время энергосбережение является одной из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами.

Эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые обоснованы экономически, с экологической и социальной точек зрения, а также могут быть осуществлены технически, приведут к экономии энергии. Энергосбережение в любой сфере сводится, по существу, к снижению бесполезных потерь энергии.

Под потерями подразумевается разница между отпущенной потребителям электроэнергии и фактически поступившей к ним. Существует их классификация:

1. Технологические потери возникают в связи с тем, что в процессе передачи электроэнергии определенная ее часть преобразуется в тепловую энергию. Также имеет место расход электроэнергии на обеспечение функционирования оборудования подстанций. Полностью устранить технологические потери невозможно. Их снижение достигается за счет совершенствования технологических процессов и модернизации энергетического оборудования. При этом необходимо отметить, что эти потери при передаче электроэнергии не относятся к прямым убыткам снабжающих предприятий. Они включаются в тарифы на электроэнергию.

2. Коммерческие потери возникают в результате оборота электроэнергии как товара. При этом основная их часть связана с безучетным потреблением, что не позволяет предъявить оплату кому-либо из потребителей. Расчет потерь электроэнергии этого типа осуществляется путем вычитания технологических потерь из фактических потерь. При этом они никак не возмещаются и относятся на убыток энергопоставщика либо на законопослушных потребителей. И они, собственно, не являются потерями в чистом виде, а только относятся конкретно к производителю.

Причины, вызывающие нецелевой расход, начинаются с составляющих технологического фактора:

1. Нагрузочные потери возникают в ЛЭП, оборудовании и различных элементах электросетей. Такие расходы зависят напрямую от суммарной нагрузки. В данную составляющую входят:

- Потери в ЛЭП связаны с силой тока. Именно поэтому при передаче электроэнергии на большие расстояния используется принцип повышения в несколько раз, что способствует пропорциональному уменьшению тока, соответственно, и затрат.

- Расход в трансформаторах, имеющий магнитную и электрическую природу.

Нецелевой расход в других элементах не входит в данную категорию. Для этого предусмотрена следующая составляющая.

2. Категория условно-постоянных расходов. В нее входят затраты, связанные со штатной эксплуатацией электрооборудования, к таковым относятся:

- Холодная работа силовых установок.

- Затраты в оборудовании, обеспечивающем компенсацию реактивной нагрузки.

- Другие виды затрат в различных устройствах, характеристики которых не зависят от нагрузки.

3. Климатическая составляющая. Нецелевой расход здесь связан с климатическими условиями для местности, где проходят ЛЭП. В сетях 6 кВ и выше от этого зависит величина тока утечки в изоляторах. В магистральных от 110 кВ большая доля затрат приходится на коронные разряды, возникновению которых способствует влажность воздуха. Помимо этого, в холодное время года для нашего климата характерно такое явление, как обледенение на проводах высоковольтных линий, а также обычных ЛЭП.

Внедрение энергосберегающих технологий в хозяйственную деятельность как предприятий, так и частных лиц на бытовом уровне, является одним из важных шагов в решении многих экологических проблем – изменение климата, загрязнение атмосферы (например, выбросами от ТЭЦ), истощение ископаемых ресурсов и др. Энергосберегающая технология – новый или усовершенствованный технологический процесс, который характеризуется более высоким КПД использования топливно-энергетических ресурсов.

Предприятия внедряют следующие типы технологий, которые дают значительный энергосберегающий эффект:

1. Общие технологии для многих предприятий, связанные с использованием энергии (двигатели с переменной частотой вращения, теплообменники, сжатый воздух, освещение, пар, охлаждение, сушка и пр.).

2. Более эффективное производство энергии, включая современные котельные, когенерацию (тепло и электричество), а также тригенерацию (тепло, холод, электричество); замена старого промышленного оборудования на новое, более эффективное.

3. Альтернативные источники энергии.

Снизить потери можно путем оптимизации технической и коммерческой составляющей. Для технической:

- Оптимизация схемы и режима работы электросети.
- Исследование статической устойчивости и выделение мощных узлов нагрузки.
- Снижение суммарной мощности за счет реактивной составляющей. В результате доля активной мощности увеличится, что позитивно отразится на борьбе с потерями.

- Оптимизация нагрузки трансформаторов.
- Модернизация оборудования.
- Различные методы выравнивания нагрузки.

Для коммерческой:

- Регулярный поиск несанкционированных подключений.
- Создание или расширение подразделений, осуществляющих контроль.
- Проверка показаний.
- Автоматизация сбора и обработки данных.
- Замена старых счетчиков на более современные позволяет увеличить сбор средств за электроэнергию на 10-20 % за счет повышения достоверности учета. Однако максимальный эффект в этом направлении возможен только при кардинальном повышении точности сбора данных и исключении человеческого фактора.

Литература

1. «Рынок Электротехники», журнал-справочник, 2005 - 2019
2. Режим доступа <https://www.asutpp.ru/poteri-jelektrojenergii-v-jelektricheskikh-setjah.html>

УДК 621.3

Перспективы развития РЗА распределительных сетей 6-10 кВ

Подлипалин О.Я.

Научный руководитель –к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

Последние два десятилетия в энергетике в качестве оборудования для защиты объектов электроснабжения широко применяются микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ). Основными востребованными плюсами микропроцессорных терминалов принято считать их компактность, простоту реализации широкого спектра логических функций, а также высокую заявленную надежность данных устройств. Однако переход с электромеханических реле на микропроцессорные в большей степени обусловлен прекращением выпуска первых практически всеми основными производителями в мире. Причиной этому послужил тот факт, что изготовление МУРЗ для производителя, благодаря дешевым электронным комплектующим, является менее затратным, а сам процесс их производства более технологичным [1]. Принимая во внимание неизбежность дальнейшего перехода на микропроцессорные устройства защит, рассмотрим некоторые перспективы дальнейшего развития РЗА распределительных электрических сетей.

Рассмотрим, какие функции предлагают микропроцессорные устройства релейной защиты и какие трудности возникают при использовании данных устройств. Современный терминал релейной защиты помимо защитных выполняет ряд дополнительных функций:

- измерение электрофизических величин с высокой точностью (напряжение, ток, мощность, частота);
- ведение журнала событий, и регистрация параметров сети при протекании переходных процессов;
- реализация сложных алгоритмов работы путем использования внутренней логики терминала;
- организация связи с другими терминалами и с более высоким уровнем системы АСУ ТП предприятия.

Несмотря на то, что ни одна из перечисленных функций не является чем-то новым для электроэнергетики [2], реализация этих функций с применением реле на электромеханической базе не всегда представлялась возможной в конкретных условиях, ввиду сложности и громоздкости решения [3]. Что же касается сетей 6-10 кВ, то данные функции реализовывались разве что в исключительных случаях, поэтому применение МУРЗ в распределительных сетях среднего напряжения позволило относительно просто расширить функционал типовой релейной защиты.

Из минусов, с которыми неизбежно приходится сталкиваться в процессе работы с современными устройствами защит, относительно новой выступает проблема электромагнитной совместимости электронных устройств. В то время, как электромеханические реле, ввиду относительной массивности и инерционности соев конструкции, крайне редко реагировали на электромагнитные возмущения, возникающие при коммутациях силовых выключателей, элементы печатных плат микропроцессорных устройств оказались довольно чувствительными к возникающим на них перенапряжениям. Результатом являлись как выход из строя интегральных микросхем, так и ложные срабатывания МУРЗ [4].

Вторым негативным моментом является квалификация обслуживающего персонала. Так, например, статистический анализ отказов и функциональных сбоев микропроцессорных устройств РЗА в России показывает, что в примерно 60% причин этих событий связано с ошибками технического персонала [5]. Так или иначе, но для того, чтобы в полной мере пользоваться всеми возможностями, которые предлагают современные комплексы РЗА, и минимизировать ошибки при работе с МУРЗ, требования к составу релейных служб распределительных сетей должны быть пересмотрены в сторону увеличения числа работников с более высокой квалификацией.

Проанализируем изменения, происходящие в РЗА распределительных сетей при переходе от электромеханических реле к микропроцессорным комплексам с учетом перечисленных плюсов и минусов МУРЗ:

- происходит расширение функционала РЗА и переход от чисто защитных функций к функциям более комплексного управления режимами энергосистемы. Современные микропроцессорные терминалы позволяют достаточно просто организовать связь как между отдельными устройствами, так и с более высоким уровнем системы управления. Это позволяет широко использовать на подстанциях распределительных сетей такие функции как УРОВ, логическую защиту шин, логику АВР и др. Весь обмен необходимой информацией при этом осуществляется по каналам связи напрямую, без использования отдельных выходных реле терминала, что является использованием принципов «цифровой подстанции». Отличие от классического варианта здесь заключается лишь в том, что в распределительных сетях 6-10 кВ компактность оборудования ячейки позволяет объединить уровень процесса с уровнем ячейки используя для обработки всех процессов аналоговые и дискретные входы самого терминала;

- наблюдается повышение надежности работы силового оборудования и бесперебойности электроснабжения потребителей. Так высокая точность измерений и объединение подстанций в общую сеть диспетчерского контроля и сбора данных позволяет не только получать оперативную информацию в режиме реального времени, но и организовать централизованную защиту предприятия и систему диагностического мониторинга оборудования подстанций. Данная централизованная защита обладает повышенной селективностью и чувствительностью отдельных видов защит, а проведение мониторинга с использованием данных от терминалов РЗА позволяет заменить собой дорогостоящие специализированные системы [6];

- сама система РЗА становится более надежной. Это обеспечивается системами внутренней самодиагностики терминалов и самодиагностики системы связи. Несмотря на то, что первое является вынужденной мерой для обеспечения необходимого уровня надежности [1], такая функция все же позволяет повысить надежность работы в целом: нерабочее электромеханическое реле может быть выявлено только в процессе периодической проверки, в то время как неисправность терминала, выявленная функцией самодиагностики, будет обнаружена оперативным персоналом практически немедленно. Что же касается надежности каналов связи, то тут преимущества неоспоримы. Использование протоколов передачи данных о событиях на подстанции (GOOSE) позволяет диагностировать все каналы связи с установленной периодичностью с одновременным контролем состояния портов связи самих терминалов;

- благодаря использованию МУРЗ в распределительных сетях становится возможным проведение углубленного анализа протекания ненормального режима сети. Современные терминалы обеспечивают запись изменения всех параметров внешней сети (осциллографирование) и состояния внешних и внутренних логических сигналов. Эти данные позволяют понять процесс развития аварии, определить причины ее возникновения и, как результат, разработать мероприятия корректирующего характера по недопущению подобных ситуаций в будущем.

Выводы.

Современные цифровые технологии повсеместно применяются на объектах энергетики. Хотим мы того или нет, но дальнейшее развитие систем РЗА будет происходить с применением микропроцессорных устройств релейной защиты. Несмотря на имеющиеся недостатки, при грамотном подходе к проектированию и при обслуживании квалифицированными специалистами, эти цифровые системы позволяют существенно расширить привычные функции релейной защиты и повысить качество обслуживания объектов энергетики. На ряду с применением самих микропроцессорных терминалов, использование функций обмена данными между ними, и интеграция в систему АСУ ТП позволяют повысить надежность электроснабжения потребителей путем обеспечения предоставления оперативной информации в режиме реального времени, повышения чувствительности защит и применения систем диагностического мониторинга объектов подконтрольной сети.

Литература

1. Гуревич В.И. // Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты. // Электротехнический рынок. 2009 № 3 (29).
2. Гуревич В. И. // Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? // Новости электротехники, 2005 № 6 (36).
3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ Новые перспективы или новые проблемы? Мнения специалистов. // Новости электротехники, 2006 № 1 (37).
4. Гуревич В. И. // Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 1 // Компоненты и технологии, 2010 №2
5. Абдюкаева А.Ф., Фомин М.Б., Асманкик Е.Н. // Релейная защита – проблемы и перспективы // URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/releynaya-zaschita-problemy-i-perspektivy> (дата обращения 12.10.2019)
6. Гондуров С.А., Евсеев А.Н., Генин В.С. // Модернизация релейной защиты и автоматизации подстанций НГДП ОАО «Татнефть» // URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/modernizatsiya-releynoy-zaschity-i-avtomatiki-podstantsiy-ngdp-oao-tatneft> (дата обращения 10.10.2019)

УДК 621.316.9

Нелинейные ограничители перенапряжения

Смоловская Д.М.

Научный руководитель – к.т.н. ДЕРЮГИНА Е.А.

Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) являются основными аппаратами в схемах защиты изоляции оборудования электрических станций, подстанций и ЛЭП (рис. 1). Они предназначены для защиты оборудования от атмосферных и внутренних перенапряжений на напряжения от 0,4 кВ и выше.

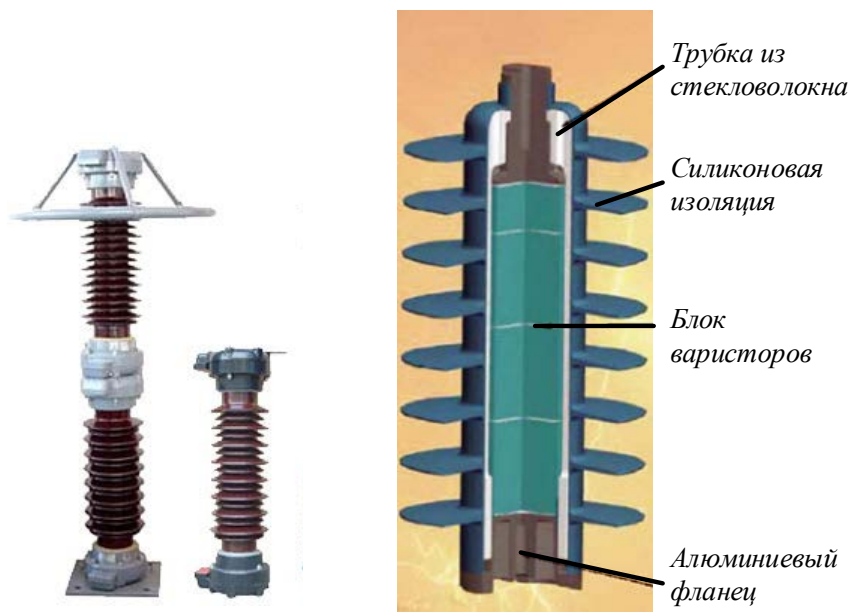


Рисунок 1 – Нелинейные ограничители перенапряжений (внешний вид и конструкция)

ОПН обладают следующими преимуществами:

- 1) Более глубокий уровень ограничения грозовых и внутренних перенапряжений;
- 2) Прямое подключение варисторов ОПН к защищаемой сети, отсутствие дуги сопровождающего тока промышленной частоты и более высокий коммутационный ресурс.
- 3) Простая конструкция, стабильность параметров и характеристик, высокая надежность в эксплуатации (эксплуатация без обслуживания и ремонта около 25 лет).
- 4) Малые габариты, вес и стоимость.

ОПН выпускается в ребристом в полимерном корпусе. На напряжения 20 кВ и выше корпус выполняется из высокопрочной стеклопластиковой трубы, в которую устанавливаются блоки варисторов, заранее запрессованные в твердую полимерную оболочку. На трубу накладываются алюминиевые фланцы и наклеиваются кольца с ребрами из кремнийорганической резины. Корпус оснащен взрывопожаробезопасными отверстиями (клапанами) для защиты ОПН от взрыва.

ОПН не имеют искровых промежутков, а их варисторы, изготовленные на основе оксида цинка (ZnO) с малым добавлением других металлов, обладают малым значением коэффициента нелинейности, который в области коммутационных перенапряжений составляет 0,03–0,05, а при грозовых – 0,07–0,1. Высокая нелинейность варисторов определяет малую величину тока, протекающего через ОПН при наибольшем допустимом рабочем напряжении.

В нормальном рабочем режиме ток через ОПН имеет емкостной характер и составляет десятые доли мА из-за высокого сопротивления варисторов. При возникновении в сети перенапряжения сопротивление ОПН резко падает до единиц Ом, варисторы переходят в проводящее состояние, ток резко увеличивается (десятки кА). Варисторы ограничивают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемой электроустановки.

новки, поглощая энергию импульса перенапряжения, которая преобразуется в тепловую энергию и затем рассеивается в окружающую среду. Когда волна перенапряжения проходит, ОПН возвращается в исходное непроводящее состояние. Время перехода ограничителя в проводящее состояние составляет единицы наносекунд, что позволяет ОПН эффективно ограничивать высокочастотные перенапряжения (рис.1).

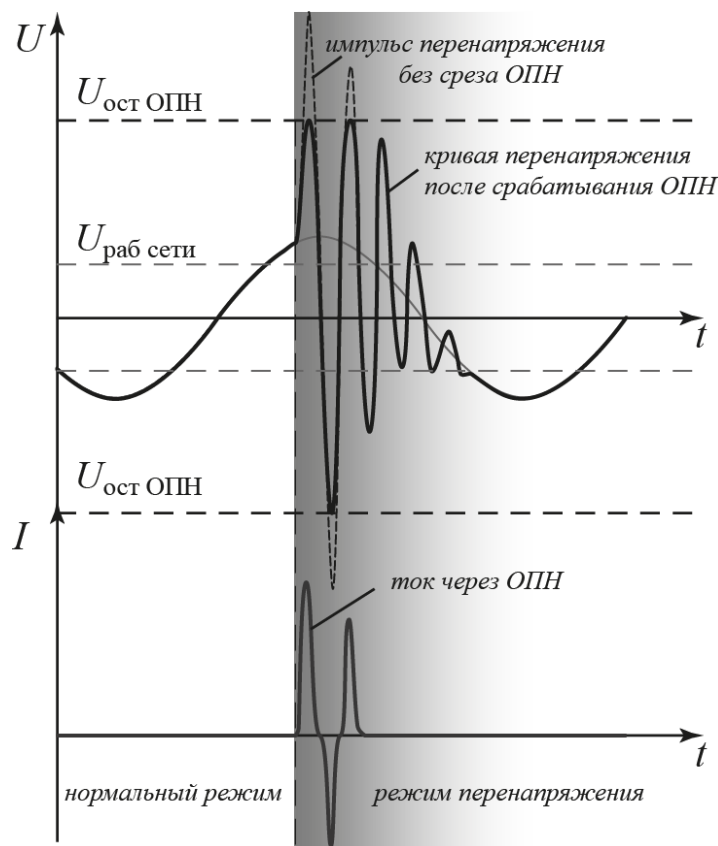


Рисунок 2 – График изменения напряжения и тока через ОПН при воздействии перенапряжения

ОПН рассчитаны для работы при температуре окружающей среды от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ на высоте до 1000 м над уровнем моря при различных погодных условиях.

Технические характеристики ОПН:

- 1) класс напряжения сети, кВ;
- 2) наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ;
- 3) номинальный разрядный ток 8/20 мкс, кА;
- 4) остающиеся напряжение при коммутационном импульсе тока 30/60 мкс, при грозовом импульсе тока 8/20 мкс и при крутом импульсе тока 1/10 мкс, кВ;
- 5) ток проводимости, мА;
- 6) максимальная амплитуда большого импульса тока 4/10 мкс, кА;
- 7) пропускная способность, А;
- 8) рассеиваемая энергия, кДж/кВ;
- 9) ток взрывобезопасности, кА;
- 10) способ установки – наружная или внутренняя;
- 11) одноминутное испытательное напряжение при частоте 50 Гц в сухом состоянии и под дождем, кВ;
- 12) испытательное напряжение полного грозового импульса, кВ;
- 13) длина пути утечки внешней изоляции, см;
- 14) высота, мм;
- 15) масса, кг.

УДК 621.3

Аморфные металлические сплавы

Веселов Ю.В.

Научный руководитель – к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

В связи с высокой конкуренцией на рынке металлургической продукции производители ведут постоянную работу над улучшением качества своей продукции, в том числе и над улучшением электротехнических свойств сталей, которые могут использоваться для сборки магнитопроводов силовых трансформаторов. Результатом этого является выход на рынок новых марок анизотропной электротехнической стали с ориентированным зерном (анизотропной). Ее применение позволяет не только заметно сократить потери короткого замыкания и потери холостого хода, но и снизить массогабаритные показатели трансформатора, что в некоторой степени компенсирует повышенную стоимость данных марок за счет сниженной материалоемкости производимой продукции.

Магнитно-мягкие аморфные сплавы применяют в электротехнической и электронной промышленности (магнитопроводы трансформаторов, сердечников, усилителей, дроссельных фильтров и т.д.). Сплавы с высоким содержанием кобальта идут для изготовления магнитных экранов и магнитных головок, где важно иметь материал с высоким сопротивлением износу.

Металлические стекла, или аморфные сплавы, получают путем охлаждения расплава со скоростью, превышающей скорость кристаллизации. В этом случае зарождение и рост кристаллической фазы становятся невозможными и металл после затвердевания имеет аморфное строение. Высокие скорости охлаждения могут быть достигнуты различными методами, однако наиболее часто используется закалка из расплава на поверхности быстро вращающегося диска.

Этот метод позволяет получить ленту, проволоку, гранулы, порошки. Аморфные сплавы нередко хрупки при растяжении, но сравнительно пластичны при изгибе и сжатии. Могут подвергаться холодной прокатке. Магнитно-мягкие аморфные сплавы делят на три основные группы:

1. аморфные сплавы на основе железа с высокими значениями магнитной индукции и низкой коэрцитивной силой (32-35 мА/см);
2. железоникелевые сплавы со средними значениями магнитной индукции (0,75-0,8 Тл) и более низким значением коэрцитивной силы, чем у железных сплавов (6-7 мА/см);
3. аморфные сплавы на основе кобальта, имеющие сравнительно небольшую индукцию насыщения (0,55 Тл), но высокие механические свойства (900-1000 НВ), низкую коэрцитивную силу и высокое значение магнитной проницаемости. Вследствие очень высокого удельного электрического сопротивления аморфные сплавы характеризуются низкими потерями на вихревые токи - это их главное достоинство.

Область применения металлических стекол пока еще ограничена тем, что быстрым охлаждением (закалкой) из жидкого состояния их удается получить только в виде тонких лент (до 60 мкм) шириной до 200 мм и более или проволоки диаметром 0,5-20 мкм.

Литература

1. Золотухин И.В. Аморфные металлические материалы. Соровский образовательный журнал, №4, 1997г., с 73-78

УДК 621.32

Применение автономных осветительных систем для наружного освещения

Петровская Е.Ю.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

Автономные осветительные системы (АОС) в последнее время широко используются в различных областях освещения. Одной из таких областей является система наружного освещения.

Наиболее часто автономные системы освещения на базе солнечных модулей применяются для освещения территорий, дорог, тротуаров и других объектов.

Главными достоинствами АОС являются: недорогое обслуживание, надёжность и длительный срок эксплуатации, отсутствие мерцания.

Также можно выделить некоторые недостатки: небольшая выработка электроэнергии в пасмурные дни и возможные сбои в работе аккумуляторов при большой отрицательной температуре, высокая стоимость комплекта оборудования.

Аккумулятор сохраняет заряд в течение нескольких пасмурных дней, что позволяет применять автономные системы освещения практически повсеместно. Система освещения на солнечных батареях является полностью автономной, необслуживаемой системой со сроком службы основного оборудования свыше 20–25 лет. При отсутствии солнца полностью заряженная аккумуляторная батарея обеспечивает автономную работу системы в течение срока до трех суток [1].

Автономные системы солнечного освещения на основе фотоэлектрических батарей позволяют освещать автомобильные дороги и улицы. Солнечные фонари устанавливаются на автомагистралях, где требуется повышенное внимание от автомобилистов и пешеходов. Качественное освещение нерегулируемых пешеходных переходов и автобусных остановок снижает аварийность и повышает безопасность дорог с ограниченной видимостью [2].

Светодиодное освещение садово-парковых дорожек с помощью солнечных батарей имеет неоспоримые преимущества. Установка энергосберегающих систем освещения в городских дворах, на крышах зданий, на спортивных и детских площадках повышает безопасность, улучшает экологию города и экономит городской бюджет. Конструкция объединяет светодиодные парковые фонари и источник экологически чистой солнечной энергии. Энергосберегающее освещение работает в автоматическом режиме и включается с наступлением темного времени. Уличная светодиодная система в зимнее время может работать от обычной городской электросети [2].

Системы автономного освещения рекламы, предназначены для подсветки и индикации рекламных носителей различной конструкции. Светодиодные источники света, входящие в комплекты, имеют длительный срок эксплуатации, высокую яркость светодиодов и значительно экономят электроэнергию. Фотоэлектрические системы, используются для постоянного обеспечения энергией в вечернее и ночное время рекламных объектов, расположенных в местах без доступа сетевой электроэнергии. Установки работают автономно в любом месте, при любых климатических условиях при использовании определенного оборудования [3].

Основное назначение данных систем - устройство освещения на участках, где затруднен или невозможен подвод электрической энергии, а также замена традиционных уличных светильников с питанием от сети (рисунок 1). Они незаменимы для освещения дорог, остановок общественного транспорта и пешеходных переходов вне населенных пунктов и отдаленных объектов, где отсутствует электрическая сеть. Мощная солнечная батарея заряжает аккумулятор в светлое время суток. Зарядка осуществляется даже в пасмурную погоду и в зимнее время года [3].



Рисунок 1 – Светодиодный светильник на солнечной батарее

Автономная система освещения пешеходного перехода с датчиком движения служит для обеспечения безопасности пешеходов в тёмное время суток (рисунки 2, 3). Водители за десятки метров могут идентифицировать пешеходный переход и заблаговременно обеспечить безопасный режим движения, а светодиодный светильник хорошо освещает проезжую часть как для водителей, так и для пешеходов, что особенно актуально на неосвещаемых участках дорог. Применение датчика движения позволяет включать освещение и режим индикации светофора только при появлении пешехода в зоне пешеходного перехода. Благодаря такому подходу исключается эффект привыкания водителя к постоянно мигающему светофору и существенно повышается бдительность водителя при активации системы [3].



Рисунок 2 – Система освещения с датчиком движения



Рисунок 3 – Пример пешеходного перехода с датчиком движения

Светодиодные индикаторы (рисунок 4) предназначены для повышения безопасности на автомобильных дорогах путем маркировки полос движения, перекрестков и пешеходных переходов в темное время суток, а также для обустройства парков и улиц города.

Светодиодные индикаторы представляют собой светопродуцирующие устройства в крепком металлическом корпусе, имеющие яркое свечение.

Индикаторы могут работать как в постоянном, так и в мигающем режиме.

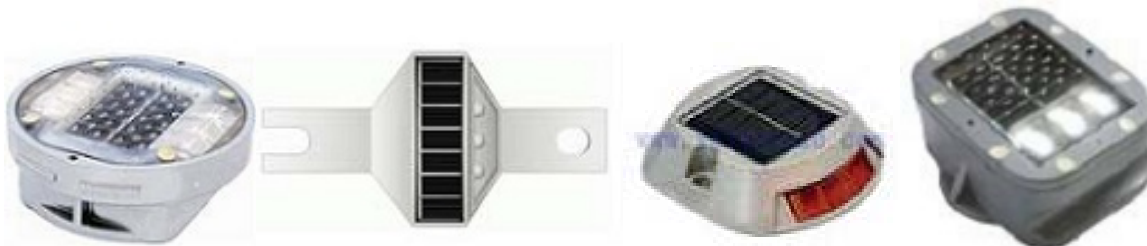


Рисунок 4 – Разновидности светодиодных индикаторов

Светодиодные индикаторы автономны по электропитанию, не требуют подключения к электросети, заряжаются от солнечного света, что позволяет обеспечить снижение затрат на электроэнергию. Рабочая поверхность светодиодных индикаторов должна беспрепятственно получать солнечную энергию от трех до восьми часов в сутки.

Светодиодные индикаторы во время эксплуатации не требуют технического обслуживания, являются стойкими к чрезвычайным погодным условиям и могут работать при температуре от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$ [3].

Можно сделать вывод о том, что автономные установки имеют высокие показатели в области надёжности и эффективности, также можно отметить ощутимую экономию денежных средств и низкие расходы на обслуживание подобных систем. Общими являются и преимущества такого независимого освещения:

- полная автономность от центральных сетей;
- обустройство полноценного освещения на труднодоступных участках;
- отсутствие кабельной коммуникации;
- минимальные затраты на обслуживание;
- надёжность и долговечность.

Также цветовые характеристики светодиодных источников света лучше по сравнению со светильниками, в составе которых газоразрядные натриевые лампы. Различимость объектов в

ночное время повышается и путем правильного подбора цветовой температуры источников света [4].

Литература

1. Солнечная промышленность – Солнечные батареи - Светодиодное освещение на солнечных батареях, <https://multiwood.ru/solars/svetodiodnoe-osveshhenie-na-solnechnyx-batareyax> – Дата доступа: 17.11.2019.
2. Строительство специальных автоматизированных систем - Обустройство пешеходных переходов, <https://kb-spectech.ru/projects8.html> – Дата доступа: 17.11.2019.
3. Солнечные электростанции – использование солнечных электростанций, <https://www.atmosfera.ua/ru/pvsolar/ispolzovanie-solnechnyx-panelej> – Дата доступа: 17.11.2019.
4. Солнечные батареи – Особенности автономного освещения на солнечных батареях, <http://solarb.ru/osobennosti-avtonomnogo-osveshcheniya-na-solnechnykh-batareyakh> – Дата доступа: 17.11.2019.

УДК 621.316.9

Разрядники с длинно-искровыми промежутками

Агеенко Ю.В., Березан П.В., Мелешко М.С.
 Научный руководитель – к.т.н. ДЕРЮГИНА Е.А.

Разрядники с длинно-искровыми промежутками (РДИ) предназначены для защиты от грозовых перенапряжений воздушных линий (ВЛ) с неизолированными проводами и с изолированными проводами (ВЛЗ) напряжением 6–10 кВ.

Принцип действия РДИ основан на использовании эффекта скользящего разряда большой длины по поверхности разрядника. За счет большой длины канала разряда и разбиения канала на части промежуточными электродами, исключается переход импульсного перекрытия в силовую дугу, что предотвращает возникновения КЗ, повреждение проводов и отключение ВЛ. По конструктивному исполнению РДИ подразделяются на петлевые, шлейфовые и модульные.

РДИ петлевого типа (РДИП) состоит из согнутого в виде петли металлического стрежня 1, покрытого трекингстойким полиэтиленом (рис. 1). Конец изолированной петли закрепляется в зажиме 2, с помощью которого разрядник крепится к металлическому штырю изолятора 3. Петля 1 имеет такой же потенциал, что и штырь 3. В средней части петли 1 поверхность изоляции закреплена металлическая трубка 4. На проводе ВЛ напротив трубки 4 разрядника закреплен универсальный зажим 5 для создания воздушного искрового промежутка (ИП). На одном плече петли поверх изоляции закреплены кольцевые электроды 6, обеспечивающие разбиение канала разряда на части.

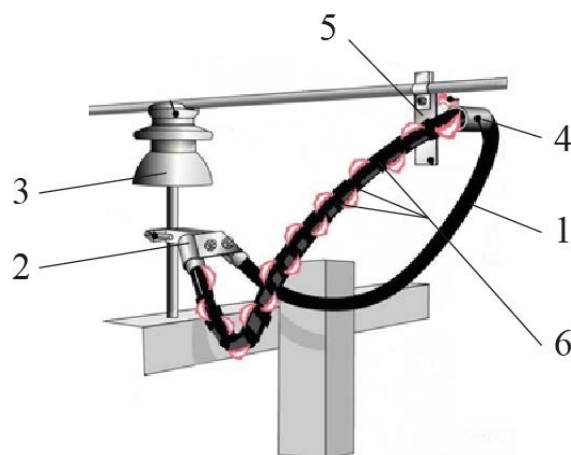
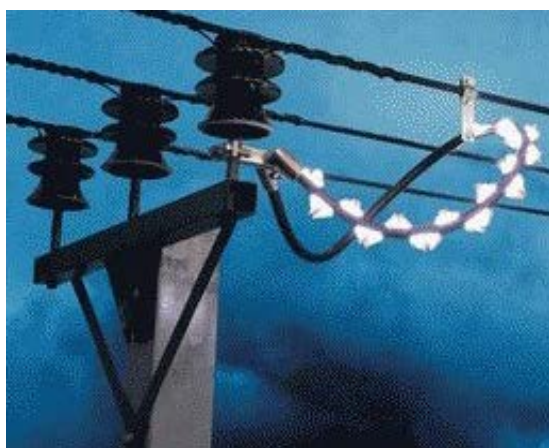


Рисунок 1 – Фотография и схема подключения РДИП

При возникновении на ВЛ грозового импульса ИП между проводом ВЛ и трубкой 4 пробивается и напряжение прикладывается к изоляции между трубкой 4 и штырем 3. Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от трубки 4 до штыря 3 развивается скользящий разряд до момента, пока он не замкнется на зажиме 2, гальванически связанном со штырем 3. Благодаря большой длине перекрытия по поверхности петли импульсное перекрытие не переходит в силовую дугу промышленной частоты.

Основным элементом РДИ шлейфового типа (РДИШ) является шлейф 1 из отрезка специального кабеля с алюминиевой жилой диаметром 9 мм и трехслойной изоляцией из СПЭ общей толщиной 4 мм (рис. 2). Кабель снабжен алюминиевыми зажимами 2 для соединения жилы кабеля с проводом ВЛ. В средней части кабеля установлена металлическая трубка 3, которая посредством скобы и обвязки крепится к изолятору. На штыре этого же изолятора напротив металлической трубки установлен стержневой электрод 4, обеспечивающий ИП между трубкой 3 и заземленным спуском. На одной половине кабеля между трубкой 3 и концевым зажимом 2 установлены кольцевые электроды 5 для разбиения канала перекрытия на отдельные участки. При возникновении на проводах ВЛ грозового импульса трубка 3 кабеля РДИ при-

обретает высокий потенциал, поэтому грозовой импульс будет приложен к ИП. При напряжении 50–70 кВ происходит пробой ИП и трубка на поверхности кабеля приобретает нулевой потенциал. Под воздействием перенапряжения по поверхности развивается скользящий разряд через электроды 5 и провод ВЛ оказывается связан с заземленной опорой через длинный ИП. После прохождения импульсного тока по каналу разряда протекает сопровождающий ток промышленной частоты и при первом проходе тока через нуль разряд гаснет, не переходя в дугу.

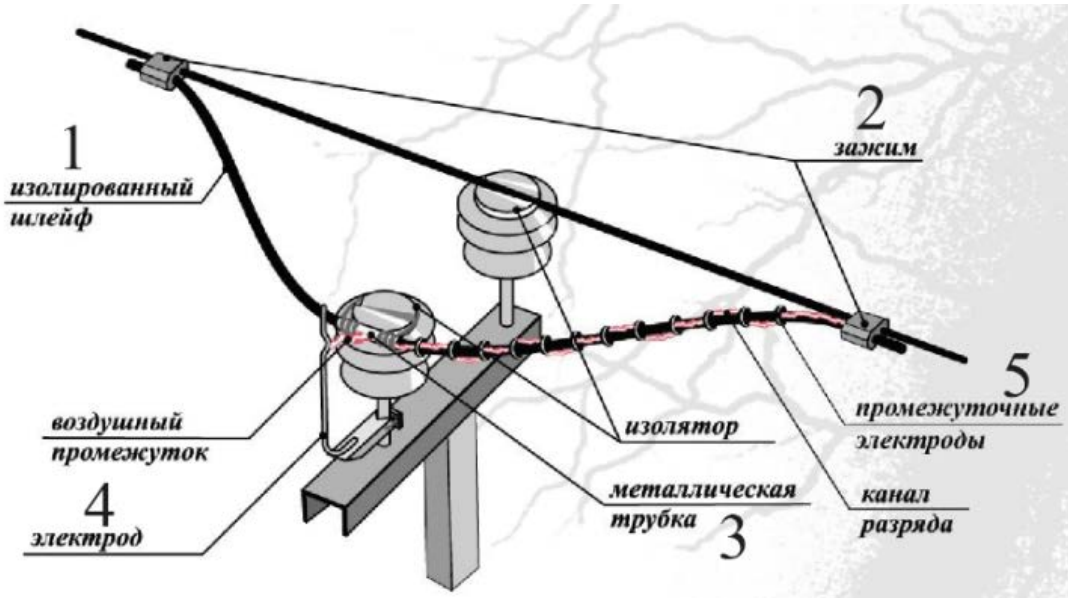


Рисунок 2 – Конструкция и схема подключения РДИШ

РДИ модульного типа (РДИМ) состоит из двух отрезков кабеля с корделем из резистивного материала (рис. 3). Отрезки резистивного корделя подсоединены к металлическим оконцевателям через внутренние ИП.

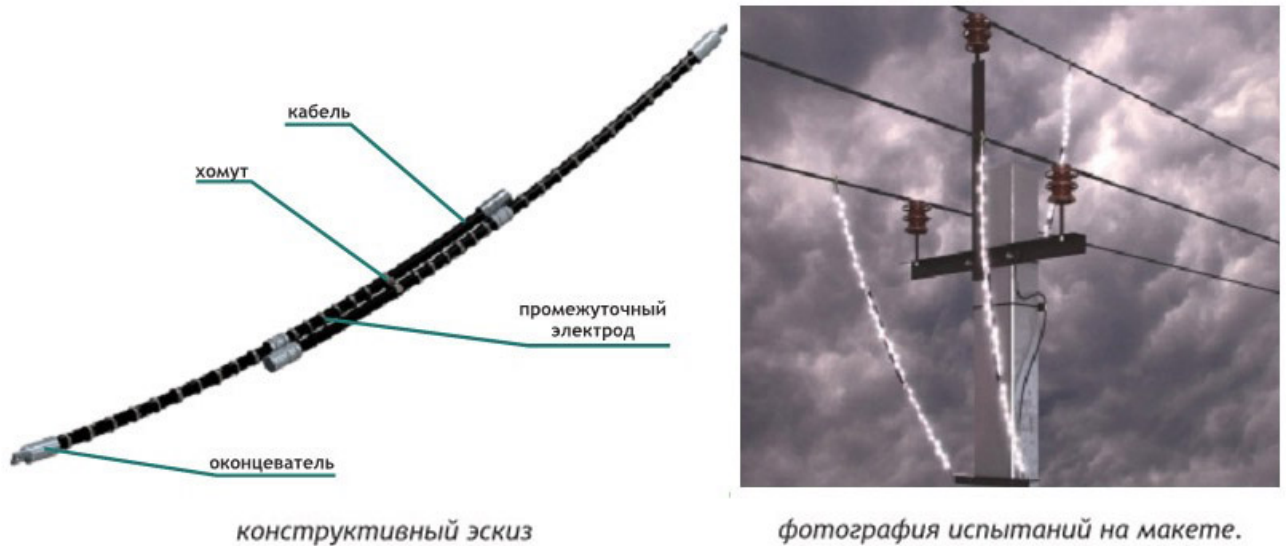


Рисунок 3 – Конструкция и фотография РДИМ

При воздействии импульса перенапряжения ИП перекрываются и резистивный кордель верхнего отрезка кабеля, выносит высокий потенциал на поверхность нижнего отрезка кабеля в его средней части. Аналогично, резистивный кордель нижнего отрезка кабеля выносит низкий потенциал на поверхность верхнего отрезка кабеля в его средней части. Таким образом, к каждому разрядному модулю одновременно приложено полное напряжение. В результате по внешней поверхности модуля возникает длинный скользящий разряд (1,7 м), который гаснет

при первом прохождении сопровождающего тока промышленной частоты через нулевое значение.

Технические характеристики РДИ: 1) класс напряжения сети, кВ; 2) длина перекрытия по поверхности, см; 3) внешний искровой воздушный промежуток, см; 4) 50 % импульсное пробивное напряжение, кВ; 5) напряжение координации с изолятором, кВ; 6) выдерживаемое напряжение коммутационного импульса, кВ; 7) выдерживаемое напряжение промышленной частоты в сухом состоянии и под дождем, кВ; 8) ток гашения дуги при номинальном напряжении, А; 9) выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, кА; 10) габаритные размеры, мм; 11) масса, кг.

Литература:

1. Техника высоких напряжений : учебник для вузов / И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров [и др.]; под ред. Г. С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 603 с.
2. <http://studbooks.net/>.

УДК 621.3

Способы охлаждения асинхронного двигателя

Ализода Зубайдулло

Научный руководитель – к.т.н. КОНСТАНТИНОВА С.В.

В зависимости от наличия или отсутствия вентилятора различают:

- асинхронные двигатели (АД) с естественным охлаждением, которые не имеют специальных вентиляторов их обычно применяется для открытых машин;
- асинхронные двигатели с искусственным охлаждением, в таких машинах охлаждающий газ или жидкость прогоняется отдельным вентилятором. Они подразделяются на группы:
 - а– АД с самовентиляцией, имеющие вентилятор на валу (защищенные или закрытые);
 - б– АД с независимой вентиляцией, вентилятор которых приводится во вращение посторонним двигателем (обычно закрытые).

При работе на скоростях, в два раза ниже синхронной, условия охлаждения двигателей с самовентиляцией ухудшаются, что приводит к значительному уменьшению допустимого длительного момента. Поэтому для частотно-регулируемого привода с постоянным моментом нагрузки предпочтительнее использовать двигатели с независимой вентиляцией.

Во время работы электродвигателей происходит их нагрев. Допустимый нагрев электрических двигателей зависит от класса изоляции обмоток. Нагрев электродвигателя является основным критерием выбора его мощности. Электродвигатель считается выбранным правильно, если он выполняет предназначенные ему функции и не перегревается, т.е. изоляция его обмоток выдерживает температуру нагрева, которая не превышает допустимого предела. Этот предел зависит от срока службы машины и определяется классом изоляции обмоток (нагревостойкости) электродвигателя.

Температурой окружающего воздуха, при которой электродвигатель может работать с номинальной мощностью, считается 40°C. При повышении температуры окружающего воздуха более 40°C, нагрузка на электродвигатель должна быть снижена настолько, чтобы температура отдельных его частей не превышала допустимых значений. Кроме того, уменьшение напряжения ниже 95% от номинального приводит к значительному росту тока двигателя и нагреву обмоток. Рост напряжения выше 110% от номинального также ведет к росту тока в обмотках двигателя, увеличивается нагрев статора за счет вихревых токов. Каждое превышение допустимой температуры обмоток на 10°C может сократить срок службы изоляции вдвое.

Самовентиляция электродвигателей.

Самый простейший способ — естественное охлаждение двигателя, обеспеченное за счет передачи накопленного тепла в окружающий воздух через корпус электродвигателя.

В большинстве электродвигателей реализована схема охлаждения за счет самовентиляции. Благодаря созданию воздушных потоков скорость отвода тепла от нагретых деталей повышается на порядок. Для этой цели на вал двигателя с нерабочей стороны устанавливается крыльчатка, действующая по принципу обычного вентилятора. В отдельных случаях создание устойчивых воздушных потоков обеспечено конструкцией самого ротора. Различают два основных типа системы охлаждения:

- Наружная самовентиляция — поток охлаждающего воздуха проходит вдоль поверхности корпуса электродвигателя, который для увеличения теплоотдачи имеет специальное оребрение. Увеличение площади соприкосновения позволяет обеспечить более эффективный отвод тепловой энергии.
- Внутренняя самовентиляция — воздушный поток циркулирует между основными конструктивными элементами по специальным каналам. Благодаря такому решению тепловая энергия отбирается непосредственно с нагретых обмоток и деталей двигателя, что позволяет поддерживать требуемую температуру даже при работе с максимально допустимой мощностью. Для большинства электродвигателей, работающих с постоянной частотой

вращения ротора, этот вариант считается наиболее простым. Но, в системах для которых требуется регулировка скорости, такой вариант уже неэффективен, и требуется применение принудительного охлаждения.

Принудительное охлаждение.

Принцип системы заключается в том, что частота вращения крыльчатки вентилятора не зависит от режима работы самого двигателя. Вентилятор приводится в движение отдельным двигателем. Поэтому, при работе в режимах с небольшим количеством оборотов ротора, производительность системы охлаждения не снижается. Особенно актуален такой тип охлаждения для электродвигателей с частотными преобразователями и другими регуляторами частоты вращения ротора. Каждый электродвигатель IP54 или IP55 имеет встроенный вентилятор под кожухом с нерабочей стороны вала.

Принудительное охлаждение электродвигателей в значительной степени расширяет диапазон регулирования скорости двигателя.

Для асинхронных двигателей большой мощности чаще всего реализованы системы охлаждения с замкнутым циклом. При этом воздухоохладители могут монтироваться как в опорном фундаменте электрической машины, так и на ее корпусе.

Альтернативные способы охлаждения электродвигателей.

Повысить эффективность работы систем можно за счет применения хладагентов с большей теплопроводностью. Так, в электрических машинах большой мощности реализованы системы замкнутого цикла с применением водорода, теплоемкость которого по сравнению с воздухом больше в 7,1 раз. Благодаря такому решению эффективность отвода тепла поднимается практически на порядок. Для промышленных электродвигателей средней и малой мощности такой подход нецелесообразен из-за больших эксплуатационных расходов.

Литература

1. Проскуряков В.С., Соболев С.В. Электротехника . Асинхронный двигатель.- Учебное пособие:- Екатеринбург.УГТУ(УПИ), 2008.- 33с.
2. Усольцев А.А. Общая электротехника. Учебное пособие:- СПб.СПбГУ, ИТМО, 2009.- 301с.

УДК 629.052.9

Особенности зарядных устройств электромобилей TESLA

Стаскевич П.И.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

В последнее время все большую популярность получают электромобили, с каждым днем их становится все больше и больше. Важным моментом в эксплуатации электромобилей является их зарядка.

Электромобили Tesla, с помощью умного соединительного кабеля Mobile Connector и адаптерами к нему, можно зарядить почти где угодно, даже у себя дома: в европейской комплектации автомобиля для кабеля идет переходник на простую евророзетку 230 В и трехфазную с линейным напряжением 400 В. Преобразование переменного тока в постоянный при помощи выпрямителя. На рисунке 1 представлена схема быстродействующего зарядного устройства для электромобилей, позволяющее заряжать электромобиль как от однофазной, так и от трехфазной сети [1].

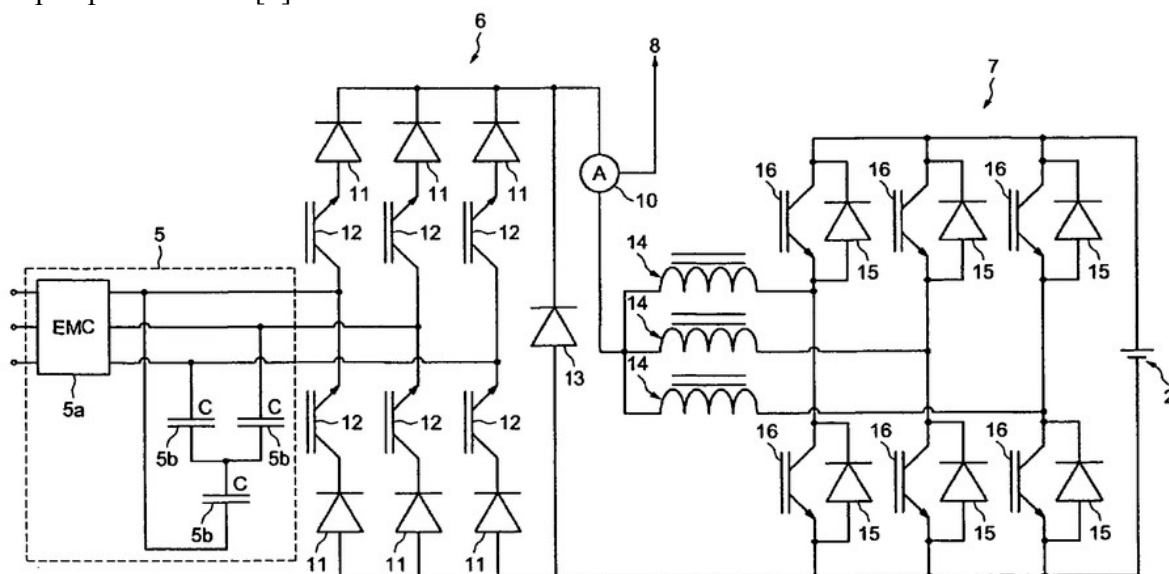


Рисунок 1 – Схема быстродействующего зарядного устройства

В самом автомобиле Tesla находится разъем Mennekes Type 2. На рисунке 2 изображен разъем, где L1, L2, L3 – фазы, neutral – нейтраль, earth – “земля”, proximity и control pilot – кнопки, нажатие которых разрывает между ними контакт и зарядка начинает работать. Сделано для того, чтобы не началась зарядка при не полностью вставленном разъеме [2].



Рисунок 2 – Разъем Mennekes Type 2

Особенностью их использования в автомобиле является то, что зарядка начинается только после полного соединения кабеля и разъема. Ток зарядки увеличивается до того момента, пока не будет зафиксировано падение напряжения или мощности. Следовательно, сеть будет защищена от перегрузки. Полная зарядка от трехфазной розетки на 16 А составляет 8 часов. Если закрыть электромобиль Tesla, поставив на сигнализацию, то кабель блокируется в разъеме и отключается вся световая индикация, сигнализирующая зарядку автомобиля [1]. Все это делается во избежание случайного отключения зарядки или случаев хулиганства. С обычными евророзетками на 230 В все сложнее – Mobile connector проверяет наличие заземления и, при его отсутствии, зарядка не начнется. Так же, для ускорения зарядки, в автомобиль можно встроить второй разъем зарядного устройства, что позволяет заряжать на мощности 22 кВт. Конечно, это ускорит зарядку в 2 раза, но найти место, где будет выдаваться такая мощность очень сложно. Для зарядки электромобиля Tesla не обязательно использовать специальные электрозаправки, так как можно зарядить аккумулятор, если установить трехфазную розетку у места парковки авто – он зарядится за ночь, и на полном аккумуляторе минимальный запас хода – 200 км, что в среднем хватает для ежедневного движения в городе. Батарея Tesla не имеет эффекта памяти, ее можно заряжать в любой момент и рекомендуется оставлять ее на зарядке всегда, когда она стоит припаркованная [3].

В Америке и Западной Европе существуют быстрые зарядки – Supercharger. Эти заправки выдают постоянный ток напряжением 400В и мощностью до 150 кВт. Заправка заряжает аккумулятор, минуя зарядное устройство автомобиля, и половина батареи пополняется за 20 минут. На рисунке 3 изображена сеть заправок Supercharger [3]. Их количество показывает, что Tesla по удобству эксплуатации выходит на уровень простых автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

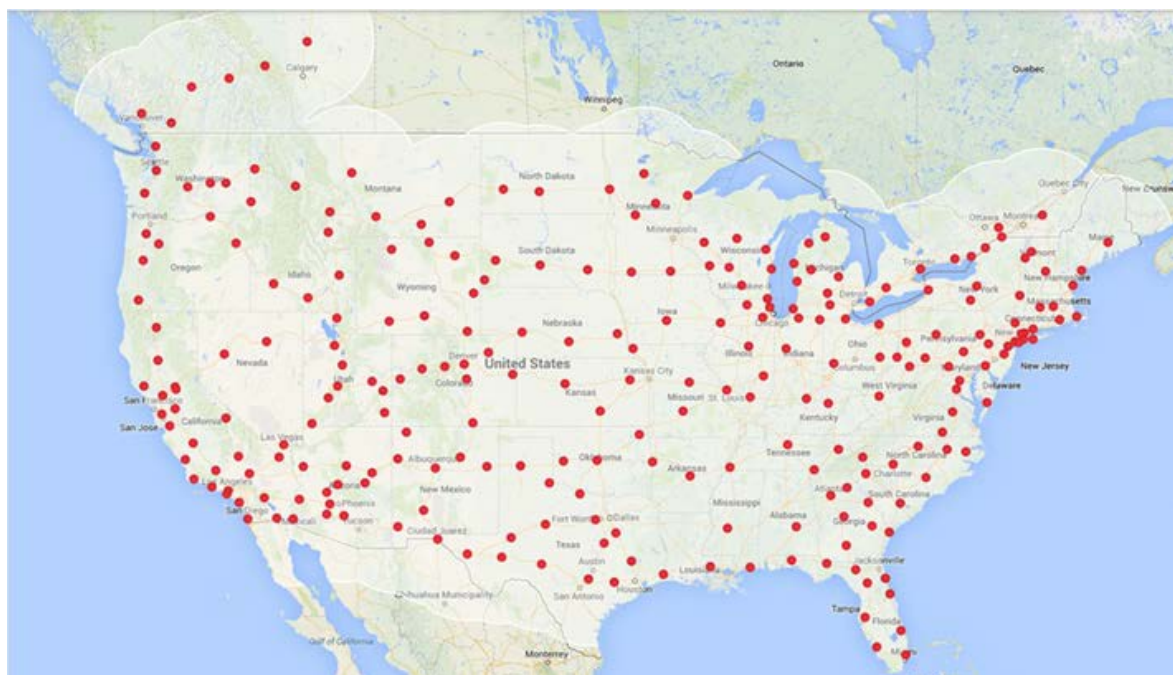


Рисунок 3 – Сеть заправок Supercharger в США

В Беларуси сеть электрозаправок постоянно расширяется – почти на всех заправках «Беларусьнефть» можно зарядить электромобиль по цене 30 копеек за один кВт·ч. При таком тарифе зарядить аккумулятор Tesla Model S на 100 кВт·ч будет стоить 30 рублей против 17,7 литров бензина АИ-95. Tesla Model S на полной зарядке проедет до 500 км, когда самый экономичный бензиновый автомобиль проедет около 300. Следовательно, использование Tesla более экономично. А учитывая, что такой электромобиль можно зарядить у себя в гараже – это еще и удобно. [4]

Удобством так же является то, что с телефона можно следить за состоянием заряда аккумулятора, управлять многими функциями автомобиля, отслеживать его местоположение.

Литература

1. Интернет-портал Onliner [Электронный ресурс] / Минск, 2001. – Режим доступа: <http://www.auto.onliner.by/2014/04/22/tesla-model-s-5>. – Дата доступа: 24.11.2019.
2. Информационный портал об электромобилях [Электронный ресурс] / Киев, 2019. – Режим доступа: <http://www.hevcars.com.ua>. – Дата доступа: 24.11.2019.
3. Официальный сайт компании Tesla [Электронный ресурс] / Калифорния, 2019. – Режим доступа: <https://www.tesla.com>. – Дата доступа: 24.11.2019.
4. Новости Беларуси [Электронный ресурс] / Минск, 2008. – Режим доступа: <http://www.udf.by>. – Дата доступа: 24.11.2019.

УДК 621.64

Получение электрической энергии посредством редуцирования давления поступающего газа

Богушевич В.И.

Научный руководитель – ст. препод. СТАЛОВИЧ В.В.

Известно, что достаточно часто высокое давление газа перед подачей потребителю редуцируется, при этом потенциальная энергия сжатого газа теряется безвозвратно. Такую потенциальную энергию возможно преобразовать в электрическую, механическую или тепловую посредством использования детандерных установок.

Детандер - устройство, преобразующее потенциальную энергию газа в механическую энергию. При этом газ, совершая работу, охлаждается. Так же детандер можно рассматривать как бестопливную установку для производства электроэнергии, теплоты и холода. Наиболее распространены турбодетандеры, поршневые детандеры и детандер-генераторы [1].

Также детандеры нашли применение в технологических процессах получения жидких водорода, кислорода, воздуха, азота и других криогенных газов, необходимых для технологических процессов.

Данные устройства понижают давление газа до требуемого потребителю, выполняя функцию газораспределительных пунктов и станций, одновременно вырабатывая электроэнергию. Газ при этом поступает потребителю под необходимым давлением. Такие установки экологичны и не загрязняют окружающую среду. Мощность детандера зависит от количества газа, его температуры и перепада давлений.

На сегодняшний день на производственных объектах в Республике Беларусь наиболее часто встречаются турбодетандерные установки. Так, они достаточно успешно используются для получения электроэнергии и снижения давления газа и пара на таких объектах как ОАО «Лакокраска» мощностью 2 МВт и 250 кВт, ОАО «СветлогорскХимволокно» мощностью 250 кВт и др.

На приведенном ниже рисунке изображена принципиальная схема турбодетандерной установки.

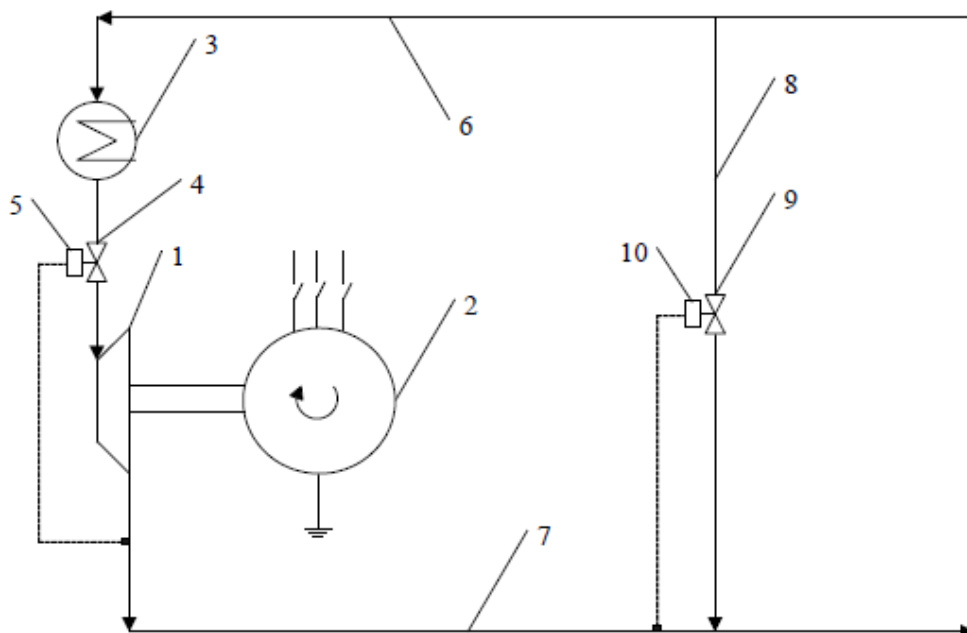


Рисунок 1 – Принципиальная схема турбодетандерной установки

На схеме представлены: турбина 1, кинематически соединенная с электрогенератором 2, подогреватель газа 3, регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятор давления 5, газопровод высокого давления 6, газопровод низкого давления 7, байпасный трубопровод 8 с клапаном 9, управляемый регулятор давления 10.

Природный газ поступает к установке по газопроводу высокого давления 6, проходит подогреватель 3, регулирующий клапан 4 и расширяется в турбине 1. Отдав свою энергию турбине 1, газ через газопровод низкого давления 7 поступает к потребителю. Мощность турбины 1 передается генератору 2, производящему электрический ток. Природный газ нагревается в подогревателе 3 для предотвращения выпадения из него влаги и тяжелых фракций (гидратов, пропана, бутана и т.п.). Для этого необходимо, чтобы температура газа за турбиной составляла около 5°C. Регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятором давления 5, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа после турбины 1 в газопроводе низкого давления 7. Байпасный трубопровод 8 используется в процессе пуска установки, ее нормального и аварийного выводов из работы. В этих случаях байпасный клапан 9, управляемый регулятором давления 10, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа в газопроводе низкого давления 7.

Ниже представлены методика расчёта для выбора и определения эффективности турбодетандерных установок, работающих на природном газе, при их внедрении на производственных объектах [2, 3].

Требуемая электрическая мощность турбодетандера определяется по формуле:

$$N = \frac{\Delta h_{\text{тд}} \times \rho \times G}{3600}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где $\Delta h_{\text{тд}}$ – адиабатический перепад в турбодетандере, кДж/кг;

G – расход природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ – плотность природного газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Адиабатический перепад в турбодетандере определяется по формуле:

$$\Delta h_{\text{тд}} = \frac{k}{k-1} \times R \times T_{\text{н}} \times \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{к}}} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right), \text{ кДж/кг}, \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты для природного газа;

R – газовая постоянная для природного газа, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$;

$T_{\text{н}}$ – температура газа на входе в турбодетандер, К ;

$p_{\text{н}}$ – начальное давление газа, МПа ;

$p_{\text{к}}$ – конечное давление газа, МПа .

Необходимо отметить, что согласно формуле (2), чем больше будет разность давлений на входе и на выходе турбины, тем больший будет эффект от работы установки.

Годовая экономия электрической энергии в пересчете в условное топливо составит [3]:

$$\Delta B_{\text{г}} = N \times T_{\text{г}} \times b \times 10^{-6} \text{ т у. т.}, \quad (3)$$

где $T_{\text{г}}$ – число часов работы турбодетандера в год, ч.

b – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, $\text{г у. т.}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$ (на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) по итогам работы за 2018 год $b = 284,1 \text{ г у. т.}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$);

Следует отметить, что газ перед входом в турбодетандер необходимо подогревать. Расход тепловой энергии на подогрев газа можно определить по формуле:

$$\Delta Q = \frac{c_r \times (t_2 - t_1) \times \rho \times G}{3600}, \text{ кВт} \quad (4)$$

где c_r – теплоемкость газа, кДж/кг·К;
 t_1 – температура газа до подогревателя, °С;
 t_2 – температура газа после подогревателя, °С.
 За год расход тепловой энергии составит:

$$\Delta Q_r = \Delta Q \times T_r \times b \times 10^{-6}, \text{ т у. т.} \quad (5)$$

Таким образом, суммарная экономия после реализации мероприятия составит:

$$\Delta B = \Delta B_r - \Delta Q_r, \text{ т у. т.} \quad (6)$$

В денежном эквиваленте эффект составит:

$$\mathcal{E} = \Delta B \times C \times 10^{-3}, \text{ тыс. руб.} \quad (7)$$

где C – стоимость 1 т у.т, руб.

Срок окупаемости внедрения мероприятия определяется формулой:

$$C_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}}, \text{ лет} \quad (8)$$

где K - капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.

Стоимость 1 т у.т. в 2019 году для Республики Беларусь составляет 215 у.е., курс американского доллара на 02.11.2019 г. составляет 2,05 руб., таким образом, стоимость 1 т у.т. составляет 440,75 рубля.

Согласно представленной выше методике был осуществлён пример расчёта по исходным данным, отражённым в таблице 1. На рисунке 2 представлена зависимость величины экономии в денежном эквиваленте при изменении расхода газа в пределах 200 до 1900 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

ρ , кг/м ³	k , о.е.	R , кДж/кг·К	T_n , К	p_n , МПа	p_k , Мпа	T_r , ч	t_1 , °С	t_2 ,°С	C , руб
0,62	1,32	0,51	353,15	0,6	0,02	8400	20	80	440,45

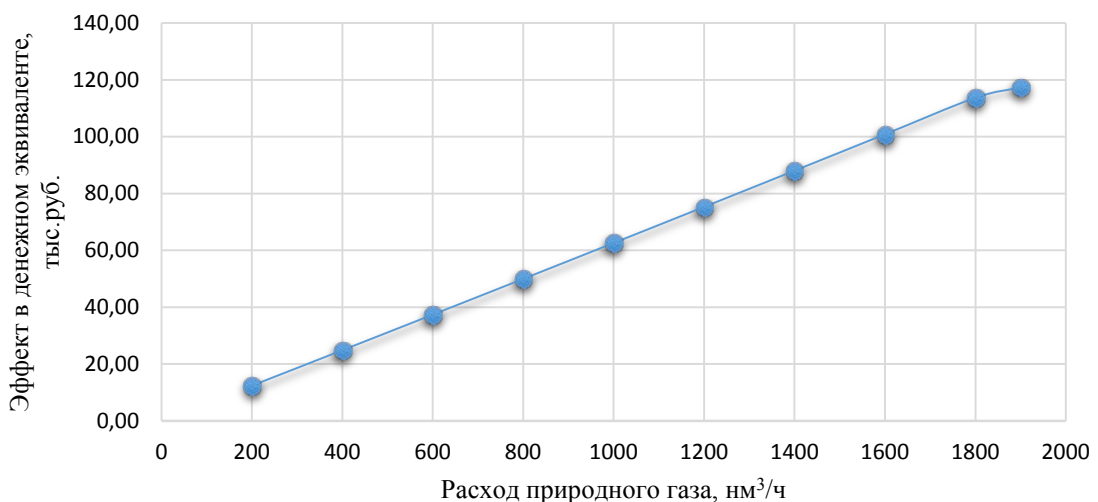


Рисунок 2 – Изменение эффекта в зависимости от роста расхода газа

Построенная кривая на рисунке 1 наглядно отражает рост экономического эффекта от внедрения турбодетандерной установки при росте расхода природного газа предприятием, а также позволяет оценить срок окупаемости по формуле (8). Например, согласно данным зарубежных и отечественных торговых компаний, капиталовложения на внедрение турбодетандерной установки на параметры, отраженные в таблице 1 и расходе газа $500 \text{ м}^3/\text{ч}$, оцениваются величиной порядка 145 тыс. руб., соответственно, срок окупаемости составит в пределах 5 лет.

Далее построим кривую экономии после реализации мероприятия в денежном эквиваленте при изменении величины начального давления газа от 0,3 МПа до 6,0 МПа при постоянных параметрах системы, отраженных в таблице 1 и максимальном расходе газа $1900 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рисунок 3).

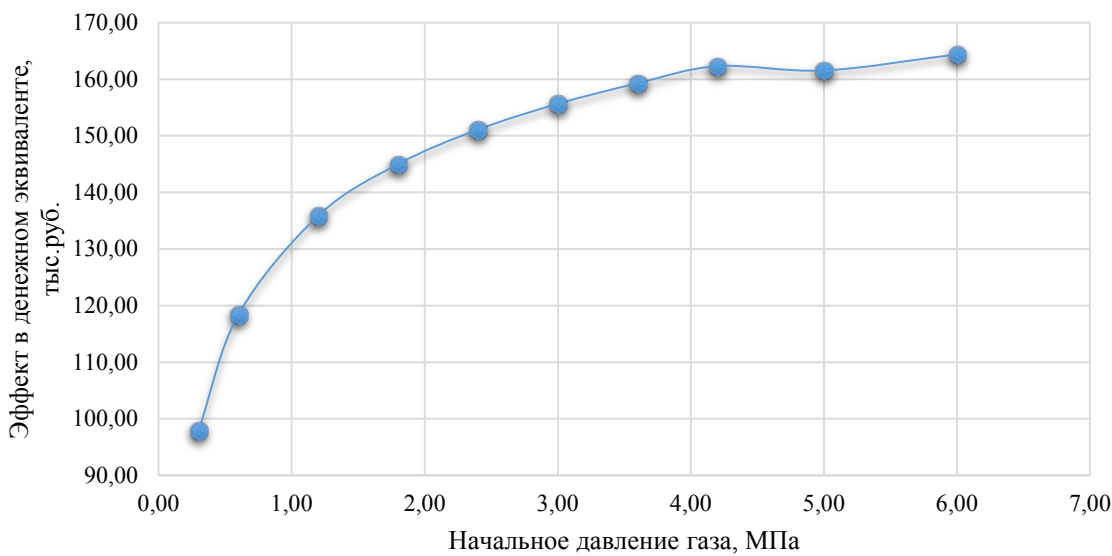


Рисунок 3 – Изменение экономического эффекта при росте начального давления газа

Данная кривая показывает, что увеличение начального давления ожидаемо даёт положительный эффект, однако рост эффективности турбодетандерной установки происходит не столь ощутимо, как при росте расхода природного газа. Таким образом, при определении целесообразности внедрения турбодетандерной установки в первую очередь необходимо учитывать такой параметр, как расход газа.

Таким образом, турбодетандеры утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа) и достаточно просты в эксплуатации. На сегодняшний день существуют турбодетандерные установки, отличающиеся способностью работать в широком диапазоне расходов и давлений газа, сохраняя при этом требуемые параметры и качество генерируемой электроэнергии.

На производственных объектах Республики Беларусь существует потенциал по внедрению и использованию турбодетандерных установок, причём они не нарушают режим подачи газа посредством использования байпасного трубопровода в аварийных и других случаях.

Литература

1. Клименко А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник – 4-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
2. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2003. № 6. С. 21-25.
3. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, Минск, Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 2019.

УДК 621.32

**Актуальность применения автоматического выключателя
или плавкого предохранителя**

Минюк Н.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЯРОШЕВИЧ Т.М.

Автоматический выключатель – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрической сети. Автоматический выключатель, также, выполняет функцию аппарата защиты при коротком замыкании в сети, перегрузках сети, снижении и исчезновении напряжения, изменениях направления передачи мощности или тока и т.д.

Автоматический выключатель состоит из корпуса, контактной системы, дугогасительной системы, привода, механизма свободной системы, расцепителей и вспомогательных контактов.

Преимущества автоматического выключателя:

- аппарат многоразового действия;
- многофункциональные;
- возможность повторного включения сразу после срабатывания;
- легкость ввода в работу;
- возможна дистанционная коммутация;
- стойкость к воспламенению.

Недостатки автоматического выключателя:

- при включении автомата рукояткой может произойти моментальное размыкание контактов или вовсе рукоятка заклинить и не включаться. Данной причиной может послужить скачок напряжения электрической сети или при выборе автоматического выключателя не учли следующие условия выбора

$$I_{\text{ном а}} \geq I_p ;$$
$$I_{\text{ном р}} \geq I_p ,$$

где I_p – расчетный ток в защищаемой цепи, А.

- может срабатывать тепловой расцепитель или подгорать силовые контакты, если не затянуты в клеммниках провода;
- при отсутствие короткого замыкания в сети может происходить моментальное отключение автомата связано с работой электромагнитной защиты;
- может произойти механический износ узлов автоматов;
- при коротком замыкании, автоматический выключатель может не сработать, если образовалась дуга между контактами и они прилипли друг к другу.

Плавкий предохранитель – это электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических сетей от токов перегрузки и токов короткого замыкания.

Плавкий предохранитель состоит из корпуса с дугогасительным устройством и плавкой вставки включаемой последовательно с защищаемой цепью.

Преимущества плавкого предохранителя:

- малая стоимость;
- простота конструкции;
- при аварии питания пропадает только на одной фазе;
- способность отключать большие токи короткого замыкания.

Недостатки плавких предохранителей:

- прибор однократного действия;
- при коротком замыкании трехфазной линии возможно перегорание одного из трех предохранителей, а две фазы остаются включенными, а это может привести к их перегрузке и выходу из строя;
- невозможность защиты сети от перегрузки;

- разброс защитных характеристик, вызываемый увеличением контактных сопротивлений в результате ослабления контактов и старения материала вставки в условиях эксплуатации

Можно заметить, что автоматические выключатели имеют больше положительных факторов чем предохранители, но в свою очередь они намного дороже и что бы понять в чём существенная разница между ними, нужно более подробно разобраться в их применении.

Целесообразности применять плавкие предохранители в следующих случаях:

- временной защиты электрических цепей - например, при ремонте или строительстве, когда еще нет распределительного щитка, но защита нужна;

- для предотвращения кражи автоматических выключателей на больших строительных объектах - чаще всего модульную аппаратуру устанавливают перед самой сдачей объекта;

- при небольших нагрузках их использовать намного дешевле, так как автоматический выключатель с небольшим номинальным током, например, на 0,5А стоит дороже, чем прибор того же производителя на 25А.

Автоматические выключатели отлично подойдут для установки в быту. Особенно помогут, если нужно на время обесточить дом или комнату - нужно просто опустить рычаг. Также оправдана их установка на объектах, где относительно часто бывает перегруз - дешевле купить единожды автомат, чем каждый раз менять вставку, так же автоматические выключатели применяются в труднодоступных местах.

Для более надёжной защиты дорогого и критически важного оборудования в дополнение к автоматическим выключателям желательно установить ещё плавкие предохранители (по принципу селективности). В случае перегруза большего, чем запас прочности автоматического выключателя, предохранитель сработает точно. Купить новое низковольтное защитное оборудование дешевле, чем локализовать пожар или заменить электроприборы.

Литература

1. Чунихин А.А., Электрические аппараты/ А.А. Чунихин. – 3 – е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

УДК 621.32

Архитектурное освещение, его виды и основные требования

Сурович П.В.

Научный руководитель – ст. препод. КАЛЕЧИЦ В.Н.

Архитектурное освещение имеет не только функциональное, но и эстетическое назначение. Оно используется для создания уникального облика отдельных зданий, сооружений и всего города в целом в темное время суток.

Сегодня в установках наружного освещения, к которым предъявляются повышенные требования по цветопередаче (стадионы, выставки, пешеходные зоны), все чаще используются металлогалогенные лампы (МГЛ). В ближайшей перспективе создание уличных осветительных систем на основе светодиодных источников света.

По назначению архитектурное освещение делят на два типа: декоративное и функциональное [1,2].

Функциональное освещение повышает удобство и безопасность пребывания человека на улицах города. При работе с функциональной подсветкой зданий и фасадов пристальное внимание уделяется подбору источников света. Каждый светильник работает эффективно, освещая как можно больше пространства, не причиняя при этом дискомфорт глазам людей.

Декоративное освещение преобразует городские улицы, придавая им запоминающиеся черты. Необходимость в декоративной фасадной подсветке возникает во время торжественных мероприятий: фестивалей, спортивных событий, праздников.

Выделяют шесть основных приемов использования архитектурного освещения фасадов зданий [2,5]:

- общее заливающее (используется для обеспечения целостного восприятия крупных объектов, реализуется с помощью мощных прожекторов);
- локально-зональное (позволяет выделить определенные элементы объектов: колонны, барельефы, оконные проемы и прочее. В этом случае применяются акцентные прожекторы малой и средней мощности);
- световые фасады (востребованы при освещении зданий со стеклянными фасадами административных, торговых или развлекательных центров. В этом случае светильники размещаются внутри помещений);
- фоновое силуэтное освещение (используется для выделения очертаний строений. Реализуется за счет установки прожекторов на задней стороне объектов);
- контурное (применяется для выделения геометрических форм или элементов зданий. В этом случае используются линейные светильники);
- цветодинамическое (совмещает в себе несколько эффектов. Оно предполагает изменение цвета, контрастности и интенсивности световых потоков. В этом случае используется комбинация светильников и прожекторов различных видов).

К светильникам, используемым для архитектурного освещения, предъявляют ряд требований. Это низкое энергопотребление, способность работать в любых климатических условиях, устойчивость к вибрации, длительный срок службы, безопасность.

Наиболее полно этим требованиям соответствуют светодиодные светильники. Так как их потребность в электроэнергии меньше по сравнению с лампами МГЛ, а значит и расходы меньше; долговечность – 50000 часов; рабочий интервал температур от -60 °С до + 40 °С; кроме того, они виброустойчивы [3,6].

В настоящем своде правил, в ТКП 45-2.04-153 [7], применены следующие термины и характеристики для наружного архитектурного освещения зданий и сооружений. Это цвет и материалы поверхности фасада; средневзвешенный коэффициент отражения материала поверхности; категория городского пространства; место расположения объекта освещения; за-

ливающее освещение; средняя яркость фасада L_f , кд/м²; средняя яркость акцентируемого светом элемента L_s , кд/м²; локальное освещение; средняя яркость L , кд/м² и многие другие условия.

Нельзя забывать о «световом загрязнении», которое **опасно для человека, животных и даже растений**. Согласно определению, это весь свет, который уходит выше линии горизонта, неважно, использован он для чего-то полезного или попал случайно.

Причины, в основном, в неправильном проектировании, выборе светильников или оптики. Дело также может быть в монтаже и неправильной эксплуатации.

Рассмотрим несколько проектов по освещению зданий г. Минск [3].

Подсветка гостиницы «Мерсигу». Главная задача проекта-подчеркнуть классическую архитектуру здания в вечернее время и создать визуальный комфорт для жильцов гостиницы.

В проекте освещения использованы светодиодные маломощные линейные светильники. Цветовой температурой освещения был выбран нейтральный белый цвет 4000 К, который сочетается с отделкой фасада. Подключение осуществляется при помощи блока питания 230 / 24 В. А также на объекте применены кованые исторические светильники со светодиодными источниками света. Светильники обладают длительным сроком службы, что делает эти приборы универсальными для использования в архитектурно-художественном освещении.

Подсветка административных зданий. Целью проекта по освещению здания следственного комитета РБ является выделение ее социально-градостроительной значимости. Были использованы светильники янтарного и нейтрального цвета свечения, а также применены осветительные приборы, отвечающие последним требованиям энергоэффективности. Они позволяют снизить расходы на техническое обслуживание, благодаря долгому сроку службы; высокая степень защиты от внешних воздействий *IP66* и широкий температурный диапазон от -40 до +40.

Здание на площади Свободы и ул. Революционной имеет богатую историю. Сейчас здесь расположен КУП "Минскоблдорстрой". Для всего оборудования был выбран нейтральный белый свет. Межоконные пространства с третьего этажа акцентированы светильниками с оптикой 60°. Главной задачей концепции было подчеркнуть классическую архитектуру здания в вечернее время.

Подсветка спортивных зданий. В качестве примера рассмотрим освещение стадиона «Динамо». Со стороны улицы Кирова динамическое освещение выполнено мощными RGBW прожекторами, которые использованы для равномерной подсветки фасада стадиона с опор, всего объединено около 400 светодиодных прожекторов. Дополнительные светильники размещены по всему периметру галереи, разделяющей верхний и нижний ярусы трибун. Светодиодное оборудование, используемое в проекте освещения стадиона «Динамо», является энергоэффективным и долгосрочным. Высокая степень защиты от внешних воздействий *IP66* и температурный диапазон от -40 до +40.

Таким образом, архитектурное освещение формирует пространство в ночное время, т.е. свет не просто выявляет архитектуру, он позволяет заново открыть ее форму и стиль, воздействуя физиологически и психологически на восприятие человека. Но существуют и ограничения для освещения: важно расположить световой прибор на нужном удалении от стены для правильного распределения светового потока, нужно избегать неоправданных затрат на монтажные работы и последующую эксплуатацию. А также учитывать такие характеристики оборудования, как долгий срок службы (50000-100000 ч), устойчивость к механическим воздействиям, широкий температурный диапазон, работа в нестабильных электросетях при изменении напряжения, экологичность.

Литература

1. © 2010-2019 ООО «АтомСвет Энергосервис» – проектирование и производство светодиодных светильников. Архитектурное освещение. Режим доступа: <http://www.atomsvet.ru/production/architect/> – Дата доступа: 1.11.2019.

2. Архитектурное освещение: виды и назначение, статья, 2001–2019 Световое оборудование. Режим доступа: <https://svetpro.ru/uchebnik-svetotekhniki/arhitekturnoe-landshaftnoe-i-ulichnoe-osveshhenie/arhitekturnoe-osveshhenie-vidyi-i-naznachenie.html>. – Дата доступа: 26.10.2019.
3. Архитектурная подсветка фасадов зданий "под ключ". Светотехническая компания ООО «Лучший Свет» – Режим доступа: <http://lsvet.by/> – Дата доступа: 10.11.2019.
4. Гутуров М.М. Основы светотехники и источники света. М.: Энергоатомиздат, 1983, 384с.
5. Освещение фасадов зданий архитектурная подсветка. Рубрика: Освещение. Режим доступа: <https://contur-sb.com/osveschenie-fasadov-zdaniy-arhitekturnaya-podsvetka/> – Дата доступа: 20.10.2019.
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*, введен в действие с 8 мая 2017 г. Пересмотр СП 52.13330.2011 "СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение" Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> . – Дата доступа: 20.10.2019.
7. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. Разработан научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Проектирование зданий и сооружений» (ТКС 04). Утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 14 октября 2009 г. № 338. - Режим доступа: https://evn.by/zakonodatelstvo/rabochaya_zona/tkp-45-2-04-153-2009-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshhenie-stroitelnye-normy-proektirovaniya/ – Дата доступа: 28.10.2019.

УДК 621.31

История развития и современные проблемы качества электрической энергии

Демещик А.В., Хуршедзода С.

Научный руководитель – ст. препод. СТАЛОВИЧ В.В.

Электрическую энергию (ЭЭ) можно представить как промышленную продукцию в виде полуфабриката, которую непосредственно не потребляют, но используют при создании практически всех видов продукции. Поэтому электрическая энергия оказывает существенное влияние на качество и экономические показатели производства. Особенность электрической энергии состоит в том, что её качество на месте производства не может служить гарантией её качества в пунктах потребления, так как характер самого процесса потребления существенно влияет на параметры электрической энергии.

Пристальное внимание вопросам качества электрической энергии (КЭЭ) в СССР начали уделять в связи с введением в 1970 г. ГОСТ 13109-67, определяющего допустимые значения и пределы изменения показателей качества электроэнергии. Это был первый и единственный в мировой электротехнической практике официальный документ, нормирующий комплекс показателей качества электроэнергии. Следующим важным этапом в развитии вопросов улучшения качества электроэнергии явилось 3 Всесоюзное совещание по качеству электроэнергии, состоявшееся в Баку в 1973 г. [5]

Так как тенденция к ухудшению КЭЭ характерна не только для отечественных, но и зарубежных систем электроснабжения, то в 1974 г. Международной электротехнической комиссией был создан технический комитет ТК-77, которому предписано заниматься проблемой электромагнитной совместимости потребителей в многофазных системах и выработкой соответствующих рекомендаций.

Следует отметить, что в СССР на протяжении длительного времени первоочередное внимание уделялось нормализации положения с уровнями частоты и напряжения, то есть параметрам, практически полностью зависящими от деятельности энергоснабжающей организации. За рубежом основные научные исследования были посвящены другим показателям (высшие гармоники, быстрые колебания напряжения, кратковременные его провалы и т.п.), которые более правильно могут быть определены терминами «помехи» или «искажения». Помехи редко создаются поставщиком ЭЭ, но практически всегда передаются по его сетям от одного потребителя к другому. Данная проблема усугублялась ещё тем, что термин «качество электроэнергии» не отражает влияние на него потребителей и большинством пользователей электрической энергии воспринимался как понятие, характеризующее качество поставляемой продукции, при несоответствии которого нормам претензии предъявляются только поставщику. Однако, более правильно говорить об электромагнитной совместимости оборудования, отражающий отмеченную специфику. Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) понимают способность оборудования нормально функционировать в его электромагнитной среде, не создавая недопустимых электромагнитных помех для другого оборудования, функционирующего в этой же среде. Данный термин был принят в международных документах и получил отражение в названии комитета ТК 77 «Электромагнитная совместимость оборудования, включая электрические сети» [6].

После введения в СССР ГОСТ 13109-67, многие теоретические и прикладные задачи по обеспечению КЭЭ остались нерешенными. Это можно объяснить имевшей место недооценкой проблемы снижения КЭЭ, поскольку ряд ее аспектов носил скрытый характер. Так, последствия от снижения КЭЭ в виде экономического, социального, технологического и других составляющих ущерба, чаще всего проявляются постепенно, а когда в последующие за принятием ГОСТ 13109-67 годы проблема повышения качества электроэнергии приобрела особую остроту, оказалось, что многие ее вопросы вообще выпали из поля зрения исследователей.

Вопросы повышения КЭ получили дальнейшее развитие на 4 Всесоюзном совещании по проблеме, состоявшемся в г. Виннице в 1978 г., ряде Всесоюзных, республиканских, отраслевых и ведомственных совещаний и конференций, в документах Международной электротехнической комиссии.

Как итог, в 1979 г. были утверждены изменения к ГОСТ 13109-67, что явилось существенным вкладом в стандартизацию в области КЭЭ. Были разработаны и частично внедрены в практику новые методы и технические средства улучшения качества ЭЭ, новые приборы для измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Усилиями ряда организаций и специалистов были усовершенствованы математические методы расчета ПКЭ, включающие спектральные методы теории случайных процессов, стохастические дифференциальные уравнения, конечно-равностные уравнения, теорию информации и др. Всё это позволило получить новые научные и практические результаты и наконец, сформировался экономический аспект проблемы [6,7].

В целях поддержания КЭЭ на должном уровне Госкомцен СССР ввел с 1 января 1984 г. дополнительный прейскуртант № 09-01-1980/11, в котором были установлены скидки с тарифа за поставляемую электрическую энергию при снижении по вине электроснабжающей организации КЭЭ и надбавки к тарифу за снижение КЭЭ по вине потребителей.

Скидка или надбавка к тарифу по каждому ПКЭ определялась следующим образом:

$$H = 5 \cdot \frac{P_{\phi} - P_{д}}{P_{н}} \cdot d, \%$$

где P_{ϕ} – фактическое значение ПКЭ в точке ее реализации;

$P_{д}$ – значение ПКЭ, установленное в договоре за пользование электроэнергией;

$P_{н}$ – нормированное значение ПКЭ, определенное в соответствии с ГОСТ 13109-67, по которому нормировались показатели качества электроэнергии;

d — отношение количества электроэнергии, потребленной при отклонении от договорных условий, к общему потреблению электроэнергии за расчетный период.

Значения $P_{д}$, $P_{н}$, d определялись энергоснабжающей организацией по методике, утвержденной Минэнерго СССР.

Принятие механизма скидок и надбавок к тарифу экономически стимулировал как энергосистему, так и потребителей участвовать в режиме регулирования показателей качества электрической энергии. К сожалению, вышеперечисленные нормативные документы, упорядочивающие отношения поставщиков и потребителей электроэнергии по показателям ее качества как товара, были отменены и на сегодняшний день не действительны.

В условиях отсутствия конкуренции, практически монополии, на производство и передачу электрической энергии в Республике Беларусь, электроснабжающая организация особо не заинтересована в режиме регулирования показателей качества электрической энергии. Это связано с тем, что все фактические затраты на производство и передачу ЭЭ включаются в тарифы и оплачиваются потребителем. Другими словами, рыночные механизмы развиваются слабо, а существующая нормативно-правовая база и необходимость в контролирующих органах малоэффективна [8].

Следующим документом, устанавливающим требования к качеству электрической энергии стал ГОСТ 13109-87. Дальнейшее развитие энергосистемы страны, увеличение роста мощностей электростанций, а, соответственно, и роста электрической нагрузки в стране, привели к необходимости создания нового ГОСТ 13109-97. С 1 апреля 2016 года постановлением Госстандарта Республики Беларусь № 13 от 12 марта 2015 введен стандарт ГОСТ 32144-2013 на качество электрической энергии в сетях систем электроснабжения общего назначения. Одно из главных отличий указанных стандартов в том, что если ГОСТ 13109-97 и все предыдущие стандарты (ГОСТ 13109-67, ГОСТ 13109-87) устанавливали норму в точках присоединения

электроприемников, то ГОСТ 32144-2013 устанавливает норму в точках передачи электроэнергии от электроснабжающей организации к организации-потребителю, что осложнит проблемы поддержания качества электроэнергии в низковольтных сетях.

В структуре документа также есть отличия: в ГОСТ 32144-2013 характеристики напряжения делятся на две категории – продолжительные изменения и случайные события. В ГОСТ 13109-97 и в предыдущих стандартах такого разделения нет [9].

К продолжительным изменениям относятся: отклонение частоты, медленные изменения напряжения (отрицательное и положительное), кратковременная и длительная дозы фликера, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжений в трехфазных системах, напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям. К случайным событиям относятся прерывания и провалы напряжения, перенапряжения и импульсные напряжения. Для случайных событий приведены справочные данные. Следует отметить, что по указанным показателям в ГОСТ 13109-97 также были приведены справочные данные.

В настоящее время развитие сетей и внедрение нового электрооборудования только повышают актуальность проблем качества электроэнергии. Возрастающее количество нелинейной нагрузки с одной стороны ухудшает ПКЭ в сети, а применение чувствительных электронных устройств, с другой стороны, требует, чтобы эти показатели находились в жестко заданных пределах. Очевидно, что с развитием электроэнергетики актуальность нормирования и контроля параметров качества электроэнергии будет возрастать. Ключевыми моментами в вопросах КЭЭ являются законодательная база (построение отношений между энергоснабжающей организацией и потребителем) и наличие инженерных возможностей для выявления и устранения недопустимых отклонений ПКЭ. Если некоторые законодательные основы созданы Правилами электроснабжения, то инженерную (техническую) базу необходимо развивать. Существующая на сегодня простая констатация фактов несоответствия показателей качества электроэнергии требованиям ТНПА не позволяет решать ряд важных принципиальных вопросов. Развитие технического потенциала до требуемого уровня возможно только при условии того, что сам потребитель будет осознавать наличие проблемы, понимать её причину, искать пути и требовать её решения.

Литература

1. ГОСТ 13109-67. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у её приёмников, присоединённых к электрическим сетям общего назначения. — Введ. 01.01.68. — М.: Изд-во стандартов, 1969. -10 с.
2. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. - Введ. 01.01.89. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 22 с.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ. 1999.01.01. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 32 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ. 2014.07.01.- М.: Стандартиформ, 2013. - 15 с.
5. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко. — М.: Энергия, 1977. — 127 с. — ил.
6. Шидловский, А. К. Повышение качества энергии / А. К. Шидловский. — Киев: Наук. думка, 1978. — 111 с.
7. Ершов, А. М. Качество электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов-заочников / А. М. Ершов. — Челябинск: ЧГТУ, 1991. - 88 с.
8. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 252 с., 74 ил.

9. Шевчик, Н. Е. Нормирование качества электроэнергии в системах электроснабжения Республики Беларусь / Н. Е. Шевчик, Г.М. Дмитриев, В.М. Збродыга // Энергоэффективность. — 2017. — № 9. — с. 26-31.

УДК 621.3

Драйверы для светодиодов

Мацук А.С., Клявдо М.А.

Научный руководитель- к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В. Б.

Драйвер для светодиодов является электронным устройством, на выходе которого образуется постоянный ток после стабилизации.

На электронную начинку устройства влияет множество причин:

- класс защиты аппарата;
- элементная составляющая, которая применяется для сборки;
- параметры входа и выхода;
- марка производителя.

Изготовление современных драйверов выполняется при помощи микросхем с использованием технологии широтно-импульсного преобразования, в состав которых входят импульсные преобразователи и схемы, стабилизирующие ток. Широтно-импульсные преобразователи запитываются от 220 В, обладают высоким классом защиты от коротких замыканий, перегрузок, а также высоким КПД.

Подбор драйвера:

Перед приобретением преобразователя для светодиодов следует изучить характеристики устройства. К ним относятся следующие параметры:

- выдаваемая мощность;
- выходное напряжение;
- номинальный ток.

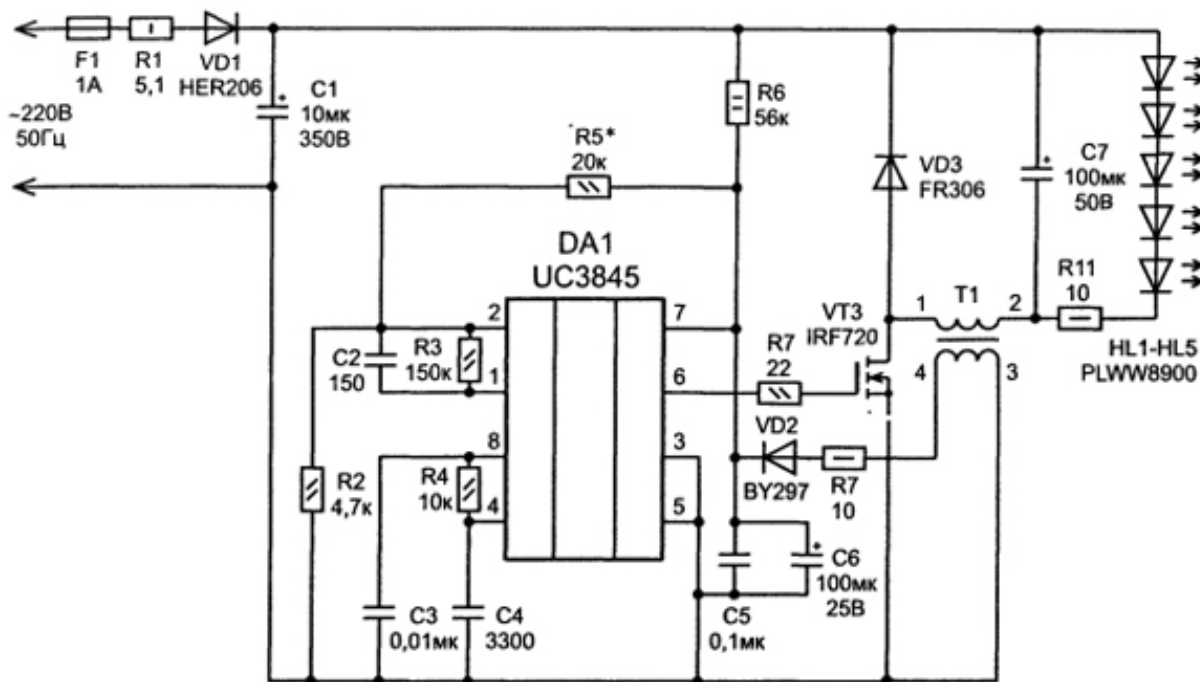


Рисунок 1 – Схема подключения LED-драйвера

На выходное напряжение влияет схема подключения к источнику питания, количество в ней светодиодов. Значение тока пропорционально зависит от мощности диодов и яркости их излучения. Светодиодный драйвер должен выдавать столько тока для светодиодов, сколько потребуется для обеспечения постоянной яркости. Стоит помнить, что мощность необходимого устройства должна быть больше мощности потребляемой всеми светодиодами. Для обеспечения длительной и стабильной работы драйвера следует учитывать запас мощности устройства в 20–30% от номинальной. Выполняя расчет, следует учитывать цветовой фактор

потребителя, так как он влияет на падение напряжения. У разных цветов оно будет иметь отличающиеся значения.

Типы драйверов:

Производятся драйверы двух типов: линейные и импульсные. У них одна функция, но сфера применения, технические особенности и стоимость различаются.

Все драйверы для светодиодов можно разделить по принципу стабилизации тока. На сегодняшний день таких принципов два: линейный, импульсный.

В чем недостаток линейной схемы стабилизатора тока? Дело в том, что через регулирующий элемент тоже течет ток и бесполезно рассеивает мощность, которая просто греет воздух. Причем чем входное напряжение больше, тем выше потери. Для светодиодов с небольшим рабочим током такая схема годится и успешно используется, но мощные полупроводники линейным драйвером питать себе дороже: драйверы могут съесть больше энергии, чем сам осветитель. К преимуществам такой схемы питания можно отнести относительную простоту схемотехники и невысокую стоимость драйвера, сочетающуюся с высокой надежностью.

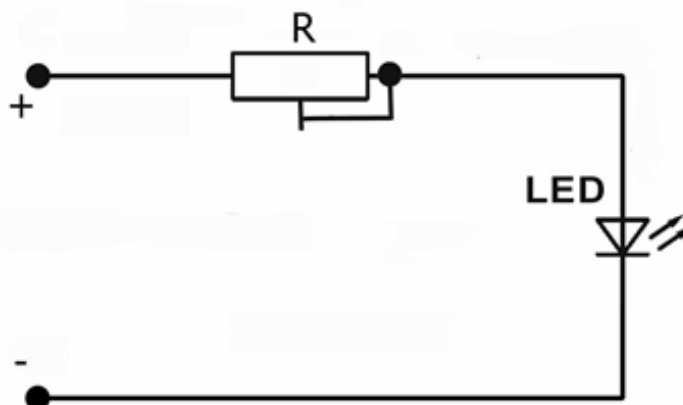


Рисунок 2 – Схема, поясняющая линейный принцип регулировки тока

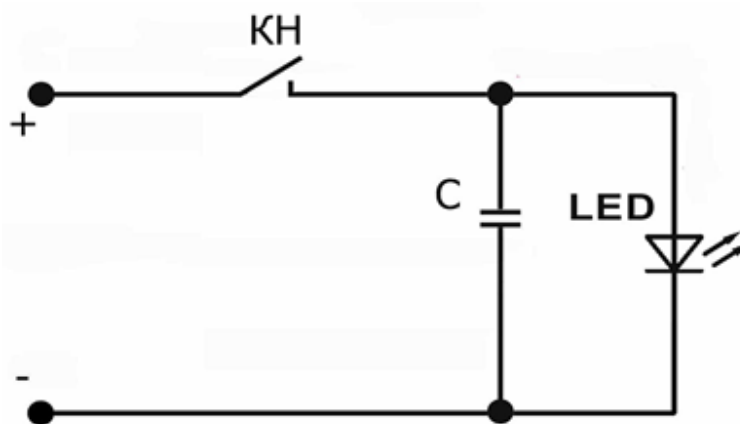


Рисунок 3 – Схема, поясняющая импульсный принцип регулировки тока

Принцип работы:

Подаем напряжение на схему и замыкаем ключ КН. Подаем напряжение на схему и нажимаем кнопку. Если продолжать держать кнопку нажатой, то ток превысит допустимую величину, и полупроводник сгорит. По этой причине размыкаем ключ КН. Конденсатор продолжает питать светодиод и постепенно разряжается. Как только ток опустится ниже допустимого для светодиода значения, снова замыкаем ключ, подпитывая конденсатор. Это и есть принцип широтно-импульсной модуляции. Драйвер следит за током через светодиод и управляет ключом, собранным на транзисторе или тиристоре. Делает он это очень быстро (десятки и даже сотни тысяч нажатий в секунду). КПД импульсного стабилизатора может достигать

95%. Даже при питании сверхмощных светодиодных прожекторов потери энергии минимальны, а ключевые элементы драйвера не требуют мощных теплоотводов. Конечно, импульсные стабилизаторы несколько сложнее по конструкции и дороже, но все это окупается высокой производительностью, исключительным качеством стабилизации тока и отличными массогабаритными показателями. Минусом импульсного драйвера являются электромагнитные помехи.

Литература

1. Козловская, В. Б. Электрическое освещение: справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. - 2-е изд. - Минск: Техноперспектива, 2008. - 271 с,
2. Драйверы для светодиодов: виды, назначение, подключение. - <https://homius.ru/drayveryi-dlya-svetodiodov.html>
3. Как подобрать светодиодный драйвер – Виды и основные характеристики. - <https://lampagid.ru/vidy/svetodiody/drajver>

УДК 621.3

Понятие потерь в трансформаторах. Добавочные потери

Коновалов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н, доцент. КОНСТАНТИНОВА С.В.

При работе установки часть мощности поступает на первичный контур. Она рассеивается в системе. Поэтому поступающая мощность в нагрузку определяется на меньшем уровне. Разница составляет суммарное снижение мощности в трансформаторе.

Существует два вида причин, из-за которых происходит рост потребления энергии оборудованием. На них влияют различные факторы. Их делят на такие виды:

- Магнитные.
- Электрические.

Магнитные потери в стали магнитопривода состоят из вихревых токов и гистерезиса:

$$P_c = P_{\Gamma} + P_{ВХ} = P_{ОН} \quad (1)$$

Они прямо пропорциональны массе сердечника и его магнитной индукции. Само железо, из которого выполнен магнитопривод, влияет на эту характеристику. Поэтому сердечник изготавливают из электротехнической стали. Пластины делают тонкими. Между ними пролегает слой изоляции.

Также на снижение мощности трансформаторного устройства влияет частота тока. С ее повышением растут и магнитные потери. На этот показатель не влияет изменение нагрузки устройства.

Электрические потери

Снижение мощности может определяться в обмотках при их нагреве током. В сетях на такие затраты приходится 4-7% от общего количества потребляемой. Определение добавочных потерь в обмотках сводится к расчету коэффициента увеличения основных электрических потерь обмотки k_d . Этот коэффициент подсчитывается отдельно для каждой обмотки трансформатора. Значение коэффициента зависит от частоты тока, размеров проводников и обмотки, их удельного электрического сопротивления и их расположения по отношению к полю рассеяния трансформатора.

Любая обмотка трансформатора, намотанная из прямоугольного или круглого провода. При этом в такой условной обмотке должно быть сохранено число проводников реальной обмотки в направлениях, параллельном и перпендикулярном направлению потока рассеяния. Наличие каналов, параллельных направлению потока рассеяния не влияет на k_d .

Добавочные потери

Определение добавочных потерь в обмотках практически сводится к расчету коэффициента увеличения основных электрических потерь обмотки $k_{д,0}$, где $k_{д,0} > 1,0$. Этот коэффициент подсчитывается отдельно для каждой обмотки трансформатора. Значение коэффициента зависит от частоты тока f , размеров поперечного сечения проводников обмотки, их удельного электрического сопротивления ρ и их расположения по отношению к полю рассеяния трансформатора.

Любая обмотка трансформатора, намотанная из прямоугольного или круглого провода, может быть для расчета коэффициента $k_{д,0}$ (условно представлена в таком виде, как на рис. 1). При этом в такой условной обмотке должно быть сохранено число проводников реальной обмотки в направлениях, параллельном и перпендикулярном направлению вектора магнитной индукции поля рассеяния обмотки. Наличие каналов, параллельных этому направлению, как это будет видно из расчетных формул, не влияет на $k_{д,0}$.

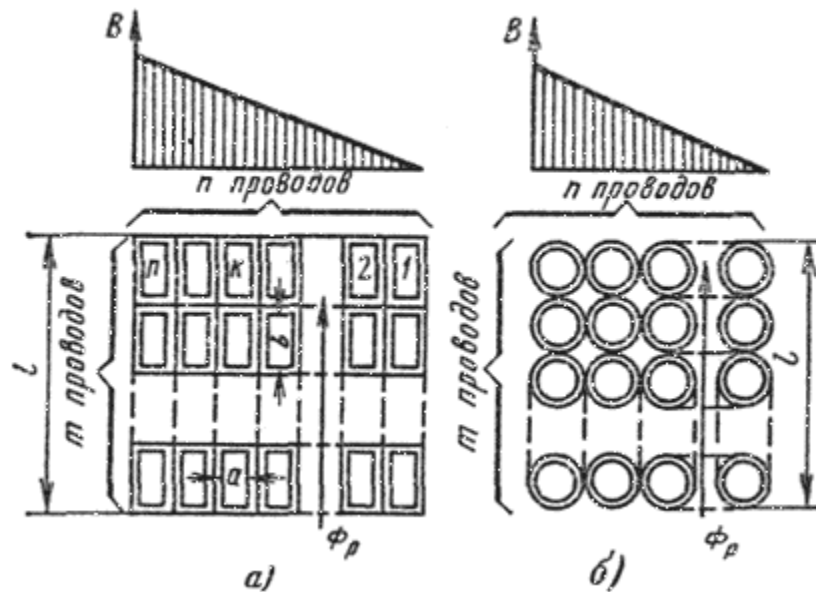


Рисунок 1 – а – из прямоугольного провода; б – из круглого провода (стрелкой показано направление индукционных линий поля рассеяния обмотки Φ_p)

Добавочные потери от вихревых токов, вызванные собственным магнитным полем рассеяния обмоток, неодинаковы для отдельных проводников, различным образом расположенных в обмотке по отношению к полю рассеяния.

Наибольшие добавочные потери в двухобмоточном трансформаторе возникают в проводниках, находящихся в зоне наибольших индукций, т.е. в слое проводников, прилегающем к каналу между обмотками. Наименьшие потери возникают в слое, наиболее удаленном от соседней обмотки. Коэффициент добавочных потерь для проводников любого слоя с номером k (рис. 1, а) может быть найден по формуле

$$k_{дк} = 1 + 5,2\beta^2 \left(\frac{f}{\rho}\right)^2 a^4 (k - 0,5)^2 \tag{2}$$

Расчет основных потерь в отводах сводится к определению длины проводников и массы металла в отводах. Этот расчет может быть произведен после окончательного установления конструкции отводов. В процессе расчета может быть произведено приближенное определение массы металла отводов.

Общую длину проводов для соединения в звезду

$$l_{отв} \approx 7,5l \tag{3}$$

И для соединения в треугольник

$$l_{отв} \approx 14l \tag{4}$$

В силовых трансформаторах общего назначения потери в отводах составляют, как правило, не более 5-8 % потерь короткого замыкания, а добавочные потери в отводах - не более 5 % основных потерь в отводах. Поэтому предварительный расчет потерь с определением длины отводов по формулам (3) и (4) дает достаточно точный результат, и необходимость в определении добавочных потерь в отводах отпадает.

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Применение оребренных поверхностей теплообмена при реконструкции котельного оборудования

Адинцова Я.П., Стрежик А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Атмосферные термические деаэраторы

Бубнова А. А., Казейка К. В.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Варианты повышения маневренности ПГУ на ГРЭС

Васильев И.А., Ярмош М.С.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Глубокая утилизация тепла дымовых газов ТЭС на природном газе

Ганина О. В., Сазоненко Е. Р.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Системы парораспределения современных паровых турбин

Гапеев К.Н.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Инновационные технологии, повышающие безопасность Белорусской АЭС

Дячэк О.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Выбор и обоснование методов контроля ротора паровой турбины К-1000-60/1500-2

Иванов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ГЕРАСИМОВА А.Г.

Совершенствование подшипников скольжения паровых турбин

Иванова К.С., Колос В.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Гидроаккумулирующие электростанции

Казак А.А.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Возобновляемые источники энергии

Касатов А. Д., Ключев В.В.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Естественная циркуляция в котлах-утилизаторах парогазовых установок

Михалченок В.Ю., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Установка устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов

Пантелей Д.Е.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Будущий вклад в ядерную и радиационную безопасность

Салькевич Я.А.

Научный руководитель – ст. препод. БУРОВ А.Л.

Совершенствование уплотнений паровых турбин

Сацкевич Я.М., Шнипова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Газотурбинная надстройка паросилового энергоблока

Ситник Н.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Неисчерпаемые источники энергии: солнечная энергия

Чепикова Д.А., Шкурко А.А.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

УДК 621.181

Применение оребренных поверхностей теплообмена при реконструкции котельного оборудования

Адинцова Я.П., Стрежик А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Одним из путей ускорения темпов развития энергетической техники является модернизация действующих технологий и оборудования. Это позволяет не только повысить их эффективность в процессе эксплуатации, но и быстрее получить необходимые знания для успешного внедрения в практику новых разработок.

В [1] приведены результаты разработок, которые длительное время ведутся в Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) в области котельной техники и теплообменного оборудования тепловых электростанций (ТЭС). Часть работ выполняется совместно с известными академическими и научно-исследовательскими институтами, с ведущими котлостроительными заводами, крупными энергосистемами, а также с отдельными электростанциями. Работы основаны на применении пассивного метода интенсификации конвективного теплообмена путем воздействия на форму теплообменной поверхности, в частности с помощью оребрения труб.

Примененные виды оребренных труб – это трубы с металлургическим и приварным плавниковым оребрением, с мембранным оребрением, с поперечно-спиральным оребрением (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трубы с плавниковым (а) и поперечно-спиральным (б) оребрением

Две из исследованных оребренных поверхностей нагрева разработаны в СГТУ и применены в практике впервые. Они защищены авторскими свидетельствами на изобретение.

Одна поверхность нагрева представляет собой трубы с металлургическим плавниковым оребрением (рисунок 1,а), расположенные в шахматном порядке. Поперечное сечение поверхности нагрева изображено на рисунке 2,а [2].

Из рисунка 2 видно, что основной особенностью этой поверхности является смещение четных рядов труб относительно нечетных навстречу движущемуся потоку продуктов сгорания топлива приводит к изменению направления и величины диагональных скоростей продуктов сгорания в межтрубном пространстве, что в свою очередь вызывает уменьшение отложений на трубах. Кроме того, предложенное смещение продольных шагов приводит к неравномерной плотности рядов труб по глубине поверхности нагрева, которая создает поочередное ускорение и замедление движущегося потока. В результате движение продуктов сгорания становится пульсирующим. Следует заметить, что наложение пульсаций на движущийся поток среды является одним из методов интенсификации конвективного теплообмена. Таким образом, смещение продольных шагов труб в шахматном трубном пучке создает одновременно два эффекта – уменьшения загрязнений на наружной поверхности труб и интенсификации теплообмена.

Разработанное техническое решение является чисто компоновочным и поэтому не требует изменений в технологии изготовления, а соответственно и дополнительных затрат.

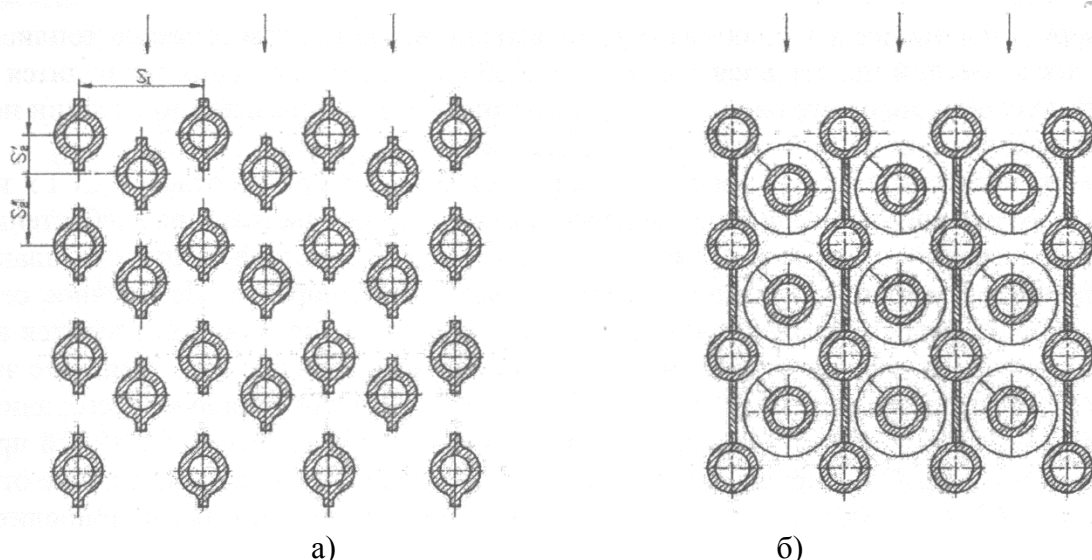


Рисунок 2 – Разработанные в СГТУ новые теплообменные поверхности:

- а) плавниковые из металлургических плавниковых труб со смещенными продольными шагами S_2 и S'_2 ; б) комбинированная из чередующихся труб с мембранным и поперечно-спиральным оребрением

Другая поверхность нагрева (рисунок 2,б) является разработкой, открывшей новый класс так называемых комбинированных теплообменных поверхностей из оребренных труб [3]. В годы появления этого технического решения перед ведущими котлостроительными заводами и отраслевыми научно-исследовательскими институтами стояла задача совмещения в одной теплообменной поверхности достоинств мембранного и поперечно-спирального оребрений с одновременным устранением присущих им недостатков.

В СГТУ был выбран инновационный путь решения задачи. Отказавшись от строгого следования правилу конструктивной тождественности, было предложено комбинировать (чередовать) пакеты змеевиков, или просто трубы, с разными типами оребрения. Такое решение так же, как и рассмотренное выше смещение продольных шагов труб, является компоновочным и основано на известных, освоенных технологиях изготовления оребренных труб. Это позволяет добиться положительного эффекта без увеличения трудоемкости изготовления. Простота технического решения способствовала его быстрому развитию и внедрению в практику.

Углубление в задачи интенсификации конвективного теплообмена и обобщение известных знаний в этой области показывает, что для котельной техники и теплообменного оборудования разнообразные оребренные трубы являются основной частью новой, инновационной, элементной базы, которая имеет преимущества перед состоящей только из гладкостенных труб. Такие выводы позволили СГТУ начать работы по комплексной модернизации котлов с применением в них оребренных и других интенсифицированных теплообменных поверхностей.

Примером внедрения разработок является модернизация водогрейных котлов ПТВМ-100. Целью модернизации является повышение эксплуатационной надежности.

Многолетней практикой установлено, что наибольшее число отказов в их работе приходится на конвективную часть. Заводское техническое решение относится к 60-м годам XX века и представляет собой две поверхности нагрева из гладкостенных труб диаметром 28 мм с очень плотной шахматной компоновкой. Они установлены в газоходе котла последовательно по ходу продуктов сгорания.

Разработанный в КБ ПРП «Свердловэнергоремонт» совместно с СГТУ проект модернизации предусматривает увеличение диаметра и относительных поперечных шагов труб в обеих поверхностях нагрева. В первой по ходу продуктов сгорания поверхности применены гладкостенные трубы диаметром 38 мм, а во второй – оребренные трубы с

поперечно-спиральным оребрением того же диаметра. Конструктивные характеристики оребрения приняты 13,5x1x6,5 мм (соответственно высота, толщина и шаг оребрения) [4].

Всего по этому проекту к настоящему времени модернизировано 6 котлов. Востребованность данного проекта объясняет значительный эффект модернизации – увеличение ресурса работы конвективной части котла в 2–3 раза. Кроме этого, резко увеличивается коэффициент готовности водогрейного котла, так как, с точки зрения надежности, конвективная часть является существенно более слабым звеном в сравнении с остальными элементами котла.

Часть разработанных СГТУ проектов и технических предложений по комплексной модернизации котлов с применением оребренных поверхностей нагрева еще не нашли практического применения. Наиболее интересным среди них является проект модернизации парового котла БКЗ-75-39ГМ с целью повышения его паропроизводительности с 75 до 100 т/ч.

Разработка вариантов технических решений, их анализ и выбор наилучшего выполнялись в тесном сотрудничестве СГТУ и ОАО ТКЗ «Красный котельщик». Выбранное техническое решение реализовано специальным конструкторско-технологическим бюро завода в рабочем проекте. Оно представлено на рисунке 3 в виде структурной схемы конвективной части котла. Для сравнения на этом же рисунке показана структурная схема котла до модернизации.

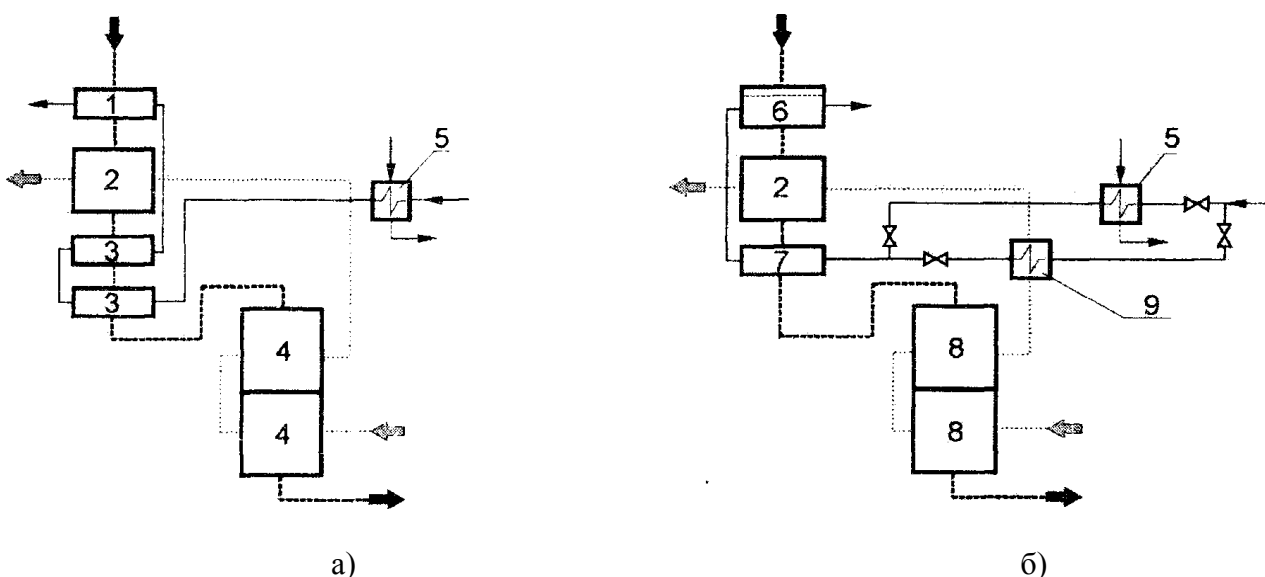


Рисунок 3 – Структурная схема конвективной части котла БКЗ-75-39ГМ: а) до модернизации; б) после модернизации; 1, 3 – ЭЖ второй и первой ступени соответственно; 2, 4 – ТВП второй и первой ступени соответственно; 5 – ПВД; 6, 7 – РЭК второй и первой ступени соответственно; 8 – модернизированный ТВП первой ступени; 9 – ВВТО

Из сравнения рисунков видно, что существующий гладкотрубный экономайзер (ЭЖ) полностью заменен на оребренный. Поскольку в котле кроме природного газа сжигается мазут, то оребрение принято приварное плавниковое. Перераспределение тепловосприятости между 1-й и 2-й ступенями ребристый экономайзер (РЭК) из труб с поперечно-спиральным оребрением в данном проекте выполнено с целью частичного предотвращения роста температуры горячего воздуха на выходе из 2-й ступени трубчатого воздухоподогревателя (ТВП). Это позволяет на нагрузках 90–100 т/ч несколько уменьшить образование в топке NOx.

Вторая ступень ТВП остается без изменений, а поверхность нагрева первой ступени увеличена на 11,7% при сохранении габаритов. Для этого использован проверенный в практике модернизации котлов НТ-200 и ПК-14 способ - переход на меньший диаметр и более плотную компоновку труб.

Определяющим техническим решением является установка воздухоохладителя в перепускном воздуховоде между 1-й и 2-й ступенями ТВП. Воздухоохладитель представляет

собой воздушно-водяной теплообменник (ВВТО) из труб с комбинированным оребрением. Он решает сразу несколько задач: сдерживает рост температуры горячего воздуха на больших нагрузках котла с соответствующим экологическим эффектом; вытесняет подогреватель высокого давления (ПВД) (рисунок 3,6) в тепловой схеме паровой турбины, что приводит к увеличению ее электрической мощности; повышает экономичность работы котла за счет увеличения тепловой эффективности существующей 2-й ступени ТВП.

В отличие от турбинного экономайзера ВВТО включен не в газовый тракт котла, а в воздушный, и этим принципиально от него отличается. При сжигании в котле мазута такое включение воздухоохладителя дает значительно больший экологический эффект, чем он получается от турбинного экономайзера.

В рассматриваемом проекте модернизации котла БКЗ-75-39ГМ для достижения нормативных выбросов NOx в окружающую среду при нагрузках 90... 100 т/ч предусмотрены следующие мероприятия: перераспределение тепловосприятия в РЭК между 1-й и 2-й ступенями; установка воздухоохладителя (ВВТО); ступенчатое сжигание топлива и рециркуляция продуктов сгорания.

При работе на природном газе воздухоохладитель и рециркуляция отключаются, так как для достижения необходимого экологического эффекта в данном случае достаточно перераспределения тепловосприятия в РЭК и ступенчатого сжигания топлива.

При работе же котла на мазуте нормативные выбросы оксидов азота обеспечиваются только при использовании всех четырех мероприятий.

Проведенный в [1] технико-экономический анализ предлагаемой модернизации двух котлов БКЗ-75-39ГМ Саратовской ТЭЦ-1 показал следующее. В сравнении с вариантом расширения котельного цеха и установкой нового парового котла производительностью 50 т/ч с такими же параметрами пара модернизация сокращает объем инвестиций более чем в 6 раз. Срок окупаемости не превышает 1,5 года [1].

В заключение отметим, что разработанные СГТУ основные положения модернизации котлов тепловых электростанций с применением оребренных поверхностей нагрева позволяют: повышать КПД котлов на 1,5-5%; повышать производительность паровых котлов на 15–35%; продлевать ресурс работы конвективной части паровых котлов на 10–15 лет, а водотрубных водогрейных котлов в 2–3 раза; повышать эксплуатационную надежность котлов и эффективность работы энергоблоков электростанций в целом; адаптировать паровые котлы под работу в режиме сброса отходящих газов от ГТУ.

Литература

1. Модернизация котлов тепловых электростанций с применением оребренных теплообменных поверхностей / В.А. Медведев, А.В. Кузьмин, Ю.И. Акимов, Н.В. Пономарева, В.А. Сизов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2004. – № 3(4). – С. 57 – 80.
2. А.с. 1285264 (СССР). Конвективная поверхность нагрева / В.А. Медведев, А.В. Кузьмин, Ю.И. Акимов и др. Оpubл. в Б.И. 1987. № 3.
3. А.с. 846982 (СССР). Поверхность теплообмена / Ю.И. Акимов, В.А. Медведев, А.Г. Губанов. Оpubл. в Б.И. 1981. № 26.
4. Патент на полезную модель 33998 (РФ). Конвективная поверхность нагрева водогрейного котла / А.А. Шаталов, В.А. Щеголев, В.А.Медведев, А.В. Кузьмин. Оpubл. 21.11.2003. Бюл. № 32.

УДК 621.3

Атмосферные термические деаэраторы

Бубнова А. А., Казейка К. В.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Перед тем, как мы начнем рассматривать нашу тему, касающуюся атмосферных термических деаэраторов нам нужно понять, что вообще представляет из себя данное устройство.

Деаэратор — это устройство, которое предназначено для удаления какой-либо жидкости от вредных газов (к примеру воды либо различных жидких топлив). В водоподготовительных системах каждой электростанции используются различные деаэраторы. Их использование приводит к улучшению работы котла. Агрессивные газы очень вредны для внутренних поверхностей котлов, так как вызывают химическую коррозию. Из этого же мы можем сделать вывод, что вредные и агрессивные газы должны быть устранены, иначе мы не сможем добиться оптимальной работы.

Существует множество различных способов, которыми можно проводить деаэрацию. Такие как: химический, каталитический и технический. Разберем данные методы поконкретнее

Во время химического процесса в воду добавляются разнообразные реагенты, которые используются непосредственно для вывода различных нежелательных газов.

Если мы рассмотрим каталитический процесс деаэрации воды, то в данном случае коррозионно-активные газы удаляются при помощи водорода.

Если нам необходимо удалить нежелательных газы из воды, то существуют различные способы как этого можно достичь. Одним из них является термическая деаэрация. В данном способе воду необходимо довести до температуры кипения.

Существуют различные виды деаэрационных установок. Основными являются струйные (это тип устройства, в котором граница раздела двух фаз образуется при помощи поверхности свободнопадающих водяных струй в потоке пара), барботажные (где нагревающий теплоноситель выступает в виде пара и распределяется в потоке воды), пленочные (здесь же вода, протекаемая в потоке пара образует тонкую плёнку на границе раздела двух фаз) и капельные (в данном случае вода в потоке пара распространяется в виде капель).

Введем такое понятие, как границы раздела фаз.

Граница раздела – это переходный слой между двумя различными фазами либо поверхностями касания двух зерен в разнообразных материалах. Границы фаз, например, в плёночных деаэраторах с упорядоченным соплом, могут быть закреплены. Существует так же нефиксированная граница фаз, они бывают у деаэраторов с неупорядоченным соплом, а так же в капельных, барботажных и струйных деаэраторов.

В зависимости от давления (а именно рабочего) деаэраторы различают :

- высокого давления, они используются для деаэраторов питательной воды с давлением пара 0,4 - 0,7 Мпа;

- атмосферного давления, к ним относятся деаэраторы питательной воды, которые используются на электростанциях и в котельных установках с низким и средним первоначальным давлением пара, дополнительных деаэраторов с более высоким первоначальным давлением пара, а так же деаэраторы питательной воды для тепловых сетей открытого и закрытого типа и для испарительных и паровых установок электростанции;

- вакуумные (деаэрация происходит при давлении ниже атмосферного).

Кроме такой функции, как очистка воды от газов деаэратор так же служит:

а. для подпора питательного насоса;

б. для запаса воды;

в. для подогрева воды;

г. для отвода выпара.

Принцип работы и конструкция

В данной работе мы будем разбирать атмосферный термический деаэратор и рассмотрим более подробно принципы его работы. Для начала, опишем конструкцию.

Термический деаэратор является вспомогательным оборудованием, который используется на тепловых электрических станциях и предназначен для деаэрации, то есть очистки воды. В рассматриваемом нами оборудовании вода, которая проходит деаэрацию в дальнейшем взаимодействует с паром, затем через определенные форсунки центральной части колонны удаляются излишние газы совместно с паром, а вода в свою очередь поступает в специальный резервуар деаэрата, и тем самым повышаем производительность самого процесса. Термическая деаэрация основана на использовании закона растворимости газа в жидкости, так называемого закона Генри. Согласно данному закону, часть газа, растворяется в определенном объеме жидкости и прямо пропорционально давлению газа над жидкостью. Удобство в эксплуатации является основным преимуществом работы атмосферного термического деаэрата при низком давлении греющего пара. Давление в данной колонке деаэрата близко к атмосферному, поэтому в него подаются потоки воды различных температур и различного давления. Но, конечно же, есть и определенные сложности. Требование в постоянной поддержке избыточного давления в колонке. При малейшем отклонении нагрузки давление идет на спад, что недопустимо, так как это приводит к увеличению количества кислорода в воде. В таких оборудованиях процесс деаэрации протекает только при больших температурах. Такой процесс повышает качество деаэрации питательной воды.

Что касается недостатков, то они заключаются в следующем:

- а. сложность конструкции;
- б. невозможность введения в нее потоков конденсата с более низким давлением;
- в. внимательность и тщательность в обслуживании.

Классификация деаэраторов по давлению, а именно:

- а. атмосферные-это абсолютное давление, которое колеблется от 1,1 до 1,3 атмосфер;
- б. вакуумные, действующие при абсолютном давлении в корпусе от 0,055 до 0,4 атмосфер;
- в. высокого давления, они действуют от 7 до 11 атмосфер.

Существует также способ организации соприкосновения фаз. Данный метод зависит непосредственно от самой конструкции деаэрата. Для более эффективной деаэрации вводят различные новшества, которые позволяют добиться более эффективной очистки воды от примесей и так далее.

Новой технологией в организации процесса деаэрации является комбинированное воздействие на воду. В данном методе происходит изменение состояния растворенных газов.

Рассмотрим принципиальную схему, а также сам принцип действия атмосферного термического деаэрата.

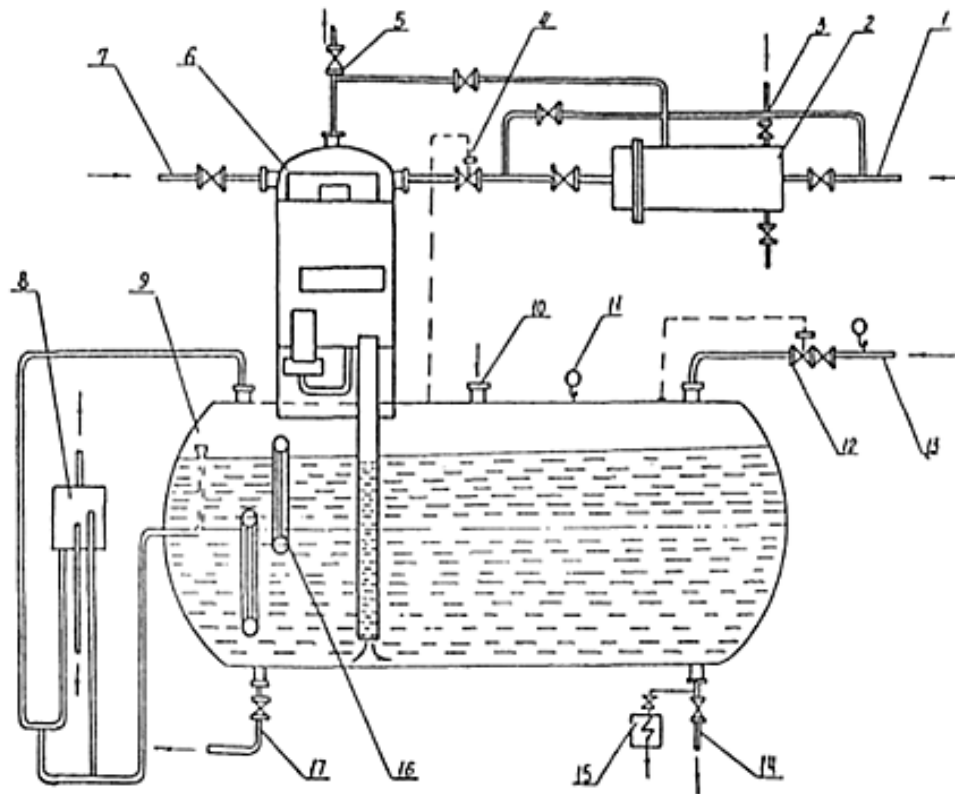


Рис. 1 Принципиальная схема включения деаэрационной установки атмосферного давления:

1 — подвод химочищенной воды; 2 — охладитель выпара; 3, 5 — выхлоп в атмосферу; 4 — клапан регулировки уровня; 6 — колонка; 7 — подвод основного конденсата; 8 — предохранительное устройство; 9 — деаэрационный бак; 10 — подвод деаэрированной воды; 11 — манометр; 12 — клапан регулировки давления; 13 — подвод горячего пара; 14 — отвод деаэрированной воды; 15 — охладитель проб воды; 16 — указатель уровня; 17 — дренаж; 18 — мановакуумметр.

Выше представлена схема атмосферного деаэратора. Данная схема является принципиальной.

Опишем принцип работы деаэратора. Через пароохладитель и регулирующий клапан в колонку деаэратора подаётся вода, очищенная химическим способом. Так же в колонку конденсат направляется основным потоком, которого ниже температуры работы самого деаэратора. Далее деаэрированная вода сбрасывается с противоположного конца резервуара, для того, чтобы максимально экономично воспользоваться временем нахождения воды в резервуаре. Деаэрационная колонка устанавливается на одном конце бака деаэратора. Весь пар проходит через клапан давления, который является регулирующим, к противоположному концу резервуара, который находится напротив колонны, и отвечает за обеспечение хорошей вентиляции пара от газов, которые выделяются из воды. В деаэраторный бак через трубу поступает чистый конденсат. Затем, пар извлекается через пароохладитель и трубу, или через трубопровод выбрасывается в атмосферу.

Способ самовсасывающегося составного предохранительного устройства используют для того, чтобы не происходило увеличение давления и уровня жидкости в деаэраторе. В деаэрированной воде в присутствии теплообменника регулярно производится проверка качества на содержание кислорода и свободного углекислого газа

Для того, чтобы провести процесс атмосферной деаэрации должны быть выполнены следующие требования:

а. избыточное давление в паровом (поверхностном) пространстве должно равно 0,2 ати. При подачи пара в деаэратор создаётся избыточное давление, которое предотвращает поступление газа из атмосферного воздуха и вентиляции и не допускает удалять газы при кипении воды.

б. температура воды в деаэраторе должна составлять 102-104°C. Способность растворяться у кислорода и у углекислого газа равна нулю, если температура воды равна 102°C и избыточное давление равняется 0,2 кгс/см² (0,2 ати), что обеспечивает их выход из воды. Вода, в свою очередь, нагревается в деаэраторе паром до определенной температуры.

в. исключение паровых смесей (выпар) – атмосферное и избыточное давление в деаэраторе взаимосвязаны, что позволяет исключить агрессивные газы в деаэраторе. Чтобы заданные параметры температуры и давления оставались постоянными, нужно обеспечить равномерное поступление и отвод воды, надлежащей ёмкости деаэратора, а также обеспечить поступление питательной воды к паровому котлу, что поможет стабилизировать уровень воды в деаэраторе.

г. обеспечение лучшей связи воды и нагреваемого пара для эффективного нагрева и деаэрации осуществляется с использованием противоположного потока и измельчения потока. Паровые потоки и водотоки противонаправлены: воды течёт сверху вниз, а пар – снизу вверх. Площадь контакта потоков воды и пара и удаление кислорода и углекислого газа связаны прямой зависимостью (увеличится площадь, увеличится удаление). Для того, чтобы увеличить площадь контакта этих потоков нужно использовать форсунки со специальными распределительными отверстиями и профильными мешками, так как через отверстия поток воды измельчается в струю.

Теперь давайте разберёмся как же проводят установку деаэраторного оборудования. Место установки, выбранное под проведения монтажных работ должно иметь базовое монтажное оборудование и инструменты, которые должны быть в соответствии с проектом. При получении деаэратора необходимо проверить перевозочные документы, соответствие наименования, целостность и соответствие поставочного оборудования монтажным чертежам, а также должны отсутствовать повреждения и дефекты оборудования. Перед тем как установить деаэратор необходимо провести внешний осмотр, если был найден какой-либо дефект, то производится его консервация и в дальнейшем устраняются дефекты, которые были обнаружены.

Деаэратор устанавливается на объекте следующим образом:

1. сперва производится установка резервуара на уже подготовленный фундамент (в соответствии с монтажной схемой проекта);
2. свариваются водосброс и резервуар;
3. в соответствии с монтажной схемой, нижнюю часть колонны разрезают по внешнему радиусу корпуса деаэраационного резервуара, который устанавливается на бак, таким образом, чтобы пластина располагалась строго горизонтально;
4. приваривается колонка к деаэрационному баку;
5. проводится и установка паровых охладителей и предохранительных устройств в соответствии со схемой;
6. подсоединяется труба к штуцерам резервуара, колонки и охладителя выпара обязаны быть в соответствии с конструктивной схемой трубопровода деаэратора;
7. затем устанавливают запорную и регулирующую арматуру и контрольно-измерительные приборы;
8. производится обязательная проверка давления воды на деаэраторе;
9. монтаж теплоизоляционных материалов производится в соответствии с инструкциями проектной организации.

Эффективность атмосферного термического деаэратора

В технологических условиях барботажные устройства имеют свои плюсы и эксплуатационные характеристики. Но, ограниченная работа барботажных агрегатов, проявляются в частичной нагрузке их непостоянной работы, а гидравлические удары имеют установленные рабочие параметры. В энергетике рассматриваемые деаэраторы при атмосферном давлении часто используются в тепловых деаэраторах. Возможно пару способов оформления и расположение барботажных конструкций. На практике широко распространены барботирующие устройства в виде парового коллектора, погруженного в бак деаэратора,

которые хорошо зарекомендовали себя с точки зрения надёжности и эффективности. Тепловой баланс установки определяет необходимость деаэратора в паре (основном и барботажном). Поэтому, повышение роста такого пара вызывает снижение определённого процента основного пара, в то время как более высокое давление пара, в свою очередь, приводит к ухудшению термического КПД комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Давление барботирующего пара должно быть больше давления основного пара, по меньшей мере, равную сумме давления столба жидкости над барботажным устройством, также должен иметь минимальное противодавление перед его отверстиями. Таким образом, необходимо обеспечить такие условия эксплуатации, которые создадут высокий потенциал наличия барботажного пара с маленьким расходом пара и, как следствие, тепловую эффективность установки с минимальным ухудшением качества, для установки параметров качества воды. Этот вопрос знакомит нас с тем, как повысить эффективность данного деаэратора.

Для повышения эффективности рассматриваемого деаэратора предлагается:

1. разработать математическую модель процесса осаждения барботажана стадии тепломассообменного процесса, изменения поверхности раздела деаэраторного бака и циркуляции воды;
2. на барботировании резервуара деаэратора с коллектором для подачи погруженного пара, провести экспериментальные испытания десорбции растворённого кислорода;
3. найти алгоритм работы массопереноса и теплообмена на ступенях барботажа атмосферных деаэраторов и программы для их компьютерной реализации, который позволяет рассчитать производительность ступеней барботажа при изменении конструктивной и эксплуатационной величины параметров;
4. проводится разработка технических расчётов атмосферного деаэратора с погружным коллектором для введения барботажного пара на основе математических моделей из полученных данных;
5. благодаря улучшению устройства и режимов работы деаэраторов в условиях эксплуатации сделать результаты.

Производство и применение деаэраторов

На нынешнем рынке можно увидеть большое разнообразие деаэраторов отличающиеся друг от друга классом, типом, качеством и т.д. Производят такие агрегаты по всему миру, начиная от Китая заканчивая США. Мы перечислим несколько стран производителей, которые поставляют свой товар в РФ и в страны соседи:

- Испания (ATTSU) - выпускают деаэраторы для котловой воды по индивидуальным заказам;
- Франция (Babcock Wanson) – выпускают термические деаэраторы;
- Италия (BONO Artes) – производят деаэраторы питательной котловой воды;
- Дания (Eurowater) – выпуск термических деаэраторов;
- Южная Корея (Daeyeol Boiler) – деаэраторы подготовки воды;
- Голландия (Spirotech) – вакуумный деаэратор;
- Россия (АэроГидроТех) – производят разработку, выпуск и установку наших агрегатов;
- Россия (Бийский котельный завод) – атмосферные деаэраторы;
- Россия («НПО «Новые технологии») – СВД (струйные вихревые деаэраторы);
- Россия (ОАО «МПНУ Энерготехмонтаж») – атмосферные деаэраторы и другие.

Что касается применения, то в основном применяются на тепловых электрических станциях (ТЭС), также используются на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), на атомной электростанции (АЭС), даже на конденсационной станции (КЭС), гидроэлектростанция (ГЭС) и т.п..

Вывод

После информации об атмосферных термических деаэраторах, сделаем вывод о том, что деаэраторы неотъемлемая часть тепловых схем электростанций. Без них вода несла бы вред другим устройствам находящимся на этой территории. Таким образом, деаэратор играет важную роль в процессе создания тепла и электроэнергии для людей на Земле.

Литература

1. Деаэраторы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.armatyra.org/tex_opis/da.html – Дата доступа: 10.10.2019.
2. Повышение эффективности атмосферного деаэратора. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.libed.ru/knigi-nauka/476138-1-povishenie-effektivnosti-atmosfernih-deaeracionnih-ustanovok-barbotazhnimi-ustroystvami.php> – Дата доступа: 12.10.2019

УДК 621.3

Варианты повышения маневренности ПГУ на ГРЭС

Васильев И.А., Ярмош М.С.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

ПГУ представляет из себя полностью функциональную установку, предназначенную для выработки электроэнергии как в базовом, так и в пиковом и полупиковом режимах, сопряженную с прочей существующей на электростанции инфраструктурой, а также с дополнительными сооружениями и коммуникациями, в той мере, в какой это необходимо в соответствии с технической документацией и технологическим процессом для обеспечения его эксплуатационной целостности и надежности.

В состав ПГУ входят следующие агрегаты:

- Газовая турбина
- Паровая турбина
- Генератор газовой турбины
- Генератор паровой турбины
- Трансформаторы блочные ГТУ и ПТУ
- Трансформатор с.н.
- Система выдачи мощности блока
- Котел-утилизатор
- Технологическое оборудование
- Конденсатор и система охлаждения
- Береговая насосная станция с подводящими и отводящими циркуляционными трубопроводами и водоподводящим каналом
- Электрооборудование
- Пункт подготовки газа с дожимной компрессорной станцией
- Автоматизированная система управления (АСУ ТП) и КИПиА.
- Вспомогательные оборудование и системы
- Здания и сооружения
- Лаборатория по контролю за ВХР
- Установка для проведения химических промывок
- Установка для нейтрализации и откачки производственных стоков
- Оборудование для коррекционной обработки
- Установка приема и откачки замасленных стоков
- Дымовая труба
- Система пожаротушения оборудования, зданий и сооружений, включая насосное оборудование, обеспечивающее пожаротушение всего ПГУ
- Система вентиляции и кондиционирования воздуха.
- Система отопления
- Оборудование маслохозяйства обеспечивающие прием хранение и транспортировку масла к оборудованию
- Другое оборудование, необходимое для обеспечения функционирования энергоблока.

Режимом работы ПГУ является работа ПГУ в базовом, пиковом и полупиковом режимах, связанных с участием энергоблока в регулировании частоты сети в соответствии с общеевропейскими требованиями **в диапазоне от 25 % до 100 %**. Диапазон регулирования нагрузки энергоблока в автоматическом режиме должен быть **от 35 % до 100 % (без отключения паровой турбины)**. В диапазоне от 25 % до 35% в работе остается газовая турбина в автоматическом режиме, на время, регламентированное заводом-изготовителем.

Парогазовая установка должна обеспечивать возможность останова в резерв на нерабочие дни (24-55 часов) и на ночное время (6-8 часов) с техническими характеристиками последующих пусков в соответствии с графиком.

При этом предполагается, что время пусков, нагружений и разгрузок ПГУ соответствует

разрешенным условиям пусков, нагрузений и разгрузок всего технологического оборудования, входящего в состав ПГУ, а конструкция и материалы тепловой изоляции обеспечивают стабильность остывания высокотемпературных элементов оборудования и паропроводов в течение всего межремонтного периода.

Управление всем оборудованием ПГУ должно осуществляться с блочного щита управления.

Основным топливом для энергоблока ПГУ является природный газ. Резервное и аварийное топливо не предусматривается.

Газотурбинную установку предполагается эксплуатировать в составе ПГУ с нагрузками от максимального значения до разрешенного технического минимума, с отключениями только на время выполнения предусмотренных мероприятий по техническому обслуживанию.

Тепловая система ПГУ

Газотурбинная установка имеет технологическую связь с тепловой схемой паровой части энергоблока только по потоку отработавших (выхлопных) газов. Выработка пара котлом-утилизатором осуществляется за счёт тепла уходящих газов газотурбинного двигателя.

Тепловая схема паровой части состоит из паропроводов высокого давления (ВД), пара промежуточного перегрева (горячего и холодного) и низкого давления (НД). Пар ВД после пароперегревателя высокого давления котла-утилизатора по трубопроводу направляется к стопорному клапану (СК) цилиндра высокого давления (ЦВД) паровой турбины. На паропроводе холодного промперегрева (ХПП) после выхлопа ЦВД установлен обратный клапан, после которого осуществлено ответвление паропровода на РОУ собственных нужд для подачи пара на уплотнения низкого давления турбины.

Для байпасирования ЦВД используется БРОУ ВД, подключённая трубопроводом к паропроводу ХПП после врезки РОУ собственных нужд. После смешения с паром от пароперегревателя среднего давления пар ХПП по паропроводу направляется ко вторичному пароперегревателю высокого давления для промежуточного перегрева. Пар горячего промперегрева (ГПП) после трёх ступеней вторичного пароперегревателя высокого давления по трубопроводу направляется к СК цилиндра среднего давления (ЦСД). Для сброса пара ГПП перед ЦСД используется БРОУ СД, подключённая выходным трубопроводом к конденсатору турбины. Пар НД после пароперегревателя низкого давления котла утилизатора по трубопроводу направляется к СК цилиндра низкого давления (ЦНД). Для сброса пара НД перед ЦНД используется БРОУ НД, подключённая выходным трубопроводом к конденсатору турбины.

Для сбора дренажей паропроводов используются расширители дренажей высокого и низкого давлений паровой турбины, а также расширитель дренажей блока в которые направляются все дренажи блока. Трубопроводы слива и выпара расширителей дренажей заведены в конденсатор паровой турбины.

Подача питательной воды на котёл-утилизатор осуществляется двумя питательными насосами (ПЭН), один из которых рабочий, второй резервный, снабжённые гидромурфтами для регулировки производительности. После подогревателя основного конденсата котла-утилизатора основной конденсат направляется по трубопроводу на входные патрубки питательных насосов котла-утилизатора. От трубопровода, подающего основной конденсат на патрубки насосов, осуществляется подача конденсата по трубопроводу к питательному узлу барабана НД. С промступени питательного насоса по трубопроводу осуществляется подача питательной воды на экономайзер среднего давления (СД) узел питания барабана СД. Трубопровод рециркуляции промступени соединён с трубопроводом основного конденсата перед подогревателем основного конденсата.

С напора питательного насоса по трубопроводу осуществляется подача питательной воды на экономайзер. Два трубопровода рециркуляции напора каждый соединены с трубопроводом основного конденсата перед подогревателем основного конденсата. На впрыск в БРОУ ВД подаётся питательная вода с напора ПЭНа, на впрыск в БРОУ СД и НД, РОУ собственных нужд - основной конденсат с напора конденсатных насосов. Основной

конденсат двумя конденсатными насосами (КЭН), один из которых рабочий, второй резервный, после конденсатора паровой турбины направляется через охладитель пара уплотнений на подогреватель основного конденсата котла-утилизатора. Кроме впрыска в БРОУ и РОУ конденсат подаётся на запираение клапана аварийного срыва вакуума в конденсаторе, в расширительный бак замкнутого контура охлаждения, на охладительные устройства, установку отсоса паровоздушной смеси из конденсатора с охладителем и сепаратором.

Слив из расширителей непрерывной и периодической продувок осуществляется в приемок периодической продувки, в который для расхолаживания подаётся циркуляционная вода. Из приемка периодической продувки насосами стоки направляются на очистку. Дренажи низких точек конденсата и технической воды собираются в дренажный приемок паровой турбины и затем дренажными насосами направляются в систему дождевой канализации. Для восполнения потерь цикла организован подвод химводоподготовленной воды в конденсатор паровой турбины.

Для обеспечения защиты внутренних поверхностей трубных систем и барабанов КУ от стояночной коррозии при их останове и выводе в текущий, средний или капитальный ремонт предусмотрена консервация азотом. Заполнение внутренних поверхностей нагрева химически инертным азотом с последующим поддержанием в котле его избыточного давления предотвращает доступ кислорода, что обеспечивает защиту котла от коррозии во время останова.

Регулировка

Регулировочный диапазон нагрузок ПГУ не является постоянной величиной и изменяется в зависимости от таких параметров, как температура, влажность, давление наружного воздуха, загрязненность компрессора и т.д. Наибольшее влияние на изменение мощности ГТУ и ПГУ в целом оказывает температура наружного воздуха (температуры на входе в компрессор). При понижении температуры воздуха перед компрессором номинальная мощность ГТУ растет и наоборот.

Основным ограничивающим фактором, определяющим нижний предел регулировочного диапазона, является снижение температуры уходящих газов за газовой турбиной и резкое увеличение удельного расхода топлива и концентрации вредных выбросов из-за увеличения химнедожога в камере сгорания после полного закрытия входного направляющего аппарата (ВНА) газовой турбины.

Способы снижения нагрузки ПГУ

1) снижение нагрузки ПГУ до техминимума при помощи БРОУ

Для снижения общей нагрузки ПГУ, как и для энергетических блоков, может использоваться ручной режим разгрузки паровой турбины со сбросом пара помимо турбины в конденсатор через БРОУ.

Основным сдерживающим фактором применения данного режима является наличие заводских ограничений по выходной температуре цилиндра высокого давления в режимах с малыми объемными пропусками пара, что может привести к перегреву элементов паровой турбины.

При условии сохранения допустимой температуры в «холодной» линии промежуточного промпрегрева (ХПП) разгрузка ПТ при помощи БРОУ возможна, но не до минимальных значений нагрузки, так как большое снижение приводит к дросселированию пара на регулирующих клапанах ПТ и захолаживанию металла цилиндров и не рекомендуется для постоянной эксплуатации.

2) снижение нагрузки на ПГУ за счет включения системы АОС ГТУ

Одним из возможных способом снижения нагрузки ПГУ является повышение температуры наружного воздуха на входе в компрессор ГТУ. Подогрев воздуха может производиться путем включения в работу штатной антиобледенительной системы ГТУ (АОС).

При работе данной системы будет также иметь место снижение нагрузки ГТУ за счет увеличения мощности потребляемой компрессором.

Такой подогрев воздуха можно использовать по мере необходимости круглогодично. Для этого необходимо определить режимы, в которых такой режим неприменим, так как при низких температурах наружного воздуха ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже) включение АОС может привести к попаданию в зону обледенения. В этом случае снижение нагрузки ПГУ может составить около 10-15 МВт.

3) снижение нагрузки на ПГУ за счет снижения вакуума в конденсаторе ПТ

Для снижения минимума электрической нагрузки блока ПГУ с сохранением практически неизменной нагрузки ГТУ и КУ и соответствующим снижением экономичности может быть также рассмотрен вариант ухудшения вакуума в конденсаторе паровой турбины блока в пределах допустимых значений (допустимое абсолютное давление в конденсаторе не более 12 кПа).

Данный способ может быть рассмотрен как альтернатива или дополнение к обычной разгрузке ПГУ, при которой происходит расхолаживание ПТ и ухудшение экологических параметров, а также разгрузке с БРОУ.

Поддержание необходимого параметра (например температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор с коррекцией давления в конденсаторе) может осуществляться за счет регулирования частоты одного из циркуляционных насосов. Для этого электродвигатель выбранного циркуляционного насоса необходимо оснастить частотным преобразователем.

В данном случае будет иметь место снижение электрической нагрузки на собственные нужды.

Как вариант, возможно рассмотреть изменение производительности вакуумной установки, или другие варианты. По предварительной оценке, наиболее точная регулировка вакуума будет достигнута при установке частотного преобразователя на электродвигатель одного из циркуляционных насосов. Кроме того, такое мероприятие позволит в обычном режиме поддерживать оптимальный (экономичный) расход циркуляционной воды и вакуум в конденсаторе.

4) работу ПГУ по простому циклу (в работе только ГТУ)

На некоторых ПГУ существует возможность перехода с работы полным составом оборудования на работу только с ГТУ на отдельную дымовую трубу помимо котла-утилизатора, т.е. с отключением паровой турбины.

Такой режим позволяет снизить минимальную нагрузку ПГУ вплоть до минимального контрактного значения 25 % от номинального значения.

При использовании данного режима для прохождения ночных провалов нагрузки удельный расход топлива на отпуск электроэнергии и соответственно пережог топлива будет значительно превышать все возможные варианты разгрузки. Однако с технической точки зрения применение таких режимов на ПГУ возможно и при отсутствии других альтернатив в определенных случаях может быть рассмотрено к применению (например, при крайней необходимости разгрузки ПГУ и одновременного сохранения вращающего резерва в энергосистеме).

5) отключение ПГУ на часы ночных провалов нагрузки в энергосистеме (5-6 часов)

При варианте останова блока ПГУ на ночь с последующим его пуском будет происходить потеря экономичности отдельно взятой станции за счет невыработки электроэнергии. В рамках энергосистемы это позволит не снижать нагрузку более экономичных теплофикационных блоков. Однако маневренные характеристики ПГУ значительно превосходят теплофикационные блоки. Кроме всего прочего, пуско-остановочные режимы увеличивают эквивалентное число работы ГТУ, уменьшают ресурс и межремонтный интервал оборудования. Эквивалентное число работы ГТУ можно сохранить при переходе на работу ПГУ по простому циклу (только с ГТУ). Также необходимо учитывать необходимость сохранения определенного вращающегося резерва в энергосистеме. Однако с технической точки зрения применение таких режимов на ПГУ для прохождения ночных провалов нагрузки в энергосистеме возможно.

УДК 621.3

Глубокая утилизация тепла дымовых газов ТЭС на природном газе

Ганина О. В., Сазоненко Е. Р.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

В поиске методов повышения эффективности энергетических предприятий и иных промышленных объектов, использующие оборудование, на котором сжигается ископаемое топливо (паровые, водогрейные котлы, технологические печи и др.), проблема не использования потенциала дымовых газов поднимается далеко не первоочередно.

Однако, основываясь на существующих методах расчёта, спроектированные десятки лет назад, и сложившиеся стандарты выбора главных показателей работы используемого оборудования, эксплуатирующие организации теряют деньги, выпуская их в прямом смысле в трубу, попутно ухудшая экологическую обстановку в глобальном масштабе.

Использование тепловой энергии дымовых газов является одним из основных методов повышения эффективности котлов ТЭС. Когда природный газ стал основным топливом на котельных, острее всего встал вопрос о грамотном и выгодном использовании тепла дымовых газов. Одной из ключевых особенностей работы с природным газом является высокое содержание водяного пара в продуктах сгорания. Соответственно, когда ТЭС работает при пониженной мощности, скорость потока дымовых газов в дымоходах меньше скорости дымовых газов при номинальной работе тепловых станций. В связи с этим происходит конденсация водяного пара, что приводит к смачиванию стенок. Увлажнение стен приводит к коррозии. Это приводит к уменьшению срока службы дымоходов, а также к снижению их надежности. Во избежание образования конденсата необходимо потратить энергию на повышение температуры выхлопных газов, что приводит к увеличению тепловых потерь котельных агрегатов.

Утилизация дымовых газов предполагает снижение температуры выхлопных газов ниже точки росы водяных паров с последующей их конденсацией. Благодаря этому конденсат после обработки способен компенсировать потери воды в энергетическом цикле котла, а сушка дымовых газов может предотвратить выпадение влаги в трубах, что положительно влияет на срок их службы, а также на их техническое обслуживание.

В начале и середине 20 века большинство котлов работали на твердом топливе (уголь, торф и др.). Говоря о сжигании такого топлива, содержание влаги в дымовых газах было небольшим и в основном зависело от влажности топлива. При глубокой утилизации тепла качество полученного конденсата не позволяет использовать его из-за присутствия оксидов серы и азота. Из-за этого до 60-х годов XX века утилизация дымовых газов не находило широкого применения.

Проблема утилизации тепла дымовых газов была вновь поднята, когда котлы на природном газе нашли широкое применение. Это связано с высоким содержанием водяных паров в продуктах сгорания этого топлива.

Отметим, что тепловую энергию, которая содержится в дымовых газах, можно разделить на две части. Первое связано с повышенной температурой дымовых газов. Это тепло используется для нагрева другой среды (вода, воздух и др.). В этом случае температура дымового газа может быть снижена до точки росы водяного пара, содержащегося в дымовом газе. Второе - скрытая теплота конденсации водяного пара. Использование такого тепла требует конденсации водяного пара, при котором выделяемое тепло нагревает среду. Эта утилизация и является глубокой.

Процесс рекуперации тепла путем охлаждения дымового газа до температуры точки росы предшествует конденсации водяного пара. Количество используемого тепла зависит от начальной температуры газов t_g . Как правило, она достаточно высокая и составляет 130 °С для теплоэлектростанций и крупных котельных, 150 °С для средних локальных котельных и 170 °С и выше для небольших газовых котлов. Конечная температура дымового газа равна температуре точки росы водяного пара.

При дальнейшем анализе обратимся к затратам и мощности. Для сравнения возьмём расчет для расхода V_0 исходного дымового газа $1 \text{ м}^3/\text{с}$, что примерно соответствует котлу мощностью $2,7 \text{ МВт}$ ($2,3 \text{ Гкал/ч}$). Максимальная теплоемкость утилизатора Q_0 за счет охлаждения дымовых газов до температуры точки росы водяного пара t_{1s} рассчитывается по уравнению теплового баланса.

$$Q_0 = V_0 \cdot c_{v,g} \cdot (t_g - t_{1s}) \quad (1)$$

где $c_{v,g}$ – объемная тепловая ёмкость дымовых газов ($\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$).

Для коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1,2$ температура точки росы водяных паров в дымовых газах t_{1s} будет составлять $56,7^\circ\text{C}$.

Так при процессе охлаждения дымовых газов до температуры точки росы можно получить ещё 3-6% дополнительной тепловой мощности.

Содержание влаги в дымовых газах колеблется от 150 до 108 г на килограмм сухих газов. Изначальная влажность дымовых газов d_1 определяют составом топлива, коэффициентом избытка воздуха и начальной влажностью воздуха. Обычно это значение известно.

Когда дымовые газы охлаждаются ниже температуры точки росы, начинается процесс конденсации водяного пара. Также необходимо иметь запас в несколько градусов, чтобы предотвратить образование корки льда. Теоретически возможное количество конденсированной влаги D_k будет рассчитываться как разность между начальным содержанием влаги d_1 и при 0°C d_0 .

Из расчёта состава газов получают объёмный и массовый расходы сухих дымовых газов G_s и паров G_w (кг/с).

Массовый расход остаточного водяного пар в выходящих дымовых газах:

$$G_p = G_s \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Используемая тепловая мощность при конденсации водяного пара вычисляется из уравнения теплового баланса. При составлении теплового баланса принимаем отсутствие потери тепла за счёт повышенной температуры конденсата:

$$Q_k = \Delta Q_s + Q_w - Q_p \quad (3)$$

Теплота, получаемая за счет понижения температуры сухих дымовых газов:

$$\Delta Q_s = G_s \cdot c_{p,s} \cdot (t_{1s} - t_0) \quad (4)$$

где $c_{p,s}$ – теплоемкость сухих дымовых газов.

Теплота исходных водяных паров:

$$Q_w = G_w \cdot h_1'' \quad (5)$$

где h_1'' – энтальпия насыщенного водяного пара при температуре t_{1s} .

Теплота остаточного водяного пара в газах:

$$Q_p = G_p \cdot h_0'' \quad (6)$$

где h_0'' – энтальпия насыщенных водяных паров при температуре t_0 .

Подстановка выражений (2, 4, 5, 6) в выражение (3) дает:

$$Q_k = G_s \cdot c_{p,s} \cdot (t_{1s} - t_0) + G_w \cdot h_1'' - G_s \cdot d_0 \cdot h_0'' \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

Так максимальная теоретическая тепловая мощность теплообменника составляет от 472 до 365 кВт (зависит от коэффициента избытка воздуха). Это даёт дополнительную полезную мощность и составляет 13-17% мощности котла. Общая полезная мощность - это сумма мощности, полученная при охлаждении дымовых газов до температуры конденсации. Добавочная тепловая мощность котельной установки может составлять от 13 до 21%.



Рисунок 1 – Теоретический потенциал утилизации тепла дымовых газов котельных установок на природном газе

На практике блоки рекуперации тепла не могут конденсировать весь водяной пар. Для оценки глубины процесса практичнее использовать два коэффициента: коэффициент сушки дымовых газов K_0 и коэффициент утилизации тепла K_T .

Коэффициент отвода дымовых газов K_0 - это отношение расхода конденсата к его максимальному извлекаемому значению. При $K_0 = 0$ процесс конденсации не протекает, а при $K_0 = 1$ происходит максимально возможная конденсация водяного пара. В этом случае определяющим фактором является конечная температура дымовых газов, равная температуре точки росы остаточного водяного пара. Он определяет конечное содержание влаги, мощность конденсатора и его конечный расчёт. Коэффициент глубины рекуперации тепла K_T представляет собой отношение фактической мощности теплообменника к максимально возможной.

Из существующих технологий утилизации газов широко используются контактные и поверхностные теплообменники.

В контактных теплообменниках на распыляемой воде происходит конденсация водяных паров, содержащихся в дымовых газах. Выделяющееся тепло нагревает воду, которая используется в дальнейшем процессе. Корпус контактных теплообменников обычно представляет собой цилиндр большого диаметра и содержит в своей верхней части насадки для распыления холодной воды. Выхлопные газы поступают снизу в противотоке.

Различают три типа контактных теплообменных аппаратов:

- без насадки (конденсация протекает на капельках распыляемой воды);
- с пассивной насадкой (процесс конденсации происходит на поверхности насадки);
- с активной насадкой (происходит отвод тепла водой дополнительного контура);

Главным плюсом данного типа теплообменников является их простота конструкции, а также высокий уровень тепловой эффективности.

На данный момент разработка контактных теплообменников с активным соплом наиболее популярна. Используя теплообменники этого типа, можно охлаждать газы до температуры, которые соответствуют значению коэффициента дренажа $K_0 = 0,6$.

В странах Северной Европы технология «конденсатора» для утилизации тепла дымовых газов нашла широкое применение. Это даёт возможность повысить температуру нагреваемой воды с помощью дутья и повысить температуру точки росы дымовых газов.

Основными недостатками контактных теплообменников являются ограничение температуры нагрева воды и низкий коэффициент осушения, не превышающий $K_0 = 0,7$.

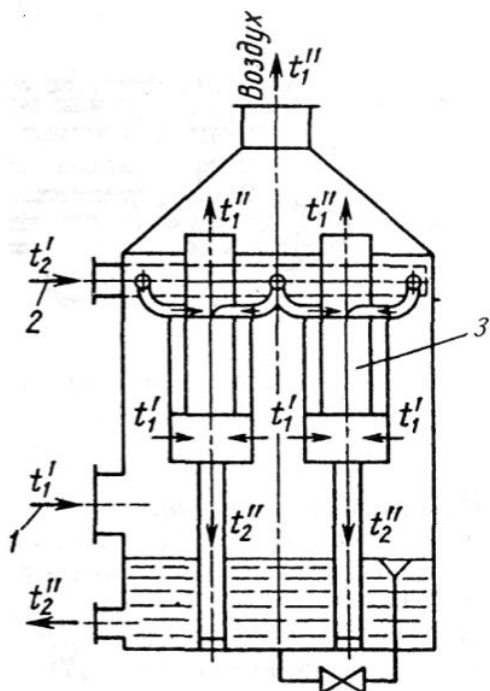


Рисунок 2 – Контактный теплообменный аппарат
1-дымовые газы; 2-вода; 3-теплообменные элементы

Поверхностные теплообменники производят теплообмен и конденсацию водяного пара на двух разных средах. Обычно холодная вода используется в качестве теплоносителя, который используется для питания сети. Конструкция поверхностных теплообменников представляет собой газоход со встроенным пучком из горизонтальных труб.

Основной трудностью при проектировании поверхностных утилизаторов является определение коэффициента тепловой передачи от влажных газов к стенке поверхности при конденсации водяных паров. До настоящего времени не был разработан универсальный метод для расчёта коэффициента тепловой передачи от влажных газов к стенке поверхности теплопередачи. Все широко известные в настоящее время методы основаны на экспериментальных данных и предлагают достаточно узкие значения изменений физических параметров среды. Поэтому при использовании того или иного метода требуется тщательный анализ.

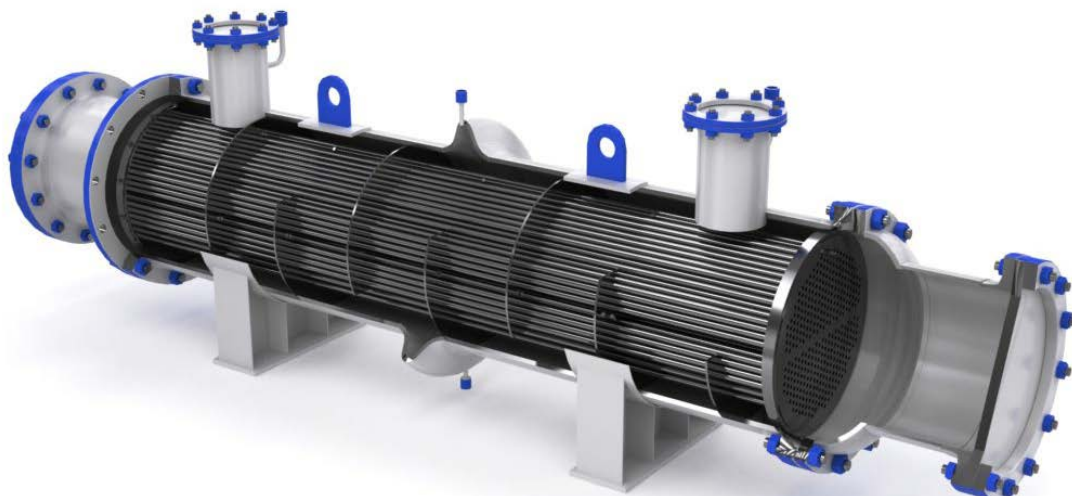


Рисунок 3 – Поверхностный теплообменный аппарат

Для повышения эффективности процесса утилизации тепла газов в качестве ключевого элемента системы зачастую используются инновационные решения на базе тепловых насосов. В некоторых отраслях промышленности (биоэнергетике) такие решения применяются на большинстве вводимых в эксплуатацию котельных установках. Дополнительная экономия начальных энергоресурсов в этом случае достигается благодаря использованию альтернативных электрических машин для сжатия пара, но более надежных абсорбционных тепловых насосов с бромидом лития, которые требуют для работы не электричество, а тепло (часто это может быть неиспользованные отходы тепла, которые присутствуют в избытке практически на любом предприятии). Такое тепло от внешнего источника нагрева активизирует внутренний цикл АБТН, который позволяет преобразовать имеющийся температурный потенциал дымовых газов и перенести его в более нагретые среды.

УДК 621.3

Системы парораспределения современных паровых турбин

Гапеев К.Н.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Экономичность работы турбоустановки при переменном графике работы во многом определяется способом парораспределения, которым обладает турбина. Можно выделить в настоящее время три основных типа парораспределения для паровых турбин: дроссельное, сопловое и обводное парораспределение.

Принцип работы дроссельного парораспределения заключается в том, что расход пара регулируется путем синхронного открытия (закрытия) одного или же нескольких регулирующих клапанов. Процесс расширения пара при дроссельном парораспределении представлен на рисунке 1.

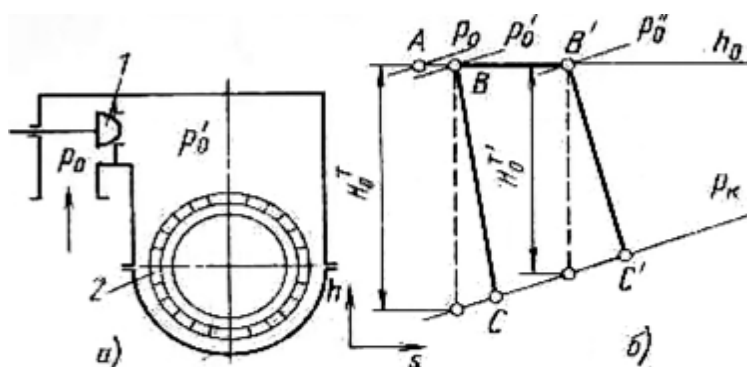


Рисунок 1 – Схема дроссельного парораспределения и процесс расширения в h -диаграмме:

1 – регулирующие клапаны; 2 – сопла первой нерегулируемой ступени

Этот способ крайне прост в исполнении, поскольку не требует установки большого количества регулирующих клапанов. Так же нужно отметить, что характерным признаком дроссельного парораспределения является отсутствие регуливающей ступени и, как следствие, отсутствие потерь связанных с парциальным подводом пара. Исходя из процесса расширения пара при дроссельном парораспределении можно сказать, что в случае, когда регулирующий клапан полностью открыт, давление за ним лишь немного ниже давления свежего пара. Располагаемый теплоперепад при этом равен H_0^T . При прохождении потоком пара через не полностью открытый клапан давление пара существенно снижается вследствие дросселирования, а также уменьшается располагаемый теплоперепад $H_0^{T'}$. Отсюда следует, что наиболее эффективно дроссельное парораспределение будет работать в турбинах, которые должны нести длительное время номинальную нагрузку (например, турбоагрегаты АЭС большой мощности, турбины К-1200-240).

При сопловом способе парораспределения расход пара изменяется путем асинхронного открытия или закрытия регулирующих клапанов. Каждый клапан при этом подводит пар к своей отдельной группе сопел. Этот вид парораспределения является более эффективным при переменном графике нагрузок, т.к. поток пара дросселируется только проходя через частично открытые регулирующие клапаны. Но в это же время этот способ обладает рядом недостатков в сравнении с дроссельным парораспределением. В случае дроссельного парораспределения при полностью открытых регулирующих клапанах экономичность работы турбины будет ниже, чем у дроссельного парораспределения, за счет потерь связанных с парциальным подводом пара. Так же возникают динамические напряжения действующие на рабочие лопатки ротора турбины. Это возникает из-за того, что они поочередно проходят перед активными и неактивными дугами подвода пара.

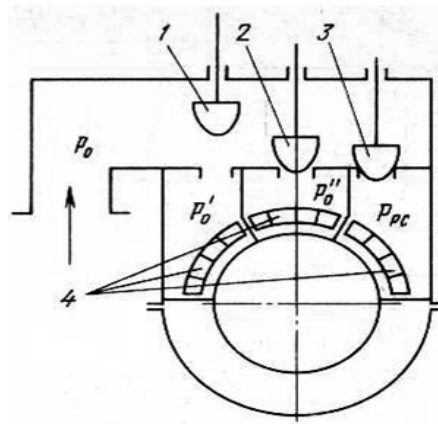


Рисунок 2 – Схема соплового парораспределения: 1,2,3 – регулирующие клапаны; 4 – группа сопел

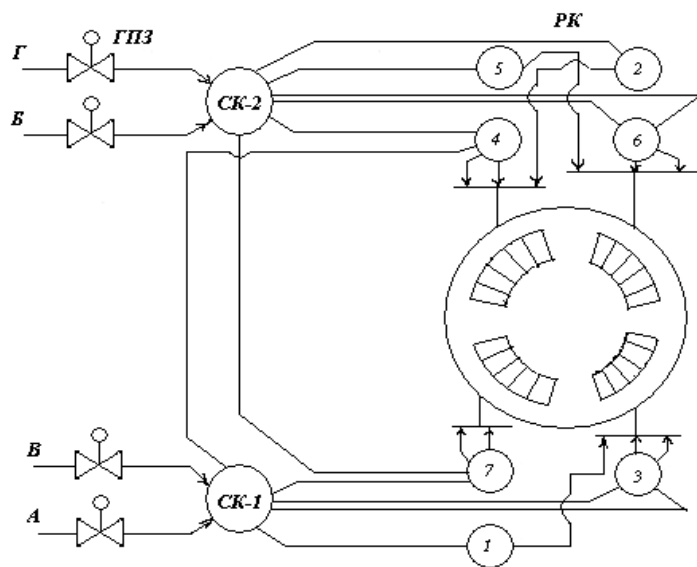


Рисунок 3 – Схема парораспределения турбины. К – 300 – 240 ЛМЗ

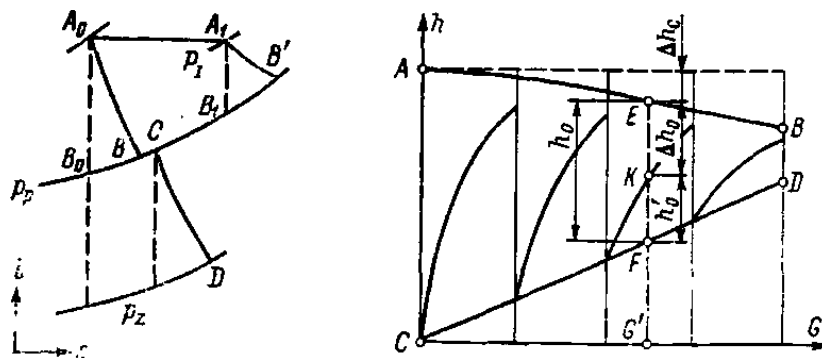


Рисунок 4 – Процесс на is-диаграмме при частично открытом регулирующем клапане

Суть обводного парораспределения заключается в том, что часть пара идет в обход некоторого количества ступеней турбины. Обычно этот способ применяют вместе с дроссельным парораспределением и в том случае, когда требуется получить максимальную мощность при сниженных начальных параметрах или при повышенном противодавлении.

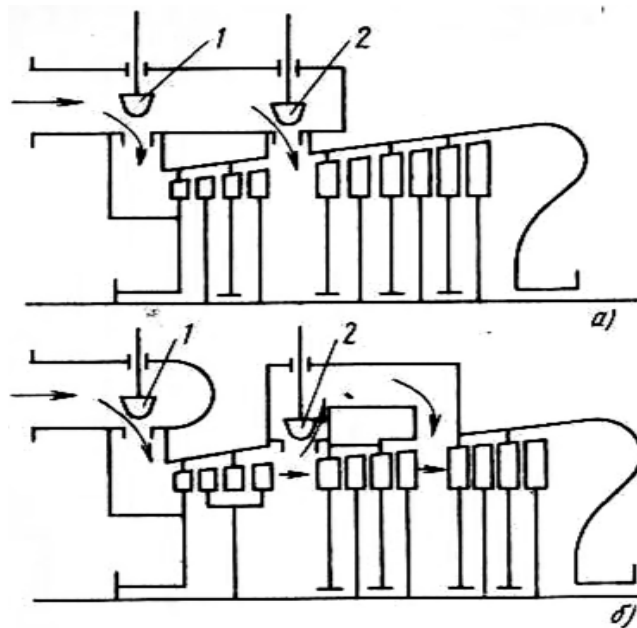


Рисунок 5 – Схема обводного парораспределения: а) с внешним обводом; б) с внутренним обводом: 1 – регулирующие клапаны; 2 – обводной клапан

Номинальная мощность достигается путем полного открытия регулирующего клапана 1. В случае, когда требуется повышение производительности сверх номинальной, открывается клапан 2, а, как следствие, обводная линия. При этом давление в камере за обведенной группой ступеней, а, следовательно, возрастает и расход пара.

Появление в тепловых схемах турбин такого элемента как промежуточный перегрев пара позволило усовершенствовать схемы с обводным парораспределением. В турбине, работающей при номинальной нагрузке с регулирующими клапанами, которые открыты не полностью, возможно в случае необходимости повышение мощности путем открытия клапанов, но при этом снижается тепловая экономичность блока. Вследствие чего возникает задача по разработке средств для увеличения тепловой экономичности при несении номинальной мощности. Решением этой проблемы стало двойное обводное парораспределение.

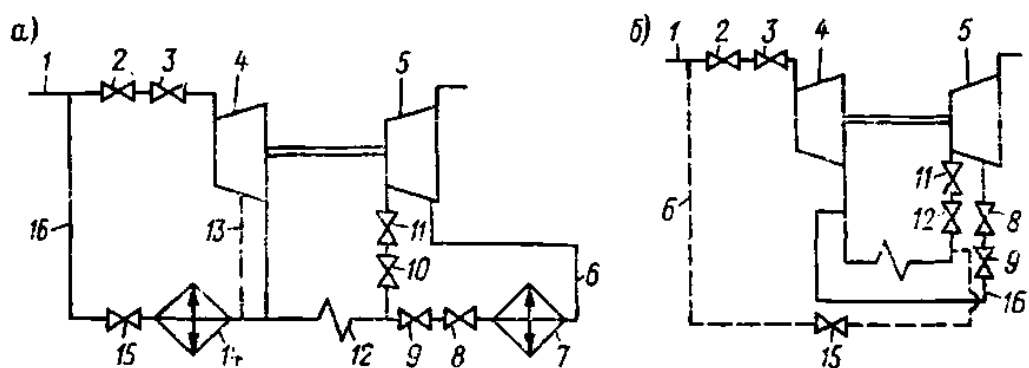


Рисунок 6 – Принципиальные схемы двойного обводного парораспределения: а – с впрыскивающими пароохладителями; б – без пароохладителей

Значительным недостатком обводного способа парораспределения является то, что при не полностью открытом клапане обводной линии поток пара теряет энергию, которая равно располагаемому теплоперепаду обведенных ступеней. Его можно устранить включив в обводную линию дополнительную турбину, подключенную к своему генератору. Поток пара, расширяясь до давления в промежуточной камере совершает полезную работу, тем самым

вырабатывая дополнительную мощность. При режимах работы, когда на турбину приходится расход пара меньше номинального, регулирующий клапан главной турбины приоткрыт, а линия обвода пара отсечена полностью. Если появляется необходимость повышения нагрузки сверх номинальной, то регулирующий клапан главной турбины открывается полностью и подключается линия обвода.

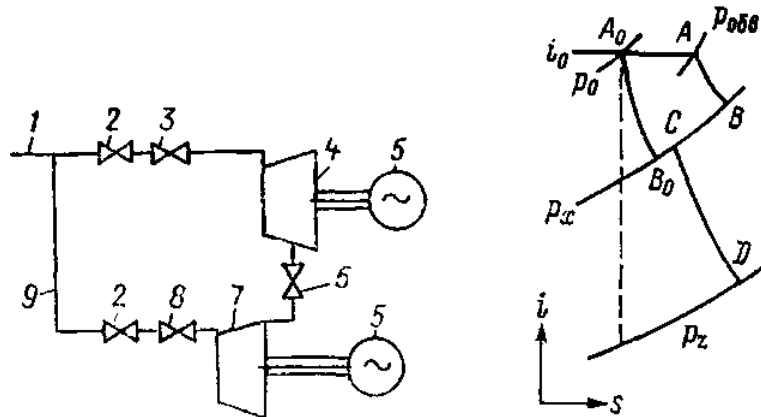


Рисунок 7 – Принципиальная схема и процесс расширения для турбообводного парораспределения: 1 – главный паропровод; 2 – стопорные клапаны; 3 – регулирующие клапаны; 4 – главная турбина; 5 – генератор; 6 – задвижка; 7 – дополнительная турбина; 8 – обводной клапан; 9 – обводная линия

Схему с турбообводным парораспределением можно усовершенствовать если использовать дополнительную турбину для привода компрессора.

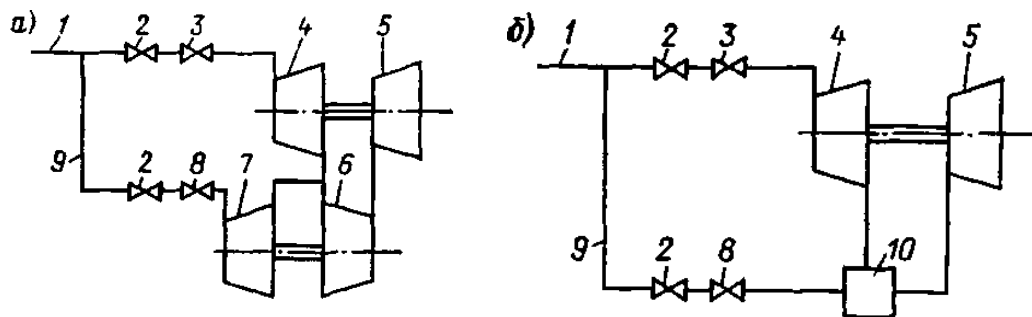


Рисунок 8 – Принципиальная схема компрессорно-обводного парораспределения: а – с турбокомпрессором; б – со струйным компрессором. 1 – главный паропровод; 2 – стопорные клапаны; 3 – регулирующие клапаны; 4 – ЧВД; 5 – ЧНД; 6 – турбокомпрессор; 7 – приводная турбина турбокомпрессора; 8 – обводной клапан; 9 – обводная линия; 10 – струйный компрессор

Компрессор устанавливают перед ЧНД главной турбины. Через него идет поток пара как из ЧВД основной турбины, так и поток прошедший дополнительную турбину обводной линии. при использовании этой схемы понижается давление в камере обвода, а, как следствие, теплоперепад ЧВД. Так же в этой схеме вместо компрессора с турбоприводом можно использовать струйный компрессор. При этом как и в первом случае повысится теплоперепад ЧВД, а, как следствие, мощность турбины.

При выборе системы парораспределения стоит учитывать назначение и режимы работы турбоустановки. В случае, если турбина проектируется для длительной работы при номинальной мощности, ее стоит проектировать с минимальным количеством клапанов при сопловом парораспределении или же с дроссельным парораспределением. Если же требуется работа по переменному графику нагрузок, тот лучше всего подойдет сопловое парораспределение.

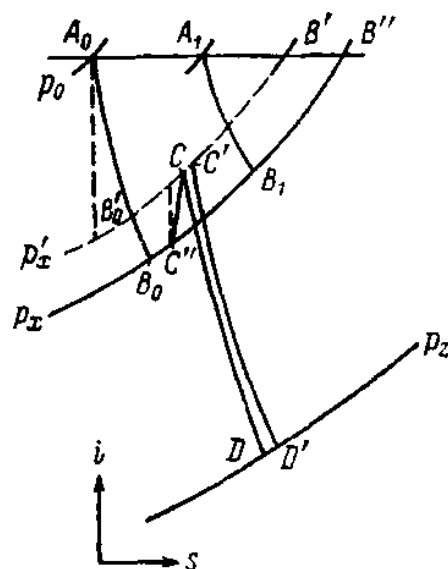


Рисунок 9 – Процессы расширения пара в ПТУ с обводным и компрессорно-обводным парораспределением.

Литература

1. Богомольный Д.С. Исследование режимов работы мощных теплофикационных энергоблоков и систем их автоматического регулирования при различных программах регулирования мощности: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л.: ЛПИ, 1980. – 18 с.
2. Гиршфельд В.Я., Князев А.М., Куликов В.Е. Режимы работы и эксплуатация ТЭС. М.: Энергия, 1980. – 288 с.

УДК 621.039.003

Инновационные технологии, повышающие безопасность Белорусской АЭС

Дячэк О.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Атомные электрические станции во всем мире – это источник повышенной опасности, поэтому применение любых инновационных технологий, повышающих безопасность таких объектов, является в высшей степени актуальным.

Для строительства Белорусской АЭС выбран инновационный проект «АЭС-2006» с реакторами ВВЭР-1200 (водо-водяной энергетический реактор, использующий обычную воду в качестве замедлителя и теплоносителя) АО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ». Данный проект отличается повышенными характеристиками безопасности и улучшенными технико-экономическими показателями.

Безопасность, воплощенная в ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006), является уникальной среди реакторов на рынке в разворачивании полного спектра как активных, так и пассивных систем для обеспечения основных функций безопасности (рисунок 1). Таким образом, системы безопасности могут справляться со сложными ситуациями, которые выходят за рамки традиционных проектных аварий [1].

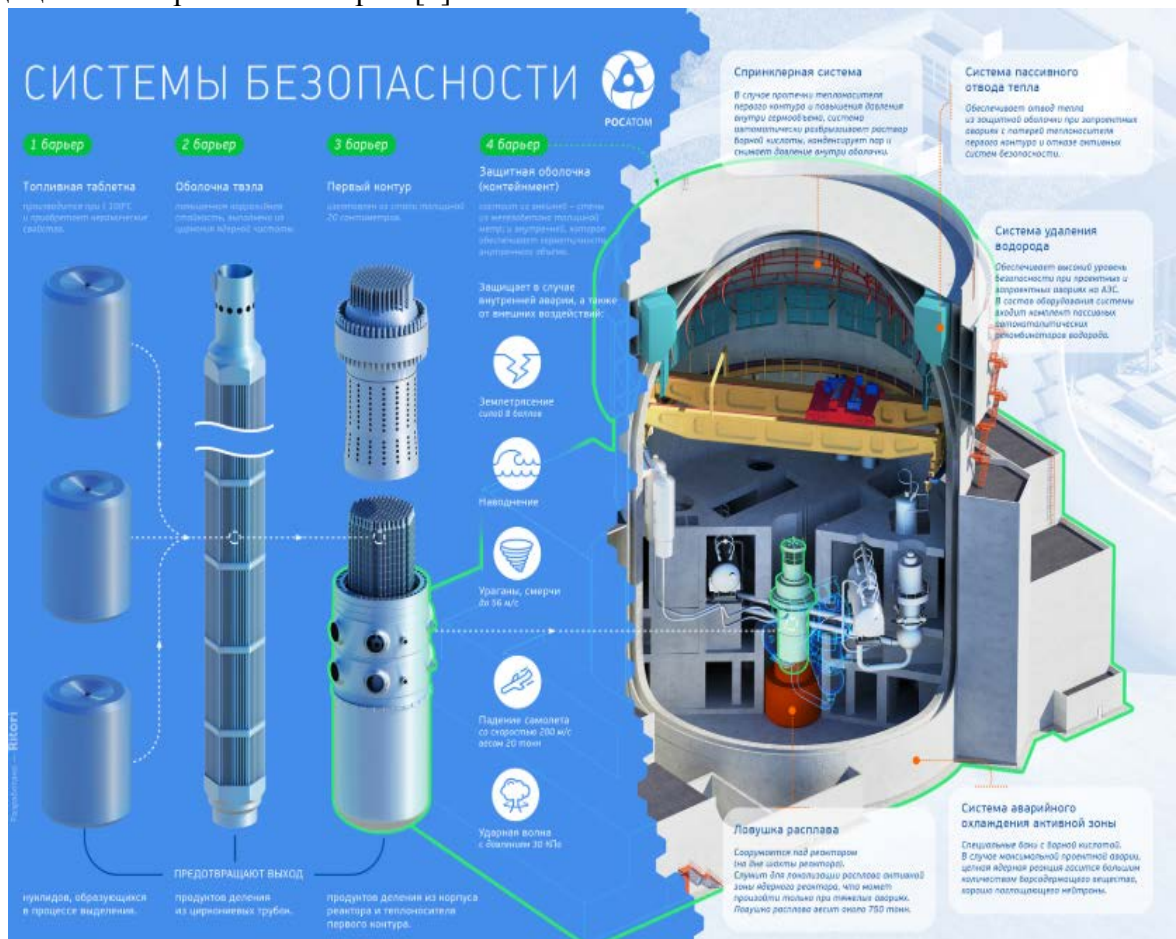


Рисунок 1 – Системы безопасности

Установка ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006) была спроектирована с учетом общероссийских требований безопасности, изданных в 1997 году и соответствующих рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Рекомендации агентства привели к разработке так называемых атомных электростанций поколения «3+» и действующий стандарт безопасности МАГАТЭ по безопасности проектирования атомных электростанций, изданный в 2012 году, основывается на тех же принципах. Российские общие

требования безопасности также соответствуют целям безопасности, определенным Ассоциацией западноевропейских органов регулирования ядерной безопасности (англ. WENRA – Western European Nuclear Regulators Association) в 2010 году для новых атомных станций.

Таким образом, все новые строящиеся АЭС с ВВЭР-1200 уже имеют конструктивные особенности, которые полностью учитывают основные причины аварии на Фукусиме, в том числе:

- пассивная система отвода остаточного тепла;
- двойная защитная оболочка реакторного зала (контеймент);
- ловушка расплава активной зоны, расположенная под корпусом реактора.

Системы безопасности спроектированы таким образом, чтобы станция могла стабильно работать в неблагоприятных условиях из-за природных явлений, таких как землетрясения, наводнения, штормовые ветра, ураганы, снегопады, торнадо, низкие и высокие экстремальные температуры, а также такие антропогенные события, как самолетные аварии, воздушная ударная волна, пожар, наводнение, вызванное прорывом водопровода.

Основные принципы безопасности включают в себя:

- Принцип внутренней безопасности, то есть способность реактора обеспечивать безопасность на основе естественных обратных процессов и характеристик.
- Принцип глубокошелонированной защиты, то есть использование последовательных барьеров, препятствующих выбросу ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также система технических и организационных мер по защите этих барьеров [2].

Основная концепция обеспечения фундаментальных функций безопасности:

- Пассивность: пассивные средства используются для работы с «режимом расширенного проектирования» и «запроектными авариями» (пассивная система охлаждения парогенераторов, пассивная система охлаждения защитной оболочки) и обеспечивают резерв для систем активной безопасности.

- Функциональное резервирование на основе разнопринципности: для выполнения всех функций безопасности необходимо использование систем, различающихся по составу и конструктивному исполнению, физическому принципу действия.

- Физическое разделение: все четыре ряда систем безопасности и их систем управления физически разделены, что устраняет сбои в общем режиме из-за пожара, авиационного происшествия и террористического акта (рисунки 2–4). Диспетчерские пункты (главная диспетчерская и аварийная диспетчерская) также физически расположены в отдельных комнатах/зданиях [3].

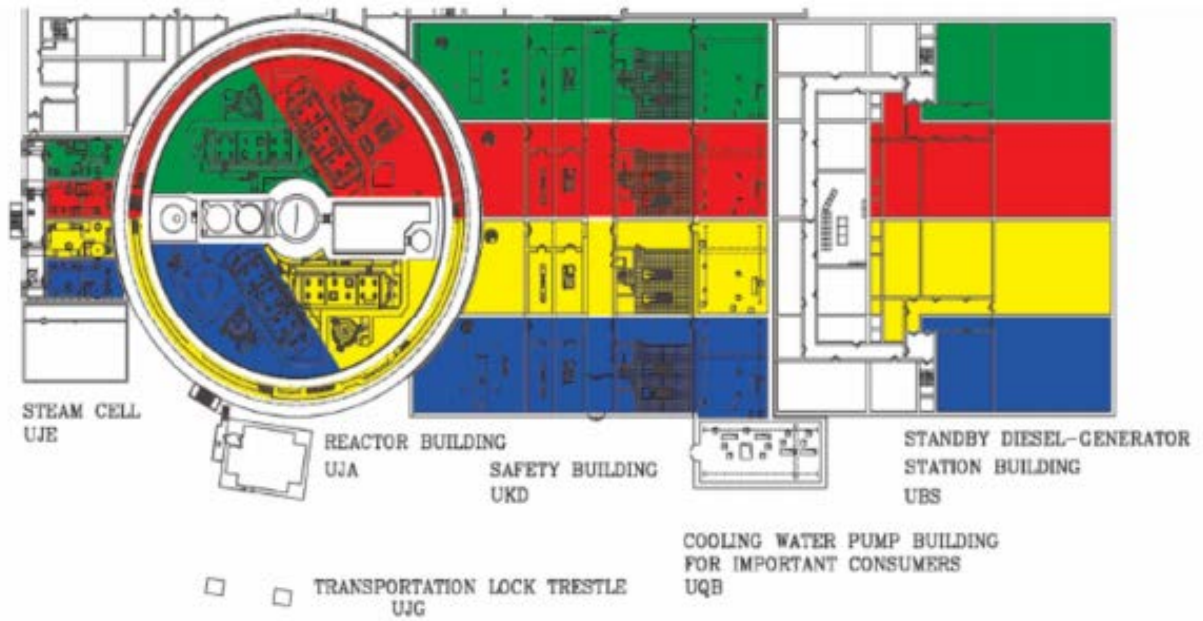


Рисунок 2 – Физическое разделение зданий с каналами систем безопасности

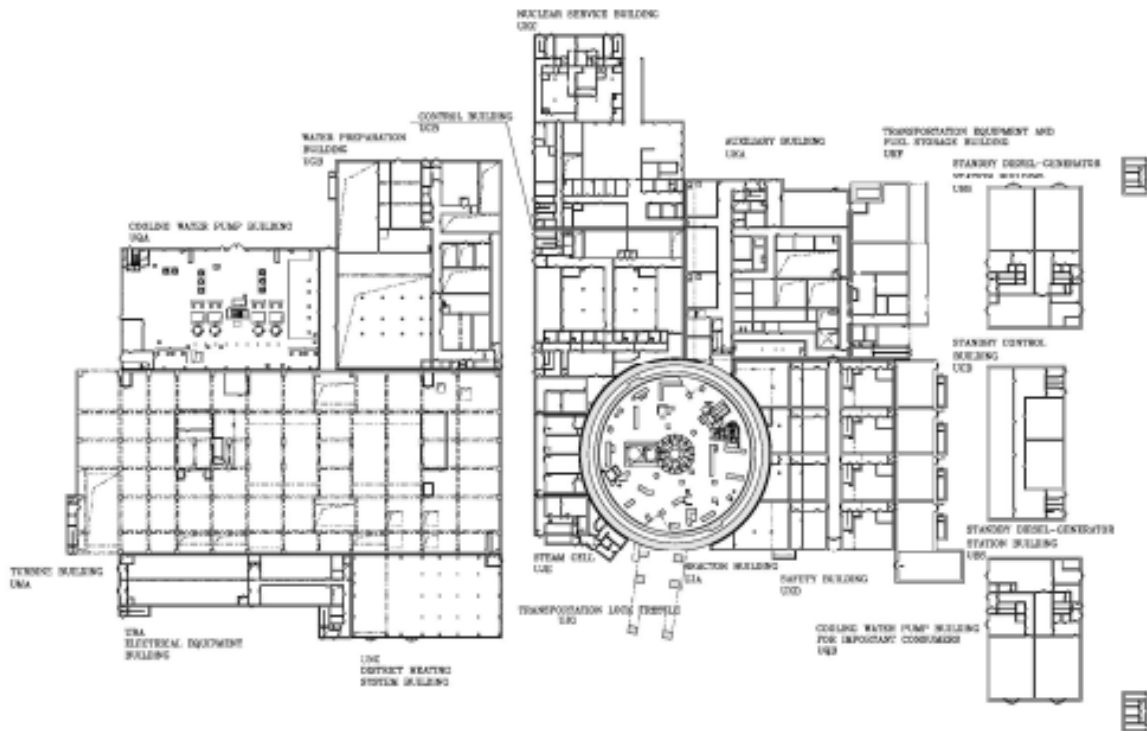


Рисунок 3 – Взаимное расположение зданий и сооружений (вид сверху)

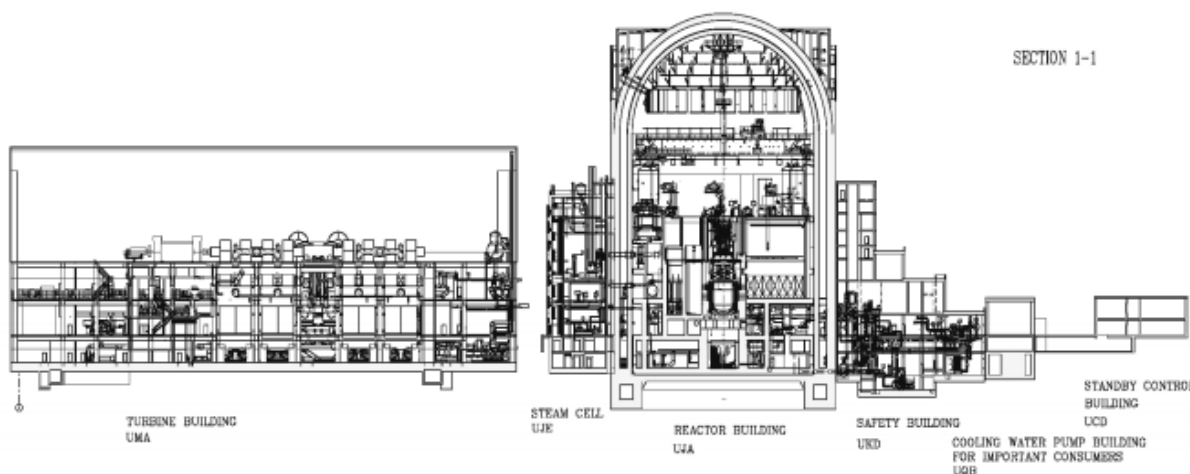


Рисунок 4 – Взаимное расположение зданий и сооружений (вид сбоку)

Надежное обеспечение трех основных функций безопасности является основным принципом при проектировании установок ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006):

1. Контроль и управление реактивностью
 - предотвращение неконтролируемого увеличения мощности реактора;
 - обеспечение быстрого безопасного останова реактора при необходимости.
2. Охлаждение активной зоны реактора
 - охлаждение остановленного реактора;
 - охлаждение отработанного ядерного топлива.
3. Локализация и надежное удержание радиоактивных материалов
 - предотвращение значительных радиоактивных выбросов в окружающую среду.

Контроль реактивности

Все реакторы ВВЭР-1200 имеют уникальную систему управления и защиты, по сравнению с другими типами ВВЭР: аварийная защита формирует команду на падение органов регулирования при возникновении аварийной ситуации. Если стержни вставлены в активную зону, реактор охлаждается до безопасного состояния и нет необходимости впрыскивать бор в теплоноситель.

Тем не менее, ВВЭР-1200 также имеет надежные системы впрыска бора. Они могут добавлять жидкость с высокой концентрацией бора в теплоноситель реактора в том случае, если стержни управления не опускаются в активную зону по какой-либо причине.

Система впрыска бора имеет четыре идентичных параллельных насоса. Работа двух насосов достаточна для быстрого отключения реактора, чтобы топливо не было повреждено в любом предполагаемом сценарии, когда быстрая вставка СУЗ выходит из строя. Если нет срочной причины, требующей быстрого отключения реактора, достаточно работы одного насоса [1].

Охлаждение активной зоны.

В ВВЭР-1200 отвод остаточного тепла может быть реализовано тремя различными способами:

- 1) активными системами к градирне или к отдельному выделенному «пруду-охладителю»;
- 2) активными системами в атмосферу;
- 3) пассивными системами в атмосферу.

Отвод тепла является важной передовой функцией обеспечения безопасности ВВЭР-1200. Система пассивного отвода тепла парогенератора (рисунок 5) предназначена для реализации следующих функций:

- отвод остаточного тепла и охлаждение реактора при полной потере мощности;
- отвод остаточного тепла и охлаждение реактора при полной потере подачи питательной воды;

- предотвращение выброса радиоактивной охлаждающей жидкости в атмосферу через перепуск пара в атмосферу или предохранительные клапаны парогенератора во время аварии, связанной с утечкой охлаждающей жидкости из первичного во вторичный контур;
- минимизация выброса радиоактивного теплоносителя во время аварии с одновременной утечкой теплоносителя из первичного во вторичный контур и разрывом паропровода между защитной стенкой и запорным клапаном трубопровода.

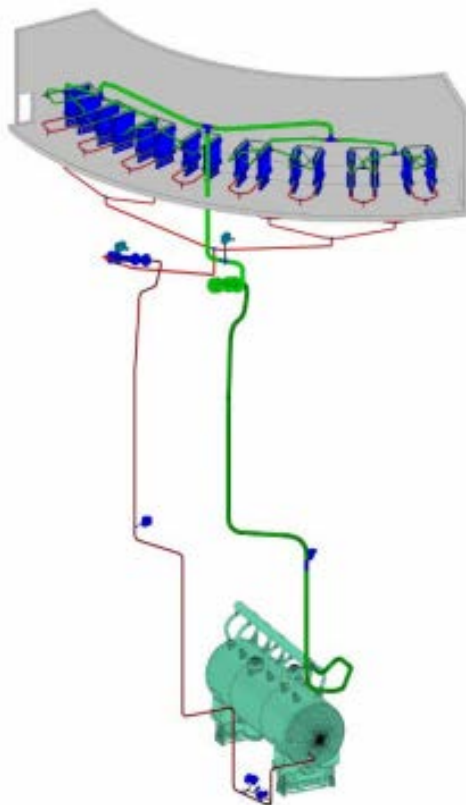


Рисунок 5 – Принципиальная схема СПОТ ПГ

Проверка производительности и эффективности СПОТ ПГ требовало много анализа, расчета, оценки и эксперимента. Аналитическое моделирование запроектных аварийных режимов проводилось с использованием сертифицированного в России теплогидравлического кода наилучшей оценки KORSAR. Экспериментальная проверка выполнения СПОТ ПГ было сделано с помощью крупномасштабного испытательного стенда на ОАО «НПО ЦКТИ» (Санкт-Петербург), который включает в себя масштабную модель СПОТ ПГ фактически используемых в ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006). Установка позволяет проводить эксперименты с использованием полномасштабных условий.

Локализация и надежное удержание радиоактивных материалов

Цель, установленная после аварии на Чернобыльской АЭС, заключалась в том, что необходимо разработать специальные системы для установок ВВЭР нового поколения для защиты защитной оболочки реактора после возможных аварий, вызванных расплавлением активной зоны. После аварии на АЭС «Фукусима» эта цель была признана обоснованной, и теперь требования включены в стандарт безопасности МАГАТЭ SSR2.1 «Безопасность атомных электростанций», выпущенный в 2012 году. Даже защита защитной оболочки реактора в случае аварии в результате расплавления активной зоны была одной из принципов проектирования, используемых для установок АЭС-2006, и экспериментальные исследования в этой области проводились в течение более 20 лет [1].

Стратегия защиты защитной оболочки ВВЭР-1200 после предполагаемого плавления активной зоны реактора заключается в том, что учитываются все явления, которые могут возникнуть в связи с расплавлением активной зоны. Эти явления заключаются в следующем:

- расплавление активной зоны реактора с высоким давлением в первичном контуре;

- избыточное давление из-за образования пара внутри защитной оболочки;
- накопление водорода внутри защитной оболочки и последующий взрыв водорода;
- паровой взрыв;
- проникновение расплавленной активной зоны реактора через нижнюю часть защитной оболочки;
- повторная критичность расплавленного ядра.

Обеспечение целостности защитной оболочки ВВЭР-1200 в этих условиях основано на системах, которые полностью независимы и отделены от систем, предназначенных для предотвращения серьезных повреждений активной зоны реактора.

Сдерживание избыточного давления осуществляется системой пассивного отвода тепла в защитной оболочке. Накопление водорода осуществляется пассивными рекомбинантами водорода, с некоторым вкладом от ловушки расплава, которая также является основной системой для устранения парового взрыва, сдерживания проникновения в нижнюю часть защитной оболочки расплавленного ядра.

Защитная оболочка (рисунок 1) предназначена для того, чтобы:

- снижать и поддерживать давление в проектных пределах внутри защитной оболочки во время запроектных аварий, в том числе сопровождающихся серьезным повреждением активной зоны;
- обеспечивать отвод тепла, выделяемого в защитную оболочку во время запроектных аварий, в том числе сопровождающихся серьезным повреждением активной зоны;

Для подтверждения эксплуатационных характеристик защитной оболочки и проверки ее конструктивных особенностей был накоплен значительный объем испытательных и аналитических работ, включая использование крупномасштабных испытательных стендов, модифицированных или изготовленных специально для этой цели.

Функции ловушки расплава:

- сохранение дна корпуса реактора в случае деформации;
- защита элементов конструкции шахты реактора от кориума;
- удержание жидких и твердых компонентов кориума, фрагментов ядра и конструкционных материалов;
- передача тепла охлаждающей воде;
- поддержание кориума в докритическом состоянии;
- минимизация выбросов радиоактивных веществ/водорода в защитную оболочку.

Ловушка расплава (рисунок 6) представляет собой металлическую конструкцию в форме конуса весом около 800 т. Она имеет двойную стенку с зазором между двумя стенками, заполненным жертвенным материалом (состоит в основном из оксидов железа и алюминия).

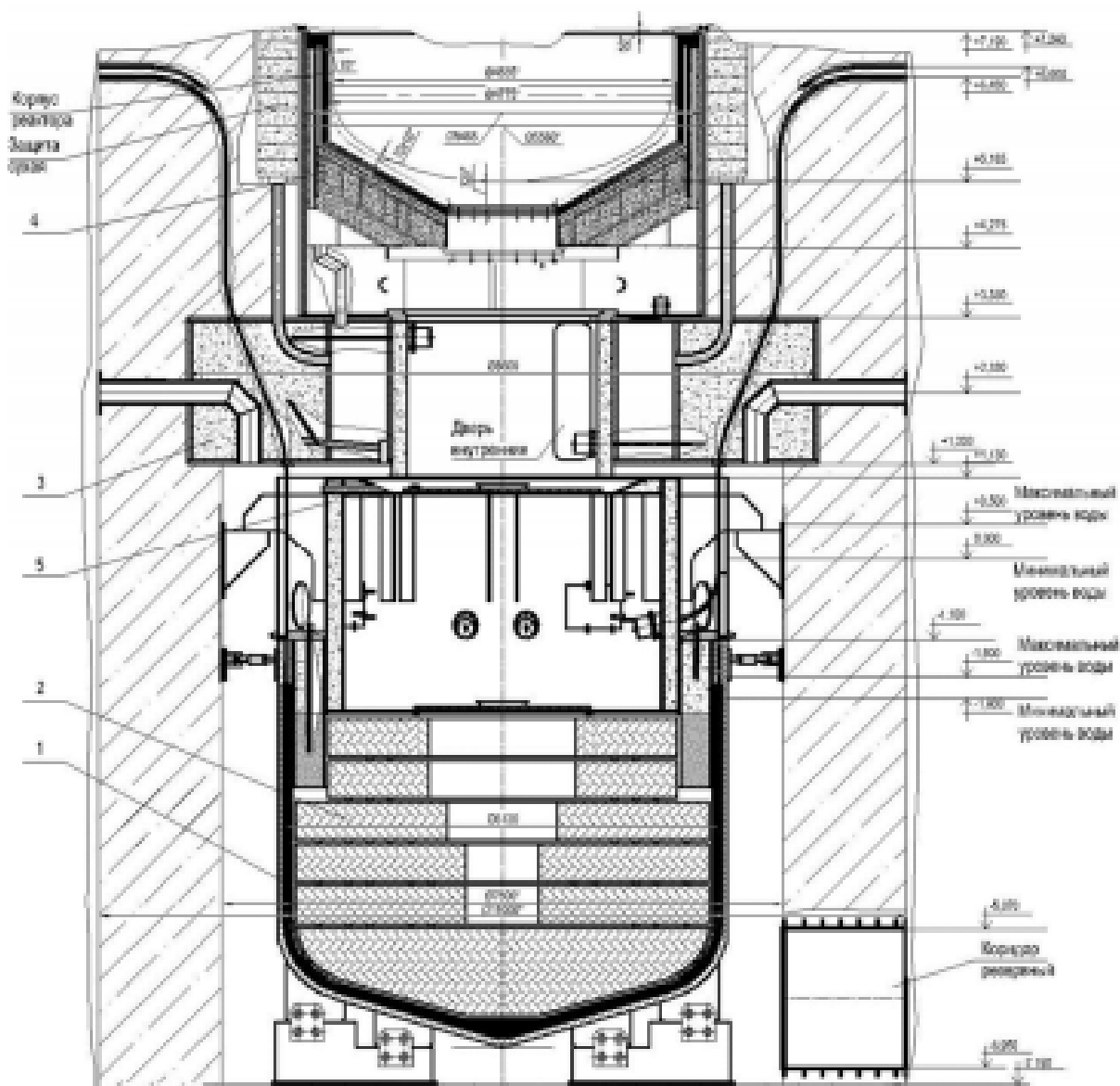


Рисунок 6 – Конструкция устройства локализации расплава

Разработка, проектирование и реализация концепции ловушки расплава была подкреплена значительной программой испытаний и анализа с участием следующих организаций: НИТИ (Сосновый Бор), Курчатовский институт (Москва), Обнинский физико-энергетический институт, Гидропресс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт и Институт химии силикатов Российской академии наук (Санкт-Петербург) [2].

Пожарная безопасность

Для тушения пожаров ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006) оснащена пассивной системой противопожарной защиты. Она используется для того, чтобы:

- исключить одновременное воздействие огня на оборудование и элементы основного и резервного вариантов для безопасного аварийного останова и перезапуска реактора и тем самым обеспечить выполнение проектных функций этими системами во время и после пожара;
- при необходимости обеспечить локализацию и контроль радиоактивных выбросов в окружающую среду в случае пожара;
- защитить персонал и население от превышения установленных доз облучения [1].

Таким образом, применение инновационных технологий существенно улучшает характеристики энергоблоков и позволяет достигнуть целевых показателей, представленных

в технических требованиях. Большинство технологий при относительно небольших затратах значительно увеличивают безопасность, надежность, экономичность и эффективность работы АЭС.

Кроме того, внедрение инновационных разработок позволяет проводить модернизацию реакторов, включая достройку энергоблоков и установку более защищенных и энергоэффективных блоков нового поколения, что позволяет продлить срок эксплуатации АЭС, а также исключить выброс в окружающую среду радиоактивных веществ.

Литература

1. The VVER today: evolution, design, safety [Электронный ресурс]: Safety concept of VVER Gen 3+ design / Росэнергоатом. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf> (дата обращения: 16.10.2019).
2. А.М. Казарин, А.В. Молчанов, Г.А. Ершов. Современная АЭС – требования и пути реализации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2015/documents/mntk2015-009.pdf> (дата обращения: 16.10.2019).
3. Принципы обеспечения безопасности АЭС [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / Белорусский национальный технический университет, кафедра «Тепловые электрические станции» / В.А. Романко. – БНТУ, 2017. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/30304> (дата обращения: 16.10.2019).

УДК 621.311.22+621.311.25

Выбор и обоснование методов контроля ротора паровой турбины К-1000-60/1500-2

Иванов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ГЕРАСИМОВА А.Г.

Безопасная, надежная и долговечная работа оборудования в первую очередь связана со своевременным и качественным контролем и диагностикой его состояния.

Оценка технического состояния и качества металла оборудования важна как на начальном этапе, при вводе в эксплуатацию оборудования, так в процессе эксплуатации и продлении его срока службы.

Паровая турбина К-1000-60/1500-2 тихоходного типа представляет собой одновальный агрегат состоящий из четырех цилиндров (один цилиндр высокого давления, трех цилиндров низкого давления). В состав турбоустановки также входят три конденсатора, пять опор подшипников, органы парораспределения и регулирования системы маслоснабжения. Турбоустановка К-1000-60/1500-2 имеет семь нерегулируемых отборов пара (для подогрева питательной воды, на теплофикационную установку, на турбину приводов питательных насосов и технологические нужды блока). Валопровод турбины состоит из роторов четырех цилиндров и ротора электрогенератора. Технические характеристики турбоустановки приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Технические характеристики турбоустановки К-1000-60/1500-2

Технические характеристики	Величина
Номинальная мощность, МВт	1114
Частота вращения, об/мин	1500
Максимальный расход свежего пара, т/ч	6430
Параметры свежего пара: давление, кгс/см ² температура, °С степень сухости	60,0 274,3 0,955
Температура промежуточного перегрева пара, °С	250
Абсолютное давление пара перед ЦНД, кгс/см ²	11,1
Удельный расход теплоты (при тепловой мощности реактора 3000 МВт), кДж/(кВтч)	10258
Габаритные размеры турбины: длина, м ширина турбины (по выхлопному патрубку ЦНД), м высота ЦНД от горизонтального разъема до атмосферных клапанов, м	52,2 4,88 14,86

Ротор представляет собой вращающуюся часть турбины и является наиболее ответственным ее элементом, который работает в сложных и напряженных условиях:

- большая частота вращения;
- неравномерность потока пара;
- значительные вращающиеся массы.

В процессе работы в роторе турбины возникают большие напряжения от действия центробежных сил, развиваемых массой закрепленных на нем лопаток, вставок, бандажей, демпферных связей, а также от действия центробежных сил самого ротора.

Для удовлетворения тяжелым условиям эксплуатации, материал ротора турбины должен обладать: высокими механическими качествами, значительным относительным удлинением, относительным сужением, большим коэффициентом теплопроводности и малым коэффициентом линейного расширения, чистотой и однородностью состава материала, отсутствием внутренних пороков, хорошей механической обрабатываемостью.

Ротор части высокого давления турбины К-1000-60/1500-2 двухопорный, жесткий, сварно-кованный и состоит из четырех частей. Изготовлен ротор из высококачественной

легированной стали марки 30ХНЗМ1ФА. Средняя часть ротора имеет сравнительно тонкую стенку и выполнена заодно с дисками. Такая конструкция ротора называется барабанной. Масса ротора ЦВД (с облапачиванием) – 49280 кг, максимальный диаметр – 2220 мм, длина 11035 мм [1].

Данные длительной эксплуатации роторов позволяют выявить зоны, представляющие наибольшую опасность из-за образования в них эксплуатационных трещин. К этим зонам относятся:

- зона осевого канала;
- тепловые канавки концевых, диафрагменных и промежуточных уплотнений;
- обода дисков в местах крепления замковых лопаток;
- галтели дисков;
- радиусы скругления пароразгрузочных отверстий дисков;

Зоны вероятного образования эксплуатационных трещин в ступенях роторов турбин показаны на рисунке 1.

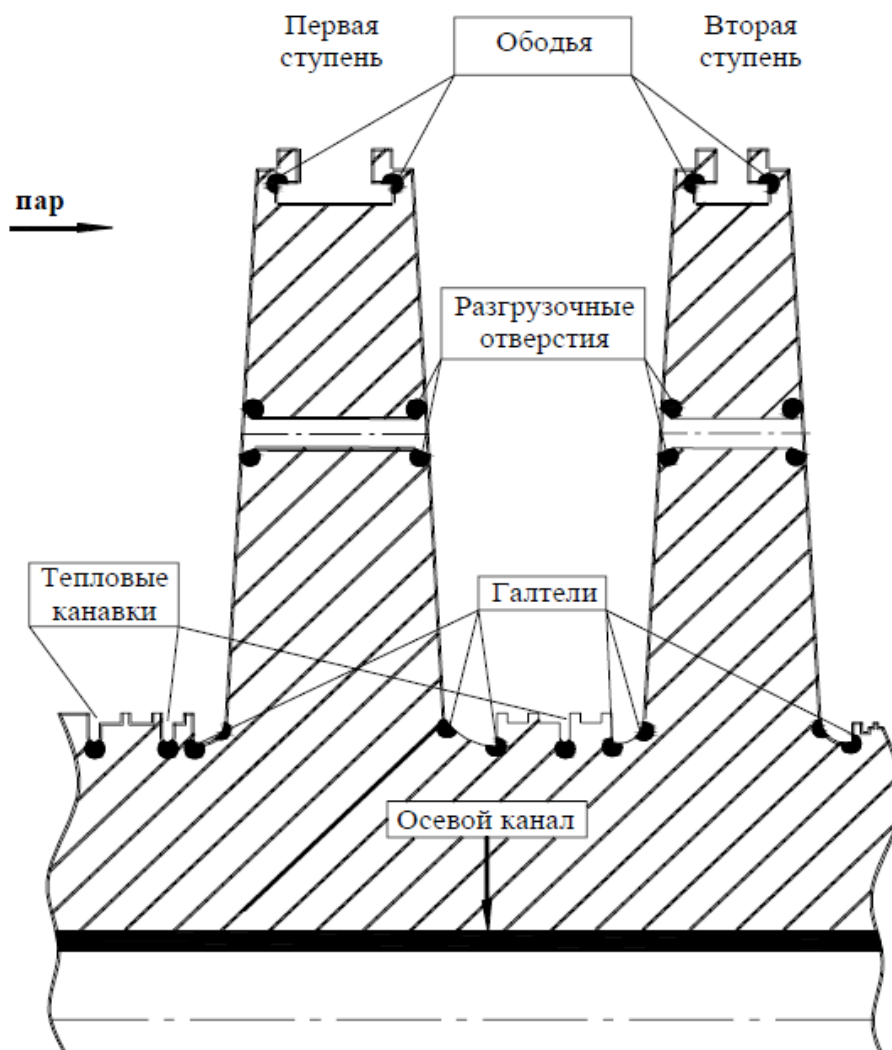


Рисунок 1 – Зоны образования трещин в ступенях роторов турбин

Осевой канал ротора турбины предназначен для снятия эксплуатационных напряжений с турбины и представляет собой сквозное отверстие длиной 9160 мм, которое состоит из 4 ступеней разного диаметра. Основным механизмом является малоцикловая усталость.

Обод диска турбины – периферийная часть диска турбины, в ней размещаются и закрепляются рабочие лопатки турбины. Лопатки устанавливаются на диск с помощью хвостовиков (грибовидных). На ободья дисков действуют высокие статические напряжения от

центробежных сил и потока пара, действующего на лопатки турбины в сочетании с высокой концентрацией напряжений. Напряжения увеличиваются также из-за неплотной установки лопаток в диске, когда на него начинают действовать наряду с центробежной силой переменные напряжения от колебаний лопатки. Основным механизмом накопления повреждения также является малоцикловая усталость.

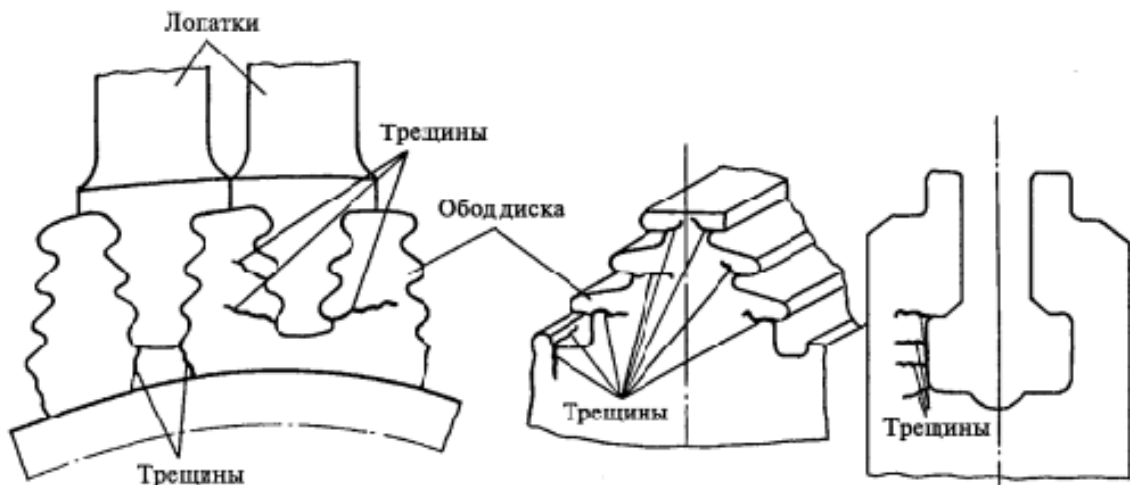


Рисунок 2 – Трещины коррозии под напряжением в зоне контакта хвостовых соединений с ободом диска

Галтель вала является переходом на валу ротора, между сечениями разного диаметра, между диском и валом. Обычно делается круглым для снятия напряжений материала в месте перехода. Галтельный переход является концентратором напряжений. В которых как правило возникают трещины усталости из-за вибраций в материале диска.

Тепловые канавки предназначены для уменьшения вероятности прогиба вала ротора и представляют собой узкие прорезы глубиной от 8 до 12 мм. Из-за наличия тепловых канавок при сильном разогреве некоторого участка вала в результате задеваний он имеет возможность свободно расширяться в осевом направлении, без изгиба всего вала. Однако, наличие тепловых канавок приводит к уменьшению диаметра вала турбины в сечении тепловой канавки, что влечет за собой увеличение напряжения, т.е. тепловая канавка является концентратором напряжений.

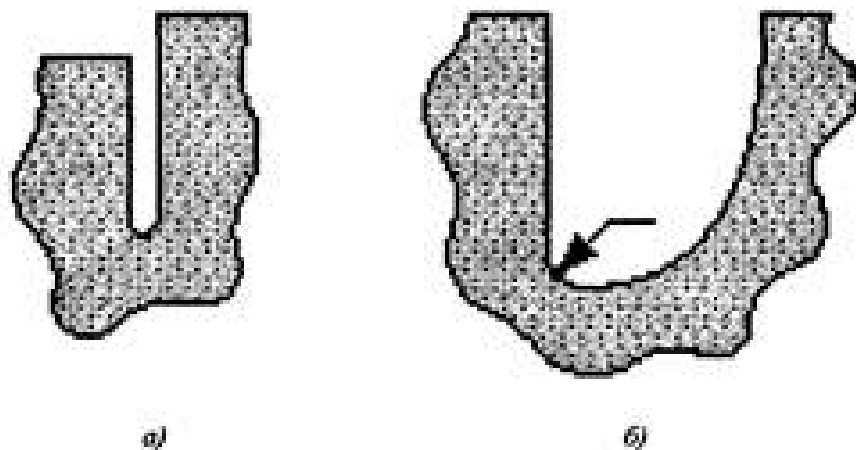


Рисунок 3 – Тепловая канавка и галтельный переход:
а – тепловая канавка; б – галтельный переход

Разгрузочные отверстия в дисках ротора предназначены для разгрузки ротора от осевых усилий и уменьшения нагрузки на упорный подшипник. В дисках всех ступеней выполнено по семь пароразгрузочных отверстий диаметром 50 мм.

Из перечисленных зон концентраторов напряжения наиболее опасной является зона осевого канала. Напряжения возникающие при эксплуатации в зоне осевого канала приводят к образованию трещин в радиально осевой плоскости ротора. Данное расположение дефектов не сказывается на изменении вибрационных характеристик валопровода, и как правило остаются незамеченным при увеличении до критических размеров, после чего очень велика вероятность хрупкого лавинообразного разрушения ротора [2].

Условия работы рабочих лопаток также весьма сложные. При вращении в рабочих лопатках возникают высокие центробежные силы и высокие напряжения растяжения, которые стремятся вырвать лопатку из диска. Окружная сила, которая создает крутящий момент на валу турбины, изгибает лопатку в плоскости диска, кроме этого лопатка изгибается из-за разности давлений. Кроме этого изгибающие силы, действующие на рабочие лопатки, непрерывно изменяются из-за различий в проходных сечениях сопловых лопаток.

Одной из основных причин повреждения рабочих лопаток последних ступеней является капельная эрозия, которая приводит к интенсивному износу их поверхностей.

Материал для удовлетворения условий работы лопаток турбины должен обладать: высокой статической прочностью, высокой пластичностью для равномерного распределения напряжений по всей площади сечения лопаток ударной вязкостью, высоким сопротивлением ползучести, длительной прочностью, многоцикловой и термической усталостью, сопротивлением эрозии, технологичностью.

Для рабочих лопаток цилиндра высокого давления и всех ступеней, кроме последней, используют сталь высокохромистая сталь электрошлакового переплава 12X13-Ш, а лопатки последней ступени изготовлены из более прочной стали 15X11МФ-Ш, которую дополнительно легируют молибденом и ванадием.

Для первой ступени ЦВД характерен высокий уровень возбуждающих сил, поэтому ее лопатки выполняют с интегральным бандажом. На их периферии протачиваются кольцевые пазы с профилем «ласточкин хвост», в которые заводятся демпфирующие вставки, располагаемые в шахматном порядке. Рабочие лопатки даже первых ступеней имеют достаточно большую длину (250 мм), и поэтому к диску они крепятся двухопорным хвостовиком с замками [1].

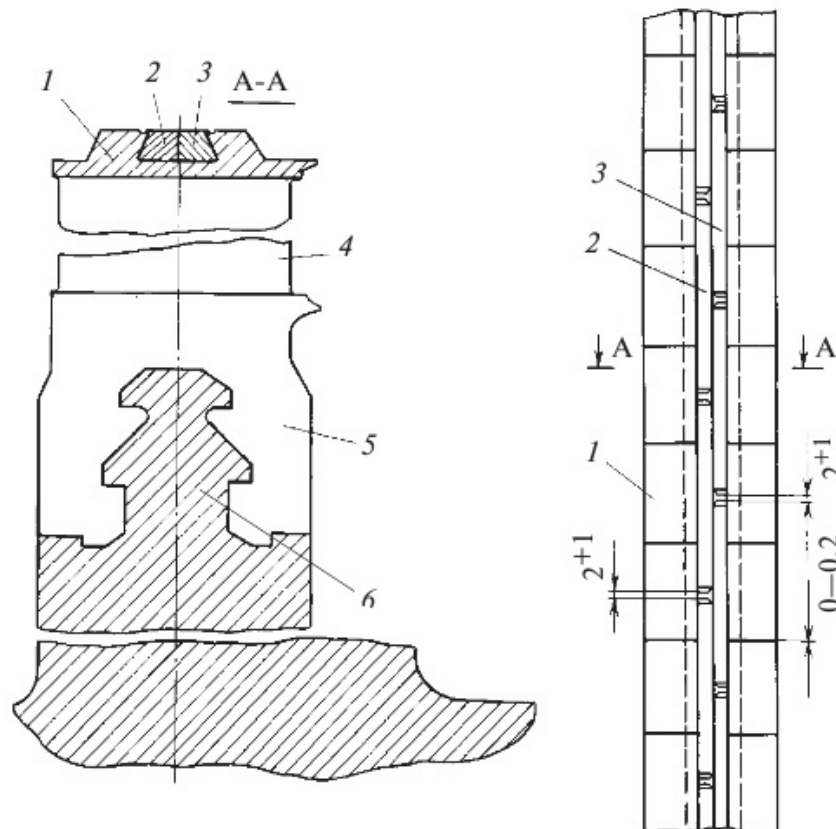


Рисунок 4 – Конструкция облопачивания первой ступени цилиндра высокого давления: 1 – бандаж; 2,3 – вставки демпферные; 4 – лопатка рабочая; 5 – хвостовик; 6 – гребень диска

К зонам лопатки, которые представляют высокую опасность, из-за вероятного образования эксплуатационных трещин относятся:

- усталость хвостовиков;
- радиусы скругления хвостов лопаток;
- разрушение периферийных бандажей.

Хвостовик также является весьма напряженным элементом лопатки. Предназначен хвостовик для крепления лопатки на диске. Наиболее частой причиной обрыва рабочих лопаток в сечении хвостовика является зарождение и развитие в них трещин до критического размера. Трещины возникают в результате проникновения вибрации с рабочей части вглубь хвостового соединения. Концентрация напряжений в хвостовом соединении обусловлена его сложной формой, высоким уровнем статических напряжений, растяжений и изгибов.

Шипы лопаток предназначены для установки бандажей. Радиусы скругления в месте контакта шипа с пером лопатки являются концентраторами напряжений.

Бандажи предназначены для повышения вибрационной надежности лопаточного аппарата. Периферийный бандаж также снижает утечку пара и как следствие повышает КПД ступени. Наиболее слабыми местами в бандаже являются зоны возле отверстия под шип. Вызвано это высокими значениями номинальных напряжений в сечениях под шипы, особенно в отверстия прямоугольной формы.

Для выявления наружных дефектов на поверхности материала ротора и лопаток турбины был выбран метод цветной дефектоскопии (капиллярный контроль). Данный метод является наиболее оптимальным так как ротор и лопатки турбины обладают высоким качеством поверхности, малой шероховатостью, а сам капиллярный контроль является дешевым и наглядным методом, обладающим высокой чувствительностью.

Капиллярный метод неразрушающего контроля основан на проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) внутрь дефекта и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом.

Капиллярным методом можно контролировать объекты любых форм и размеров независимо от марки стали или сплава. Процесс капиллярного контроля состоит из пяти технологических этапов:

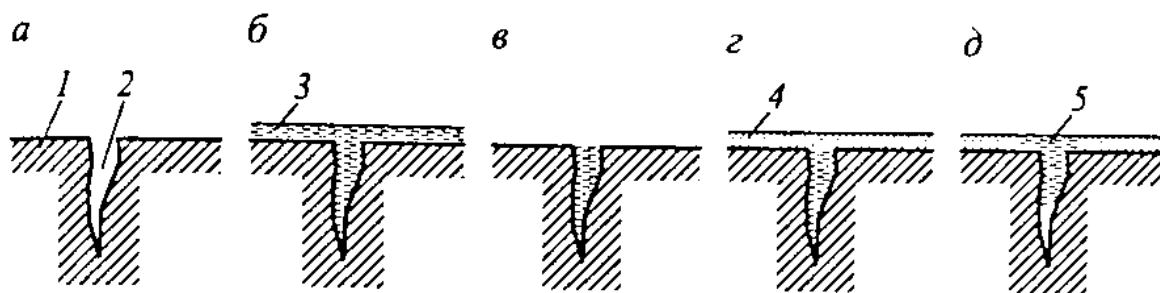


Рисунок 5 – Схема контроля деталей капиллярным методом с применением проявителя

На первом этапе (рисунок 5 а) поверхность контроля (1) очищают водой или очистителем с целью удаления загрязняющих веществ (ржавчины, окалины, масла и т.п.), а также имеющихся покрытий, например лакокрасочных, чтобы индикаторная жидкость (2) могла свободно проникать в дефекты. После чего поверхность просушивается, чтобы внутри дефекта не оставалось воды или очистителя.

На втором этапе (рисунок 5 б) на поверхность контроля путем распыления наносится пенетрант (3).

На третьем этапе (рисунок 5 в) избыток индикаторной жидкости удаляют путем промывки водой или очистителем. Индикаторную жидкость необходимо удалить только с контролируемой поверхности. После удаления излишек пенетранта поверхность необходимо полностью высушить.

На четвертом этапе (рисунок 5 г) на высушенную поверхность контроля наносится проявитель (4) (например, порошок мела или его суспензия), который за счет явления капиллярности и диффузии «вытягивает» из дефектов на поверхность объекта контроля индикаторную жидкость.

На пятом этапе (рисунок 5 д) проводится анализ индикаторного рисунка, проявляющегося в местах дефектов. При контроле выявляются и регистрируются индикаторные следы (5). Имеющиеся дефекты видны достаточно контрастно, интенсивность окраски которых говорит о глубине дефекта [3].

Для выявления внутренних дефектов в поверхности материала ротора и лопаток турбины был выбран метод ультразвукового контроля.

Выбор данного метода обоснован тем, что ультразвуковой контроль (УЗК) позволяет регистрировать предельно малые дефекты в материале, обеспечивает точные результаты измерений без разрушения и повреждения объекта исследования, обладает высокой скоростью исследования, отсутствуют опасные факторы для персонала проводящего контроль, также материал ротора и лопаток турбины обладает высоким качеством поверхности, в результате чего будет хороший контакт между зондом и объектом.

Суть метода заключается в прозвучивании изделия и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектрических преобразователей и в последующем анализе полученных результатов с целью выявления дефектов, а также их эквивалентного размера, вида, формы и глубины залегания.

Диапазон частот ультразвукового составляет от 20 кГц до 2000 МГц. Интенсивность колебаний обычно не должна превышать 1 кВт/м².

Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов, томографов или интроскопов.

В настоящее время утверждены и действуют два альтернативных метода УЗК ротора со стороны осевого канала: иммерсионный и контактный.

Схема иммерсионного метода показана на рисунке 6.

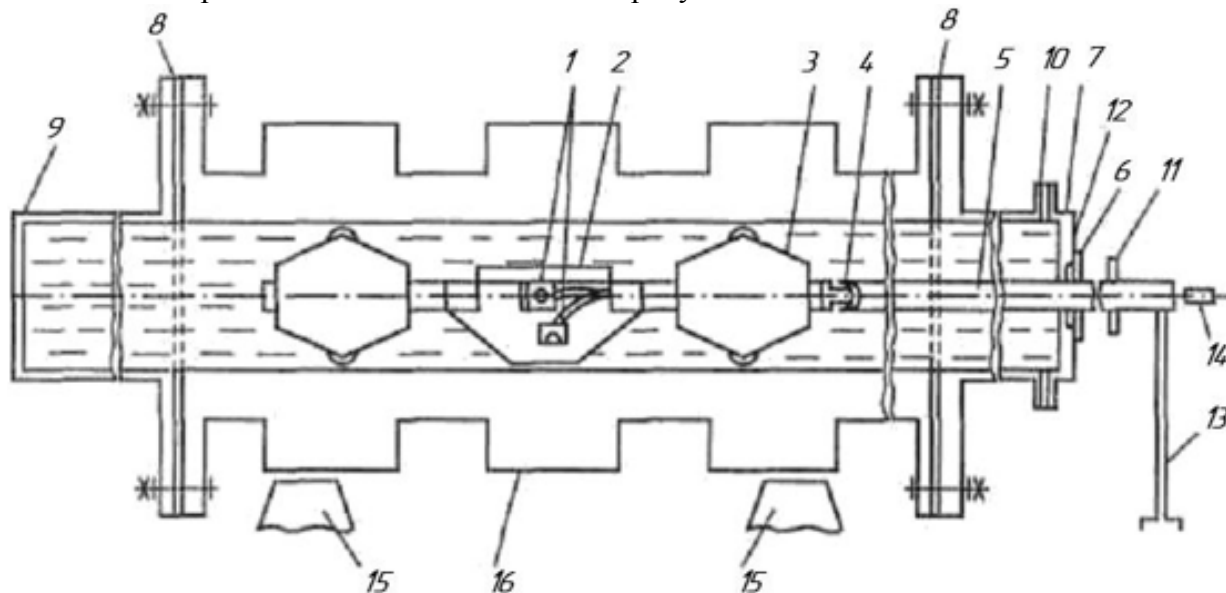


Рисунок 6 – Общий вид устройства для УЗК ротора иммерсионным методом:

- 1 – пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП); 2 – каретка механическая; 3 – устройство для центровки; 4 – шарнир; 5 – штанга; 6 – манжета резиновая; 7 – проходное donышко; 8 – резиновые прокладки; 9 – глухое donышко; 10 – патрубок; 11 – рукоятка подачи; 12 – диск азимутальный; 13 – тренога; 14 – кабель к дефектоскопам; 15 – опоры; 16 – ротор турбины

Контактный вариант реализуют с помощью призматических ПЭП, которые перемещают в канале ротора с помощью ориентирующей рамки и легкой трубы диаметром 18-25 мм рисунок 7.

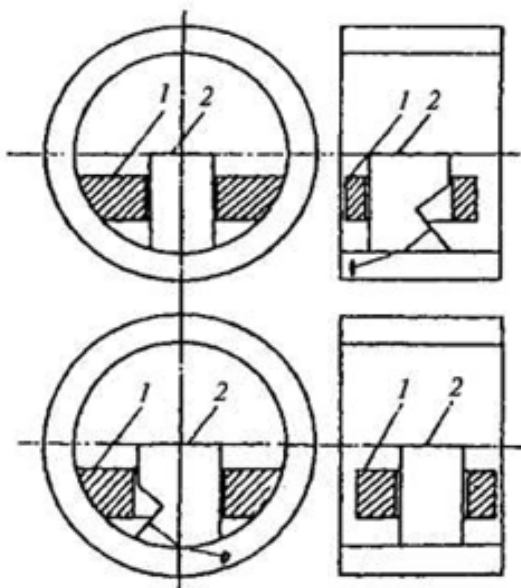


Рисунок 7 – Схема контактного метода контроля ротора при вводе ультразвука в осевой (а) и азимутальной (б) плоскостях: 1 – ориентирующее устройство; 2 – ПЭП

Для создания контакта пьезоэлектрического преобразователя с металлом ротора или лопатки применяют дегазированные жидкости (воду, минеральное масло). Для дегазации жидкости ее выдерживают в открытом сосуде не менее 8 часов при комнатной температуре.

При иммерсионном методе в заполненный контактной жидкостью канал ротора погружают пьезоэлектрические преобразователи. В качестве пьезоэлемента используют пьезопластину из цирконата-титана свинца диаметром 12 мм с частотой ультразвуковых колебаний 2,5 МГц. Которая своей рабочей поверхностью соприкасается с водой.

В иммерсионном методе используется два канала обнаружения. Первый канал предназначен для обнаружения дефектов, расположенных вдоль оси ротора. Второй – для обнаружения дефектов, расположенных поперек оси ротора [4].

При контактном методе применяют наклонные ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи, которые снабжены приспособлениями ориентации и перемещения в осевом канале ротора [5].

При ультразвуковом контроле лопаток турбины методика сводится к следующему: щуп прикладывается у основания лопатки к выходной кромке так, чтобы ультразвуковые колебания были направлены вдоль нее к периферии. Если в лопатке имеется трещина, то на экране прибора между начальным и конечным сигналами появляется дополнительный сигнал, вызванный отражением ультразвуковых волн в месте дефекта. Для точного обнаружения дефекта измерения необходимо производить дважды с последующим наружным осмотром места предполагаемого дефекта через лупу.

Для измерения твердости металла ротора и лопаток турбины можно использовать динамические твердомеры, например, типа ТЭМП-4. При использовании динамического твердомера проводятся измерения твердости металла в более высокотемпературной зоне ротора и сравниваются с допустимыми значениями. Различие твердости материала высокотемпературных и низкотемпературных указывает на степень разупрочнения металла в процессе длительной эксплуатации и является дополнительной характеристикой, которая учитывается при принятии решения о продлении эксплуатации.

Для анализа микроструктуры металла ротора можно использовать метод полистирольных реплик, который относится к неразрушающему контролю структуры

материала. Данный метод заключается в получении оттиска состояния поверхности металла ротора на полистирольном кубике, предварительно смоченном растворителем и плотно прижатом к поверхности контроля. После его высыхания производят отделения реплики, которую в дальнейшем фотографируют и исследуют на электронном металлографическом микроскопе при 100-500-кратных увеличениях [3].

Определение химического состава роторной стали можно довольно точно и быстро определить портативным лазерным анализатором химического состава, например, типа Vulcan. Принцип действия которого основан на методе эмиссионного автоматического спектрального анализа с возбуждением пробы с помощью лазерно-искрового разряда. **Заключение.** С учетом конструктивных особенностей, условий эксплуатации и применяемой марки стали ротора паровой турбины К-1000-60/1500-2 были подобраны оптимальные методы и методики оценки состояния металла ротора, позволяющие 100% оценить его состояние.

Литература

1. Балаковская Атомная Электростанция служба подготовки персонала. Системы турбинного отделения. Часть 2. Турбина К-1000-60/1500-2. – Балаково, 2015 – 383 с.
2. Сухинин, В.П., Пугачева Т.Н. Ресурс паровой турбины/ В.П. Сухинин, Т.Н. Пугачева – Харьков, 2014 – 132-138 с.
3. Герасимова, А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС: учеб. пособие/А.Г. Герасимова. – Минск: Высшая школа, 2011 – 272 с.
4. РД 34.17.440-96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/15НО.html>. Дата доступа 25.09.2019 (на 01.11.2019 действующий).
5. СО 153-34.17.440-2003. Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса. М., 2008 (на 01.11.2019 действующий).

УДК 621.165

Совершенствование подшипников скольжения паровых турбин

Иванова К.С., Колос В.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

В связи с разработкой и созданием в середине 60-х годов паровых турбин мощностью 300–1200 МВт и рабочим проектированием турбоагрегатов для АЭС мощностью 500–1000 МВт важное значение приобрела проблема экспериментальной отработки конструкций подшипников скольжения с целью повышения их экономичности и надежности [1].

Известно, что основной частью механических потерь турбомашин являются потери мощности на трение в подшипниках скольжения [2].

С ростом единичных мощностей энергетических агрегатов увеличились размеры проточной части, диаметры шеек роторов, радиальные нагрузки на опоры и, как следствие, размеры подшипников. Увеличение диаметров подшипников и масляных зазоров при одновременном повышении окружных скоростей привело к повышению турбулентности течения смазки и, соответственно, существенному увеличению потерь мощности на трение, расхода масла и температуры баббита рабочей поверхности. Так, например, в крупных паровых турбинах потери мощности на трение в подшипниках скольжения достигли 0,3–0,5% номинальной мощности агрегатов [2]. При этом значительно повысились расход масла, а также емкость маслобаков и потребляемая мощность энергооборудования системы смазки, что заметно влияет на технико-экономические показатели энергоблоков.

В советском и зарубежном турбостроении используются различные конструкции радиальных подшипников скольжения. Преимущественное применение в мощных турбоагрегатах получили радиальные подшипники сегментного и втулочного типа.

Вначале сегментные радиальные подшипники, обладающие высокими антивибрационными свойствами, были впервые в нашей стране применены в высокооборотных электрических машинах и компрессорах, а также в паровых турбинах ЛМЗ на сверхкритические параметры пара с целью предотвращения низкочастотной вибрации [2]. Позднее экспериментальными исследованиями [3] было установлено, что применение индивидуального подвода смазки к каждому сегменту, особенно в крупно-габаритных сегментных радиальных подшипниках, позволяет существенно снизить потери на трение и расход масла.

Наиболее обширные экспериментальные исследования по отработке конструкций радиальных сегментных подшипников были выполнены в 70-х годах на ХТГЗ [3]. В результате испытаний были разработаны и широко внедрены в турбоагрегатах мощностью 220–750 МВт сегментные подшипники с индивидуальным подводом смазки диаметром 420 и 520 мм, обеспечивающие повышенную экономичность [2].

При этом следует отметить, что из-за уменьшения ширины расточки рабочей поверхности и соответственно при работе на повышенной удельной нагрузке с уменьшенными масляными зазорами в подшипниках с целью улучшения теплового режима на ХТГЗ вынуждены были разработать и использовать специальную систему охлаждения и конструкцию несущих сегментов.

За рубежом наибольший опыт по проектированию, исследованию и применению радиальных крупногабаритных сегментных подшипников приобрела фирма «Броун Бовери», которой были разработаны и внедрены трехсегментные подшипники диаметром 560 и 900 мм для РНД мощных паровых турбин с низкими потерями на трение и низким расходом масла [2]. Однако из-за повышенных удельных нагрузок и уменьшенных масляных зазоров температура баббита несущих сегментов этих подшипников на номинальном режиме работы достигла 150–160°C, поэтому фирмой для данных подшипников были разработаны и применены специальные высокотемпературные баббитовые сплавы [2].

В 80-х годах в НПО ЦКТИ были также проведены экспериментальные исследования различных вариантов конструкций радиальных сегментных подшипников диаметром 600 мм

с индивидуальным подводом масла [4], которые подтвердили их высокую экономичность. При испытаниях подшипников с увеличенными удельными нагрузками (1,6–1,8 МПа) было установлено значительное влияние типа и конструктивного исполнения опирания сегментов и величин масляных зазоров на основные характеристики и надежность работы подшипников.

На основании результатов дополнительных исследований в НПО ЦКТИ были своевременно разработаны и внедрены практические рекомендации по усовершенствованию данных элементов конструкции сегментных подшипников для паровых турбин К-500-240 АО ЛМЗ, в том числе был сделан вывод о нецелесообразности применения крупногабаритных радиальных сегментных подшипников для роторов низкого давления турбин мощностью 500–1000 МВт [4].

Вместе с тем многочисленными экспериментальными исследованиями [2] подшипников втулочного типа было установлено, что односторонний подвод смазки к нисходящей области масляного клина выводит подшипник из турбулентного режима смазки, снижает потери на трение и расход масла, улучшает температурный уровень работы.

На рисунке 1 приведены конструктивные схемы традиционного и модернизированного радиального подшипника [2].

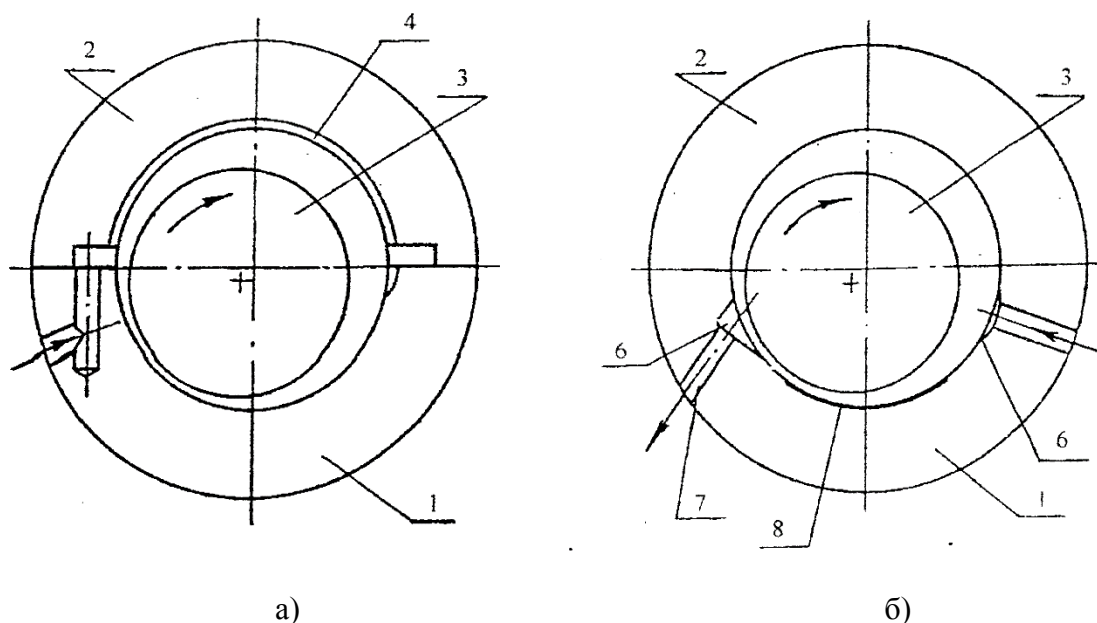


Рисунок 1 – Традиционная (а) и модернизированная (б) конструкция радиального подшипника: 1 – нижний полувкладыш; 2 – верхний полувкладыш; 3 – вал; 4 – маслораспределительный карман; 5 – полость отвода масла, 6 – отверстия отвода масла; 8 – микрорельеф

Испытаниями в НПО ЦКТИ была подтверждена эффективность такого способа подвода смазки для крупногабаритных радиальных подшипников втулочного типа [2]. Это позволило в дальнейшем разработать основные конструктивные мероприятия, направленные на улучшение основных статических характеристик крупногабаритных радиальных подшипников [2]:

- организация подвода смазки непосредственно на входе в несущий слой по направлению вращения вала;
- выполнение дополнительного отвода отработанного масла на выходе из несущего слоя в нижней половине вкладыша;
- исключение возможности заполнения маслом ненагруженных зон расточки;
- значение оптимальных параметров геометрии рабочей поверхности [2].

На основании результатов исследований, проведенных НПО ЦКТИ совместно с ЛМЗ, была разработана и внедрена на паровых турбинах К-200-130, К-300-240, К-500-240, К-800-

240, К-1000-60/3000 и К-1200-240 модернизированная конструкция радиальных подшипников втулочного типа диаметром 300–620 мм повышенной экономичности и надежности. Это позволило по сравнению с исходной конструкцией на 40–50% снизить в них потери мощности на трение и расход масла, уменьшить на 10–20°С температуру баббита и соответственно значительно повысить надежность и технико-экономические показатели энергоблоков.

Сравнительный анализ основных статических характеристик сегментных подшипников с индивидуальным подводом смазки и модернизированной конструкции втулочных подшипников диаметром 600 мм показал, что при относительно равных потерях на трение (240–260 кВт) и уменьшенном расходе масла (400–450 л/мин) тепловой режим работы подшипников втулочного типа является лучшим (температура баббита меньше на 15–18°С), а конструкция более простой, менее трудоемкой при изготовлении, сборке и монтаже турбоагрегата [2].

В связи с широким внедрением (с целью повышения пожаробезопасности) в паровых турбинах для АЭС огнестойкого масла НПО ЦКТИ совместно с УралВТИ и ЛМЗ выполнили большой объем необходимых исследований по определению влияния специфичных свойств ОМТИ на характеристики и работу подшипников, систем гидростатического подъема вала и аварийного маслоснабжения. Это позволило разработать и оперативно внедрить практические рекомендации по конкретному изменению масляных зазоров в подшипниках, конструктивному исполнению отвода отработанной смазки, и оптимизации параметров гидроподъемных устройств и элементов дозирующих устройств системы аварийной смазки, что соответственно повысило надежность паровых турбин К-800-240-5 и К-1000-60/3000 при работе на огнестойком масле ОМТИ [2, 4].

Наряду с исследованиями радиальных подшипников в НПО ЦКТИ были проведены многочисленные испытания различных конструкции радиально-осевых подшипников для газотурбинных установок НЗЛ мощностью 6–25 МВт и паровых турбин К-300-240, К-800-240 и К-1000-60 /3000 [2].

В результате выполненных исследований на основе отработки отдельных элементов конструкций (например, исполнения опирания, оптимального профилирования входной кромки, схемы охлаждения сегментов и т.д.) и оптимизации геометрических параметров были разработаны и внедрены эффективные, надежные и экономичные конструкции радиально-осевых подшипников [2].

Следует также отметить, что НПО ЦКТИ совместно с ЛМЗ выполнили широкий комплекс экспериментальных исследований систем гидростатического подъема вала, аварийного маслоснабжения подшипников, различных конструкций масляных уплотнений, в результате которых были разработаны и внедрены в мощных паровых турбинах их оптимальные схемы и конструкции [2, 4].

Кроме того, в 90-х годах по заказу ЛМЗ были проведены уникальные сравнительные поэтапные испытания радиального втулочного подшипника традиционной и модернизированной конструкции диаметром 750 мм на 3000 об/мин при повышенных удельных нагрузках [2], результаты подтвердили высокую надежность и экономичность разработанной конструкции, а также перспективность ее использования при проектировании крупногабаритных радиальных подшипников для турбоагрегатов мощностью 1400–2000 МВт для АЭС.

В заключение отметим, что НПО ЦКТИ и ЛМЗ на основе результатов обширных стендовых и станционных испытаний был накоплен большой практический опыт по совершенствованию конструкций подшипников скольжения и их элементов [2]:

– радиальных и радиально-осевых подшипников с целью повышения их надежности и экономичности (снижение на 35–40% потерь мощности на трение, расхода масла и температуры баббита, а также уменьшение 25–30% трения и износа рабочей поверхности за счет нанесения специального микрорельефа или газотермического напыления модифицированных антифрикционных материалов);

– систем гидростатического подъема вала (повышение на 20–25% надежности и экономичности работы за счет оптимизации параметров и элементов устройства системы аварийного маслоснабжения (обеспечение гарантированного и надежного маслоснабжения при аварийном останове);

– масляных уплотнений (сокращение на 50% протечек масла и исключение «разбивания» уплотнений на критических частотах вращения вала турбомашин).

Литература

1. Егоров, Н.П. Основные результаты экспериментальных исследований подшипников скольжения и их элементов для мощных паровых турбин. СПб. Изд. НПО ЦКТИ. Труды ЦКТИ. Выш. 281, 1997.

2. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 1. Совершенствование паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др. Под ред. Л.А. Хоменка – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2001. – 340 с.

3. Вишнинецкий, М.Г., Мищенко, Ю.И. Совершенствование радиальных подшипников. – М. НИИинформтяжмаш. – 1975. – № 29.

4. Егоров, Н.П. Исследование и совершенствование конструкции крупногабаритных опорных подшипников скольжения мощных паровых турбин: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.04.12 / Науч. произв. об-ние по исслед. и проектированию энерг. оборудования им. И. И. Ползунова. – Ленинград, 1989. – 22 с.

УДК 621.3

Гидроаккумулирующие электростанции

Казак А.А.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Гидроэлектростанции с насосным хранилищем можно найти во всем мире. Спрос на хранение, связанный с распределенными системами использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности с ветряной и солнечной энергией, открыл рынок для установок нового поколения, которые можно построить в гораздо меньших масштабах, будучи экономически жизнеспособными и экологически более приемлемыми, чем большие растения.

В настоящее время в Южной Африке действуют две крупные схемы хранилищ для перекачиваемой воды (ГАЭС): Drakensburg и Ingula. Оба они находятся в диапазоне до гигаватта, и два поменьше, один принадлежит Eskom (Palmiet, мощность которого составляет 400 МВт), а другой (Steenbras, мощностью 180 МВт), который принадлежит Кейптауну. Метро. Термин ГАЭС обычно ассоциируется с крупной станцией, включающей туннели и огромные плотины, и на ее завершение уходят годы.

До настоящего времени целью ГАЭС было сетевое хранилище, то есть объемное хранение «избыточной» энергии в сети, чтобы сбалансировать потребности во время пиковых нагрузок. Рост возобновляемой энергии и переход к распределенной генерации, микросетям и выживанию участков энергосистемы создали спрос на более мелкие единицы хранения, чтобы либо сбалансировать объем производства, либо обеспечить безопасность поставок.

Таблица 1 – Требования к объему воды для различных напорных

Напор	Объемное требование (м ³)	Приблизительные размеры резервуара
1000	366	100 м 2 х 3,66 м
500	732	200 м 2 х 3,66 м
250	1464	400 м 2 х 3,66 м
100	3660	1000 м 2 х 3,66 м
50	7320	1000 м 2 х 7,32 м
20	18 300	2500 м 2 х 7,32 м

Небольшие мощности в диапазоне десятков МВт или даже нескольких сотен МВт могут быть построены над землей и с использованием существующей инфраструктуры. Такие объекты, как заброшенные шахты, карьеры или даже высотные здания, были исследованы в качестве средств обеспечения необходимого хранения, и в настоящее время в мире осуществляется несколько проектов. Небольшие хранилища для перекачиваемой воды были успешно объединены с ветровыми электростанциями в островных приложениях, но в настоящее время рассматриваются и материковые районы.

В дополнение к сетевому хранилищу в сотни МВт, используемому для балансирования всей выработки ветра в регионе, небольшие системы ГАЭС рассматриваются в качестве дополнительного хранилища для ветряных и солнечных ферм размером от 15 до 300 МВт. Требуемый объем хранения зависит от режима работы станции, но, как правило, небольшие установки ГАЭС имеют размеры от 10 до 300 МВт при хранении в диапазоне от одного до четырех часов при полной мощности.

Существует много неправильных представлений о насосном хранилище и гидроэнергетике, и ГАЭС часто предлагается в качестве решения без учета вовлеченных факторов. Будет хорошо начать с некоторых основ. Важны два вопроса, а именно потенциальная энергия и мощность.

Потенциальная энергия

Потенциальная энергия, запасенная в водоеме на возвышенности, определяется как:

$$E_p = m * g * h \quad (1)$$

где

E_p - потенциальная энергия в джоулях

m - масса воды в кг

g - гравитационная постоянная = $9,81 \text{ м / с}^2$

h - высота (напор) воды в м.

Используя эту формулу, мы видим, что м^3 (1000 кг) воды с напором 1000 м имеют потенциальную энергию 2725 кВтч.

Должно быть совершенно очевидно, что гидроэнергетика, особенно ГАЭС, требует как большого количества воды, так и высокого напора. Для выработки 1 МВтч энергии с помощью вышеуказанной системы потребуется 366 м^3 воды, что примерно эквивалентно водохранилищу с площадью поверхности 100 м^2 и глубиной 3,66 м.

Малые ГАЭС обычно не связаны с высоким напором воды, и ясно, что необходимый объем воды может быть ограничивающим фактором для небольших систем. Там, где ожидаются искусственные верхние резервуары, это может быть ограничивающим фактором.

Мощность, вырабатываемая ГАЭС, будет зависеть от скорости потока и напора воды.

Для гидроэнергетической системы на основе реки или плотины скорость потока будет определяться скоростью потока, доступного из питающей реки. Для системы ГАЭС расход будет определяться требуемой мощностью генерации и типом турбины. Размеры труб будут определяться требуемым расходом.

Скорость потока будет ограничена напором и размером трубы. Это серьезно ограничивает использование некоторой существующей инфраструктуры, например шахтных стволов, поскольку плотина на уровне земли будет значительной по размеру, а подземное хранилище будет состоять из туннелей, которые могут потребовать герметизации.

Технологии

Требования к технологии малого ГАЭС значительно проще, чем у больших реверсивных насосных турбин, используемых в больших схемах, и во многих случаях может быть использована обратная технология насоса. В одной конфигурации используются два насоса в двойной конфигурации.

Такая конфигурация имеет то преимущество, что скорости накачки и скорости генерации могут различаться, что невозможно при фиксированной или даже с переменной скоростью насоса / турбины. Скорость накачки может быть скорректирована в соответствии с количеством доступной запасной энергии.

Преимущество использования существующей инфраструктуры состоит в том, что используется земля, которая уже деградировала и не может быть восстановлена. Строительство ГАЭС на деградированных землях обычно не приведет к дальнейшей деградации и даже может привести к улучшению. Кроме того, строительство соответствующей солнечной электростанции на старой шахте также не приведет к деградации. Таким образом, есть и экологические преимущества. Кроме того, ожидается, что затраты на строительство будут намного ниже, чем традиционные ГАЭС, так как большая часть земляных работ уже выполнена

Заброшенные шахты

Приблизительно 6000 заброшенных шахт в Южной Африке - это вариант, который заслуживает рассмотрения. Некоторые из них имеют глубины более 500 м, и почти у всех есть накопленная вода в подземных выработках. Использование заброшенных шахтных стволов в качестве водоёма ГАЭС регулярно предлагается при обсуждении накопления энергии, но насколько мне известно, детальное исследование не проводилось. Самая большая проблема - это резервуар в шахте, так как для хранения, скажем, 20 МВтч при глубине шахты 500 м потребуется, возможно, 20 000 м³ хранения воды с учетом эффективности. В некоторых случаях шахтный отвал или шламовая плотина могут рассматриваться как существующая инфраструктура, на которой будет основано водохранилище, но детальное исследование не проводилось.

Карьеры

Проект Kidston в Австралии является типичным примером карьера, планируемого для повторного использования в качестве ГАЭС. Как и предполагалось, планировалось

разработать гидроэнергетический проект накачки мощностью 330 МВт на старом золотодобывающем руднике Kidston, предусматривающий передачу воды между двумя карьерами на разных высотах.

Queensland является хорошим местом для разработки такого проекта, поскольку пиковая мощность в основном обеспечивается газотурбинными генераторами. Ожидается существенный рост цен на газ, что делает проект финансово интересным

Заброшенные подземные шахты

В разных странах существует несколько предложений использовать подземные шахты в качестве основы для ГАЭС. Среди более изобретательного использования существующие шахтные полости как для верхнего, так и для нижнего резервуаров, таким образом устраняя необходимость в новых резервуарах над уровнем земли. Это позволяет полностью сохранить проект с насосным хранилищем в существующих полостях шахты.

ГАЭС рассчитан на выработку около 200 МВт с емкостью хранения 4 часа. В верхнем резервуаре планируется вместить 600 000 м³ воды, а глубина шахты около 600 м. Горнопромышленный комплекс состоит из 26 км горизонтальных стволов, которые будут использоваться в качестве нижнего резервуара. Конструкция шахты имеет дополнительное преимущество благодаря воздушным шахтам, которые будут выпускать горячий воздух по мере заполнения нижнего резервуара, и тепло будет извлекаться с использованием теплообменников.

Малые прибрежные системы ГАЭС

Малые водоёмы довольно часто встречаются рядом с крупными реками, но их вместимость ограничена, во-первых, наличием напора и земли для верхнего водохранилища.

Резервуар для перекачки воды

Концепция, разработанная Австралийским национальным университетом и основанная на ГАЭС небольшого масштаба, представляет собой пары водохранилищ, обычно по 10 га каждый, разделенные перепадом высот от 300 до 700 м, в холмистой местности или на рудниках и вдали от рек, и соединены трубой с насосом / турбиной. Вода циркулирует между верхним и нижним резервуарами в замкнутом контуре для накопления и выработки энергии.

По-видимому, требуется очень мало воды по сравнению с обычными электростанциями на ископаемом топливе. Предполагаемые станции могут иметь мощность от 50 до 500 МВт и время хранения от 4 до 20 часов.

Проблемы с начальным заполнением и компенсацией за испарение и утечку. Утверждается, что такая сеть малых ГАЭС способна обеспечить достаточную емкость хранилища, чтобы обеспечить работу на 100% возобновляемых источников энергии.

Комбинированная ветроэнергетическая инфраструктура ГАЭС

Сочетает в себе идею объединения энергии ветра с аккумулирующей гидроэлектростанцией в проекте Gaildorf, расположенном в Германии на возвышенности Limburger Berge.

Проект будет включать в себя четыре новые турбины мощностью 3,4 МВт и насосную гидроэлектростанцию мощностью 16 МВт, поставляемую по отдельному соглашению. Германия хранит воду для гидроэлектростанций внутри башен ветряных турбин, что позволяет башням действовать как массивные батареи после ветра перестает дуть. Это первый важный пример физической интеграции двух технологий для обеспечения надежной возобновляемой энергии.

Проект с четырьмя турбинами накапливает энергию, закачивая воду примерно на 35 м вверх внутри самой турбины. Бассейны вокруг каждой базы будут хранить еще 45 м³. Когда ветер прекращается, вода стекает вниз для выработки гидроэлектроэнергии. Искусственное озеро в долине внизу собирает воду, пока турбины снова не накачают воду. Резервуары соединены полиэтиленовой заглушкой. Электростанция с насосным хранилищем имеет стандартную модульную конструкцию.

Основание каждой ветряной турбины должно использоваться в качестве резервуара для воды, увеличивая высоту башни на 40 м и увеличивая высоту наконечника до рекордных 246,5

м. Нижний резервуар для насосного хранилища находится в соседней долине, на 200 м ниже ветряных турбин. По словам Дженерал Электрик, ветряная и гидроэлектростанция сможет обеспечить балансирующую мощность для быстрой стабилизации сети. Это стало бы дополнительным источником доходов помимо обычного участия в оптовом рынке электроэнергии.

В периоды пикового спроса и высоких цен на электроэнергию гидроэлектростанция будет работать в режиме производства. Когда спрос и цены низкие, гидроэлектростанция будет работать в режиме насоса, перекачивая и сохраняя воду в верхнем резервуаре для дальнейшего использования. Конечным эффектом будет использование накопленной гидроэнергетики для уравнивания прерывистой природы энергии ветра за счет оптимального использования энергии в разное время дня.

В ветропарке будут представлены самые высокие турбины в мире на 246,5 м. Генераторы ветряных турбин будут располагаться на высоте ступицы 178 м, а нижние 40 м каждой башни и ее окрестности будут использоваться в качестве активных резервуаров для хранения энергии. На своей полной мощности он будет производить 13,6 МВт вместе с еще 16 МВт от гидроэлектростанции.

Турбины планируется ввести в эксплуатацию к концу 2017 года, а полная электростанция в Gaildorf, как ожидается, будет введена в эксплуатацию к концу 2018 года. Будет ли коммерческий проект пилотным, пока неизвестно. Немецкие насосные хранилища изо всех сил пытаются прибыльно работать, и цены на балансирующем рынке падают, поскольку все больше игроков выходят на рынок.

УДК 621.3

Возобновляемые источники энергии

Касатов А. Д., Ключев В.В.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Для начала следует разобрать, что такое возобновляемые источники энергии. Под ними подразумевают те источники энергии, которые в человеческих масштабах исчерпать является не реальным. Простейшими и популярнейшими примерами являются энергия солнца и энергия ветра. Эти источники имеют ряд положительных качеств, которые выгодно выделяют их на фоне стандартных источников энергии использующихся повсеместно, а именно: мазут, уголь, природный газ и тд. В этот ряд можно отнести:

1) Фактически безотходность солнечных и ветряных электростанций. Обусловлено это отсутствием потребности в сырье, так как при использовании горючего топлива выбрасывается огромное количество отходов в том числе и радиационных. Из чего выходит пункт 2.

2) Экологичность. Проблемы экологии на данный момент одна из самых важных тем на повестке дня. Поэтому возобновляемые источники энергии становятся все более востребованными на территории западной Европы, так как обладают сравнительно высокой экологичностью.

3) Один энергетический элемент занимает относительно малые габариты, что позволяет использовать их в обычной повседневной жизни. Относительно небольшой размер солнечных батарей привел к активной эксплуатации их в экваториальных странах, где люди размещают их на крышах своих домов.

Стоит рассмотреть самые популярные методы получения энергии из возобновляемых источников энергии.

Солнечная энергия

Солнечные панели и солнечные батареи работают по принципу растений, которые путем фотосинтеза поглощают солнечную энергию, преобразовывая в органические вещества из неорганических. В отличие от растений панелям нет никакой необходимости в неорганических веществах, так как они работают за счет нагревания фотоэлементов.

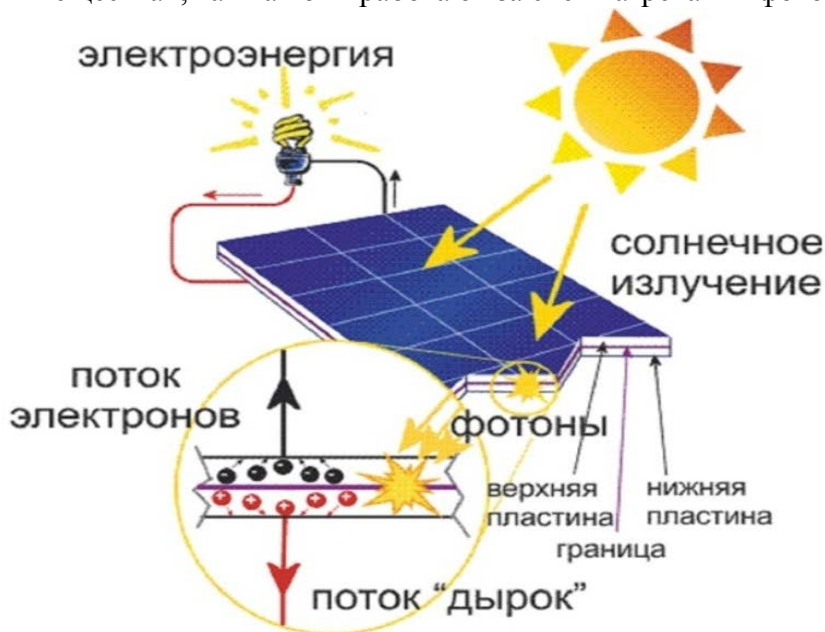


Рисунок 1 – Принцип получения электроэнергии из солнечного излучения

Солнечная электроэнергия стала неотъемлемой частью жизни человека, маленькие солнечные батареи дали жизнь калькуляторам. Солнечные батареи активно используются в космической промышленности как способ получения электроэнергии и не только.

Солнечный парус или так называемый фотонный парус. Явления инженерии, которое в будущем способно заменить привычные источники энергии в космической промышленности. Принцип действия прост: парус - зеркальная ткань, воспринимающая энергию фотона, под давлением двигает тело. Фотонный парус может действовать в течении почти не ограниченного периода времени, что очень выгодно в длительных космических перелетах.

Так же очень велико влияния солнечных батарей в плане яхтинга. Получение электричества за счет энергии солнца может обеспечивать не только работу связи и навигационных систем, но и в принципе полной автономности. Это привело к развитию яхтенного туризма. На парусных яхтах используется не только солнечная, но и энергия ветра за счет классических в нашем понимании парусов.

Энергия ветра

Энергия ветра использовалась с еще с давних времен и не только в выше перечисленных парусных яхтах. Примером становятся ветряные мельницы. Ветряные мельницы стали прародителями ветряных генераторов. Помимо ветрогенераторов, для получения энергии используют турбины.

Как работают ветряные турбины? Когда ветер дует мимо ветряной турбины, его лопасти захватывают кинетическую энергию ветра и вращаются, превращая ее в механическую энергию. Это вращение поворачивает внутренний вал, соединенный с коробкой передач, что увеличивает скорость вращения в 100 раз. Это вращает генератор, который производит электричество.

Как правило, стоят ветровые турбины на высоте 80 метров, трубчатые стальные башни поддерживают ступицу с тремя прикрепленными лопастями и «гондолой», в которой размещены вал, коробка передач, генератор и органы управления.

Типичная современная турбина начинает вырабатывать электричество, когда скорость ветра достигает 6-9 миль/ч (9,6-14,5 км/ч). Турбина будет отключена, если ветер дует слишком сильно (примерно 88 км/ч), чтобы предотвратить повреждение оборудования.

В течение года современные турбины могут генерировать полезное количество электроэнергии более чем в 90 процентах случаев.

Энергия ветра привлекает множество инвестиций во многих странах мира. В соседней Литве многие люди мечтают о собственном ветряке, инвестиции в который способны обеспечить безбедную старость. При средней стоимости в пол миллиона долларов окупаемость в 10% процентов годовых может наблюдаться даже в нашем регионе.



Рисунок 2 – Ветроэнергетические установки

Еще одной неисчерпаемой энергией можно назвать и энергию прибоев, образываемой в результате приливной силы. Как известно приливы и отливы случаются под влиянием луны. Для получения энергии прибоя используются ПЭС – приливные электростанции.

Они повсеместно используются на океанских побережьях.

Базовый режим работы крупнейшей ПЭС способен производить до 80 000 000 кВт.

Принцип работы:

Перекрывается заток или устье реки плотиной, которой контролируется напор воды, необходимой для вращения лопастей турбины по принципу действия схожей с ветряной турбиной. Механическая энергия превращается в электрическую с помощью гидрогенератора, находящегося в теле платины. При правильной установке платина ПЭС способна вырабатывать энергию на протяжении 5 часов в день. Идеальная скорость потока воды через турбину составляет от 5 до 11 км/ч. При данном течении турбина длиной 15 метров способна вырабатывать энергию, равную воздушной турбине длиной 60 метров.

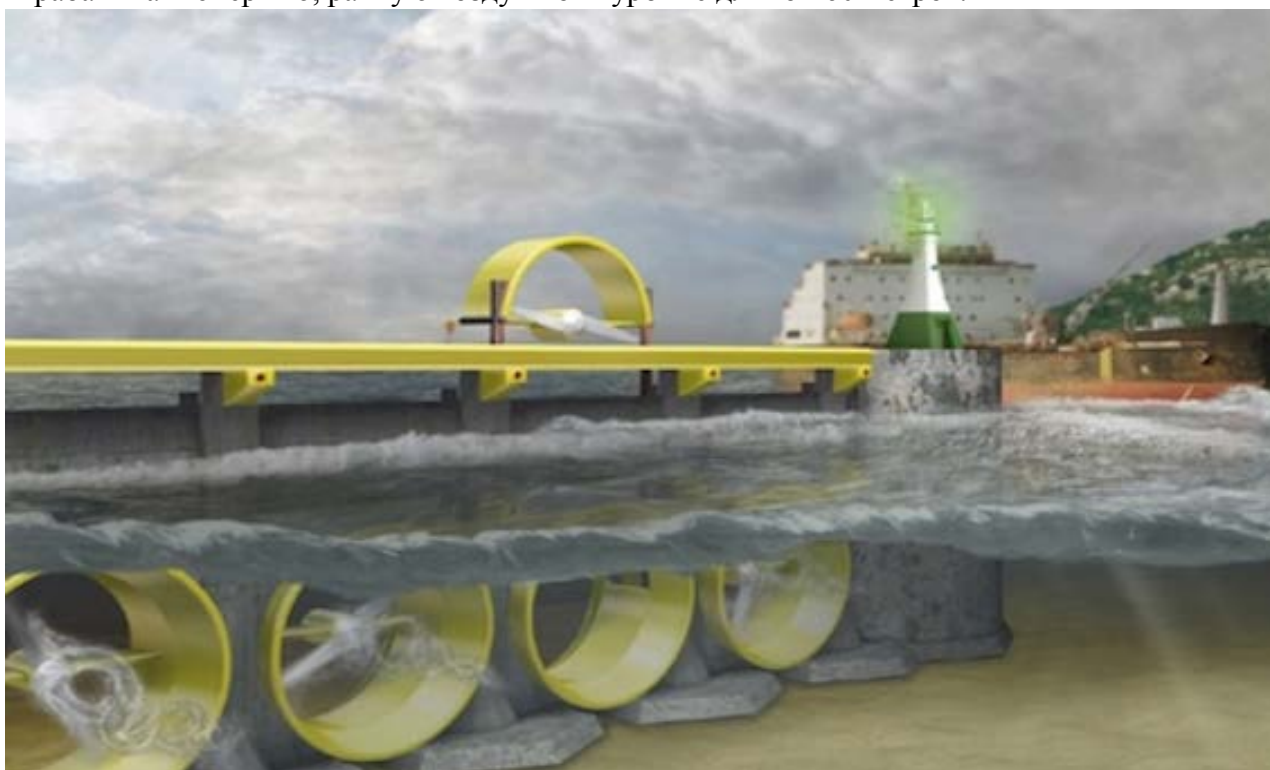


Рисунок 3 – Плотина ПЭС

Количество мусора, производимого во всем мире, ошеломляет. Средний человек производит более 1500 граммов каждый день. Этот мусор на самом деле является сокровищницей энергии. Он содержит много отходов животного происхождения и других форм биомассы. Твердые отходы крупных городов, как говорят, содержат достаточно энергии, чтобы осветить дома и предприятия по всей стране в течение целого года. Проблема заключается в том, как получить энергию из твердых отходов.

Одним из способов высвобождения энергии из твердых отходов является их сжигание. Однако перед сжиганием твердых отходов их необходимо обработать и высушить. В некоторых странах фермеры веками перерабатывают такие отходы для использования в качестве топлива. Они просто сушат твердые отходы животного происхождения на солнце.

На современных очистных сооружениях твердые отходы перерабатываются таким образом, чтобы их можно было сжигать. Затем энергия из отходов используется для производства пара для электрического генератора. В результате процесса выделяются отработанные газы, которые загрязняют воздух. Тем не менее, завод помогает утилизировать отходы путем очистки. Последний представляет собой способ очистки отработанного дыма с помощью воды. Вода распыляется в дым, растворяя некоторые из загрязняющих газов.

Много твердых отходов сбрасывается на свалки. Здесь бактерии поглощают и переваривают отходы. Затем бактерии выделяют природный газ, который состоит в основном из метана.

Метан-это парниковый газ. Некоторые фермеры собирают метан из отходов животноводства. Метан можно перекачивать в магистральную газовую систему, откуда он поступает в дома для приготовления пищи и отопления. Ученые ищут способы получения большего количества метана со свалок. Это также поможет решить проблему удаления отходов.

УДК 621.311.22:621.182.2

Естественная циркуляция в котлах-утилизаторах парогазовых установок

Михалченок В.Ю., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

В паровых котлах на докритические параметры генерируемого пара возможны различные схемы движения среды в испарительных поверхностях теплообмена, представленные на рисунке 1 [1]:

- с естественной циркуляцией (рисунок 1,а), при которой движение среды происходит за счет разницы плотностей однофазного водяного (в опускных трубах) и двухфазного пароводяного (в подъемных трубах) потоков, создаваемого подводом тепла топлива;
- с принудительной циркуляцией (рисунок 1,б), при которой сопротивление движению среды в испарительном контуре преодолевается за счет напора циркуляционного насоса;
- с прямоточным испарителем (рисунок 1,в), в котором вода испаряется за один ход, а гидравлическое сопротивление преодолевается питательным насосом.

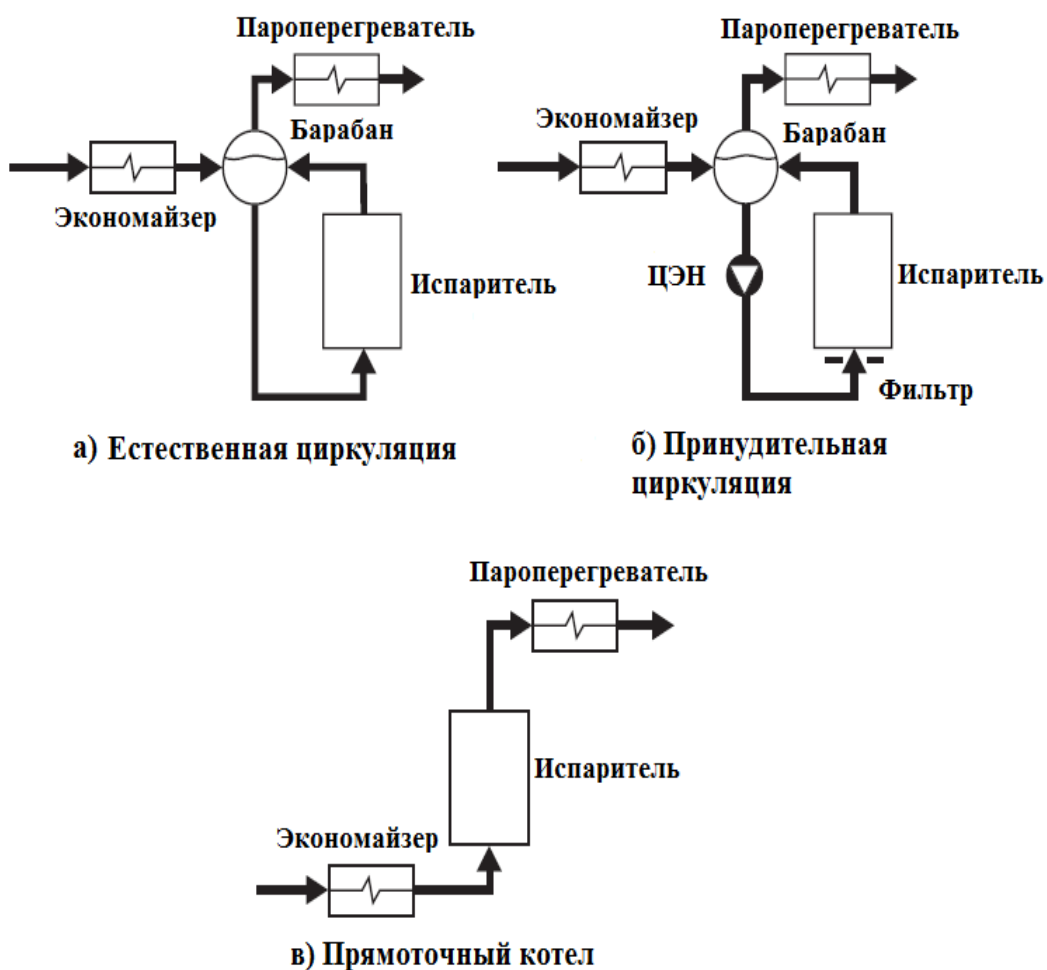


Рисунок 1 – Схема движения среды в испарительной поверхности парового котла

Широкое распространение получили барабанные паровые котлы с естественной циркуляцией. Основное преимущество барабанных котлов по сравнению с прямоточными – возможность использования питательной воды более низкого качества, а также снижение гидравлического сопротивления пароводяного тракта.

Среди котлов-утилизаторов парогазовых установок различают котлы с горизонтальным и вертикальным движением газов [2].

В горизонтальных котлах-утилизаторах с вертикальным расположением испарительных

труб применяется естественная циркуляция (рисунок 2,а). Движение среды в контуре циркуляции с традиционными испарителями с вертикальным расположением труб происходит, в основном, за счет полезного напора в поверхности испарения, поскольку вертикальный испаритель $H_{исп}$ занимает большую часть высоты контура $H_{оп}$ (рисунок 3,а) [1].

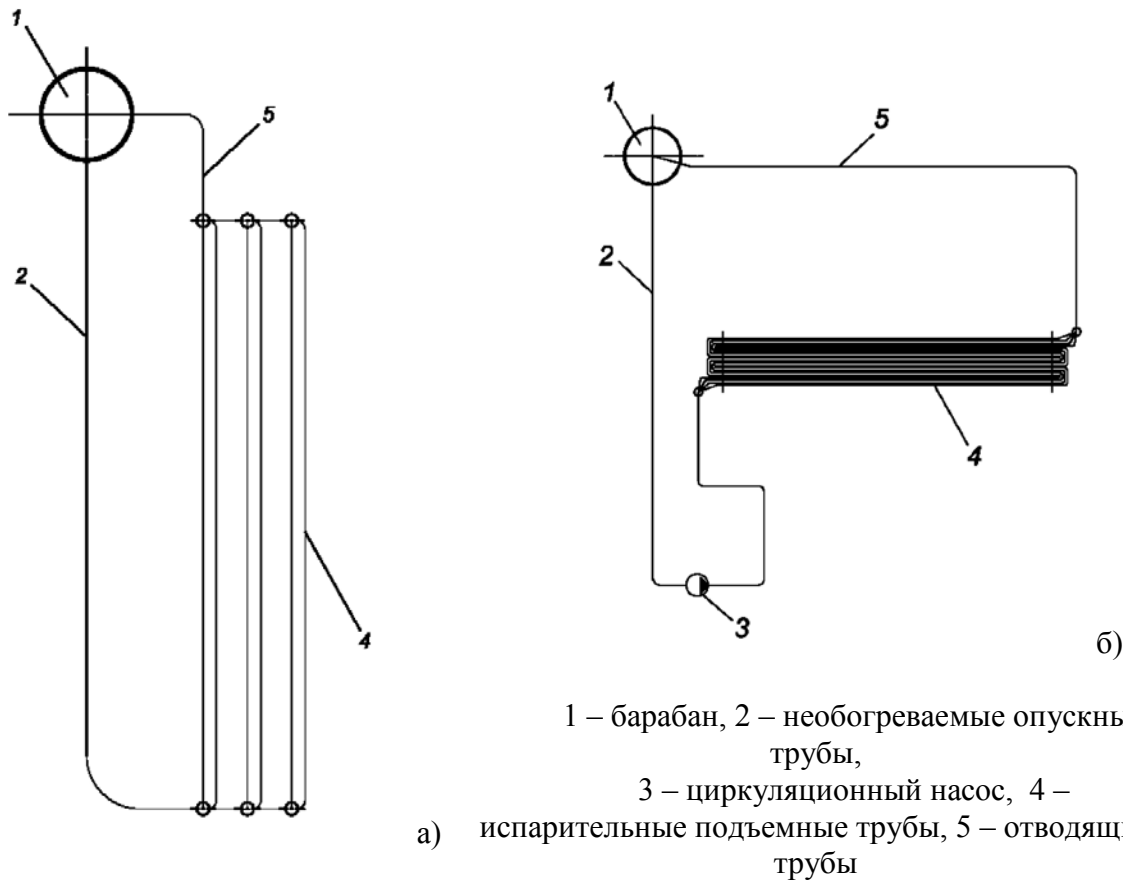


Рисунок 2 – Испарительный контур горизонтального котла-утилизатора с естественной циркуляцией (а) и вертикального котла-утилизатора с многократной принудительной циркуляцией (б)

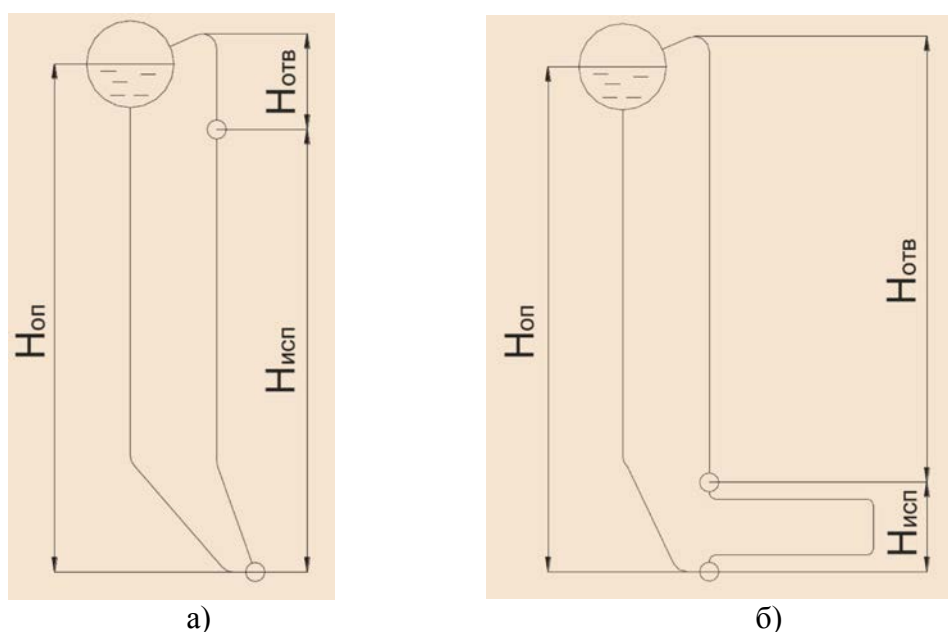


Рисунок 3 – Схема контура циркуляции с вертикальным расположением труб испарителя (а) и с горизонтальным расположением труб испарителя (б)

Наряду с горизонтальными котлами-утилизаторами в составе парогазовых установок большое распространение получили вертикальные котлы-утилизаторы, которые требуют меньших размеров котельной ячейки, более просты при монтаже. Однако в таких котлах затруднительна естественная циркуляция.

Движение среды в циркуляционном контуре вертикального котла-утилизатора с горизонтальным испарителем (рисунок 2,б) не может быть организовано только за счет полезного напора в теплообменной поверхности, поскольку высота горизонтального испарителя $H_{\text{исп}}$ мала относительно высоты контура $H_{\text{оп}}$. По этой причине величины движущего напора в испарителе может не хватить для преодоления сопротивления всех элементов контура циркуляции (рисунок 3,б) [1].

В котлах, в которых осуществить устойчивую естественную циркуляцию не возможно, в том числе с горизонтальным расположением труб испарителя, применяют циркуляционные насосы (рисунок 2,б). Это приводит к увеличению капитальных затрат и снижению экономичности вследствие повышения расхода электроэнергии на собственные нужды.

Кратность естественной циркуляции обеспечивает режимы со сравнительно небольшим паросодержанием пароводяной смеси в испарительных поверхностях и интенсивным отводом теплоты от металла труб. Это позволяет располагать испаритель в топке парового котла и использовать сравнительно недорогие конструкционные стали.

Кратность циркуляции в контуре с принудительной циркуляцией существенно ниже и не превышает 2–4. Высокие значения массового паросодержания при этом приводят к снижению интенсивности теплообмена в испарителе. Указанное обусловило широкое применение режимов естественной циркуляции в большинстве традиционных паровых котлов на докритическое давление, сжигающих органическое топливо.

Исследования, проведенные в [1] показали принципиальную возможность организации естественной циркуляции в контуре с горизонтальным расположением труб испарителя. Это позволит отказаться от циркуляционного насоса и повысить надежность и эффективность работы котлов-утилизаторов вертикального типа.

В работе [1] рассматривалось влияние увеличения нивелирного напора или уменьшения гидравлического сопротивления опускных, отводящих труб и испарительной поверхности теплообмена на работу контура.

Также в работе [1] был исследован испаритель, выполненный из наклонных труб (рисунок 4). Численный эксперимент показал, что с увеличением угла наклона труб с 0 до 7° кратность циркуляции возрастает примерно в 1,5 раза, однако при этом высота установки барабана увеличивается также примерно в 1,5 раза. Это означает увеличение капитальных затрат и усложнение конструкции котла-утилизатора, при том, что кратность циркуляции остается меньше кратности циркуляции при использовании циркуляционного насоса и недостаточной для организации естественной циркуляции.

Анализ различных вариантов конструкции испарительного контура для вертикальных котлов-утилизаторов выявил технические решения, которые могут обеспечить устойчивую естественную циркуляцию в котлах-утилизаторах в широком диапазоне паропроизводительностей и давлений генерируемого пара [1]:

- увеличение числа труб в змеевике при использовании однопетлевой поверхности нагрева испарителя;
- увеличение числа опускных и отводящих труб;
- увеличение шага оробрения первых по ходу газов труб испарителя;
- увеличение ширины газохода;
- применение более плотного пучка труб испарителя.

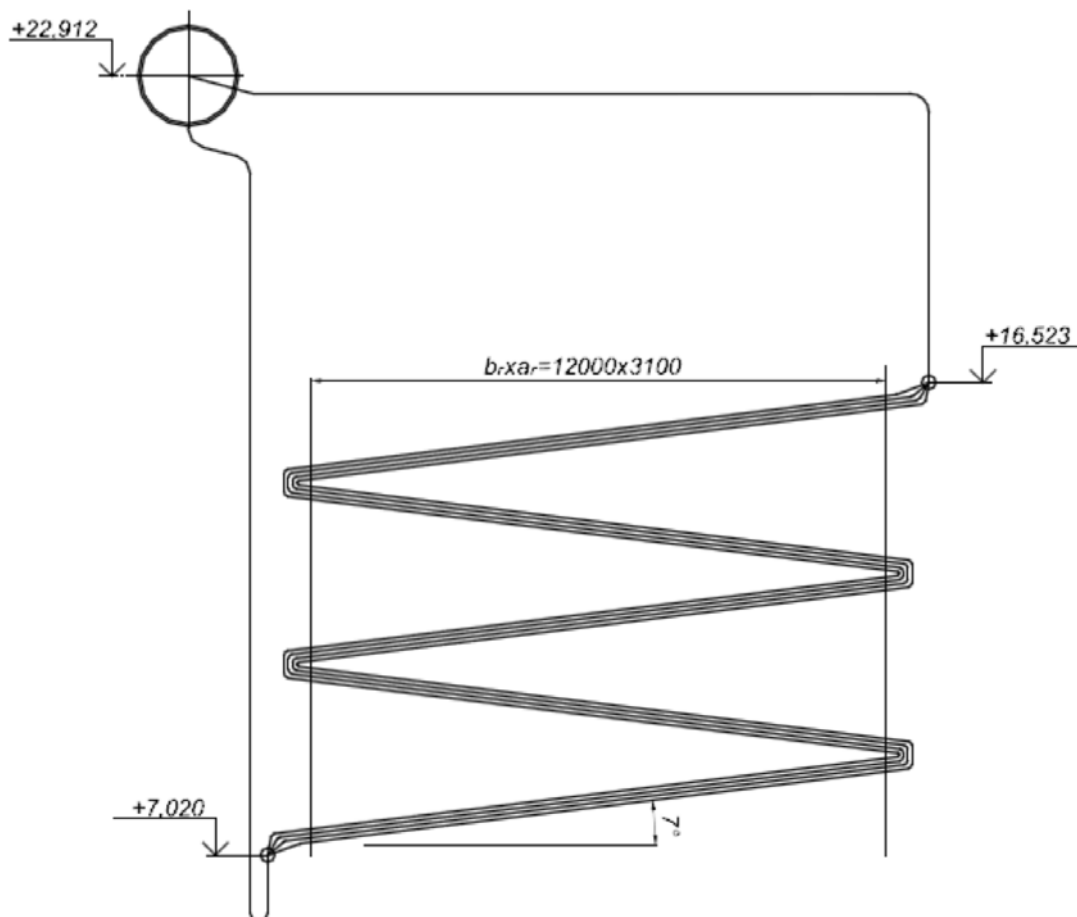


Рисунок 4 – Схема контура циркуляции с наклонными трубами

По сравнению с прямоточными котлами-утилизаторами металлоемкость вертикальных котлов-утилизаторов с естественной циркуляцией, как правило, выше за счет большего количества опускающих и отводящих труб. Преимуществами являются исключение из схемы циркуляционного насоса и фильтров, и, соответственно, сокращение капитальных вложений на их приобретение и обслуживание, а также снижение расходов электроэнергии на собственные нужды станции, повышение надежности работы котла-утилизатора за счет роста кратности циркуляции в испарительном контуре и отсутствия дополнительных технически сложных устройств.

Литература

1. Исследование естественной циркуляции в вертикальном котле-утилизаторе: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.14.14 / Стерхов Кирилл Владимирович; [Место защиты: Нац. исслед. ун-т МЭИ]. – Москва, 2017.
2. ГОСТ Р 55603-2013 Котлы паровые утилизаторы парогазовых установок. Типы и основные параметры // Национальный стандарт Российской Федерации. – 2013.

УДК 621.165

Установка устройства для глубокой утилизации теплоты дымовых газов

Пантелей Д.Е.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Целью установки устройства для глубокой утилизации теплоты уходящих дымовых газов является повышение эффективности использования топлива с использованием физической теплоты и теплоты фазового перехода водяных паров, которые находятся в дымовых газах.

Для оценки эффективности внедрения установки системы глубокой утилизации теплоты дымовых газов рассматривают показатели работы только паровых котлов.

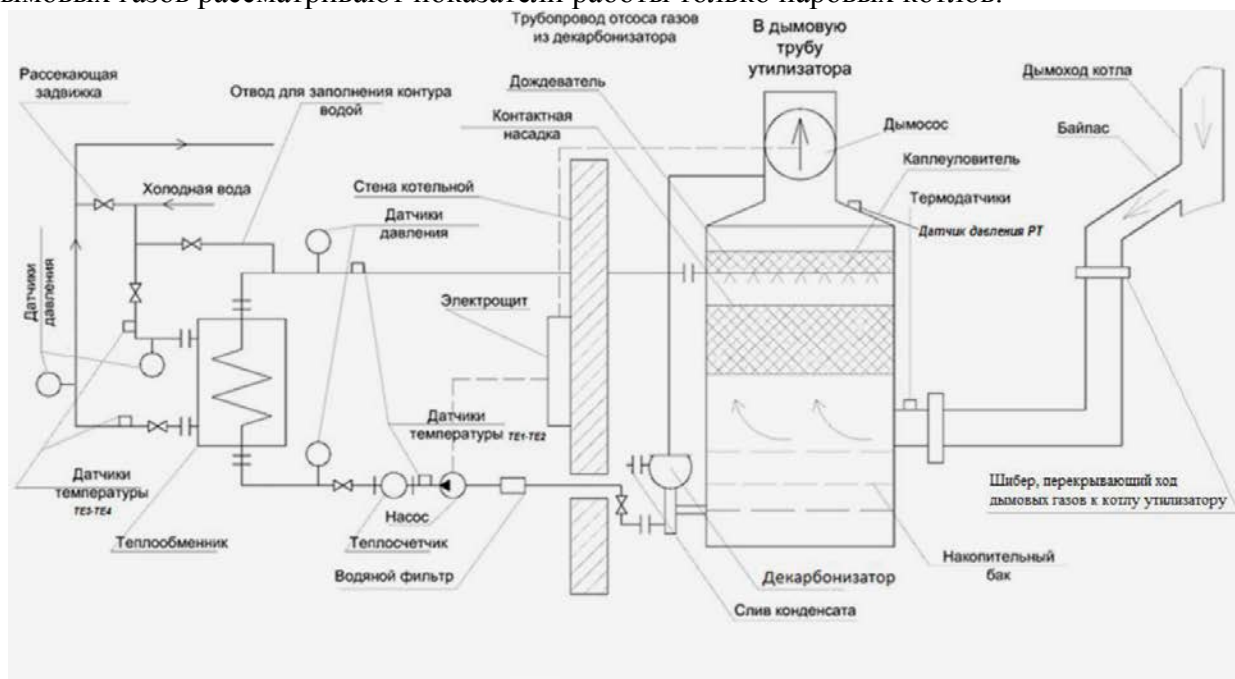


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки утилизатора

Схема установки устройства разработана так, чтобы максимально исключить ее воздействие на вероятность возникновения аварийных ситуаций в работе котельной. В качестве основного оборудования объекта используются: утилизатор с декарбонизатором, дымосос, водяной фильтр, насос, теплосчетчик, теплообменник. Отбор дымовых газов (ДГ) осуществляется от дымохода котла самостоятельным дымососом с тем, чтобы минимально вносить изменения в существующие дымоходы, а отключение утилизатора (при необходимости либо аварийное) не влияло на режим работы котлоагрегата. Дымовые газы после утилизатора выбрасываются в дымовую трубу утилизатора. Для повышения работоспособности дымовых труб, через которые ДГ выбрасываются в атмосферу, необходимо, чтобы пары воды, находящиеся в ДГ, не начали конденсироваться в дымовых трубах при самых низких температурах окружающей среды.

В результате принято выбрасывать в атмосферу ДГ вместе с парами воды при температуре выше 100 °С, а теплоту парообразования, так как она не используется в теплообменных процессах, считать паразитной. Поэтому длительное время для упрощения тепловых расчетов всевозможных термических печей, в том числе водогрейных и паровых котлов, учитывается только низшая теплота сгорания топлива.

Для подогрева холодной воды используется промежуточный теплообменник, который включен в замкнутый контур утилизатора, что исключает попадание воды из контура утилизатора в тепловую сеть котельной. Циркуляция воды в замкнутом контуре обеспечивается с помощью насоса, а требуемый подпор для насоса достигается за счет высоты воды в накопительном баке утилизатора (материал изготовления нержавеющей сталь),

который регулируется с помощью расположения на определенном уровне контрольного слива избыточного конденсата.

Нагретая вода из накопительного бака после насоса поступает в теплообменник, где нагревает холодную воду и далее после охлаждения поступает в дождеватель и контактную насадку. В контактной насадке происходит интенсивный тепло- и массообмен между дымовыми газами и нагреваемой водой. С учетом того, что температура поступающей в насадку воды ниже точки росы водяных паров в дымовых газах, обеспечивается частичная конденсация водяных паров с передачей теплоты фазового перехода нагреваемой воде, а также последующего частичного догрева воды в нижней части насадки и в промежутке между насадкой и уровнем воды в накопительном баке за счет физической теплоты дымовых газов. В процессе контакта воды с дымовыми газами осуществляется частичное растворение в воде CO_2 и кислорода и образуется слабая угольная кислота.

Для удаления растворенных газов предусмотрена установка вакуумного декарбонизатора, разрежение в котором обеспечивается за счет соединения его свободного пространства с дымососом.

В ходе монтажа и в процессе эксплуатации возможно частичное разрушение колец Рашига в насадке. Для предотвращения попадания обломков в контур утилизатора предусматривается установка перед насосом водяного фильтра. В контуре холодной воды предусматривается

регулирующая арматура (электрифицированный регулятор расхода) перед которой устанавливается трубопровод, через который осуществляется отбор воды, поступающей в теплообменник, а после нагрева по обратному трубопроводу, соединяющему теплообменник с трубопроводом холодной воды после регулирующей арматуры, возвращается в прежний контур.

При разработке конструкторской документации рассматривают вопрос уноса капельной влаги в дымовую трубу по причине недостаточно эффективной работы каплеуловителя и вакуумного декарбонизатора системы утилизатора и внесены соответствующие изменения по снижению уноса.

Такая схема установки и использования утилизатора максимально исключает воздействие утилизатора на вероятность возникновения аварийных ситуаций в работе котельной при любых режимах ее работы.

Ведение учета тепловой энергии предусматривается как по греющей среде, так и по нагреваемой. Следует отметить, что тепловая энергия, производимая утилизатором, является низкотемпературным вторичным энергоресурсом с температурой теплоносителя не более 40 °С.

По опыту внедрения установки глубокой утилизации дымовых газов на других объектах, после установки утилизатора со вспомогательным оборудованием проводятся пусконаладочных испытаний с контролем кислотности воды. При отклонении данного параметра от допустимых значений, конструкторской документацией предусмотрено внедрение в схему установки утилизатора устройства дозирования химических реагентов (комплексон), для приведения данного показателя к нормативным значениям.

Эффективность подобных проектов зависит от теплопроизводительности утилизатора, величина которой, с одной стороны, определяется возможным объемом использования теплоты дымовых газов, а с другой – возможным объемом подогрева подпиточной воды.

Полученные результаты расчета показывают, что при использовании утилизатором 100% уходящих дымовых газов от котла ДКВР-10/13 за год работы установки возможно вернуть в цикл 2193,8 Гкал тепловой энергии, что при КПД котла 92,8% эквивалентно 337,7 т у.т. За вычетом используемой установкой электроэнергии в размере 74,4 тыс. кВт.ч, экономия после реализации мероприятия (при соблюдении аналогичных расчётных параметров работы) составит 319,4 т у.т. Полученную тепловую энергию, посредством добавления в схему дополнительного теплообменника, предлагается использовать для нагрева подпиточной воды. Технические возможности утилизатора позволяют нагревать сырую воду

до 47 °С и направлять в тепловую схему котельной.

Назначение коммутационных аппаратов наглядно можно показать на электрической принципиальной схеме.

ячейка станционного РУ

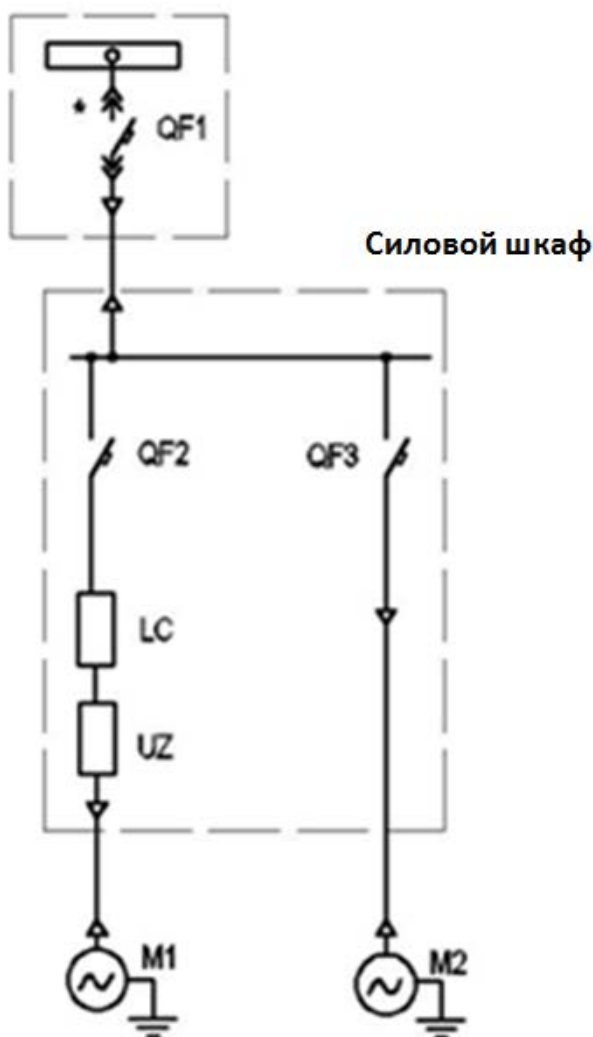


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная

С шин силового шкафа запитываются:

1. Электродвигатель дымососа (M1) – через сетевой фильтр и преобразователь частоты.
2. Электродвигатель циркуляционного насоса (M2) – по схеме прямого пуска.

Автоматический выключатель QF2 предназначен для защиты преобразователя частоты. Защита электродвигателя дымососа осуществляется встроенными защитами ПЧ. QF3 – для защиты электродвигателя циркуляционного насоса от токов короткого замыкания и перегрузки.

К циркуляционному насосу кабель прокладывается по вновь проложенной металлической трубе (Ду 35). Кабель для электродвигателя дымососа прокладывается по новой трассе.

Проектом предусмотрены следующие автоматические отключения коммутационной аппаратуры силового шкафа:

- При аварии ПЧ отключается автомат QF2.
- Отключение QF3 при понижении давления в трубопроводе циркуляционной воды ниже определенного уровня.
- Отключение одного из автоматов (QF2 или QF3) ведет к отключению второго.

На время пуска механизмов кулачковые переключатели SA1 и SA2 на дверце силового

шкафа необходимо перевести в положение «откл.» На дверце шкафа предусмотрены также сигнализационные лампы положения автоматов (QF2 и QF3) и статус ПЧ (Работа/Авария). Возле каждого двигателя располагаются кнопки аварийного отключения.

Автоматическое регулирование частоты вращения электродвигателя дымососа обеспечивает встроенный ПИД-регулятор преобразователя частоты. Частота вращения дымососа определяется требуемым давлением дымовых газов внутри утилизатора теплоты. Для этого устанавливается датчик давления РТ с выходным сигналом 4-20 мА.

Для обеспечения визуального контроля температуры дымовых газов до и после утилизатора теплоты, нагреваемой воды до и после теплообменника, устанавливаются четыре измерительных термометров сопротивления (ТЕ1-ТЕ4) с последующим выводом показаний на табло измерительных индикаторов (ТИ1-ТИ4). Давление дымовых газов также выводится на индикатор (ТИ5), которые находятся в шкафу индикаторов.

Для защиты циркуляционного насоса от работы вхолостую предусматривается использование данных сигнала от датчиков давления. Врезки для них предусмотрены до и после теплообменника. При понижении давления до недопустимого уровня от датчиков давления подается сигнал на отключение насоса. Сигналы о пониженном давлении выводятся в штатную сигнализацию ГЩУ.

Вывод всех показаний также предусматривается на АРМ оператора, начальника смены и панель дистанционного управления типа VIZOGRAF.

Все средства измерений должны быть метрологически обеспечены в Республике Беларусь.

Вся арматура выполняется электрифицированной с управлением по месту и с АРМ.

Предусматривается установка АРМ-оператора на базе сенсорной панели (размер 10") и вывод предупредительной сигнализации на щит управления или в любом доступном месте.

С АРМ-оператора обеспечивается управление всем оборудованием: электропривода, задание регулятору, управление насосом и дымососом, контроль всех параметров.

Для этого предусматривается отдельный контроллер с реализацией функций:

- ПИД-регулятора давления газов, с выдачей управляющего сигнала на ПЧ и отображением на мнемосхеме АРМ панели управления (задание, перевод на «авто» и «ручной» режимы);

- учета тепловой энергии по потокам и расходам газов и воды, с выдачей информации на АРМ-оператора;

- предупредительной (по уставкам) и технологической сигнализации, с выдачей на АРМ;

- сбор, обработка и контроль основных параметров, с выдачей на мнемосхему АРМ;

- выполнение технологических алгоритмов работы;

Реализация блокировок с выдачей на АРМ.

Для контроля параметров по месту предусматриваются манометрические термометры и технические манометры.

Для управления арматурой, насосом и дымососом по месту устанавливаются кнопочные посты.

Срок службы устройства системы глубокой утилизации теплоты дымовых газов составляет 20 лет.

В итоге, можно выделить следующие преимущества использования устройства для утилизации теплоты дымовых газов: уменьшение выбросов вредных оксидов азота и серы, рациональное использование тепла дымовых газов, получение очищенной воды, которую можно использовать повторно.

УДК 621.3

Будущий вклад в ядерную и радиационную безопасность

Салькевич Я.А.

Научный руководитель – ст. препод. БУРОВ А.Л.

Атомная электрическая станция является важнейшим объектом энергосистемы каждой «ядерной» страны. Ее эксплуатация всегда находится под строгим контролем соответствующих органов, следящих за безопасностью. Поэтому важным пунктом использования атомной энергии является соблюдение НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций». Но, несмотря на большое количество нормативно-правовых документов, принятых в нашей стране относительно ядерной и радиационной безопасности, эксплуатации атомной станции (НП ЯРБ от 31.05.2010 № 22 (в ред. от 31.08.2013 № 37); ТКП 360-2011 от 31.10.2011 № 55; Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся радиоактивных материалов и связанных с ними установок и др.), большая часть населения страны не осведомлена в этой области и из-за чрезвычайных ситуаций прошлых лет (авария на Чернобыльской АЭС, на АЭС в Фукусиме) необоснованно, в большинстве случаев, боится «атома» [1]. Поэтому так важно уделить внимание проведению Единого дня безопасности в нашей стране и волнующим население вопросам, таким как ядерная и радиационная безопасность.

В данный момент я являюсь студентом 5 курса и непосредственного влияния на ядерную и радиационную безопасность своей страны не могу оказать. Хотя сейчас это и не так важно, ведь сейчас основной задачей учащейся молодежи является изучение вопросов, связанных с атомной станцией, ознакомление с соответствующими законодательными документами. Ведь основой крепкой державы является грамотно обученный специалист, а после ратификации Законом Республики Беларусь №76-3 от 11 ноября 1997 г Венской конвенции, грамотный специалист – оператор стал гарантом безопасности страны в области ядерной и радиационной безопасности [2].

Опираясь на вышеизложенное мышление, я выбрала свой путь в развитии ядерной безопасности: я избрала преподавание, так как очень важно дать крепкие и необходимые знания начинающему специалисту. Ведь можно очень долго говорить о том, что в нашей стране существуют явные проблемы с культурой безопасности, но при этом решительные действия не предпринимаются, так как решение будет состоять в полном переломе системы образования. А проблема с качественной подготовкой кадров вполне является решаемой и требует только мотивации обучающего специалиста. Поскольку я студент, то уже сейчас подмечаю недочеты в современной системе образования, которые в будущем смогу исправить: использование новейшей информации для обучения студентов, внедрение современного программного обеспечения, детальное ознакомление с законодательством нашей страны в области атомной энергетики, а также создание заинтересованности у студентов к научной деятельности, которой буду заниматься и я.

В итоге мои действия, как многим будет казаться, не будут оказывать прямого влияния на ядерную и радиационную безопасность, ведь я не буду заниматься разработкой необходимых законопроектов, проведением вероятностных и детерминистических анализов безопасности различных аварий на атомных станциях или же разработкой оборудования нового образца. Я всего лишь буду заниматься изучением проблем на своем «локальном» уровне и поиском их решений в своих научных работах. И пусть некоторые скажут, что я просто преподаватель, но осознание того, что были подготовлены качественные специалисты со знанием своего дела, которые разбираются в необходимых для их трудовой деятельности вопросах, делает меня как минимум более уверенной относительно безопасности нашей страны.

Литература

1. Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников

ионизирующего излучения. Санитарные нормы и правила: утв. Министерство здравоохранения. – 31.12.2013 г. – №137.

2. О ратификации Венской конвенции о гражданской ответственности за ядерный ущерб: Закон Республики Беларусь, 1 ноября 1997 г., № 76-3// Ведомости Национального собрания Республики Беларусь. –1998. – №16. –Ст. 207

УДК 621.165

Совершенствование уплотнений паровых турбин

Сацкевич Я.М., Шнипова М.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Система уплотнений паровой турбины предназначена для исключения поступления атмосферного воздуха в вакуумную систему через концевые уплотнения цилиндров, а также для предупреждения выхода пара в атмосферу из цилиндра с избыточным его давлением в них [1].

В начальный период развития паротурбинной энергетики преобладали одноцилиндровые турбины с низкими начальными параметрами пара. Уплотнения их цилиндров имели 3 камеры со стороны избыточного давления пара:

- отвода протечек пара в вакуумный отбор,
- подвода уплотняющего пара,
- отвода паровоздушной смеси в атмосферу машинного зала.

Уплотнения цилиндров со стороны разрежения (вакуума) имели 2 камеры:

- подвода уплотняющего пара;
- отвода паровоздушной смеси в машинный зал.

Камеры подвода уплотняющего пара располагались между камерой отвода паровоздушной смеси в машинный зал и отводом протечек пара в сторону вакуума. Контроль за уплотнениями производился по облачку пара из «вестовой» трубы, отводящей в машинный зал паровоздушную смесь из камеры каждого уплотнения. Для обнаружения выхода перегретого (невидимого) пара над вестовой трубой устанавливалась металлическая лопасть на оси, вертушка или полоски тонкой фольги. Управление работой уплотнений производилось с помощью вентиля на трубах подачи уплотняющего пара к каждому уплотнению или вентиля на отводящих трубах протечек пара в сторону вакуума при наличии избыточного давления (самоуплотнения). Вентили располагались так, чтобы при управлении ими «вестовая» труба находилась в поле зрения оператора.

Тяга в «вестовой» трубе, возникающая благодаря разности плотностей пара и воздуха, создавала небольшое разрежение во внешней камере, которое при высоте трубы 1,8 м и температурах пара 100 °С и воздуха 20 °С, не превышало 10 Па (1 мм вод. ст.). Поэтому при лёгком парении из «вестовой» трубы скорости и расходы пара и воздуха в камере уплотнений были ничтожны, а разрежение в ней поддерживалось с высокой точностью. В этих условиях такие явления, как выход пара из уплотнений или присосы воздуха в вакуумную систему полностью зависели от машиниста турбины.

С появлением многоцилиндровых турбин на повышенные и сверхкритические начальные параметры пара ручное управление вентилями и наблюдение за многочисленными «вестовыми» трубами стало затруднительным. Кроме того, сами «вестовые» трубы были признаны неэстетичными, а выход пара из них был причиной повышенной влажности в машинном зале, поэтому было решено автоматизировать работу уплотнений: уплотняющий пар стали подавать через общий регулятор давления с контролем давления и температуры пара, а отвод паровоздушной смеси из внешних камер уплотнений выполнили в «сальниковый» охладитель, переименованный впоследствии в конденсатор пара уплотнений (КПУ). В КПУ с помощью эжектора поддерживается разрежение в пределах 10-20 кПа. С учётом гидравлического сопротивления труб это обеспечивает в камерах отвода паровоздушной смеси уплотнений разрежение около 6 кПа и позволяет отказаться от «вестовых» труб.

Важнейшими разработками в области турбостроения, связанными с совершенствованием проточных частей паровых турбин, являются: оптимизация зазоров в проточной части, меридиональное профилирование ступеней паровой турбины, применение модернизированных конструкций лабиринтовых и концевых уплотнений, организация оптимальной схемы влагоудаления последних ступеней паровых турбин, переход к новому

типу облопачивания с цельнофрезерованными бандажами. Улучшение работы концевых уплотнений современных паровых турбин обеспечивает надежную, экономичную и маневренную работу турбоагрегата.

Один из способов совершенствования проточных частей паровых турбин средней и большой мощности с необандаженными рабочими лопатками является уменьшение периферийных зазоров за счет использования сотовых уплотнительных сегментов [2].

Сотовые уплотнения – это усовершенствованный тип уплотнений с использованием сотовой поверхности. Конструктивно соты имеют форму шестигранных ячеек с диаметром вписанной окружности, равной 1,5мм. Сотоблоки изготавливаются из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05мм и припаиваются к вставкам, из которых собирается кольцо сотового уплотнения для последующего монтажа в проточную часть турбины.

Применение сотовых уплотнительных сегментов является одним из эффективных методов совершенствования аэродинамики проточных частей паровых турбин, в результате чего обеспечивается повышение экономичности за счет снижения протечки рабочего тела в периферийном зазоре над рабочими лопатками и надежности работы за счет исключения повреждения профильной части рабочих лопаток в случае задевания их вершин о сотовые сегменты.

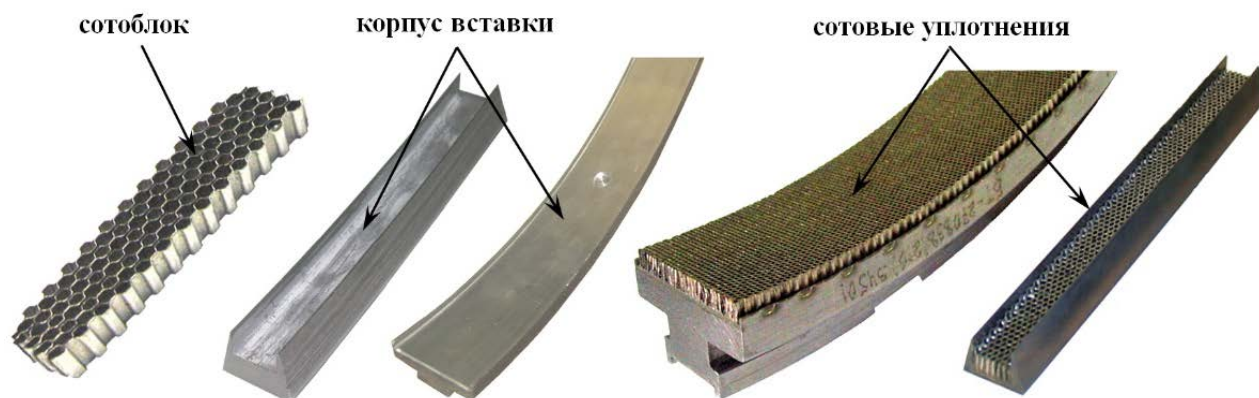


Рисунок 1 – Конструкция сотовых уплотнений

Основным преимуществом предлагаемой конструкции сотовых уплотнительных сегментов является меньшая жесткость как по сравнению с традиционно применяемыми конструкциями уплотнений, так и по сравнению с альтернативными вариантами исполнения сотовых уплотнительных сегментов.

Уплотнительные сегменты собраны из уплотнительных пластин толщиной 0,2 - 0,3 мм и скрепляющей рамки. Рамка одновременно служит для направления сотового уплотнительного сегмента в пазу козырька.

Габариты сотовых уплотнительных сегментов и их количество определяются наружным диаметром ступени. При этом в сегменте отсутствует кривизна пластин и ребер, а отклонение от цилиндричности (стрелка между хордой и дугой) составляет примерно 0,2 мм, что значительно меньше, чем допустимое отклонение величины радиального зазора.

Готовые сотовые уплотнительные сегменты вставляются в паз уплотнительного кольца-козырька над рабочими лопатками. Кольцо-козырек изготавливается из двух или более секторов и прикрепляется к диафрагме или обойме. В районе разъема сотовые уплотнительные сегменты фиксируются с помощью стопорных пластин.

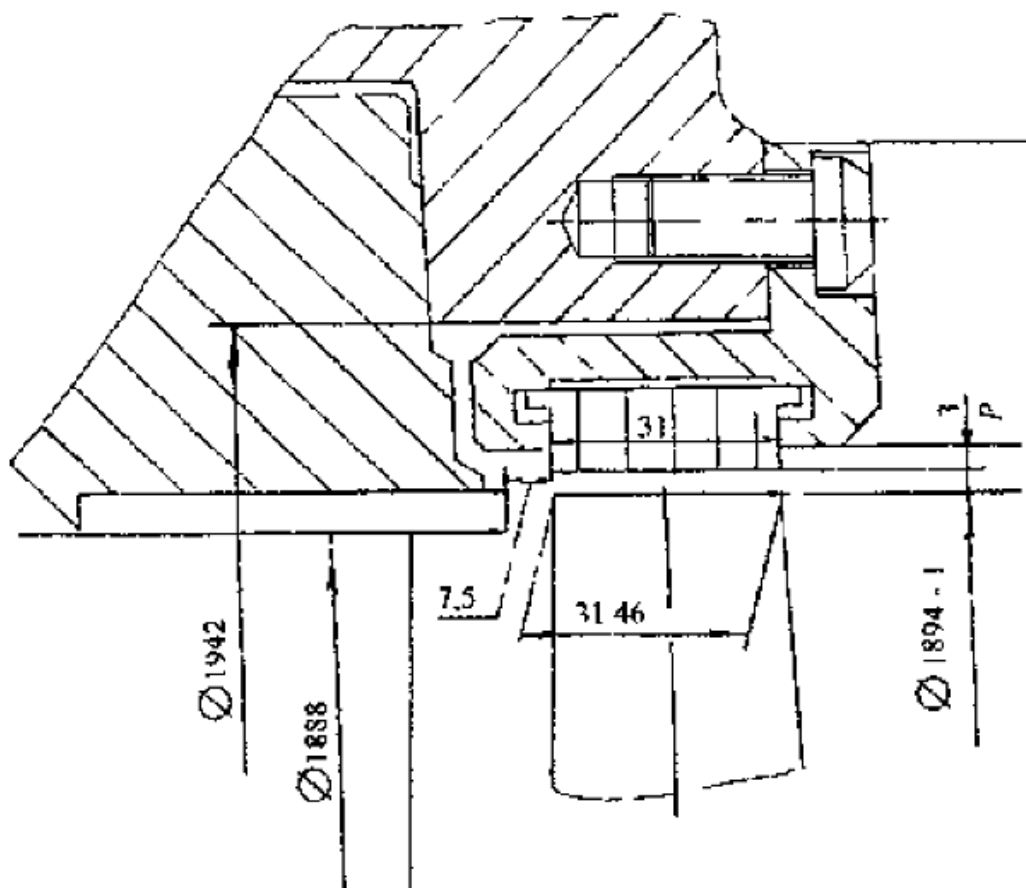


Рисунок 2 – Пример установки сотовых уплотнений над необбандаженной лопаткой

Наличие сквозных ячеек позволяет использовать сотовые уплотнительные сегменты для интенсификации влагоудаления из периферийной зоны последних ступеней. Следствием этого будет уменьшение эрозионного износа рабочих лопаток.

Жесткость предлагаемого сотового уплотнительного сегмента во много раз ниже, чем торца профильной части рабочей лопатки. По этой причине радиальный зазор над торцами рабочих лопаток может быть существенно уменьшен (например, с 3 до 2 мм) в зависимости от геометрии ступени – длины лопатки, периферийного диаметра, цилиндрического или конического обвода.

Эффективность сотовых уплотнений определялась путем сравнительных расчетов величин протечек (потери мощности) через периферийный зазор ступеней для случая исходного (заводского) радиального зазора и для случая применения сотовых уплотнений.

Расчет величины протечки через зазор определяли по формуле [3]:

$$G_z = \frac{\mu_z \cdot F_z \cdot C_{10} \cdot \sqrt{\rho_{\Pi} + \varphi_p^2 \cdot (1 - \rho_{\Pi}) \cdot \sin^2 \alpha_{lp}}}{V_{2p}}, \tag{1}$$

где G_z – расход через радиальный зазор, кг/сек;

μ_z – коэффициент расхода через зазор;

F_z – площадь радиального зазора, м²;

C_{10} – скорость, соответствующая адиабатному перепаду, срабатываемому периферийным сечением рабочей лопатки, м/сек;

ρ_{Π} – степень реактивности периферийного сечения рабочей лопатки;

φ_p – коэффициент расхода периферийного сечения направляющей лопатки;

α_{lp} – угол выхода потока из периферийного сечения направляющего аппарата, град;

V_{2p} – удельный объем пара в периферийном сечении за рабочими лопатками, м³/кг.

В таблице 1 приведены результаты расчета изменения КПД, мощности ступени из-за протечки в периферийном сечении рабочей лопатки и расхода среды через радиальный зазор.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов расчета потерь через периферийный зазор 28-30 ступеней турбины ПТ-60-130

Параметр	Исходный расчетный зазор				Сотовое уплотнение			
	28-я ст.	29-я ст.	30-я ст.	Суммарные потери, кВт	28-я ст.	29-я ст.	30-я ст.	Суммарные потери, кВт
Расход среды через радиальный зазор необандажной ступени, G_z , кг/сек	1,99	1,13	0,857	-	0,296	0,23	0,113	-
Потери от утечки через радиальный зазор, $\eta_{и}$, %	2,92	2,57	1,7	-	0,64	0,54	0,625	-
Снижение мощности ступени из-за утечки среды через зазор, N_z	105,93	109,39	65,03	280,35	23,33	23,16	10,15	56,64

Из таблицы видно, что применение сотовых уплотнений в 28-30 ступенях турбины позволит уменьшить потери мощности примерно на 224 кВт, что составит около 0,35-0,37% от мощности турбоагрегата.

Экономический эффект от применения сотовых уплотнений образуется из двух составляющих:

- повышение эффективности работы ступеней за счет уменьшения протечек рабочего тела;
- организации оптимальной системы влагоудаления.

Рабочие лопатки последних ступеней турбины работают в зоне влажного пара и для них чрезвычайно актуальным является организация оптимальной схемы влагоудаления из периферийной зоны последних ступеней. Наряду с другими техническими решениями – создание сборных камер отсоса влаги надо сотами, организация влагоудаляющих камер в козырьках приведет к уменьшению эрозионного износа рабочих лопаток. Опыт эксплуатации турбины ПТ-60-130, последние ступени которых оснащены сотовыми уплотнениями подтверждают это. Срок службы последних ступеней может быть увеличен, в среднем, в 1,5 раза, то есть с 8 до 12 лет.

Литература

1. Трухний А.Д., Костюк А.Г., Трояновский Б.М. Совершенствование основных и эксплуатационных и технико-экономических показателей паровых турбин. Теплоэнергетика, 1994. – № 1.
2. Орлик В.Г., Перминов И.А., Розенберг С.Ш. Экспериментальное определение эффективности модернизации надбандажных уплотнений на действующих турбинах. Электрические станции, 1982. – № 1.
3. Гудков Н.Н. Проектирование, модернизация и унификация мощностных рядов паровых турбин ЛМЗ, отвечающих требованиям современной теплоэнергетики. С-Петербург, 1997.

УДК 621.311.22

Газотурбинная надстройка паросилового энергоблока

Ситник Н.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Модернизация действующих паротурбинных тепловых электростанций путем надстройки паросиловых установок (ПСУ) газотурбинными установками (ГТУ) является наиболее простым и экономичным способом повышения эффективности использования топлива, в первую очередь природного газа, при производстве электроэнергии.

Возможны различные схемы объединения паротурбинных (ПТУ) и газотурбинных установок в парогазовые (ПГУ).

В так называемых параллельных схемах теплота отработавших в ГТУ газов используется в котле-утилизаторе для выработки пара, который затем параллельно потоку пара от основного парового котла поступает на паровую турбину. Например, в котле-утилизаторе можно получать пар с параметрами промежуточного перегрева, который после КУ параллельно основному потоку пара горячего промпрегрева поступает в цилиндр среднего давления (ЦСД) турбины, повышая ее мощность при практически неизменном расходе топлива в основной паровой котел (рисунок 1).

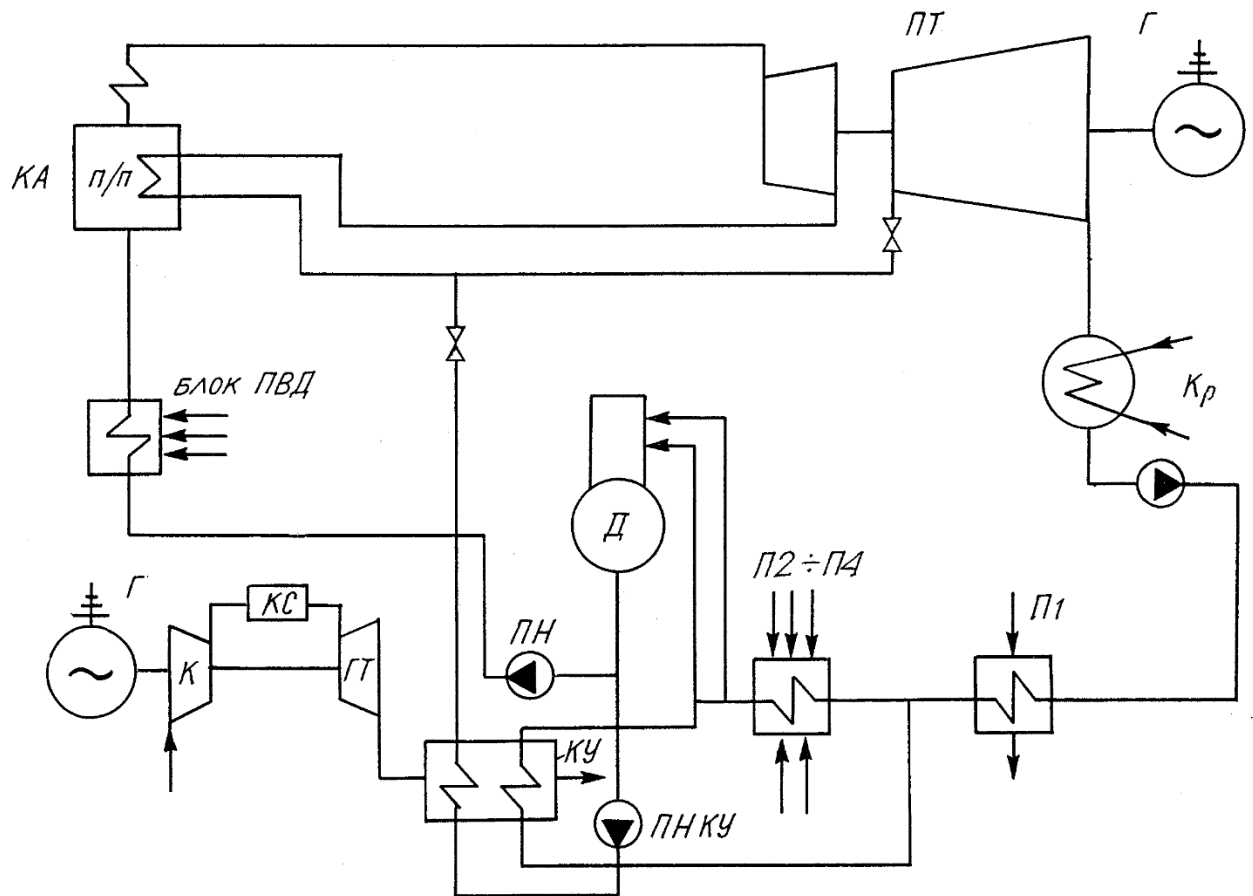


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ПГУ параллельной схемы
 К – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Г – генератор,
 КУ – котел-утилизатор, КА – котельный агрегат, ПТ – паровая турбина,
 Кр – конденсатор, П1...П4 – группа подогревателей низкого давления,
 ПВД – группа подогревателей высокого давления, Д – деаэратор,
 ПН – питательный насос, ПНКУ – питательный насос котла-утилизатора

Преимущества параллельной схемы:

- высокая маневренность создаваемой ПГУ, поскольку возможна независимая эксплуатация паросиловой и газотурбинной установок;
- возможность проведения реконструкции паросилового энергоблока без его длительного останова; значительное упрощение компоновочных вопросов;
- возможность параллельной работы различных систем управления: паросиловой части, КУ и ГТУ.

В рассматриваемой схеме по ходу движения газов в котле–утилизаторе последовательно установлены: пароперегреватель, испарительная поверхность, экономайзер.

Для более глубокой утилизации теплоты сбросных газов ГТУ в котле–утилизаторе после экономайзера устанавливается конденсатный пучок, в котором дымовые газы охлаждаются до температуры $t_{yx} = 100–120^{\circ}\text{C}$ за счет основного конденсата, отбираемого из линии основного конденсата турбоустановки. Соответственно при реконструкции энергоблока по параллельной схеме (рисунок 1) тепловая схема паротурбинной установки в части регенерации низкого давления изменяется за счет подачи части основного конденсата после П1 на котел-утилизатор с последующим возвратом его в цикл ПСУ после П4 перед деаэратором Д питательной воды.

В [1] приводятся результаты расчета схемы реконструкции паросилового теплофикационного энергоблока, аналогичного эксплуатирующимся на Гомельской ТЭЦ-2 энергоблокам в составе парового котла ТГМЕ-206 ТКЗ «Красный котельщик» и теплофикационной паровой турбины Т-180/210-130-1 ЛМЗ.

Исходя из теплопроизводительности котла ТГМЕ-206 в качестве газотурбинной надстройки принята ГТУ типа SGT-1000F (V64.3a) производства Siemens электрической мощностью $N_3^{ГТУ} = 70 \text{ МВт}$ в условиях ISO.

При проведении расчетов тепловой схемы и определении энергетических характеристик, приняты следующие режимы:

- конденсационный режим – вынужденный режим работы теплофикационного энергоблока, при котором отборы пара на подогреватели сетевой воды отключены, возможный в летнее время при необходимости выработки электроэнергии без отпуска тепла $Q_{отп} = 0$; температура наружного воздуха $t_{нв} = +20^{\circ}\text{C}$;
- режим теплового графика - работа энергоблока по тепловому графику; температура воздуха на всасе компрессора ГТУ $t_{нв} = -15^{\circ}\text{C}$.

Показатели работы ГТУ на указанных режимах принимались по данным таблицы 1.

Таблица 1 – Показатели работы ГТУ

Наименование параметра, размерность	Значение	
Температура наружного воздуха, °C	+20	–15
Мощность на клеммах генератора, МВт	67,37	79,9
КПД ГТУ	0,3596	0,3712
Расход газов на выхлопе ГТУ, кг/с	188,8	208,8
Температура газов на выхлопе ГТУ, °C	574	562

Технически осуществимы следующие режимы использования оборудования ПГУ:

- нормальный режим – совместная работа газотурбинной надстройки, парового котла, паровой турбины;
- режим минимальной нагрузки – автономная работа котла с паровой турбиной с остановленной ГТУ (автономная работа ГТУ не предусматривается);
- регулировочный диапазон работы паросилового оборудования в схеме ПГУ от 100% до 40% его номинальной нагрузки для удовлетворения требований к его надежности;
- в расчетах энергетических характеристик создаваемой ПГУ нагрузка ГТУ в рассматриваемом диапазоне нагрузок ПСУ принималась номинальной при указанной выше фиксированной температуре наружного воздуха на всасе компрессора;

– проверялись режимы работы ПГУ с нагрузкой ГТУ, равной 70% номинальной для расчетной температуры наружного воздуха на всасе компрессора (при этой нагрузке сохраняется номинальная температура газов после газовой турбины).

В таблице 2 приведены результаты расчета технико-экономических показателей конденсационного и теплофикационного режимов рассматриваемой ПГУ.

Таблица 2 – Показатели ПГУ при различной нагрузке

Наименование параметра, размерность	Значение		
Расход свежего пара на турбину, кг/с	250	450	650
Конденсационный режим			
Электрическая мощность паровой турбины брутто, МВт	108,3	171,8	229,3
Удельный расход теплоты на выработку электроэнергии	2,883	2,696	2,611
Электрическая мощность ПГУ брутто, МВт	175,7	239,2	296,7
Суммарный расход теплоты на ПГУ, МВт	414,0	578,7	726,7
Суммарный расход условного топлива на ПГУ, тут/ч	50,93	71,18	89,39
КПД ПГУ брутто	0,4243	0,4133	0,4082
Удельный расход топлива на выработку электроэнергии, кг у.т./(МВт.ч)	289,9	297,6	301,3
Режим теплового графика			
Электрическая мощность паровой турбины брутто, МВт	90,1	149,7	200,7
Удельный расход теплоты на выработку электроэнергии	1,128	1,065	1,050
Отпуск теплоты с сетевой водой, МВт	212,12	303,73	388,32
Электрическая мощность ПГУ брутто, МВт	170	229,6	280,6
Суммарный расход теплоты на ПГУ, МВт	441,9	606,7	755,0
Расход условного топлива на ПГУ тут/ч			
- суммарный	54,29	74,54	92,77
- относимый на производство теплоты	29,19	41,79	53,43
- относимый на производство электроэнергии	25,11	32,75	39,34
Удельный расход топлива на выработку электроэнергии, кг у.т./(МВт.ч)	147,68	142,63	140,19
КПД ПГУ брутто	0,8328	0,8623	0,8773
Экономия топлива за счет теплофикации:			
- паротурбинная замещающая КЭС ($\eta_{\text{э}}^{\text{КЭС,ПГУ}} = 0,4$)	0,5004	0,5078	0,5061
- парогазовая замещающая КЭС ($\eta_{\text{э}}^{\text{КЭС,ПГУ}} = 0,57$)	0,2132	0,2253	0,2286

Энергетическая эффективность рассматриваемой ПГУ определяется следующим.

В параллельной схеме ПГУ за счет теплоты отходящих газов ГТУ в КУ вырабатывается пар, который подается к ЦСД паровой турбины. Этот пар в очень малой степени участвует в регенеративном подогреве питательной воды и конденсата (только путем некоторого повышения давления пара в регенеративных отборах), то есть этот пар работает в простейшем низкоэкономичном паросиловом цикле преобразования тепловой энергии в механическую.

КУ является дополнительным источником выброса теплоты с собственными уходящими газами, его конструкция и качество работы могут существенно влиять на КПД энергоблока ПГУ в целом. Например, для рассматриваемого случая, доля теплоты уходящих газов КУ

составляет (в зависимости от температуры наружного воздуха) 0,11–0,13 от общего тепла, подведенного в камеру сгорания ГТУ.

Кроме того, в работе тепловой схемы за счет подачи дополнительного пара в ЦСД, происходят изменения, снижающие экономичность паросилового цикла:

- из-за необходимости подачи основного конденсата для охлаждения дымовых газов КУ происходит вытеснение регенерации низкого давления;
- вытесненный из регенерации пар сбрасывается в конденсатор, за счет чего уменьшается количество полезно используемой теплоты;
- увеличение паровой нагрузки конденсатора вызывает ухудшение вакуума и соответствующее снижение мощности и экономичности;
- при применении замкнутой системы водоснабжения с градирнями повышается температура охлаждающей воды, снижается вакуум и ухудшается экономичность паросилового части ПГУ.

Эти факторы предопределяют сравнительно невысокую экономичность ПГУ параллельного типа.

Тем не менее на конденсационных режимах КПД брутто для нагрузки 296,7 МВт равен 40,82% и повышается при снижении нагрузки. КПД брутто ПСУ равен 37,8% для номинальной нагрузки 210 МВт с последующим его снижением до 36 % при нагрузке 50% номинальной.

В конденсационном режиме при разгрузке энергоблока ПГУ удельный расход топлива снижается, а КПД производства электроэнергии повышается из-за увеличения доли газотурбинной составляющей мощности, в ПСУ же экономичность работы на частичных нагрузках снижается. Отмеченное выгодно отличает ПГУ рассматриваемого типа.

Работа энергоблока по тепловому графику, вследствие практически полной утилизации подведенного к турбине тепла характеризуется высокой экономичностью с удельным расходом топлива 140–147 кг у.т. Это приближается к показателям теплового графика ПСУ.

При этом как видно из данных таблицы 2 величина относительной экономии условного топлива – около 50% при сравнении с паротурбинной замещающей КЭС и примерно 21–23% при сравнении с парогазовой замещающей КЭС энергосистемы – существенно превышает значение этого показателя для ПСУ, составляющего порядка 40% и 10% при сравнении с паротурбинной и парогазовой замещающей КЭС энергосистемы соответственно.

В заключение отметим, что реализация на действующей ТЭЦ Беларуси рассмотренной парогазовой схемы может способствовать повышению ее экономичности и маневренности.

Литература

1. Гомельская ТЭЦ-2. Реконструкция энергоблока № 3 с надстройкой газовой турбиной. Расчетно–аналитическая часть. // Технический отчет. Договор № 20/97. – Минск, 1998.

УДК 621.3

Неисчерпаемые источники энергии: солнечная энергия

Чепикова Д.А., Шкурко А.А.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Основным источником энергии, которая питает землю, является Солнце. Один квадратный метр земли в ясный день ежесекундно получает приблизительно 150 Дж энергии прямого света [1].

Солнечная энергия преобразовывается в тепловую энергию, когда свет, исходящий от Солнца, поражает молекулы в материале. А световая энергия конвертируется в большую кинетическую энергию молекул. Также энергия Солнца нагревает атмосферу. Следствием этого является циркуляция больших масс разогретого воздуха. Солнечная энергия является частью сложной системы в атмосфере, которая формирует на нашей планете ветра и погоду в целом. Солнечная энергия может испарить большие количества воды из океанов, которая в конечном счёте выпадет обратно на землю в виде дождя. Таким образом солнечная энергия становится сохранённой потенциальной в воде озёр и рек. Исходя из того, что вода может выпадать выше уровня моря, её потоки, нисходящие обратно в океаны, могут генерировать электрическую энергию на гидроэлектростанциях. Но это не единственный и не самый быстрый способ получения электроэнергии из солнечных лучей. Так же можно генерировать электроэнергию напрямую: с помощью солнечных ячеек.

Энергию невозможно создать или разрушить, её можно лишь видоизменить. Энергия всегда сохраняется! Порой энергия хранится миллионы лет прежде чем она будет использована. Бензин, природный газ, нефть и уголь называют ископаемыми видами топлива. Ископаемое топливо не что иное, как сжатые под огромным давлением в течении миллионов лет органические материалы, такие как растения либо останки живых организмов. Древняя энергия света сохраняется в ископаемом топливе. Сохранённую энергию преобразовывают в тепловую путём сжигания ископаемого топлива в двигателях машин или в доменных печах.

В последние десятилетия мы всё больше и больше увеличиваем потребление энергии. Мы сжигаем критически большие массы топлива. С быстрыми темпами роста промышленности и новых технологий возрастает и количество потребляемой энергии.

Существует проблема, связанная с потреблением больших количеств энергии. Так как энергию нельзя разрушить, то отработанная энергия остаётся в виде бесполезной для нас тепловой энергии. Тепловое загрязнение является одной из главных и прежде неизвестных проблем как для человечества, так и для нашей планеты в целом. Происходят изменения и сдвиги в погодных условиях, так как нагреваются земная атмосфера, земные океаны, реки и озёра. Наш образ жизни не сможет остаться прежним, если эти изменения продолжатся.

В настоящее время разрабатываются другие источники энергии для замены не возобновляемых запасов ископаемого топлива. Солнце является гигантским и, в основном, неиспользованным источником энергии. Наука и технологии работают вместе чтобы найти новые, лучшие методы использования солнечной энергии. Солнечная энергия используется для отопления и охлаждения домов. Использование солнечной энергии не только поможет нам сохранить остатки ископаемого топлива, но и уменьшит загрязнение воздуха.

Отопление дома солнечной энергией происходит путём поглощения солнечной энергии коллекторными панелями. Эти панели имеют черные энергопоглощающие поверхности, покрытые стеклом или прозрачным пластиком. Они прикрепляются к трубам, которые распространяют воздух и воду по всему дому. Темная поверхность панели поглощает солнечную энергию и нагревает воздух или воду в трубах. Нагретое вещество передает тепловую энергию по всему зданию. Солнечная энергия должна быть накоплена и сохранена до момента, когда не будет возможности её получить. Двумя распространенными способами хранения являются резервуары с водой и пласты крупной гальки [2].

Для работы кондиционеров необходима энергия. Большинство кондиционеров получают энергию от электричества. В частности, охлаждающие генераторы работают от электричества.

Они охлаждают воздух путем испарения, а затем конденсации циркулирующего жидкого хладагента.

Солнечная батарея напрямую преобразует энергию солнца в электричество. Преобразование солнечной энергии в электрическую называется фотоэлектрическим эффектом.

Главное преимущество использование солнечной энергии заключается в её чистоте. Солнечная энергия производит мало либо совсем не производит отходов. Из-за этого не вызывает проблему загрязнения воздуха либо утилизации отходов. Еще одно преимущество: энергия солнца не иссякнет в течение многих последующих лет.

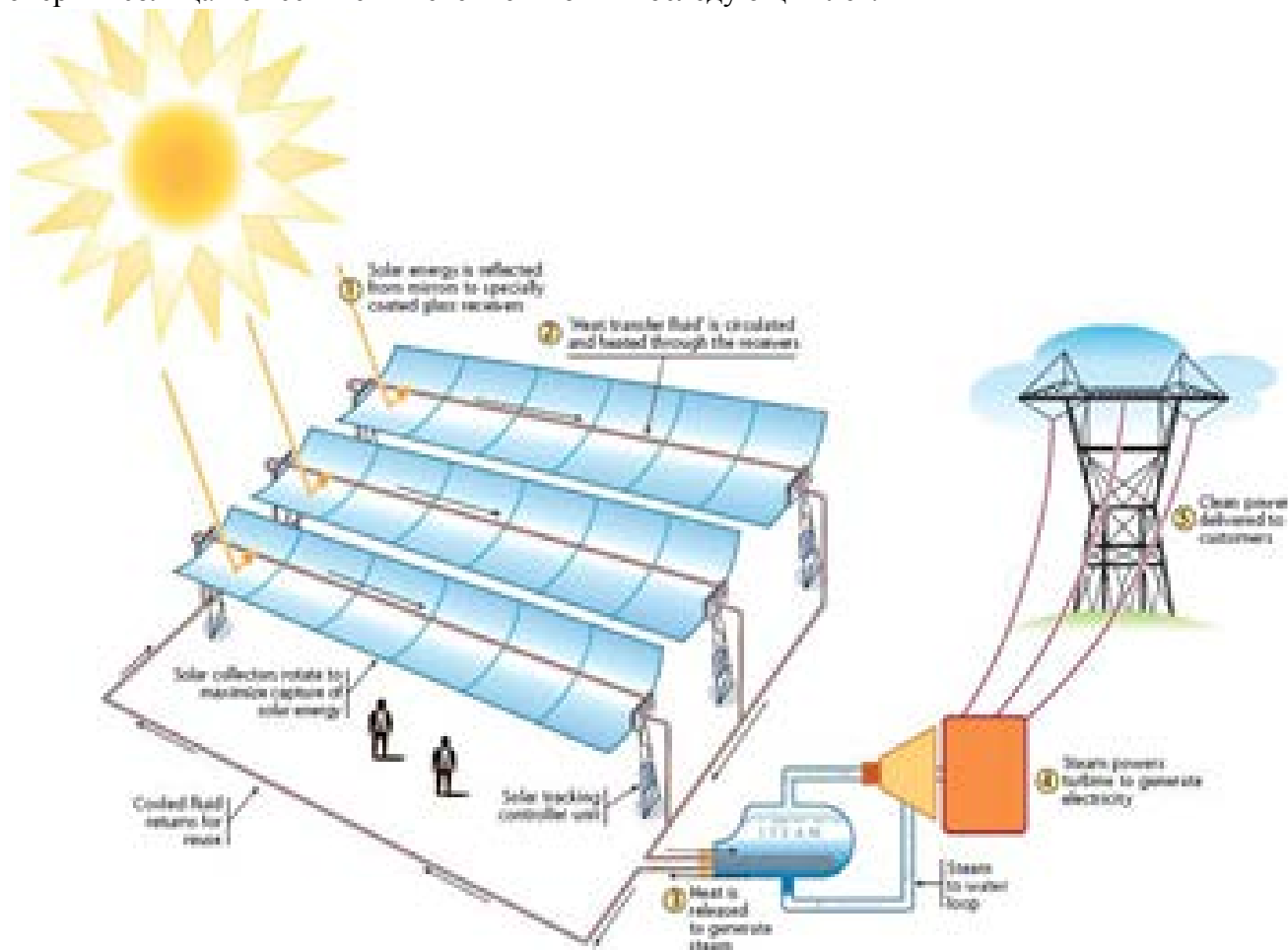


Рисунок 1 – Солнечная тепловая параболическая технология

Солнечная электростанция использует гигантское изогнутое зеркало для сбора солнечных лучей. Собранные лучи используются для нагревания воды в бойлере. Энергия производит пар. Пар, в свою очередь, приводит в движение турбину в генераторе. Вращающаяся турбина заставляет генератор вырабатывать электроэнергию.

Солнечная панель состоит из двух слоев, в основном сделанных из кремния. Когда солнце светит на панель, электроны высвобождаются из нижнего слоя. Эти электроны собираются одной поверхностью ячейки. Электроны затем перемещаются через пути, цепи, сделанные из металлических сеток. Поток электронов через цепь называется электрической цепью. Путём соединения множества солнечных ячеек можно увеличить количество производимого электричества [2].

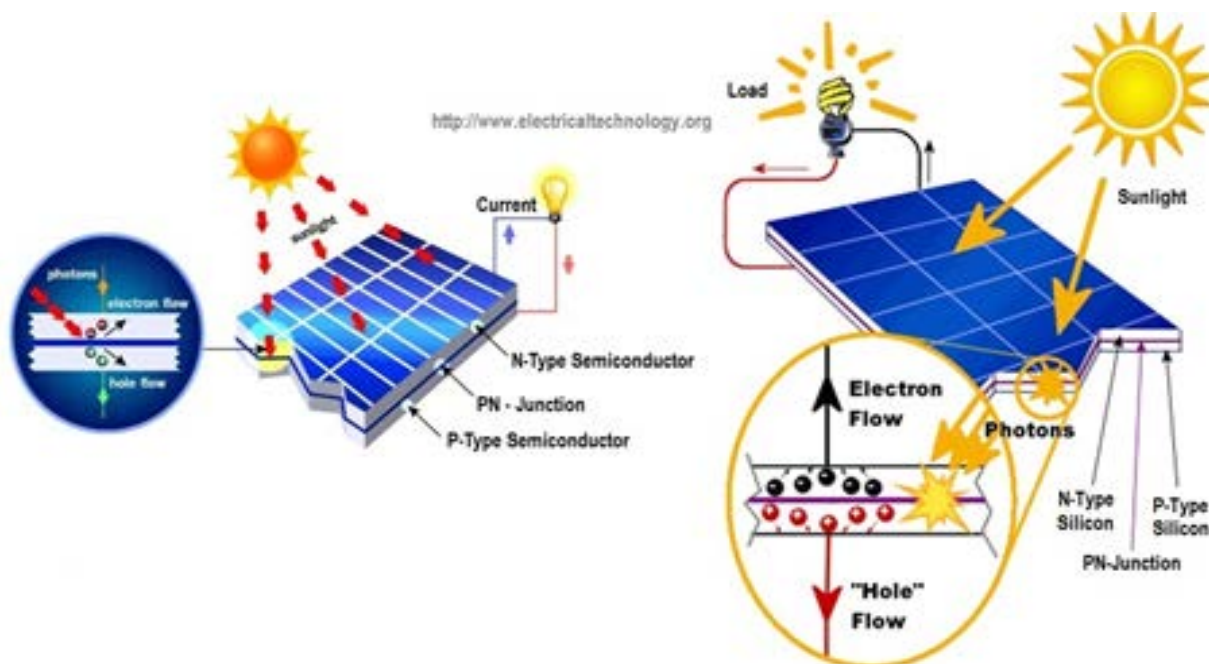


Рисунок 2 – Основной принцип работы солнечной батареи

Однако использование солнечной энергии имеет некоторые недостатки. Энергия солнца может быть собрана только в солнечную погоду. Цена установки отопления и охлаждения солнечной энергией очень высокая. Но как только системы находятся в эксплуатации, они экономят на топливе. Солнечные панели в настоящее время так же дорогие. Ученые ищут менее затратный способ производства солнечных батарей.

Литература

1. The Sun's Energy [Electronic Resource]. – Режим доступа: <http://ag.tennessee.edu>. – Дата доступа: 22.02.2019.
2. About Solar Energy [Electronic Resource]. – Режим доступа: <http://www.seia.org>. – Дата доступа: 13.03.2019.

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Электроснабжение Волковысского ОАО «БЕЛЛАКТ» в условиях ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС. Замена кабельных линий

Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Исследование состава основного оборудования котельной предприятия СООО «ЦСП БЗС»

Ващилов С.А., Мартыненко А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Анализ структуры Минской ТЭЦ-4», РУП «МИНСКЭНЕРГО»

Драенков И.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Техническое описание и характеристики котла-утилизатора Q-235/541-32-3,6/435

Захарченко В. Ю., Лисовский С. А., Добренко Г. А., Нахай Е. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Анализ состава турбинного цеха Гродненской ТЭЦ-2

Калий В.А., Губар Е. Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Технический отчет по эксплуатации блока ПГУ-230 на Миской ТЭЦ-3

Лешкевич А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Методика расчёта естественного освещения в производственном помещении

Мелех С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Гидравлический разделитель MEIBES HZW 200/6

Павлович И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Искусственная сушка льнотресты в Республике Беларусь

Санько А.Н., Судак А.А.

Научные руководители – д.т.н., профессор РОМАНЮК В.Н., ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Актуальность использования ветроэнергетики в Республике Беларусь

Зуева Е. С., Игнатович Р. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Лабораторная ветроэнергетическая установка

Иванова Д.С.

Научные руководители – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н., ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Автоматизированная система управления технологическими процессами на Минской ТЭЦ-2

Лагойко А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Анализ использования местных видов топлива на Жодинской ТЭЦ

Ковалёва М.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Влияние питч-угла на мощность ветроустановки

Зуева Е. С., Игнатович Р. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Состав основного оборудования «Минской ТЭЦ-3» РУП «МИНСКЭНЕРГО»

Меновщиков Д.И., Мялик А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

ТТАИ – тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные

Малащук А.М., Летун Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор РОМАНЮК В.Н.

Пример схемы внедрения технологии «Энергия в газ» на мини-ТЭЦ

Малащук А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕДНИН В.А.

Технология получения синтетического природного газа

Малащук А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕДНИН В.А.

УДК 658.589

Электроснабжение Волковысского ОАО «БЕЛЛАКТ» в условиях ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС. Замена кабельных линий

Богдан А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т. А.

Внешнее электроснабжение объектов ОАО «Беллакт» осуществляется согласно договору №32 от 20.12.2010 г. с РУП «Гродноэнерго» Волковысские РЭС тремя кабельными линиями напряжением 10 кВ от РУ-10 кВ ОАО «Волковысский мясокомбинат». Длина кабельных линий составляет 1330 м. На территории завода размещено РП-10 кВ с электрогазовыми ячейками, установлено 10 силовых трансформаторов, суммарной мощностью 10210 кВА. Граница балансовой принадлежности - наконечники питающих кабельных линий в РУ-10 кВ ОАО «Волковысский мясокомбинат».

Суммарная установленная мощность понижающих трансформаторов составляет 10210 кВА, в том числе понижающие подстанции оснащены:

- ТП-1 - тремя трансформаторами мощностью по 1000 кВА
- ТП-2 - двумя трансформаторами мощностью по 630 кВА
- ТП-3 - двумя трансформаторами мощностью по 1000 кВА
- ТП-4 - одним трансформатором мощностью 250 кВА
- ТП-5 - двумя трансформаторами мощностью 1250 кВА

Коммерческий учет электрической энергии организован в ячейках РУ-10 кВ на мясокомбинате (на границе балансовой и эксплуатационной принадлежности) электросчётчиками «Гран система СС-300.5». Технически организован по основным цехам и энергоёмким потребителям. Кроме того, на ОАО "Беллакт" установлена система автоматизированного учета электроэнергии АСКУЭ, которая обеспечивает контроль совмещенной получасовой активной и реактивной мощности по предприятию, производит учет потребления электроэнергии по заводу, основным цехам и энергоёмким потребителям.

Учёт расхода электроэнергии по котельной имеется.

При учёте электроэнергии используются продолжительность и границы тарифных зон суток для всех расчетных периодов (месяцев) календарного года, они являются едиными и устанавливаются следующими:

Для количества потребленной электроэнергии:

- ночная – 7 ч (с 23.00 до 6.00);
- полупиковая – 14 ч (с 6.00 до 8.00 и с 11.00 до 23.00);
- пиковая – 3 ч (с 8.00 до 11.00).

Для значения максимальной потребленной мощности:

- полупиковая – 18 ч (с 20.00 до 8.00 и с 11.00 до 17.00);
- пиковая – 6 ч (с 8.00 до 11.00 и с 17.00 до 20.00).

Расчёт завода ведётся по двухставочному тарифу: абонент платит в рамках этого тарифа за заявленную мощность (P_z) (ту мощность, которую он заявляет в энергосбытовую организацию заранее) и за потребленную электроэнергию (W). И это будет выглядеть так:

Выплаты в энергосистему РБ = ($P_z \cdot \text{Стоимость 1 кВт}$) + ($W \cdot \text{Стоимость 1 кВт}$)

Исходя из вышеперечисленного, абонент платит за заявленную мощность, которая всегда выше фактической, и за фактическое потребление электроэнергии (при том в счетчиках по умолчанию всегда учитывается электроэнергия, потребленная согласно тарифных зон суток – пик, полупик и ночь – все они суммируются).

Также ведется контроль за мощностью, если абонент превышает ее значения в пиковых зонах или они разнятся, то он выплачивает штрафы согласно положениям.

Сети электроснабжения на напряжение 10 кВ выполнены кабельными линиями подземной прокладки, которые планируются к замене, так как существующее внешнее электроснабжение может нести нагрузку до 4 МВт, а максимальная существующий пик нагрузки приходится до 3,3 МВт, что не позволяет применение дополнительного

электрооборудования. В настоящий момент есть предпроектная документация для замены кабельных линий для увеличения расчётной мощности до 6100 кВА, что позволит в будущем применить электроэнергию для технологических нужд предприятия. Сети напряжением 0,4 кВ выполнены кабельными линиями в кабельных туннелях и лотках. Компенсация реактивной мощности осуществляется с помощью батарей статических конденсаторов с автоматическим регулированием.

Основными потребителями электроэнергии являются электродвигатели технологического оборудования, насосов, вентиляторов, а также электроосвещение.

Данным проектом предусматривается замена отслуживших срок эксплуатации существующих кабельных линий, при этом предусмотрена возможность роста потребления электроэнергии предприятием без реконструкции данной системы электроснабжения.

Производство молочной продукции должно вестись согласно утвержденным стандартам и технологическим инструкциям. На предприятии последовательно внедряются новые технологии, позволяющие повышать качество продукции.

С другой стороны, ОАО «Беллакт» постоянно осваивает производство новых видов продукции и наращивает ее объемы. С учетом роста в Белорусской энергосистеме генерирующих мощностей, ввода в строй энергоблоков Белорусской АЭС на предприятии будут осваиваться инновационные направления развития с использованием электротехнологических процессов переработки молочной продукции, переход на использование электричества в других сферах, где ранее традиционно преобладали другие источники энергии, а применение электричества сдерживалось экономическими показателями. Следовательно, высока вероятность увеличения мощности, потребляемой предприятием.

Основные питающие линии эксплуатируются с 1969г, резервный кабель (диаметр 551 мм) проложен в 1982г. Трассы кабелей проходят вдоль улицы Октябрьской и имеют на своем протяжении по несколько восстановленных повреждений. Поверх кабеля неоднократно производились работы по ремонту дорожного покрытия, устройству водоотведения и благоустройства, вследствие чего менялись плотность грунта и нагрузки на оболочки кабелей. Следовательно, исходя из выше приведенной информации, назрела необходимость замены кабельных линий.

В настоящее время потребление электрической энергии на предприятии имеет сезонные колебания. Пик приходится на летний период и достигает увеличения нагрузки до 3300 кВт. Существующие мощности предприятия и распределительные сети с учетом средневзвешенного коэффициента спроса для предприятий молочной промышленности равного $K_c = 0,6-0,65$ позволяют увеличить потребляемую мощность до 6100 кВт.

На предприятии реализуются программы по энергосбережению с применением энергоэффективного оборудования, позволяющего снижать энергопотребление на единицу выпускаемой продукции. Использование инновационного оборудования с современными электроприводами повышает коэффициент мощности ($\cos\varphi$), потребляемой из сети.

Для внешнего электроснабжения Волковысского ОАО «Беллакт» принимается к прокладке кабельная линия (основная и резервная), выполненная силовыми кабелями с алюминиевой жилой с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвПу.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) обладают следующими основными преимуществами:

- пропускная способность СПЭ-кабелей в 1,2–1,3 раза больше благодаря более высокой допустимой длительной температуре;
- термическая стойкость СПЭ-кабелей при токах короткого замыкания (КЗ) выше благодаря большей предельной температуре, удельная повреждаемость СПЭ-кабелей в 10–15 раз ниже, чем у БПИ-кабелей;
- большой срок службы СПЭ-кабеля (по данным заводов-изготовителей более 50 лет);
- более легкие условия монтажа СПЭ-кабелей,
- обусловленные меньшими массой, диаметром, радиусом изгиба, отсутствием тяжелой

свинцовой (или алюминиевой) оболочки;

- СПЗ-кабели можно прокладывать при отрицательных температурах (до -20 °С) без предварительного подогрева благодаря использованию полимерных материалов для изоляции и оболочки;
- отсутствие в конструкции СПЗ-кабелей жидких компонентов уменьшает время и снижает стоимость монтажа;
- СПЗ-кабели высоко экологичны благодаря отсутствию утечки масла и загрязнения окружающей среды при повреждении;
- гигроскопичность конструктивных элементов СПЗ-кабеля значительно меньше, чем БПИ-кабеля, высокие диэлектрические свойства изоляции;
- большая строительная длина вследствие применения одножильных кабелей позволяет уменьшить количество соединений по трассе, что в свою очередь приведет к повышению надежности кабельной линии.

Таблица 1 – Расчётные параметры для выбора сечения кабеля

П/П	Наименование	Единицы измерения	Количество
1.	Напряжение электросети	кВ	10
2.	Максимальная потребляемая мощность	кВт	3300
3.	Установленная мощность электроприемников	кВА	10250
4.	Средневзвешенный коэффициент спроса	-	0.6
5.	Расчетная мощность	кВА	6100
6.	Средневзвешенный коэффициент мощности	φ	0.85
7.	Расчетный ток	А	408

Исходя из приведенных расчетных данных для электроснабжения принимаются кабели, прокладываемые из трех одножильных кабелей в трехфазной сети с изолированной нейтралью. Сечение кабелей принимается по условиям нагрева и экономической плотности тока для прокладки в земле и равно 3х240 мм².

Основой проведения данных работ является исключение риска перерыва в электроснабжении из-за выхода из строя существующих кабелей и вследствие этого вероятного нанесения экономического ущерба предприятию и возникновения риска безопасности работающих.

Реализация проекта позволит:

- снизить риск возникновения аварийных ситуаций в системе электроснабжения;
- гарантированно производить продукцию высокого качества, удовлетворяющую требованиям современного потребителя;
- повысить уровень безопасности работы персонала предприятия и надежность работы оборудования;
- проектные решения замены кабельных линий 10 кВ приняты с учётом проверки по нагреву K/I , проверки по токам короткого замыкания, проверки по потерям напряжения.

Приведенные расчеты и обоснования свидетельствуют о технической возможности, коммерческой, экономической и социальной целесообразности инвестиций в замену кабельных линий 10 кВ внешнего электроснабжения Волковисского ОАО «Беллакт». Объект экономически эффективный, безопасный с точки зрения экологической и эксплуатационной безопасности. Питающая линия прокладывается в земле. К прокладке принят кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена типа АПвПу 1х240/25-10. Кабель прокладывается в две

нити (основная и резервная) одножильными кабелями в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

УДК 621.182

**Исследование состава основного оборудования
котельной предприятия СООО «ЦСП БЗС»**

Вашилов С.А., Мартыненко А.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Котельная СООО «ЦСП БЗС» предназначена для отопительно-производственных целей завода по производству цементно-стружечной плиты.

Основное оборудование – установка из двух водогрейных газовых котлов Vitoplex 100 PV1 Viessman (рисунок 1) тепловой мощностью 1350 кВт каждый, установка из двух паровых котлов Vitomax 200 HS Viessmann (рисунок 2) паропроизводительностью 4,0 т/ч каждый. Для обеспечения ГВС предусмотрен котел на твердом топливе Kalvis – 140 тепловой мощностью 140 кВт.

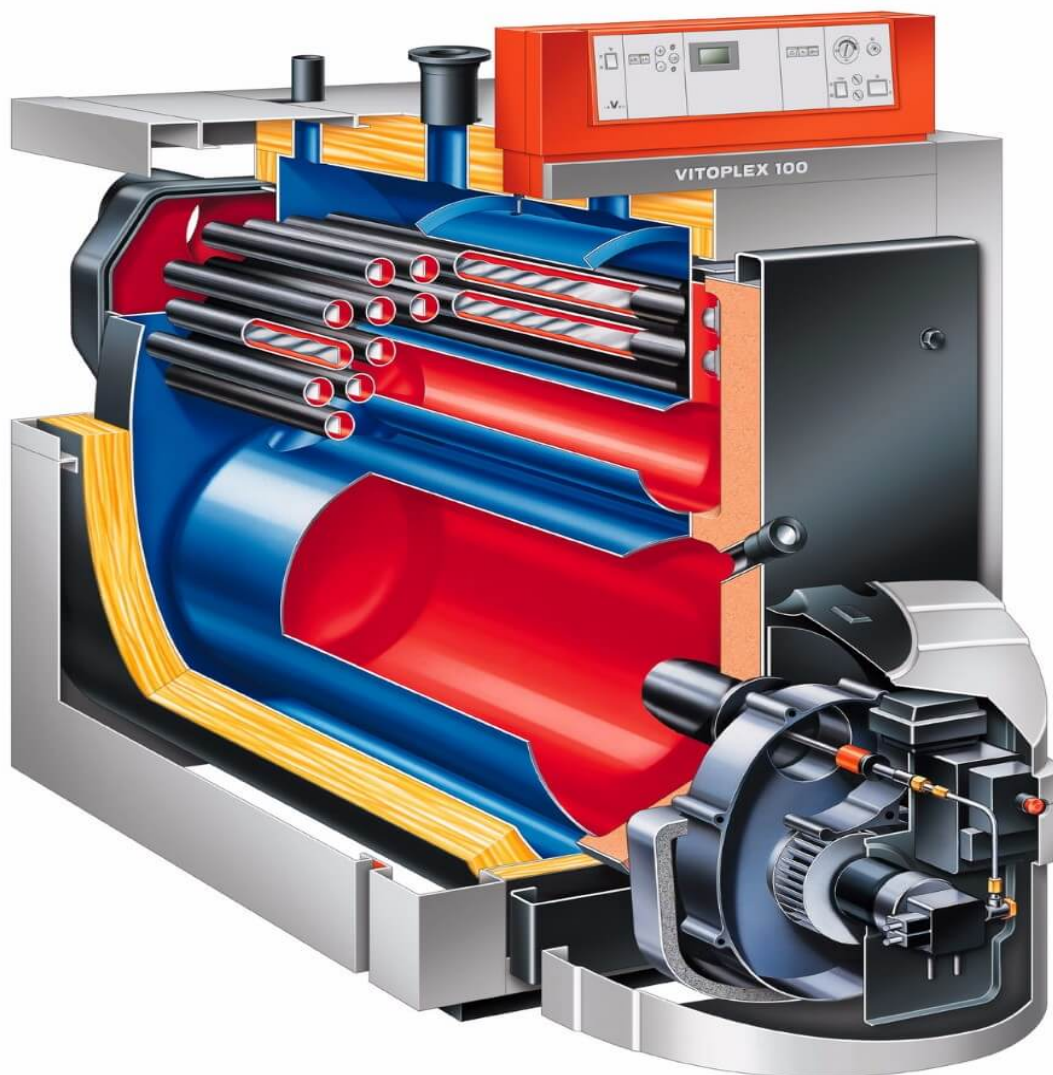


Рисунок 1 – Водогрейный котел Vitoplex 100 PV1 Viessman

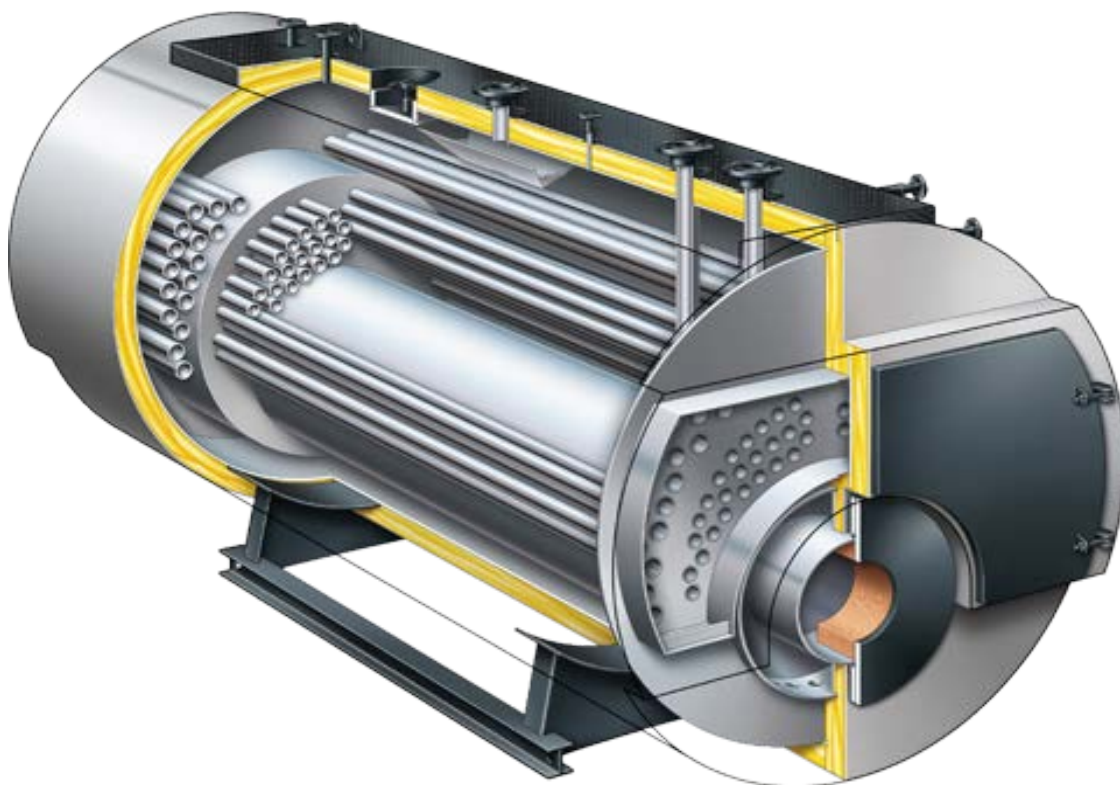


Рисунок 2 – Парогенератор Vitomax 200 HS Viessmann

Основные показатели котлоагрегатов:

- Мощность (МВт):
 - Vitoplex 100 PV1 Viessman: 0,45 – 1,35 (природный газ)
 - Vitomax 200 HS Viessmann: 2,6 (природный газ)
 - Kalvis – 140: 0,04 – 0,14 (дрова 25% влажности)
- КПД (доли):
 - Vitoplex 100 PV1 Viessman: 0,92 (природный газ)
 - Vitomax 200 HS Viessmann: 0,93 (природный газ)
 - Kalvis – 140: 0,87 (дрова 25% влажности)
- Номинальный расход топлива:
 - Vitoplex 100 PV1 Viessman: 158,1 м³/ч (природный газ)
 - Vitomax 200 HS Viessmann: 305 м³/ч (природный газ)
 - Kalvis – 140: 46,2 кг/ч (дрова 25% влажности)
- Температура уходящих дымовых газов (°C):
 - Vitoplex 100 PV1 Viessman: 210
 - Vitomax 200 HS Viessmann: 160
 - Kalvis – 140: 200

Литература

1. Теплоснабжение. Котельное оборудование: Справочное пособие для персонала, обслуживающего тепловое оборудование / авт.-сост- Л.С. Овчинников. – Мн.: Дизайн ПРО, 2007. – 432 с.
2. Система технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта энергетического оборудования и сетей промышленной энергетики: Справочное пособие для инженеров/ авт.-сост. Л.С. Овчинников. – Мн.: Дизайн ПРО, 2007. - 688с.
3. Общая пояснительная записка к строительству завода по производству ЦСП мощностью 60000 куб. м. в год с реконструкцией строений (на территории бывшего мясокомбината) по ул. Комсомольской, 137 в г. Кричеве – А.Н. Пильщиков – Минск 2013 – 50с.

УДК 62-621.2

Анализ структуры Минской ТЭЦ-4», РУП «МИНСКЭНЕРГО»

Драенков И.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Минская ТЭЦ-4 является филиалом Минского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики РУП «Минскэнерго».

Филиал «Минская ТЭЦ-4» расположенный в Западном промышленном узле города является основным источником для покрытия тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение западной, юго-западной, частично северной и центральной частей г. Минска.

Установленная мощность:

- электрическая 1035 МВт
- тепловая 1519 Гкал/ч

Выработка электроэнергии: 3900,9 млн кВт·ч/год

Отпуск электроэнергии: 3579,7 млн кВт·ч

Отпуск тепла: 5136,5 тыс. Гкал/год

- в горячей воде 3007,6 тыс. Гкал/год
- в паре 2128,9 тыс. Гкал/год

Удельный расход условного топлива

- на отпуск электроэнергии 201 г/кВт·ч
- на отпуск тепла 166,6 кг/Гкал

Основное оборудование ТЭЦ состоит из двух частей (очереди):

- неблочной части с параметрами 12,7 МПа (130 кгс/см²) и 555 °С;
- блочной части с параметрами 23,5 МПа (240 кгс/см²) и 540/540 °С.

Кроме того, в отдельно стоящем здании установлены две турбодетандерные установки с номинальной электрической мощностью 2,5 МВт каждая.

В настоящее время на Минской ТЭЦ-4 установлено следующее основное оборудование:

а) в котельном отделении:

- четыре паровых котлов БКЗ-420-140НГМ;
- три паровых котла ТГМП-344А;

б) в турбинном отделении:

- один турбоагрегат ПТ-60-130/13.
- два турбоагрегата Т-110/120-130-4;
- три турбоагрегата Т-255/305-240-5;

В качестве основного топлива для паровых и водогрейных котлов используется природный газ, в качестве резервного – мазут.

Основные производственные фонды ТЭЦ сосредоточены и распределены по структурным подразделениям, которые осуществляют их эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт:

- ✓ Котлотурбинный цех;
- ✓ Электрический цех;
- ✓ Химический цех;
- ✓ Цех тепловой автоматики;
- ✓ Цех топливоподачи;
- ✓ Цех централизованного ремонта;
- ✓ Ремонтно-строительный цех.

Топливное хозяйство

Мазутное хозяйство состоит из следующих сооружений:

- мазутонасосной;
- склада мазута;

- приемно-сливного устройства.

Склад мазута состоит из пяти металлических заизолированных резервуаров вместимостью по 20000 м³/ч.

Приемно-сливное устройство состоит из двухпутной сливной эстакады, предназначенной для приема 52 цистерн грузоподъемностью до 60 т, двух приемных емкостей вместимостью 600 м³/ч каждая, на которых установлено по два перекачивающих погружных насоса типа 20НА-22х3 с подачей 550 м³/ч, напором 60 м с электродвигателем мощностью 160 кВт.

Максимальная производительность мазутонасосной (с учетом рециркуляции) составляет 400 т/ч.



Рисунок 1- Склад мазута

Газовое хозяйство состоит из:

- внеплощадных газопроводов высокого давления I-ой категории;
- газорегуляторного пункта № 1 (ГРП-1) пропускной способностью 262000 м³/ч;
- газорегуляторного пункта № 2 (ГРП-2) пропускной способностью 450000 м³/ч;
- газопроводов высокого и среднего давления на площадке ТЭЦ и газового

оборудования котельного отделения главного корпуса.

ГРП-1 и ГРП-2 работают параллельно на общие газопроводы.

Котельные агрегаты.

На Минской ТЭЦ-4 установлено четыре котельных агрегатов типа БКЗ-420-140НГМ.

Котел типа Е420-13,8-560ГМН (модель БКЗ-420-140НГМ-4) - однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, газоплотный, рассчитан на сжигание топлива двух видов: природного газа и мазута.

Котел работает со следующими номинальными параметрами:

- производительность по перегретому пару - 420 т/ч;
- давление пара в барабане - 15,6 МПа (159 кгс/см²);
- давление перегретого пара - 13,7 МПа (140 кгс/см²);
- температура перегретого пара - 560 °С;
- температура питательной воды - 230 °С.

Котел оборудован восемью комбинированными газомазутными горелками с паромеханическими форсунками производительностью по 3,5 т/ч. Производительность горелки по газу – 3,82 тыс. м³/ч.

Турбоагрегаты.

Основные технические характеристики турбины Т-110/120-130-4 УТМЗ:

Паровая турбина типа Т-110/120-130-4 УТМЗ - с двумя отопительными отборами и встроенным в конденсатор теплофикационным пучком.

- электрическая мощность 110 МВт;
- расход свежего пара 480 т/ч;
- температура свежего пара 555 °С;
- давление свежего пара 12,7 МПа (130 кгс/см²);
- тепловая нагрузка отопительных отборов 733 ГДж/ч (175 Гкал/ч);
- давление пара в конденсаторе 4,9 кПа (0,05 кгс/см²).

Турбина имеет пять регенеративных нерегулируемых отборов и два отопительных регулируемых отбора пара: верхний и нижний, предназначенных для ступенчатого подогрева сетевой воды в бойлерах турбины. Отопительные отборы пара имеют следующие пределы регулирования давления:

- верхний - от 0,06 до 0,25 МПа (0,6-2,5 кгс/см²);
- нижний - от 0,05 до 0,20 МПа (0,5-2,0 кгс/см²).

В состав турбинной установки, наряду с турбиной, входят:

- турбогенератор типа ТВФ-120-2 с водородным охлаждением;
- деаэратор 0,7 МПа (7 кгс/см²) типа ДСП-500М;
- три ПВД типа ПВ-425-230-13-3, ПВ-425-230-23-3, ПВ-425-230-35-3;
- четыре подогревателя низкого давления типа ПН-250-16-7;
- сливной насос ПНД-3 марки Кс80-155;
- эжектор уплотнений типа ХЭ-90-55, расход пара на эжектор 550 кг/ч (из уравнивательной линии деаэраторов или коллекторов 0,7 МПа);
- сальниковый подогреватель типа ПН-100-16-4;
- два подогревателя сетевой воды типа ПСГ-2300-2(3)-8-1;
- конденсатный насос ПСГ-2 марки КсВ320-160;
- конденсатные насосы ПСГ-1: два марки КсВ320-160 и один марки Кс32-150;
- конденсаторная группа КГ2-6200-III с поверхностью охлаждения 6180 м² (из них 940

м²

- встроенные пучки). Номинальный расход охлаждающей воды через основные пучки конденсатора – 13500 м³/ч, через встроенный пучок - 2500 м³/ч, сетевой воды через встроенный пучок - 6000 м³/ч.



Рисунок 2 – Ротор турбины

Деаэратор.

Деаэратор является подогревателем смешивающего типа и предназначен для удаления из химически очищенной воды кислорода, углекислоты и др. растворенных газов, разъедающих внутренние поверхности трубопроводов и арматуры. Растворимость газов в воде уменьшается при повышении ее температуры, и при достижении температуры кипения происходит удаление из воды свободного кислорода и углекислоты и др. растворенных газов.

Химический цех.

Установка химводоочистки Минской ТЭЦ-4 обеспечивает приготовление обессоленной воды для восполнения потерь пара и конденсата, подпиточной воды теплосетей, очистку конденсата турбоагрегатов ст. № 4-6 (АОУ, БОУ), очистку возвращаемого с мазутного хозяйства замазученного конденсата, нейтрализацию обмывочных вод и вод после кислотных промывок котлов, подкисление воды в оборотной системе технического водоснабжения.

Установка обессоливания для котлов очереди 12,7 МПа работает по схеме: предочистка, механическая фильтрация, двухступенчатое обессоливание по принципу

«цепочек». Для прямоточных котлов предусмотрена третья ступень обессоливания на фильтрах смешанного действия. Общая производительность обессоливающей установки – 300 т/ч.

Установка подпитки теплосети работает по схеме: предочистка (общая с обессоливающей установкой), механическая фильтрация, Na-катионирование. Производительность установки – 800 т/ч.

В качестве исходной воды для установки химводоочистки Минской ТЭЦ-4, а также для подпитки системы техводоснабжения, служит речная вода, подаваемая по стальным водоводам с водохранилища «Дрозды».

Литература

1. Белэнерго [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/sbytovaya-deyatelnost/sovershenstvovanie-ucheta-otpuskaemoy-potrebitelyam-elektricheskoy-energii/> – Дата доступа: 27.09.2018
2. РУП «Минскэнерго» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.energosbyt.by/counters_ul.php – Дата доступа: 27.09.2018
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – М.: Энергия, 1973г.
4. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Горяев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А. В. Клименко. – Л.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 424 с.: ил.
5. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас; под ред. Н. М. Пеунова. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.: ил.

УДК 621.181.27

Техническое описание и характеристики котла-утилизатора Q-235/541-32-3,6/435

Захарченко В. Ю., Лисовский С. А., Добренко Г. А., Нахай Е. В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Котел-утилизатор (КУ) типа Q235/541-32-3,60/435 имеет башенную компоновку поверхностей нагрева, два контура: парогенерирующий с естественной циркуляцией в испарительном контуре и водонагревательный с принудительной циркуляцией. КУ предназначен для работы в составе парогазовой установки с использованием в качестве греющей среды продуктов сгорания природного газа (основного вида топлива) или дизельного топлива (аварийного вида топлива), поступающих из ГТУ для выработки пара и подогрева сетевой воды.

Сжигания топлива в КУ нет, а пропуск горячих газов через неработающий КУ не допускается.

Основные характеристики КУ (заводские данные) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики КУ

Наименование расчетных параметров	Величина
Нагрузка ГТУ	100 %
Парогенерирующий контур	
Номинальная паропроизводительность	32 т/ч
Давление пара на выходе	3,5 МПа
Температура пара на выходе	435 °С
Температура питательной воды	104 °С
Гидравлическое сопротивление пароперегревателя	0,14 МПа
Водонагревательный контур	
Номинальная теплопроизводительность	13 МВт
Расход сетевой воды	426 т/ч
Температура воды на выходе	73,5 °С
Гидравлическое сопротивление	0,028 МПа
Температура уходящих газов	112,9 °С
Аэродинамическое сопротивление	2000 Па

Рабочий диапазон изменения нагрузки КУ от 50 % до 100 %.

Параметры барабана КУ представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Параметры барабана КУ

Наименование параметра	Величина
Давление пара	3,76 МПа
Температура пара	248 °С
Средний уровень воды	Геометрическая ось барабана
Общий объем	7 м ³
Диаметр	1512 мм
Толщина стенки	34 мм

В водном пространстве барабана установлены: трубопровод питательной воды с отверстиями для равномерного распределения воды по опускным трубам; трубопровод непрерывной продувки и трубопровод ввода химреагентов.

Схема испарения – одноступенчатая. Сепарационное устройство состоит из сепараторов циклонного типа (10 штук) и сетчатого сепарационного устройства, находящегося в верхней части барабана.

По ходу горячих газов (снизу вверх) поверхности нагрева располагаются в следующем порядке:

- вторая ступень пароперегревателя,

- первая ступень пароперегревателя,
- испарительные поверхности, экономайзер,
- газовый подогреватель сетевой воды (ГПСВ).

На выходе из КУ газы через выходной конфузор с переходом с прямоугольного на круглое сечение поступают в дымовую трубу. Температура перегретого пара на выходе из КУ регулируется впрыском питательной воды в пароохладитель, расположенный между первой и второй ступенями пароперегревателя.

Нижний предел нагрузки газовой турбины, при котором будет работать котел утилизатор — 50% нагрузка (16 т пара/час). Эксплуатация при более низкой нагрузке, <50%, может повредить оборудование из-за нестабильного потока и кипящих экономайзеров.

На рисунке 1 изображен котел-утилизатор Q-235/541-32-3,6/435.



Рисунок 1 – Котел-утилизатор Q-235/541-32-3,6/435

УДК 621.311

Анализ состава турбинного цеха Гродненской ТЭЦ-2

Калий В.А., Губар Е. Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

В турбинном цехе Гродненской ТЭЦ-2 установлены следующие турбины: 2 ПТ-70-130/13, Р-50-130/13 и ТГ-0,75ПВА3/6,3 Р13/4 «Кубань».

Турбина типа ПТ имеет два ротора – ротор высокого давления и ротор низкого давления. Все диски ротора высокого давления и девять дисков ротора низкого давления откованы заодно с валом. Остальные четыре диска насадные (часть низкого давления). Эти диски насажены на отдельные уступы с начальным натягом, обеспечивающим при прогреве турбины достаточно плотную посадку.

Прогиб вала вращающегося ротора в любом его сечении не должен превышать 0,02..0,05 мм; более высокий прогиб может послужить причиной аварии, вызванной недопустимой вибрацией.

Облопачивание ротора ЦВД и десяти ступеней ротора ЦНД выполнено лопатками постоянного профиля с Т-образным хвостом. Лопатки имеют на вершинах шипы, с помощью которых прикрепляется ленточный бандаж.

Лопатки четырех последних ступеней ротора ЦНД переменного сечения с вильчатыми хвостами. Лопатки трех последних ступеней прошиты провололочным бандажом. Длина рабочей лопатки последней (30-й) ступени- 665мм, средний диаметр диска- 2000 мм. На ТА-2 30-я ступень удалена.

В 2007 г. проведена реконструкция турбоагрегата ПТ-60-130/13 ст. №1 с целью продления ресурса работы турбины за счёт замены деталей, работающих в условиях высоких температур, а также с целью организации дополнительного нерегулируемого отбора пара $P=2,9$ МПа (30 кгс/см²). В ходе реконструкции увеличился теплофикационный отбор до 190 т/ч, возросла мощность турбины на 10 МВт, и улучшились её эксплуатационные характеристики. Установлен новый ЦВД от турбины ПТ-80/100-130, у которого ликвидирован перегрузочный клапан. Цилиндр развёрнут на 180°, установлены новые РВД и РНД на новых опорных и опорно-упорных подшипниках. Увеличился относительный внутренний КПД турбины до 84,45 %.

Электрическая нагрузка турбины при работе в номинальном режиме:

- с производственным и теплофикационным отборами - 73 МВт;
- с теплофикационным отбором - 70 МВт;
- в конденсационном режиме - 61,6 МВт.

Давление свежего пара - 130 кгс/см², температура свежего пара - 550 °С. Максимальный расход свежего пара для режимов:

- с отборами - 430 т/ч;
- для конденсационного - 219 т/ч.

Давление регулируемых отборов:

- производственного - 13 кгс/см²;
- теплофикационного - 1,2 кгс/см²;

Давление нерегулируемого отбора – 27 кгс/см².

Максимальный расход пара:

- в нерегулируемый производственный отбор – 100 т/ч;
- в регулируемый производственный отбор – 250 т/ч;
- в теплофикационный отбор– 190 т/ч.

Турбоагрегат ПТ-70-130/13 ст. №2

В период реконструкции на паротурбинной установке выполнены следующие мероприятия:

- заменен изношенный ЦВД с проточной частью;
- заменена проточная часть ЦНД;

- заменены: ГПЗ, стопорный клапан, пароперепускные трубы и регулирующие клапаны;
- заменено вспомогательное оборудование турбоустановки: ПВД, ПНД, ПСВ, конденсатор, соответствующие конденсатные и сливные насосы, основные и пусковой эжекторы, трубопроводы в ячейке турбоустановки ст. № 2, маслосистема, включая маслонасосы;
- выполнен дополнительный отбор пара из ЦВД на производство с давлением 2,9 МПа и расходом до 100 т/ч;
- увеличена номинальная мощность турбины до 70 МВт;
- увеличен отпуск пара из теплофикационного отбора до 200 т/ч;
- организована возможность подогрева сетевой воды в основных поверхностях конденсатора турбин;

Входные кромки лопаток двух последних ступеней, работающих в области влажного пара, защищены от эрозийного износа стеллитовыми накладками.

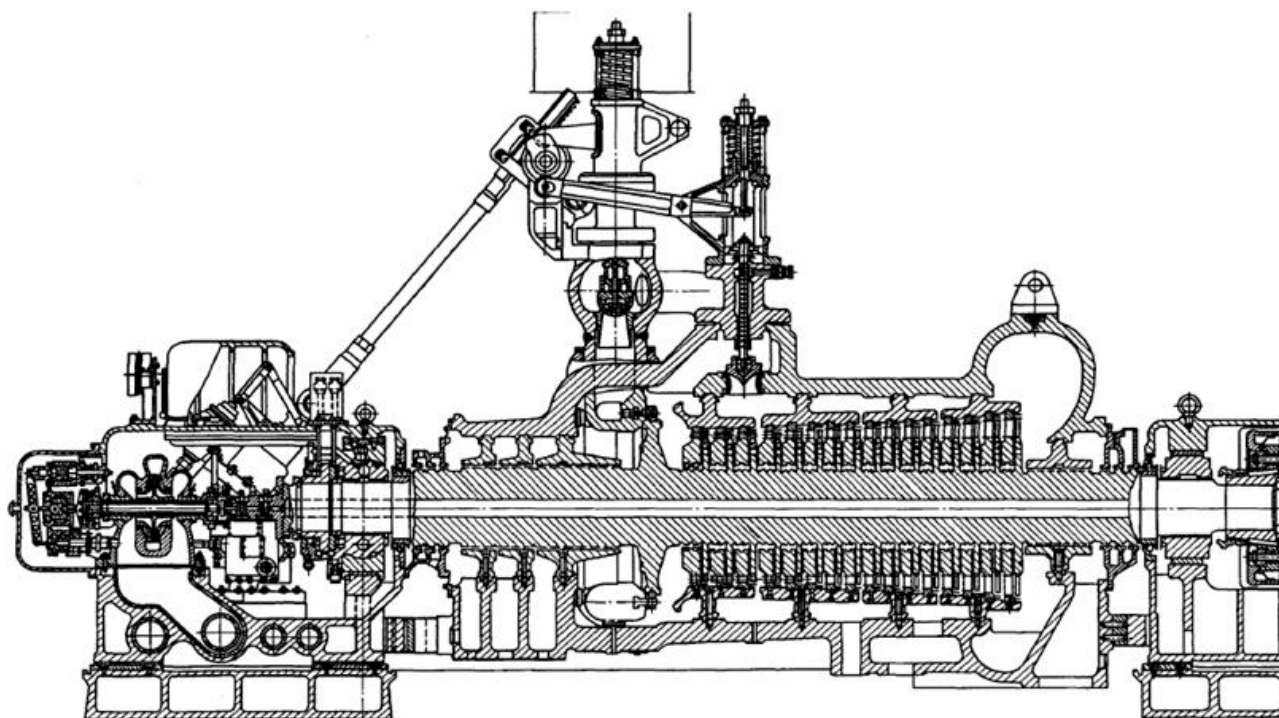


Рисунок 1 – Продольный разрез турбины ПТ-70-130/13

Литература

1. Соколов Е. Я. Тепловые сети: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956 – 236 с.
2. Официальный сайт Гродненского республиканского унитарного предприятия электроэнергетики ГРОДНОЭНЕРГО. Режим доступа: [<http://www.energo.grodno.by/branch/tec2>]. Дата доступа: [26.09.19].

УДК 621.311

Технический отчет по эксплуатации блока ПГУ-230 на Миской ТЭЦ-3

Лешкевич А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

В 2009 году на станцию был введен в эксплуатацию блок ПГУ-230. Для реконструкции ТЭЦ-3 была принята самая совершенная на данный момент «утилизационная» парогазовая технология.

Энергетический блок ПГУ-230 включает в себя парогазовую установку с двумя контурами давления пара, предназначенную для производства электроэнергии и тепла в базовом режиме работы. Основным и резервным топливом является природный газ.

Замена оборудования была произведена для повышения мощности парогазового блока.

В состав тепловой схемы ПГУ-230 входит следующее оборудование:

- одна газотурбинная установка типа GT13E2 производства ALSTOM с генератором типа 50WY21Z-095;
- один горизонтальный двух контурный барабанный котел-утилизатор типа HRSG/DP 01.1/производства фирмы SES ENERGY Словакия;
- одна паровая турбоустановка типа Т-53/67-8,0 ЗАО «Уральский турбинный завод» с генератором типа ТФ-80-2У3;
- вспомогательное общеплощное оборудование;
- автоматизированная система управления технологическим процессом.

Схема установки оборудования и расположения точек замеров представлены на рисунке 1.

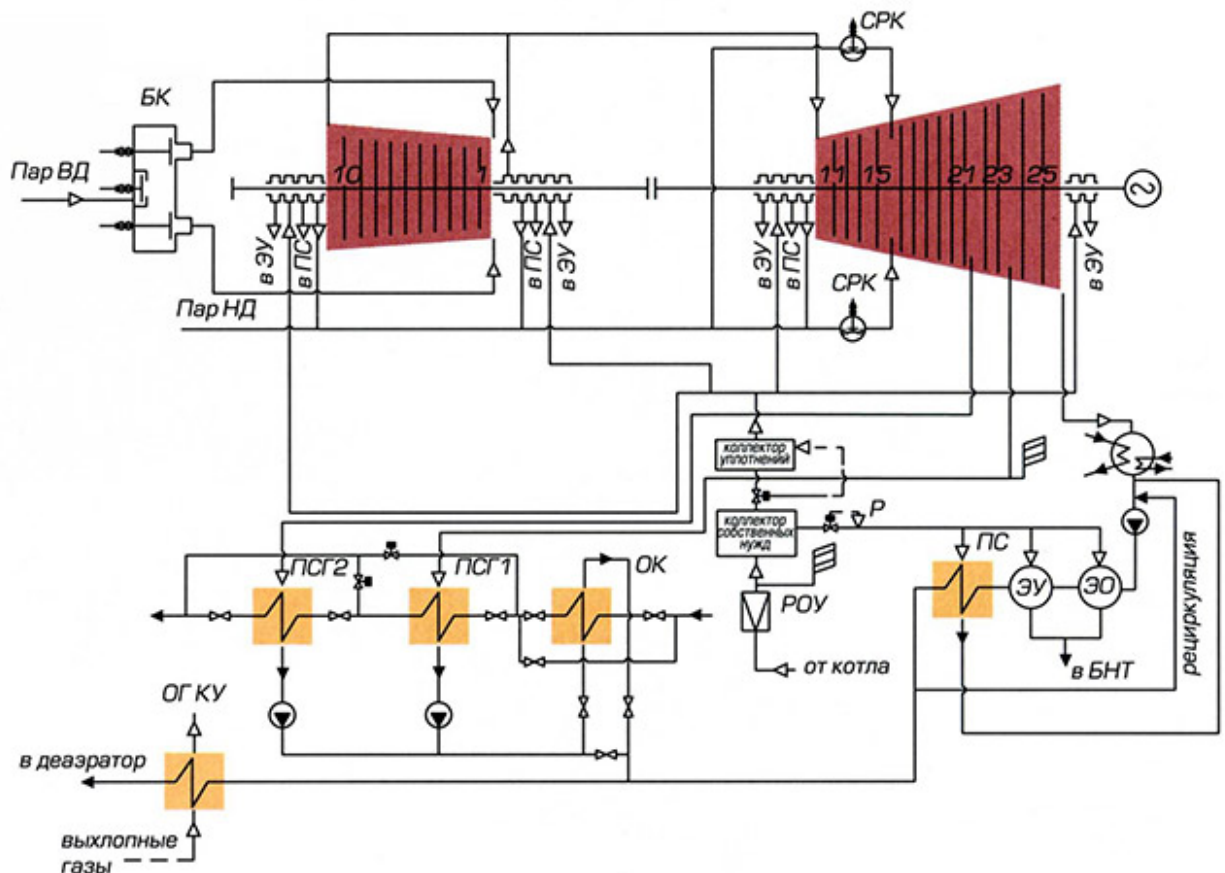


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3

Основные технико-экономические показатели блока ПГУ-230:

- установленная мощность — 222 МВт;
- тепловая мощность — 136 Гкал/ч;
- выбросы NOx — 50 мг/м³;
- КПД блока — 52,5%;
- коэффициент готовности — 95-96%;
- ремонтный цикл — 6-8лет;
- плановые осмотры критических узлов без разборки — через 8тыс.час.;
- средние ремонты — после наработки 25-30 тыс./часов 7;
- капитальные ремонты с разборкой ГТУ — после 48-50 тыс. часов.

Составляющие ПГУ-230:

- **газовая турбина GT13E2**, с частотой вращения ротора 3000 об/мин, предназначена для привода генератора типа 50WY21Z-095 с номинальной выходной мощностью 168 МВт.

- **паровая теплофикационная турбина Т-53/67-8,0** с конденсационной установкой и регулируемыми отопительными отборами пара предназначена для непосредственного привода электрического генератора типа ТФ-80-2УЗ производства «ЭЛСИБ» с воздушным охлаждением мощностью 65 МВт, с частотой вращения ротора 50 с-1 (3000 об/мин) и отпуска теплоты для отопления и горячего водоснабжения. Турбина представляет собой одновальный двухцилиндровый агрегат, состоящий из цилиндров высокого и низкого давления, имеет дроссельное парораспределение на входах пара высокого и низкого давления. Турбина допускает общее число пусков не более 2000 за весь срок службы 40 лет; из них не более 120 пусков из холодного состояния при пусках паром скользящих параметров.

- **котел-утилизатор (КУ)** – газоплотный горизонтальный теплообменный аппарат. На вход в КУ поступают отработанные газы из ГТУ и проходя последовательно поверхности нагрева, теряют тепловую энергию и на выходе в атмосферу имеют температуру 98 ГрадС. Котел-утилизатор подсоединен к выхлопу газовой турбины переходным диффузором. На входе в КУ производится контроль температуры газов по 15 точкам (температура не более 550 С) и давления газов (1,043 кгс/см²).

Литература

1. К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтарецкий «Справочник по котельным установкам малой производительности»; М, Энергоатомиздат, 1989 г.
2. Ю. В. Днепров, Д. Н. Смирнов, М. С. Файнштейн «Монтаж котельных установок малых и средней мощности»; М, 1975 г..
3. Р. Г. Зах «Котельные установки», 1968 г
4. РУП «Минскэнерго» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.energosbyt.by/counters_ul.php – Дата доступа: 20.09.2018

УДК 621.311

Методика расчёта естественного освещения в производственном помещении

Мелех С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БОБИЧ А.А.

Расчет естественного освещения в производственном помещении заключается в определении требуемой площади боковых проемов (окон) или верхних фонарей, которая бы обеспечивала нормативную освещенность (величину КЕО) для выполнения определенного разряда зрительной работы. Так как в рассматриваемом помещении предусмотрено только боковое освещение, то расчёт площади боковых проемов производится по следующей формуле:

$$S_0 = \frac{S_n \cdot \text{КЕО}_н \cdot K_з \cdot \eta_0 \cdot K_{зА}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}, \quad (5.1)$$

где: S_0 – площадь окон; S_n – площадь пола помещения; $\text{КЕО}_н$ – нормированное значение КЕО; η_0 – световая характеристика окон; $K_з$ – коэффициент запаса; $K_{зА}$ – коэффициент затенения окон; τ_0 – общий коэффициент светопропускания; r_1 – коэффициент, учитывающий отражение света при верхнем освещении.

Согласно для рассматриваемого помещения: $\eta_0=15$, $K_з=1,25$, $K_{зА}=1$, $\tau_0=0,45$, $r_1=5$. Подставим исходные данные в формулу 5.1:

$$S_0 = \frac{56 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 15 \cdot 1}{100 \cdot 0,45 \cdot 5} = 23,625 \text{ м}^2.$$

С течением времени из-за загрязнения и запыления остекления, эффективность естественного освещения снижается (до 25% норм.). Поэтому необходимо 2 раза в год очищать стекла, 1 раз в год белить стены и потолки.

Литература

1. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Санкт-Петербург, 1992г.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Экологический паспорт предприятия: СТБ 17.01.00-01-2012. – Введ. 25.09.12. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2012. – 24 с.;
3. Электронное освещение основы проектирования. – М.: Свет, 1973г.
4. Основы проектирования. – Колесников Г.П., 1993г.

УДК 621.1

Гидравлический разделитель MEIBES HZW 200/6

Павлович И.В.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Гидравлический разделитель (он же гидрострелка) применяется для выравнивания давления и температуры в системах отопления и может устанавливаться при до и после котла. Существует мнение, что котел работает при наличии гидравлического разделителя более плавно и мягче, а так же, что устанавливать гидравлический разделитель желательно только в котельных с мощностью от 80кВт.

При правильном выборе скорости течения теплоносителя в гребёнке, распределении теплоносителя по системе отопления, а также скорости течения в гидравлическом разделителе достигается наибольшая экономичность в работе отопительной системе.

Гидрострелка обычно это вертикальная емкость, сечением в сечении или квадрат, или окружность, с двумя входными и двумя выходными патрубками, которые могут быть смещены друг относительно друга или быть напротив друг друга.

Существуют гидравлические разделители, которые могут объединить два или больше котлов.

Расчет требуемого гидравлического разделителя обычно индивидуальный. Самый важный параметр при расчете это — горизонтальная скорость движения жидкости внутри ГС. Однако, существуют производители, которые параметр усредняют, и благодаря этому возможен серийный выпуск гидравлических разделителей. Специализированные гидравлические разделители под определенные нужды – термогидравлические разделители. Термогидравлические разделители помогают достичь максимально возможного для нее КПД. Гидрострелки, как правило, поставляются в паре с гидроколлектором.

Как было сказано выше, гидравлический разделитель может объединять 2 или более котлов, обычно их изготавливают под заказ, гидравлический разделитель такого типа называют совмещенным гидравлическим разделителем. Такой способ подключения котлов может применяться вместо каскадного подключения котлов, а так же он существенно экономит пространство в котельной.

Однако гидравлические разделители работают с принудительной циркуляцией, поэтому на каждый контур требуется свой насос.

На предприятии ОАО «Березастройматериалы» установлен гидравлический разделитель Meibes HZW 200/6. Гидравлический разделитель Meibes HZW 200/6 применяется как отдельно, так и в составе распределительных систем с объёмным расходом теплоносителя до 5 куб. м/ч.

Гидрострелка Meibes HZW 200/6 предназначена так же для удаления воздуха, шлама и грязи из систем отопления. Максимальная температура работы Meibes HZW 200/6 – 110 °С.

Использование гидравлического разделителя Meibes HZW 200/6 увеличивает ресурс отопительного оборудования, радиаторов и других коммуникаций.

Преимущества и особенности многофункционального устройства Meibes HZW 20/6:

- Качественное гидравлическое разделение контуров котла и потребителей, благодаря функции гидравлической стрелки. Перфорированная перегородка предотвращает эжекцию потоков и обеспечивает правильное температурное распределение.

- Поставляется в собранном виде, отпрессованное на заводе, с упаковкой и документацией на русском языке.

- Высокая степень защиты от коррозии позволяет долго и надежно работать.

- Быстрый монтаж.

- Удаляет воздух (встроенная структура HoneyComb) и загрязнения. Осаждает крупные примеси в шламособорнике, для последующего их удаления во время сервисных работ.

- Требуемые рабочие узлы поставляются в комплекте.

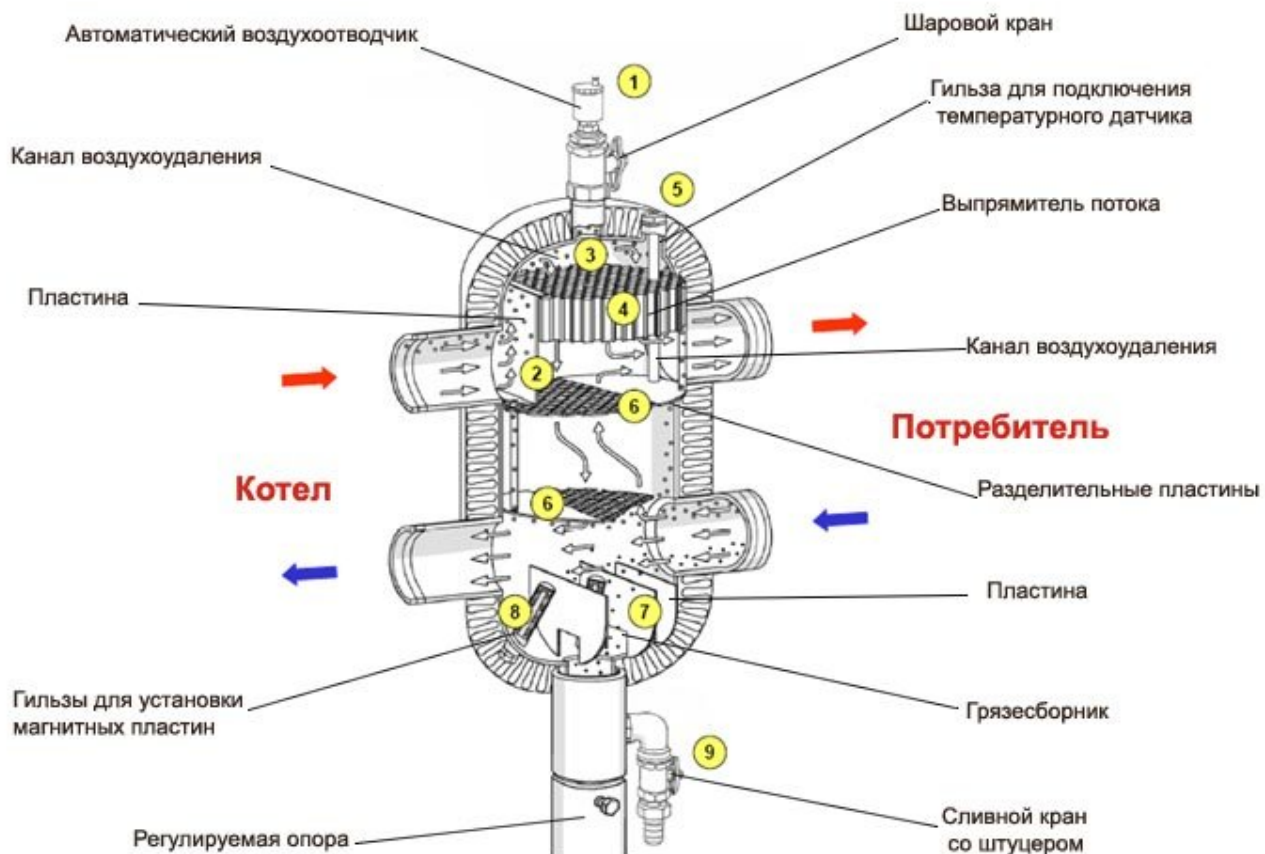


Рисунок 1 – Принципиальная схема гидравлического разделителя.

УДК 677.03

Искусственная сушка льнотресты в Республике Беларусь

Санько А.Н., Судак А.А.

Научные руководители – д.т.н., профессор РОМАНЮК В.Н., ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

В настоящее время лен занимает важную позицию в хозяйственном комплексе Республики Беларусь, что объясняется подходящими почвенно-климатическими условиями для его выращивания. Это немаловажно, так как лен имеет спрос внутри страны и за ее пределами.

Государство вложило большие инвестиции в развитие отрасли: только на модернизацию льнозаводов 1 трлн 428 млрд рублей, на закупку новой техники 1 трлн 425 млрд рублей.

На фоне приведенных затрат по обновлению материально-технической базы отрасли необходима модернизация сушки льна, так как она является недочетом льноводства. Модернизацию следует проводить с учетом климатических особенностей Республики Беларусь. Несоответствующая сушка сырья замедляет темп развития льноводства и выход его на ведущие позиции. Актуальность задачи объясняет обилие работ, посвященных изучению процесса сушки и разработке конструкций сушилок. В подавляющем числе случаев рассматривается конвективная сушка в конвейерных сушилках, применение которых сложилось исторически из технологий ручной уборки, складирования и транспортировки льнотресты. Значительным прогрессом в этом направлении явилась рулонная технология уборки льнопродукции. Данная технология заменила не только ручной труд машинами, но и позволила изменить технологический процесс уборки льна, а так же ликвидировать отдельные технологические операции, которые стали ненужными. При использовании рулонной технологии достигается поточность процесса уборки и сводится к минимуму зависимость проведения технологических операций от изменения погодных условий.

Повышенная влажность (более 23%) в утренние и вечерние часы и неблагоприятная погода по-прежнему являются сдерживающим фактором при заготовках льняной тресты. Одним из решений проблемы может быть искусственная сушка льнотресты, но уже непосредственно в рулонах на специальных сушильных установках.

При существующих сушильных машинах конвейерного типа неоднородность линейной плотности слоя тресты перед сушкой и сам процесс сушки сопровождаются определенной дезориентацией стеблей. Повышенная растянутость, перекосы стеблей приводят к значительным потерям длинного волокна при трепании и к снижению эффективности производства в целом. Учитывая, что стебли в рулонах, сформированных из лент комбайнового расстила, имеют наиболее оптимальное расположение в плане параллельности, сушка льнотресты в рулонах на специальных сушильных установках и ликвидация в технологической линии льнозаводов сушилок конвейерного типа повысят пригодность слоя к обработке.

Параметры рулонов льнотресты, предназначенных для искусственной сушки, должны отвечать определенным требованиям, при которых обеспечивается наиболее равномерное и эффективное высыхание материала.

Известно, что одним из наиболее эффективных приемов повышения выхода и качества длинного волокна является отлежка льнотресты после сушки перед переработкой. Несмотря на высокую технологическую эффективность этого приема, при сноповой технологии уборки и переработки льнотресты его ликвидировали. Оставаясь в технологии, отлежка нарушала непрерывность технологического процесса и требовала дополнительных затрат ручного труда. С переходом на рулонную технологию уборки, хранения и переработки льняной тресты отлежку можно включить в технологический процесс как обязательный прием.

Поэтому исследование процесса искусственной сушки льнотресты и ее отлежки после сушки в рулонах является актуальной научной задачей. [1]

Литература

1. Совершенствование технологии подготовки льнотресты в рулонах к механической переработке [Электронный ресурс] URL: <http://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-tekhnologii-podgotovki-lnotresty-v-rulonakh-k-mekhanicheskoi-pererabotke#ixzz5HrywnTyC>
2. Голуб, И.А. Инновационные разработки для белорусского льноводства / И.А. Голуб // Льноводство: реалии и перспективы. – Материалы Международной научн.-практич. конференции. – аг. Устье Оршанского р-на Витебской обл., 27–28 июня 2013 г. – РУП «Институт льна». – Могилев. – 2013. – 3–8.

УДК 621.548

Актуальность использования ветроэнергетики в Республике Беларусь

Зуева Е. С., Игнатович Р. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Ветроэнергетика на сегодняшний день является одним из наиболее динамично развивающихся и перспективных видов источников возобновляемой энергии и важным направлением в энергосбережении.

На сегодняшний день во всех странах стараются использовать ресурсы более рационально, что является приоритетным направлением в отрасли энергетики.

В Республике Беларусь большой проблемой является высокая энергоёмкость валового внутреннего продукта и дефицит собственных ресурсов. В настоящее время более 80% топливно-энергетических ресурсов наша страна получает из других стран, например, из России. Сейчас Беларусь потребляет различные виды топливно-энергетических ресурсов. В первую очередь лидируют топливная древесина, дрова, древесные отходы. Доля энергии воды, ветра и солнца в общем объёме получаемой энергии пока незначительна, но очень важна. Но наше государство одним из важнейших направлений энергетической политики определяет развитие возобновляемой энергии.

С уверенностью можно отметить, что наибольшее направление в области возобновляемой энергии в республике имеет ветроэнергетика. В ходе различных исследований и разработок белорусскими учёными за последние 30 лет было установлено, что в республике есть около 300 тысяч точек, где можно поставить ветровые установки различной мощности, конструкции и предназначения.

В настоящее время всего лишь 17 % потребления первичной энергии во всём мире реализуется из ВИЭ (ветровая и водная энергия, геотермия, энергия солнца и биоэнергия), при этом две трети составляют неkomмерческую древесину и другие биомассы, и почти одна треть ветровую энергию. На сегодняшний день в Республике Беларусь за счёт нетрадиционных источников получают 6 % энергии, что конечно очень мало, но наша страна старается преуспевать в этом направлении и развивается всё больше с каждым днём.

Существуют несколько преимуществ использования ветроэнергетики.

Первым является общедоступность. Ветер на сегодняшний момент - это альтернативный источник, который будет существовать всегда и является доступным везде.

Вторым преимуществом использования является безопасность для окружающего нас мира. Как и все возобновляемые ресурсы энергии, ветер является экологически безопасным, так как оборудование, которое преобразует ветряную энергию, не имеет никаких выбросов в атмосферу, а также не является носителем вредного излучения. Пути накопления, передачи и использования энергии ветра – экологичные.

Третьим преимуществом использования ветроэнергетики является большая конкурентоспособность. Ветроэнергия является хорошей заменой атомной. Эти отрасли конкурируют между собой в возобновляемой энергетике. АЭС несет большую угрозу для всего человечества, поэтому ветровая энергетика имеет больше достоинств в этом направлении. На сегодняшний день ещё не зарегистрирован ни один случай неисправности ветроустановки, который мог бы понести смертность рабочих или простых жителей.

Четвертое преимущество - развитие ветроэнергетики. На данный момент всё ещё продолжается развитие в данном направлении, поэтому ветроэнергетика ежегодно предоставляет людям тысячи рабочих мест. Это повышает занятость населения и хорошо влияет на социальное положение всей страны.

Пятым преимуществом является лёгкость в работе и обслуживании. Всё оборудование требует всего лишь небольших работ. Ремонт турбин и их замена будет задачей средней сложности. Высококвалифицированные рабочие с лёгкостью обеспечивают работу ветрогенераторов, их исправность. Для этого не требуются специальные навыки.

Шестое преимущество - перспективность. Ветроэнергетика не раскрыла всех своих возможностей. Различные научно-технические открытия позволят повысить эффективность ветроэнергетики, сделать ее более прибыльной.

Седьмым преимуществом в данной отрасли является экономическая выгода. Каждое предприятие сперва требует больших вложений. И в отрасли ветровой энергетики расходы на оборудование без изменений, в то время как цены на электроэнергию увеличиваются. Следовательно, доходы производства постоянно растут.

Однако, ветроэнергетика имеет ряд своих недостатков. В этом направлении есть проблемы.

Одной из которых является высокий стартовый капитал. Реализовать такой проект имеет ряд своих сложностей: покупка и установка всего оборудования требует больших инвестиций.

Вторым недостатком является сложный выбор территории. Не каждый регион подходит для строительства ветроэнергетических установок. Выбор земли на которой будет строительство, осуществляется на основе сложных расчётов. При этом учитываются: количество ветреных дней; скорость ветра; частота их изменения; прочее.

Третий недостаток - отсутствие точных прогнозов. Невозможно предугадать какие характеристики ветра будут через 10, 50, 100 лет. Однако, это относится ко всем возобновляемым источникам энергии.

На 2019 год на территории Республики Беларусь установлены более 90 ветряков. Ветроагрегаты установлены в Гродненской, Минской, Витебской, Могилевской областях. В нашей стране самой крупной является ветроэнергетическая установка, которая находится в посёлке Грабники, Новогрудского района, Гродненской области. Мощность данной установки составляет 1,5 МВт. Данная ветроустановка до сих пор остается самой большой и мощной в Республике Беларусь, а также является единственным государственным ветряком. По словам учёных данные ветроэнергетические установки окупаются в течение пяти лет при среднегодовой скорости 6–8 м/с.

УДК 621.548

Лабораторная ветроэнергетическая установка

Иванова Д.С.

Научные руководители – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н., ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

Лабораторная ветроустановка (рисунок 1) представляет собой передвижную раму, на которой установлено оборудование.

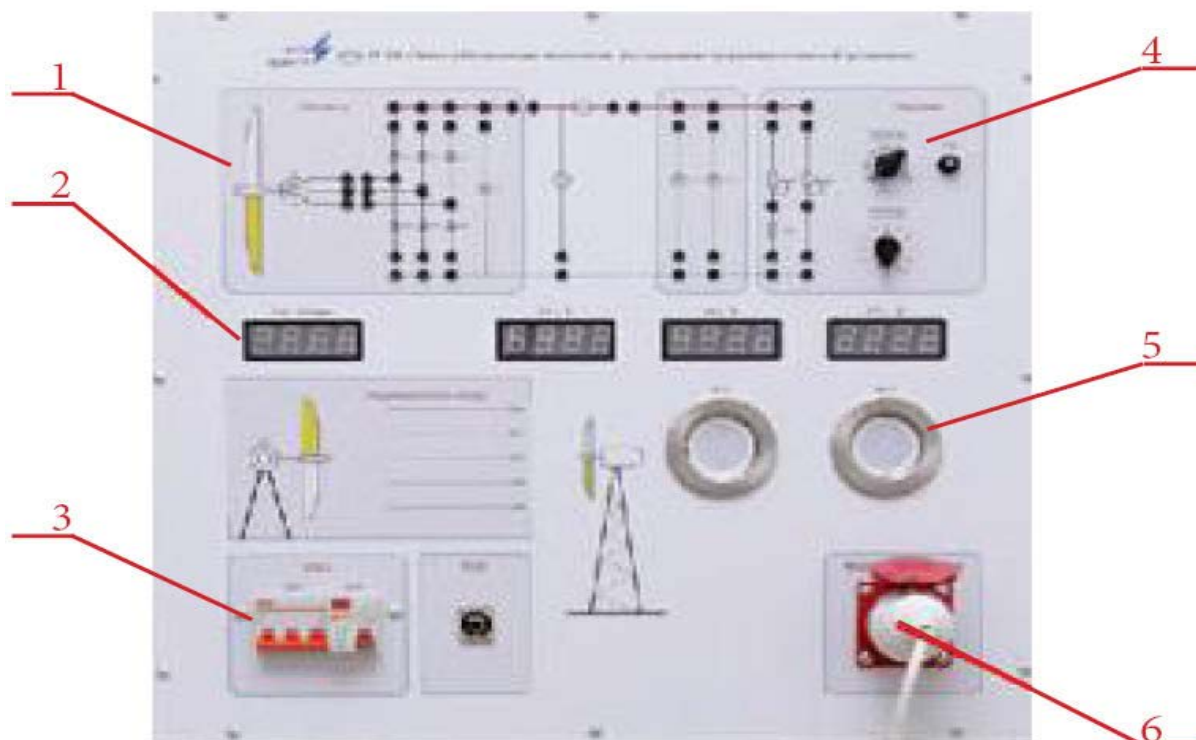


1 – блок управления; 2 – рама испытательной установки; 3 – центробежный вентилятор; 4 – кожух аэродинамического туннеля; 5 – стойка генератора; 6 – панель электрической коммутации; 7 – инвертор; 8 – защитная сетка (не показана); 9 – разъем подключения питания инвертора; генератор; 10 – лицевая панель, 11 – генератор.

Рисунок 1 – Испытательная установка с блоком управления и измерения

Блок управления состоит из корпуса, на котором установлены: источники питания, электронные платы, постоянные и переменные нагрузочные резисторы, лицевая панель и столешница интегрированного рабочего стола.

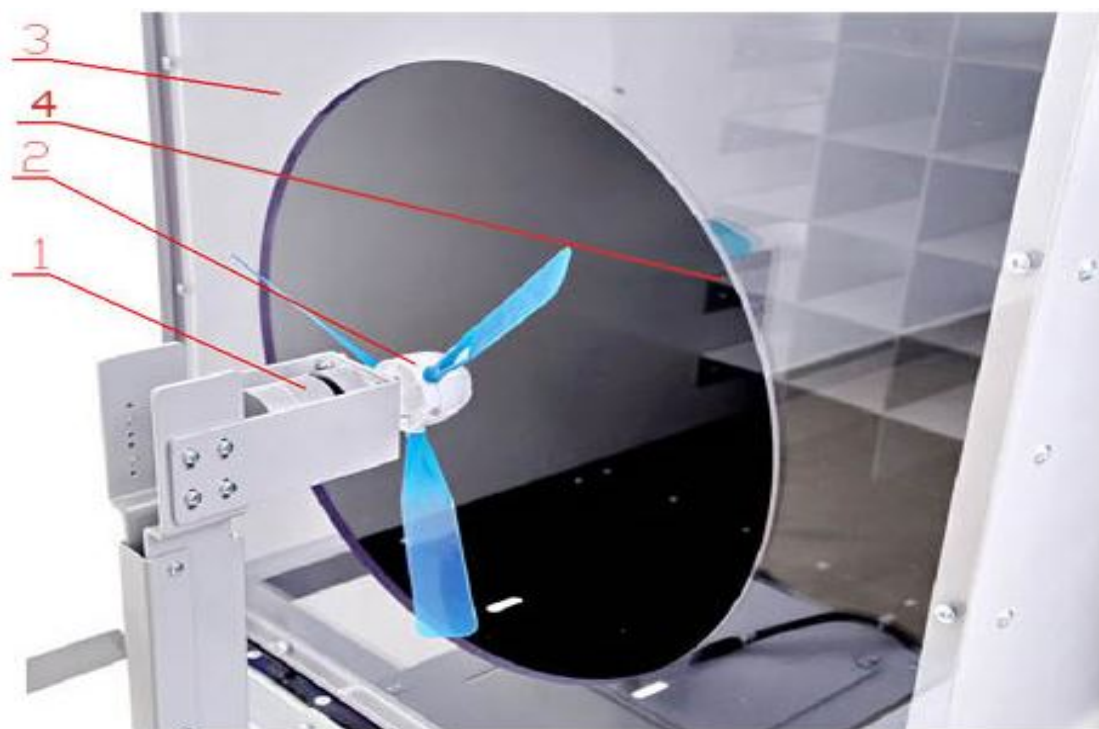
На лицевой панели также расположены (рисунок 2):



1 – схемы ветрогенератора, подключения нагрузки и измерительных приборов; 2 – цифровые индикаторы (частота вращения генератора, напряжение, ток и мощность); 3 – сетевой выключатель; 4 – функциональные переключатели; 5 – блок нагрузочных светильников (2 лампы); 6 – силовой разъем подключения установки для испытаний.

Рисунок 2 – Лицевая панель

Воздушный поток создается центробежным вентилятором, регулируя скорость которого возможно изменять интенсивность потока. Применение ячеистого выпрямителя потока (на выходе вентилятора) снижает завихрения воздуха в туннеле. Воздух подается на крыльчатку ветрогенератора через выходное отверстие туннеля, что обеспечивает равномерность потока и увеличивает скорость в сечении крыльчатки.



1 – генератор; 2 – крыльчатка генератора; 3 – выходное отверстие; 4 формирователь ламинарного потока.

Рисунок 3 – Вид испытательной установки сбоку

Скорость вентилятора регулируется при помощи инвертора или частотного преобразователя (рисунок 4). Для регулирования скорости большинства современных вентиляторов и дымососов используются частотные преобразователи. Они позволяют плавно менять производительность вентиляторных установок в широких пределах, обеспечивают плавный пуск и останов электродвигателя, а также позволяют экономить электроэнергию. При этом количество управляющих сигналов, приходящих из внешней системы автоматизации, минимально и чаще всего ограничивается аналоговым заданием по скорости и дискретным сигналом разрешения работы.



1 – панель управления инвертора; 2 – кнопка запуска; 3 – кнопка останова; 4 – регулятор частоты; 5 – индикатор.

Рисунок 4 – Инвертор

Поток воздуха от вентилятора проходя по коробу выходит к крыльчатке ветрогенератора и приводит ее во вращение. Крыльчатка выполнена съемной.

Стенд комплектуется анемометром дифференциального давления с трубкой Пито (рисунок 5). Прибор позволяет измерять скорость, давление и температуру воздушного потока. Для выполнения замера трубка вводится в вентиляционный канал.

Testo 512 одновременно отображает давление и скорость потока на большом дисплее. Данные замеров, также как максимальное и минимальное значения распечатываются по месту замера с указанием даты и времени. Единицы измерения скорости в testo 512 могут быть переключены между м/сек и ф/м. Восемь единиц измерения давления могут быть выбраны из следующих: кПа, гПа, Па.

Настройка сглаживания пульсаций для плавного вычисления среднего значения, встроенная компенсация плотности. Текущее значение может быть зафиксировано на дисплее через нажатие кнопки HOLD. Измеренные максимальное и минимальное значения могут быть отображены на дисплее и сохранены в приборе.



1 – вывод для трубки Пито; 2 – дисплей; 3 – кнопка включения/выключения и регулировки подсветки; 4 – кнопка HOLD; 5 – кнопка для печати; 6 – кнопка сброса зафиксированных данных.

Рисунок 5 – Анемометром дифференциального давления.

Литература

1. Исследование ветроэнергетической установки: для энергетических специальностей ВУЗа / сост. И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская, Д.С. Иванова, С.И. Страчинский, В.И. Лазакович. – Минск: БНТУ, 2019. – 57 с.
2. Ветроэнергетика света // Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

УДК 681.5

Автоматизированная система управления технологическими процессами на Минской ТЭЦ-2

Лагойко А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

После реконструкции на Минской ТЭЦ-2 была установлена новая автоматизированная система управления. Проект автоматизированной системы управления технологическими процессами (далее АСУ ТП) реконструируемого оборудования разрабатывается РУП «Белнипиэнергопром».

Автоматизированная система управления технологическими процессами – это система, состоящая из персонала и комплекса технических средств (КТС) автоматизации его деятельности.

Аппаратные и программные средства системы позволяют практически полностью отказаться от оперативных и неоперативных панелей и пультов, вторичных приборов, релейной и регулирующей аппаратуры, кнопок, ключей управления и дают возможность организовать оперативный контроль и управление технологическим объектом при помощи средств автоматизированных рабочих мест.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) предназначена для реализации приёмов, способов и методов применения средств вычислительной техники при выполнении действий сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных технологического объекта управления.

Основными целями создания АСУ ТП являются:

- обеспечение эффективного управления процессами выработки тепловой и электрической энергии;
- повышение безопасности и надежности работы автоматизируемого оборудования;
- эффективное управление параметрами автоматизируемых процессов и экономичностью автоматизируемого оборудования;
- уменьшение вероятности ошибочных действий оперативного персонала и объективная оценка его действий;
- повышение уровня информационного обеспечения производственно-технической деятельности оперативного и эксплуатационного персонала цехов, инженерно-технического персонала служб и отделов;
- повышение комфортности условий труда оперативного и эксплуатационного персонала.

Достижение указанных целей осуществляется благодаря применению:

- современной микропроцессорной техники, повышающей надёжность и живучесть системы;
- фирменного программного обеспечения;
- современных средств представления информации с различной степенью детализации от обобщенного представления оборудования до детального представления по каждому элементу и узлу;
- расширенных информационных и управляющих функций;
- более сложных алгоритмов управления;
- развитой системы диагностики программно-технических средств АСУ ТП.

Модульность построения и открытость АСУ ТП позволяют в дальнейшем развивать и расширять систему. Изменение функций системы осуществляется путем программирования, а не заменой технических средств.

АСУ ТП создается как человеко-машинная система централизованного контроля и распределенного управления, работающая в режиме реального времени. Режим функционирования АСУ ТП – непрерывный с периодическими осмотрами и регламентными работами.

Автоматизированная система управления технологическими процессами построена как распределенная, многофункциональная, многоуровневая, программируемая система.

Многоуровневая структура АСУ ТП содержит следующие уровни:

- полевой уровень системы (уровень «традиционного» оборудования системы), состоящий из датчиков (устройств), преобразующих физические величины в сигналы для обработки техническими средствами, электропривода запорно-регулирующей арматуры и механизмов, реализующих управляющие воздействия на технологические объекты управления;

- нижний уровень системы (уровень программно-логического управления), состоящий из программируемого логического контроллера, выполняющего сбор и обработку информации для базы данных системы и реализующего основные управляющие функции (технологические защиты, технологические блокировки, автоматическое регулирование);

- средний уровень системы (уровень оперативного управления), состоящий из центра управления с реализацией дистанционного управления исполнительными механизмами, изменения задания режимов работы подсистем управления, представления информации на мониторах, звуковой и визуальной технологической сигнализации, средств архивирования данных и т. д.;

- верхний уровень системы (уровень неоперативных пользователей системы), состоящий из рабочих станций, реализующих информационное обеспечение производственно-технической деятельности руководящего, оперативного, инженерно-технического персонала смен, цехов, служб и отделов.

Технологическими объектами управления данной АСУ ТП, включающими технологическое оборудование и реализуемые в нём технологические процессы, являются следующие объекты:

- паровой котел Е-105-39/440ГМ ст. №8;
- вспомогательное оборудование;
- береговая насосная станция.

Проектом реконструкции Минской ТЭЦ-2 также предусматривается разработка:

- автоматизированной системы контроля вредных выбросов, загрязняющих веществ в атмосферу;

- системы диспетчерского контроля на базе микропроцессорной техники с выдачей необходимой информации в пункт диспетчерского контроля Минских тепловых сетей

Автоматизированная система контроля вредных выбросов, загрязняющих веществ в атмосферу представляет собой самостоятельную локальную подсистему.

От данной системы в АСУ ТП поступают аналоговые сигналы по O_2 и CO для реализации функции автоматического регулирования котла №8.

Вся остальная информация по технологическому и экологическому мониторингу выбросов загрязняющих веществ поступает в систему по информационной сети.

Повышению надежности АСУ ТП способствуют следующие мероприятия на стадии проектирования и разработки системы:

- использование современной микропроцессорной техники с высокой степенью надежности и применение фирменного программного обеспечения;

- применение источников бесперебойного питания для операторских станций, а также с переключателем резерва для архивной станции, контроллеров и аппаратуры КИП;

- использование избыточности в управлении – две независимые, равноценные, взаимозаменяемые операторские станции для каждого технологического объекта управления.

Литература

1. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС: Уч. пособие/Демченко В.А. – Од.: «Астропринт», 2001 –300 с.
2. ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4[Электронный ресурс] / Минск новый и старый.– Режим доступа: <https://minsk-old-new.com/places/predpriyatiya/tec-2-tec-3>.– Дата доступа: 13.09.2019

УДК 621.1

Анализ использования местных видов топлива на Жодинской ТЭЦ

Ковалёва М.С.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

В период с 2007 по 2009 гг. в целях реализации Директивы Президента Республики Беларусь №3 от 14 июня 2007 в соответствии с пунктом 2.3.1, предусматривающим максимальное использование местных видов топлива, на Жодинской ТЭЦ была произведена установка парового котельного агрегата Е-60-9,5-510 ДФТ, ст.№11, работающего на древесном топливе, фрезерном топливе или дроблёных торфобрикетах.

Природный газ необходим только в качестве растопочного топлива и «подсветки», но котельный агрегат Е-60-9,5-510 ДФТ рассчитан также и на работу с природным газом в роли основного топлива, что влечёт за собой снижение паропроизводительности до 36 т/ч. В конструкции котла реализована технология сжигания древесного топлива, фрезерного топлива или их смеси в две стадии с их предварительной газификацией в предтопке «кипящего слоя», где при идёт процесс горения топлива при подаче воздуха первичного дутья, что позволяет выйти на бесшлаковый режим работы «кипящего слоя» с последующим дожиганием продуктов газификации в топке.

Технология предтопка с «кипящим слоем» позволяет с увеличением времени нахождения топлива в активной зоне горения (по сравнению с классической топкой «кипящего слоя») создать условия для более полного и эффективного сжигания древесно-фрезерного топлива. Но, стоит отметить что сжигание торфобрикета в чистом виде, не представляется возможным, хотя эта возможность заявлена фирмой при проектировании. Опыт работы подобных котлов в РФ показал, что виды твёрдого топлива с низкоплавкими характеристиками золы, к коим относится торфобрикет, для сжигания в топках с низкотемпературным «кипящим» слоем не пригодны, так как не представляется возможным создать полностью равномерную подачу воздуха в «кипящий» слой и оборудовать линию топливоподачи совершенными средствами регулирования температуры. Из чего следует что такой вид топлива, как дроблёный торфобрикет в данном котлоагрегате можно сжигать только в смеси с древесным топливом, к тому же доля торфобрикета не должна быть не выше 35-37% во избежание излишнего шлакования топки, уменьшения межремонтного периода работы котла и увеличения количества остановов по этой причине.

За 2016г. использование местных видов топлива на Жодинской ТЭЦ составило 32712 т. у. т. (109,8% от плана), из них:

- 34,8 % (содержание в смеси) молотых торфобрикетов;
- 63,4% (содержание в смеси) древесной щепы;
- 1,8 % (содержание в смеси) фрезерного топлива.

На данный момент в г. Жодино нагрузка горячего водоснабжения в межотопительный период достаточно небольшие- около 15÷18 Гкал/ч (проектные значения- 24-26 Гкал/ч). Минимальная нагрузка котлоагрегата Е-60-9,5-510 ДФТ- 30 т/ч (18 Гкал/ч). В результате чего, даже при работе котла на минимальной нагрузке, происходит перегрев сетевой воды и в целях соблюдения температурного графика необходимо вынуждено останавливать котлоагрегат для расхолаживания теплосети. Например, в 2018 году вынужденный останов котла Е-60-9,5-510 ДФТ составил 172 часа, также работа на нагрузке значительно ниже номинальной увеличивает затраты электроэнергии.

Удельные затраты электрической энергии:

- при работе с номинальной нагрузкой 60 т/ч- 20 кВт·ч/Гкал,
- при нагрузке 30 т/ч - 33 кВт·ч/Гкал.

Тем не менее всего за три года эксплуатации экономия за счет замены природного газа на местные виды топлива составила около 26 млрд. бел. руб. Негативное влияние на экологию сведено к минимуму путём использования систем очистки продуктов сгорания через электрофильтры, безопасной утилизации золы и использования топливной древесной

щепы, на 98,7% состоящей из продукции, которая поставляется через заключение договоров с поставщиками, а для них она представляет собой отходы производства.

КПД котлоагрегата при сжигании следующих видов топлива с нагрузкой по пару 60 т/ч составил:

- при сжигании фрезерного топлива с Q^P_H 8,1 МДж/кг- 90,5%;
- при сжигании древесного топлива с Q^P_H 8,6 МДж/кг- 90%;
- при сжигании дробленых торфобрикетов с Q^P_H 13,0 МДж/кг- 91,6%

Таблица 1 – Использование местных видов топлива по годам

Год	Использование МВт, т.у.т			Время работы, ч	
	Факт	План	%	Факт	План
2009	6558	6558	100	3351	3351
2010	27933	34700	80,5	6307	7008
2011	30775	29320	105,0	6739	7008
2012	30500	29820	102,3	7082	7008
2013	29188	29160	100,1	6981	7008
2014	30694	30200	101,6	6021	7008
2015	28795	27070	106,4	6035	6144
2016	32712	29780	109,8	7527	7008
2017	32993	30710	107,4	7340	7008
2018 (9 мес.)	23041	32740	70,4	5511	7008

Литература

1. Официальный сайт НП «Российское теплоснабжение». Режим доступа: [https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2851]. Дата доступа: [02.10.2019]

УДК 621.3

Влияние питч-угла на мощность ветроустановки

Зуева Е. С., Игнатович Р. С.

Научный руководитель – ст. препод. ПРОКОПЕНЯ И.Н.

Ветроэнергетика – один из наиболее развивающийся вид источника возобновляемой энергии и один из главных направлений в энергосбережении.

На настоящий момент в Республике Беларусь используются более чем 90 ветроустановок, общая мощность которых более 90 МВт. Тем не менее процент производства электроэнергии с помощью ветроэнергетических установок в общем производстве электроэнергии в стране практически близок к нулю.

Именно поэтому на сегодняшний день активно проводятся различного рода исследования, касающиеся ветроэнергетических установок. Одной из задач исследований является повышение эффективности работы ветроустановки и управление мощностью при больших скоростях.

Мощностная характеристика выхода мощности ветрогенераторной установки в диапазоне частичной нагрузки ниже номинальной мощности генератора установка должна работать как можно ближе к оптимальному коэффициенту быстроходности. Число оборотов ветроколеса должно регулироваться следящей системой пропорционально скорости ветра. Питч-угол должен при этом постоянно поддерживаться на 0° . Но скорость ветра нельзя с достаточной точностью измерять на установке. Турбулентность за ротором мешает измерениям с помощью анемометра на гондоле. На практике кривая регулирования строится на основе теоретической совмещенной характеристики ветроколеса, проходящей через аэродинамический максимум мощности различных скоростей ветра. Для регулирования мощности теперь можно использовать зависимую по числу оборотов регулировочную характеристику. На расположенном ниже рисунке 1 показаны характеристика режима управления (синяя кривая) и мощностная характеристика (красная кривая). Зеленый отрезок характеристики режима управления показывает теоретический ход этой характеристики. В диапазоне полной нагрузки ветрогенераторная установка должна ограничиваться номинальной мощностью генератора. Для установок с переменным числом оборотов это можно обеспечить постоянным заданным значением мощности или момента вращения (в нашем случае - момент вращения).

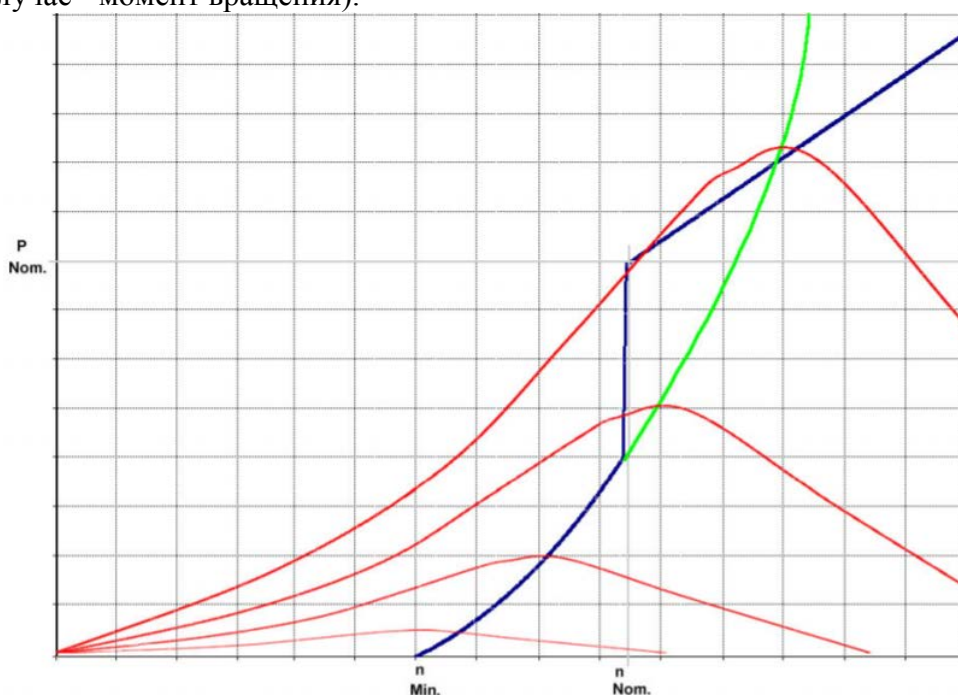


Рисунок 1 – Диаграмма характеристик режима управления и мощности

Ограничение аэродинамической мощности осуществляется косвенно с помощью регулятора числа оборотов, который использует питч-угол в качестве регулирующей величины. Для ветрогенераторной установки это означает, что число оборотов в диапазоне полной нагрузки поддерживается постоянным с помощью питч-угла. На реальных ветрогенераторных установках в большинстве случаев используется номинальное число оборотов, которое меньше соответствующего числа оборотов оптимальной аэродинамической мощностной характеристики. В результате этого в верхней зоне получается резкий подъем характеристики режима управления. Теперь ветрогенераторная установка уже не работает с максимальным выходом мощности.

В ходе проведения лабораторных работ по ветроэнергетике был изучен метод питч регулирования или иначе метод изменения угла установки. Ранее этот метод считался крайне сложным для применения. Однако с развитием техники он стал довольно таки стандартным для крупных ветроустановок. В работе была определена вводимая мощность при различных питч-углах и скоростях ветра.

На рисунке 2 представлен график зависимости мощности от скорости при изменении питч-угла, который был определен в ходе выполнении лабораторной работы на стенде.

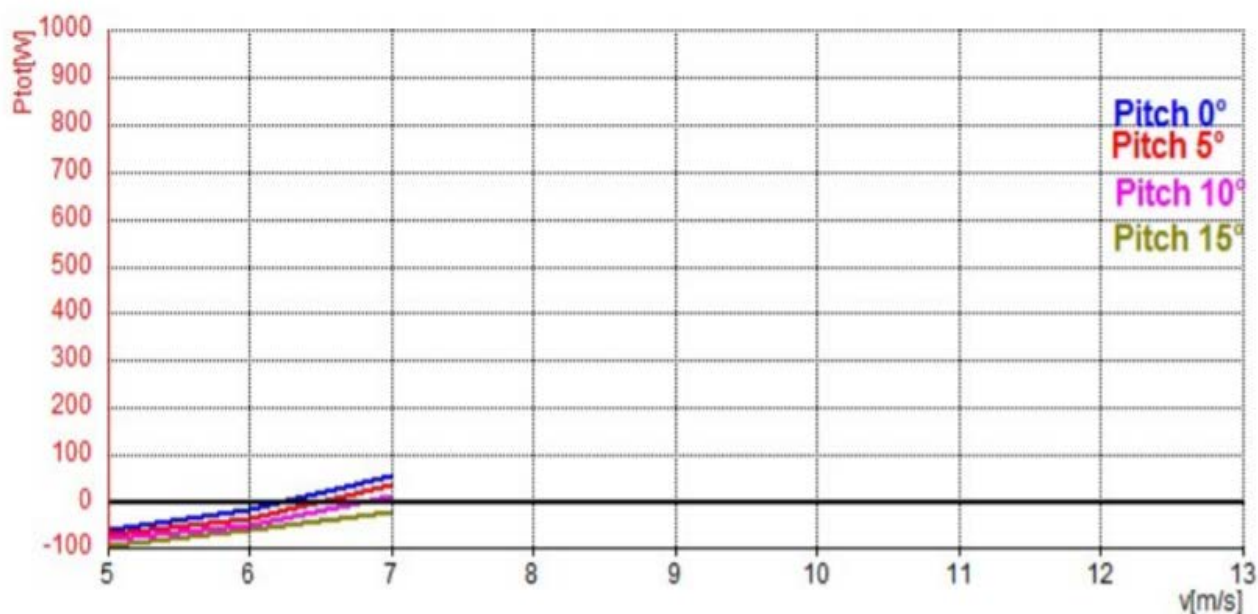


Рисунок 2 – График зависимости мощности от скорости при изменении питч-угла

Из данного графика следует, что:

- увеличение питч-угла уменьшает мощность вводимую в сеть;
- между питч-углом и уменьшением мощности нет линейной зависимости.

УДК 621.311

Состав основного оборудования «Минской ТЭЦ-3» РУП «МИНСКЭНЕРГО»

Меновщиков Д.И., Мялик А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

В энергосистеме республики Минская ТЭЦ-3 работает с 1951 года. На тот момент это был первый в Беларуси опыт пуска энергооборудования высокого давления. В настоящее время установленная мощность станции составляет 542 Мвт в т.ч. оч. 14МПа – 320 Мвт, блока ПГУ-230 – 222 Мвт. Такие устойчивые и доступные по капзатратам системы отличаются высочайшей энергетической эффективностью, минимизируют затраты и обеспечивают надежное электроснабжение независимо от конъюнктуры цен и доступности топлива.

ТЭЦ-3 работает по тепловому графику нагрузок, обеспечивая теплоснабжение промышленного района г. Минска и социальной сферы, включая часть центра города. Станция имеет сложную тепловую схему, оборудование с различными параметрами пара и поперечными связями. Постоянная модернизация и реконструкция оборудования в сочетании с грамотной эксплуатацией позволяют уже более полувека поддерживать надежную и экономичную работу ТЭЦ.

Схема ТЭЦ представлена на рисунке 1.

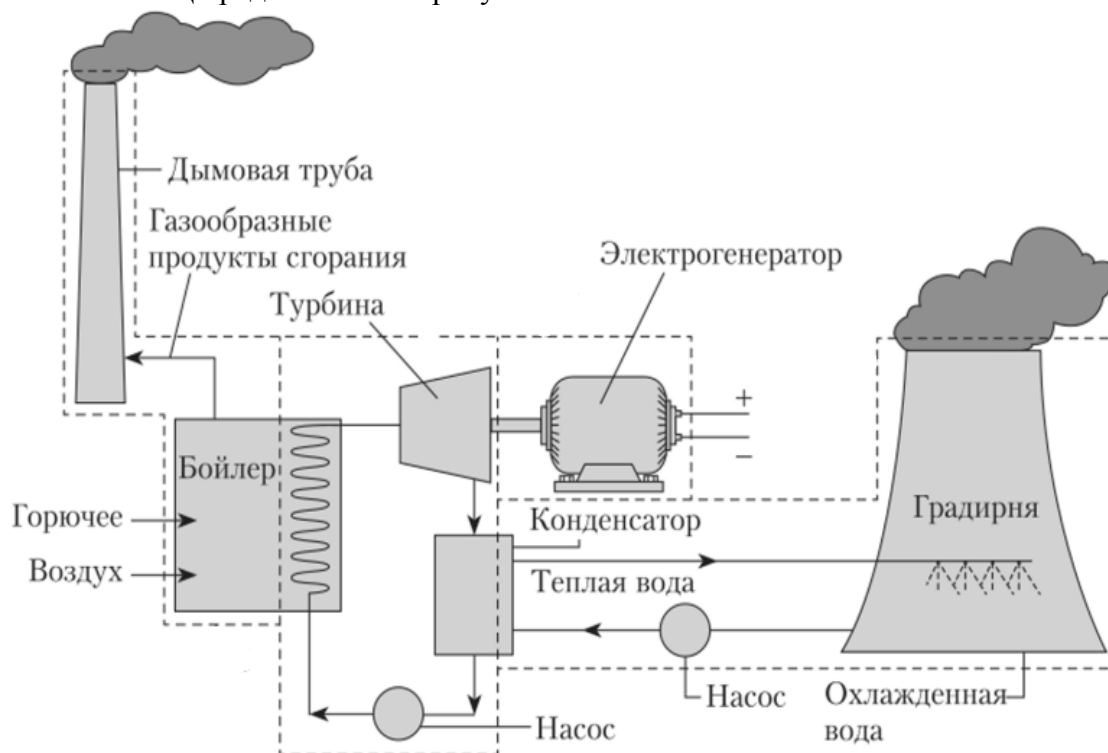


Рисунок 1 – Схема теплоэлектроцентрали

В настоящее время станция закончила период реконструкции с заменой выбывающих мощностей I очереди 10 МПа парогазовой установкой электрической мощностью 230 МВт. Реконструкция сопровождалась внедрением комплекса мероприятий по совершенствованию учета потребления энергии и систем, позволяющих оптимизировать работу оборудования ТЭЦ.

Минская ТЭЦ-3 является частью единого производственно-технологического комплекса по производству, передаче и распределению тепловой и электрической энергии.

Основными целями деятельности филиала являются:

- хозяйственная деятельность, цель которой получение прибыли предприятия;
- надёжное и качественное обеспечение потребителей энергией;

- обеспечение надёжного производства электрической и тепловой энергией.

В 2009 г. на станции введен в эксплуатацию блок ПГУ-230, указанные в описании показатели – проектные или на основании данных поставщиков оборудования. Энергетический блок ПГУ-230 включает в себя парогазовую установку с двумя контурами давления пара, предназначенную для производства электроэнергии и тепла в базовом режиме работы. Основным и резервным топливом является природный газ.

На ТЭЦ установлено следующее основное оборудование:

1. ПГУ-230, в состав которой входят:
 - одна газотурбинная установка типа GT13E2 производства ALSTOM с генератором типа 50WY21Z-095;
 - один горизонтальный двух контурный барабанный котел-утилизатор типа HRSG/DP 01.1/производства фирмы SES ENERGY Словакия;
 - одна паровая турбоустановка типа Т-53/67-8,0 ЗАО «Уральский турбинный завод» с генератором типа ТФ-80-2УЗ;
 - вспомогательное общецлочное оборудование;
 - автоматизированная система управления технологическим процессом.
2. Турбоагрегаты ПТ-60-130/13, мощность 60 МВт, тепловая нагрузка 139 Гкал/ч; Т-100-130, мощность 100 МВт, тепловая нагрузка 169 Гкал/ч. Все турбоагрегаты модернизированы, в частности, уплотнительные подшипники генераторов с повышением давления охлаждающего водорода.
3. Котлы 420/140, паропроизводительность 420 т/ч, тепловая мощность 169 Гкал/ч. Все котлы модернизированы – переведены с АШ на газо-мазутное топливо в 70-х годах.
4. Водогрейная котлы ПТВМ-100, мощность 100 Гкал/ч; КВГМ-180, мощность 180 Гкал/ч.
5. Силовые трансформаторы 110/10:
 - С1Т ТДНГ; 31,5 МВ×А;
 - С2Т ТРДНГ; 63,0 МВ×А;
 - С3Т ТДНГ; 20,0 МВ×А;
 - С5Т ТДГГ; 80/100; 80,0 МВ×А;
 - С6Т ТДГГ; 70/110; 70,0 МВ×А;
 - С7Т ТДЦ; 120/110; 120 МВ×А;
 - С8Т ТДЦ; 125/110; 125 МВ×А.

Тепловая схема блока ПГУ-230 ТЭЦ-3 имеет своей целью обеспечить эксплуатацию блока во всех режимах – пусковых, работы под нагрузкой, остановочных и аварийных. Тепловая схема ПГУ оснащена необходимым вспомогательным оборудованием и системами трубопроводов, обеспечивающими надежность основного оборудования и максимально допустимые скорости пуска, останова и изменения нагрузки.

Основные технико-экономические показатели блока ПГУ-230:

- установленная мощность – 222 МВт;
- тепловая мощность – 136 Гкал/ч;
- выбросы NO_x – 50 мг/м³;
- КПД блока – 52,5 %;
- коэффициент готовности – 95-96 %;
- ремонтный цикл – 6-8 лет;

Литература

1. Минская ТЭЦ-3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.minskenergo.by/filialy/minskaya-tets-3/> – Дата доступа: 25.09.2018

2. Техническая документация на оборудование по эксплуатации системы газоснабжения парогазовой установки ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3, ГПО "БЕЛЭНЕРГО" РУП "МИНСКЭНЕРГО" Минская ТЭЦ-3- Мн.:2012.РУП «Минскэнерго»

3. Техническая документация на оборудование по эксплуатации газодожимной компрессорной станции блока ПГУ-230 ЭИ МТЭЦ-3 028.028.-2013: ГПО «БЕЛЭНЕРГО» РУП «МИНСКЭНЕРГО» филиал Минская ТЭЦ-3 – Мн.:2013.

4. БЕЛНИПИЭНЕРГОПРОМ Реконструкция Минской ТЭЦ-3 с заменой выбывающих мощностей очереди 10 МПа. Мн, 2004.-52 с.

УДК 66.045.12

ТТАИ – тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные

Малащук А.М., Летун Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор РОМАНЮК В.Н.

Теплообменные аппараты составляют многочисленную группу теплосилового оборудования, занимая значительные производственные площади и выполняя функции теплообмена между средами в теплоэнергетике, химической и нефтеперерабатывающей промышленности и ряде других отраслей. Поэтому правильный выбор теплообменников представляется исключительно важной задачей.

К настоящему времени среди используемого теплообменного оборудования можно выделить два наиболее распространенных типа аппаратов - кожухотрубные и пластинчатые.

Рассмотрим относительно новые ТТАИ – кожухотрубные тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные.

Таблица 1 – сравнение ТТАИ и обычных кожухотрубных теплообменников

Технические показатели кожухотрубных водо-водяных теплообменников		Значения показателей	
		Обычных ОСТ 34-588-68 (1914)	ТТАИ (1994)
Теплообменные трубы	Материал	латунь	нержавеющая сталь, титан
	Характер поверхности	гладкая	волнистая
	Наружный диаметр, мм	16	8 (6)
	Толщина стенки, мм	1	0,3 или 0,4
	Количество (для D=80 мм)	12	52
	Площадь метра длины поверхности (для D=80 мм), м ²	0,55	1,27
Длина, мм		2000 или 4000	От 500 до 4200 с шагом 50 мм
Масса 1 метра длины ТА диаметром 80 мм, кг		30,2	5,3
Общее количество типоразмеров		22	более 10 тысяч
Максимальный вес одного теплообменника ТТАИ не превышает 80 кг (наибольший типоразмер D=250 мм, L = 4,2 метра.			

Диаметр корпуса от 25 мм до 220 мм. (Ду 25, 40, 50, 65, 80,100,125,150, 200, 250)

Вес аппарата - от 1 до 80 кг.

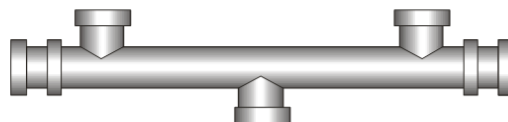
Конструктивные особенности: ТТАИ – разборные теплообменники



Одноходовые аппараты типа ТТАИ D / L



Двухходовые аппараты типа ТТАИ D / L - 2



Сложноходовые аппараты типа ТТАИ-2- D / L

Рисунок 1 – Типы аппаратов ТТАИ

Теплообменные трубки собраны в плотный пучок типа «ТВЭЛ». Пучок позволяет простой операцией прочистить каждую трубку либо отключить трубки, вышедшие из строя.

Используется нерегулярная разбивка трубных решеток, исключая байпасные перегородки. В районе ввода-вывода потока пучок разрезен.

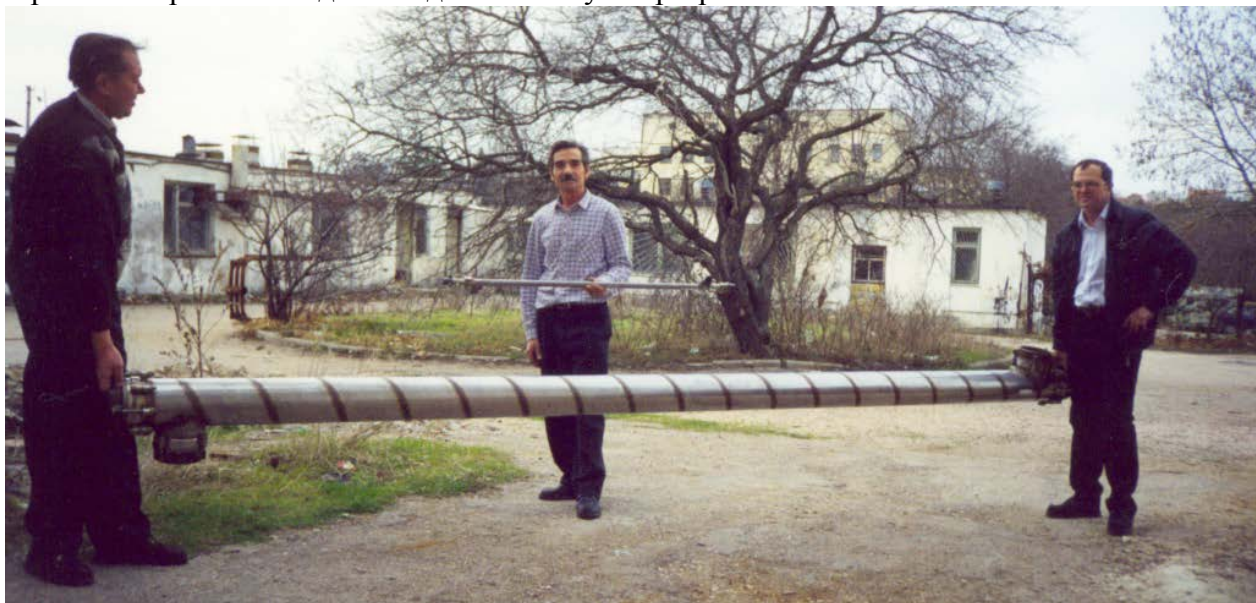


Рисунок 2 – Пример хорошей транспортабельности ТТАИ

Эквивалентный диаметр межтрубного пространства соответствует эквивалентному диаметру труб.

Пучок труб располагается в корпусе подвижно за счет плавающих трубных решеток. Перемещение решеток обеспечивается резиновыми уплотнениями.

Решетки выполнены из композитных материалов. Трубный пучок свободно извлекается из корпуса.

Корпуса изготавливаются из специальных тонкостенных труб из нержавеющей стали или титана в зависимости от свойств сред и режимов работы ТТАИ.

Разъемные соединения – типа фланцевых или фланцевые в зависимости от пожеланий заказчика. Ответные фланцы и патрубки из черного металла входят в комплект поставки.

Диаметр фланцевых патрубков превышает диаметр подключаемых трубопроводов, что обеспечивает полноту обтекания трубного пучка и, как следствие, компактность ТТАИ.

Конструктивные особенности ТТАИ

1. Используются особо тонкостенные ($\approx 0,3$ мм) теплообменные трубки малого эквивалентного диаметра (6–8 мм), что в сравнении с существующими кожухотрубными ТА (трубки 16×1) в 2,7–2 раза увеличивает поверхность теплопередачи при условии сохранения скоростей сред, участвующих в теплопередаче.

2. Трубки имеют специальный, термодинамически целесообразный профиль, обеспечивающий значительную интенсификацию теплообмена. Это значит, что форма и размеры элементов, обеспечивающих срыв пограничного слоя, выдерживаются по высоте до сотых долей мм, по шагу - до десятых долей мм.

3. Изготавливаются каналы из специальных тонкостенных труб, выполненных из нержавеющей стали или титана. Материал труб подбирается в зависимости от режима эксплуатации и свойств сред, участвующих в теплопередаче.



Рисунок 3 – Примеры выводов патрубков различных моделей ТТАИ

Области применения:

1. Среды - в первую очередь, невязкие ньютоновские жидкости и паровые потоки. Свойства сред определяют выбор материала для изготовления ТТАИ.

2. Расходы сред – от $\approx 0,2$ до ≈ 350 м³/час при диаметре кожуха 250 мм.

3. Температуры сред – от (-40) до 220 °С.

4. Давления сред – от вакуума до 1,6 МПа (2,0 МПа) при любом соотношении давлений потоков, участвующих в теплопередаче.

5. Перепады давления – любые, задаются заказчиком. (Малый перепад связан с увеличением габаритов и цены с утратой свойства самоочистки поверхностей теплопередачи.)

По сравнению с традиционными кожухотрубными и современными пластинчатыми аппараты ТТАИ значительно выигрывают в габарите и весе.

Некоторые особенности эксплуатации ТТАИ

1. При определении расхода сред проектировщиками с ошибкой порядка 10% расчетный режим обеспечивает эффект самоочистки поверхностей теплопередачи: от накипи; образующегося льда в системах получения «ледяной» воды; ила, водорослей и иного биообрастания при использовании речной и морской воды. Это освобождает персонал от необходимости технического обслуживания аппарата: лишь контролируются температуры сред и перепад давлений на границах ТТАИ и если они не изменяются, то на этом обслуживании и ограничивается.

2. Наибольший эффект самоочистки имеет место на внутренней поверхности труб.

3. При значительном отклонении режима от расчетного эффект самоочистки снижается и, в определенный момент, исчезает вовсе.

4. Очистка от накипи по прилагаемой инструкции, прежде всего, химическая и механическая (шомполом). При химической очистке нельзя использовать HCl. Можно сульфаминовую (2 часа при температуре 25 – 30°C), лимонную, ортофосфорную кислоты, наконец, сыворотку. Отключения ТТАИ от сети необязательны, если оборудовать их присоединительные линии соответствующими патрубками для подключения промывочной машинки.

5. Среду с наибольшей вероятностью к образованию накипи лучше пускать в межтрубный пучок, поскольку гарантируется очистка при любой степени загрязнения.

6. ТТАИ безинерционны (реакция на изменение характеристики потока в течение секунд), что необходимо учитывать при разработке АСУ ТП.

7. Расчетные параметры выдерживаются до десятых градуса, что, например, изменило технологию производства вина и соответствующие изменения вошли в учебник по виноделию.

Некоторые особенности монтажа ТТАИ

Вес погонного метра ТТАИ меньше веса присоединяемого трубопровода, что обеспечивает компоновку ТТАИ внутри пучка теплотрасс, например, на стенке, как элемент трубопровода, висящего на соседних участках. Не требуется габарит для извлечения пучка.

1. Трубопроводы должны иметь жесткую опору вблизи ТТАИ и на этих трубопроводах висит ТТАИ. Сам аппарат в опорах не нуждается. Жесткое крепление недопустимо. ТТАИ несилловые аппараты, допускают небольшой изгиб.

2. Требуется точное расположение трубопроводов относительно ТТАИ: рихтовка не допускается. Хомуты не допускаются. Можно, при желании, лишь легкую скользящую поддержку на усмотрение проектировщиков.

3. Допускается любая компоновка, в том числе, и по дуге ТТАИ различной длины (заказ длины под компоновку). На стоимости и сроках поставки не отражается. Доставка к месту монтажа через форточку, щель и т.п. ТТАИ квазиодномерны.

Учитывать и органично сочетать в одном аппарате все особенности стало возможно лишь благодаря индивидуальному проектированию и изготовлению аппаратов, для обеспечения чего была разработана и адаптирована в ходе натуральных экспериментов к особенностям конструкции данных аппаратов специальная математическая модель.



Рисунок 4 – ИТП в Воронеже

Учитывая особенности аппаратов ТТАИ была разработана новая идеология создания ИТП. В итоге тепловыделительный пункт, в блок-модуль которого не включены теплообменники, становится значительно компактнее, т.е. может зачастую размещаться в тех помещениях, в которых не мог быть установлен ни один другой ИТП с идентичными тактико-техническими характеристиками. А теплообменный аппарат может располагаться где-то рядом, вообще не требуя для себя никакого отдельного места. Например, на стене в пучке трубопроводов, или быть установленным вертикально в углу, или расположен под потолком, над входной дверью и т.д. Аппарат может быть вынесен в соседнее помещение и размещен там на стене, если там проходят другие трубы инженерного обеспечения помещения. Предлагаемый ИТП обладает еще рядом некоторых особенностей, сообщающих ему дополнительные преимущества. В частности, в нем схемно предусмотрена возможность промывки теплообменников обратным током, предусмотрены патрубки и необходимая запорная арматура для проведения безразборной химической отмывки, специальное схемное решение обеспечивает снижение вероятности образования накипи на теплопередающих стенках теплообменников при любых режимах работы тепловыделительного пункта, предусмотрена защита от работы насосов «всухую».

Вышеперечисленные преимущества в сочетании с невысокой стоимостью таких ИТП позволяют надеяться, что предлагаемая идеология создания тепловыделительных пунктов с использованием теплообменников типа ТТАИ будет признана специалистами и такие ИТП позволят решать те задачи, которые не удастся порой решить сегодня.

Литература

1. Теплообменные аппараты типа ТТАИ и специфические особенности индивидуальных тепловых пунктов созданных на их основе [Электронный ресурс], URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1501
2. Тонкостенные кожухотрубные теплообменные аппараты [Электронный ресурс], URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=116
3. Трубчатые теплообменники типа ТТАИ (полное описание) [Электронный ресурс], URL: <https://www.elecom-ural.ru/equipment/avtomatika/teploobmenniki/ttai/vybrat/taai/>
4. ТТАИБ – тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные [Электронный ресурс], URL: <http://investgroups.by/ttaib>

УДК 661.931

Пример схемы внедрения технологии «Энергия в газ» на мини-ТЭЦ

Малащук А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕДНИН В.А.

На рисунке 1 изображён фрагмент принципиальной схемы когенерационной системы с газопоршневой установкой, работающей на природном газе, также углекислотной станцией, электролизёром и реактором Сабатье. Система работает следующим образом. Атмосферный воздух, подается в газопоршневой агрегат I. В этот же газопоршневой агрегат подается топливо – природный газ. Природный газ смешиваясь с воздухом воспламеняется и сгорает в камере сгорания. Энергия, выделившаяся при сгорании топлива, в газовом двигателе производит механическую работу на валу, которая используется для выработки электроэнергии генератором электрического тока. Дымовые газы, уходящие от газопоршневого агрегата, подогревают сетевую воду первого контура в котле-утилизаторе и охладителе двигателя (охл. дв.). Обратная сетевая вода, приходящая от теплового потребителя №1, подаётся на всас сетевого насоса №1. Затем она направляется в охладитель двигателя, следом в котёл-утилизатор, далее - к теплообменному аппарату, который передаёт теплоту от сетевой воды к первому теплому потребителю.

На схеме также присутствует второй тепловой потребитель. Сетевая вода, возвращающаяся после него, подаётся на всас сетевого насоса №2. Далее эта вода подогревается в теплообменном аппарате №1 уходящими после котла-утилизатора дымовыми газами. Затем сетевая вода второго контура поступает в теплообменный аппарат №2, где подогревается. Потом она идёт на подогрев в холодильник (хол), после которого направляется на привод абсорбционной холодильной машины. После абсорбционной холодильной машины данная сетевая вода отпускается теплому потребителю №2.

После теплообменного аппарата №1 дымовые газы направляются в адсорбционный блок (адс), где охлаждаются и осушаются. Охлажденные и осушенные дымовые газы проходят через камеру адсорбции, затем либо сбрасываются в атмосферу, либо служат сырьем для экзогаза. В адсорбере происходит поглощение адсорбентом остатков водяных паров и углекислого газа. Остатки дымовых газов направляются в дымовую трубу (ДТ), с помощью которой сбрасываются в атмосферу, а адсорбент – в блок десорбер - регенератор. В десорбере благодаря нагреву адсорбента до температуры 140-160 °С происходит выделение углекислого газа, который далее направляется в реактор Сабатье. В свою очередь адсорбент поступает в регенератор, где за счет нагрева его электронагревателями до температуры 250-300 °С он освобождается от остаточной части водяных паров и тем самым восстанавливается для очередного технологического цикла, после чего охлаждается в холодильнике. Поток охлаждающей воды для адсорбера даёт абсорбционная холодильная машина, на привод которой подаётся поток воды, идущий от холодильника.

Электроэнергия, отпускаемая генератором электроэнергии, идёт на электролизёр, куда поступает вода, подвергающаяся электролизу. Выделяющийся водород поступает в реактор Сабатье, а кислород – в пункт приёма и хранения кислорода. Тепловая энергия, выделяемая при метанировании в реакторе Сабатье, сбрасывается в атмосферу в утилизаторе теплоты. Углекислый газ и водород, поступающие на вход в реактор Сабатье, преобразуются в синтетический природный газ, который поступает в пункт приёма и распределения синтетического природного газа (ППРСПГ).

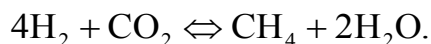
УДК 661.931

Технология получения синтетического природного газа

Малащук А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕДНИН В.А.

Производство СПГ освоено в Западной Европе (Германия, Дания, Италия). Новое энергетическое направление развивается, получив девиз «Power-to-Gas» или «Электричество в газ». В основе данной технологии лежат процессы получения водорода и его преобразования в метан (синтетический газ) метанированием углекислого газа согласно реакции Сабатье:



В своей работе я буду ориентироваться на производство водорода путём электролиза воды, а углекислого газа - улавливанием из дымовых газов.

Германия поставила перед собой цель, что к 2030 году 30 % её валового окончательного потребления энергии и не менее 50 % ее энергоснабжения будут обеспечиваться возобновляемыми источниками энергии, такими как энергия ветра и солнечной энергии. Но есть проблема: генерирование энергии на этих установках прерывисто по ходу суток и должно быть сбалансировано в целях устойчивости электрической сети. Накопление электроэнергии через технологию Power-to-Gas (PtG) является перспективным решением этой проблемы. Этот процесс связывает энергосистему с газовой сетью путем преобразования избыточной электроэнергии в газ, идентичным тому, который поступает потребителям по газовой сети. P2G состоит из двухэтапного процесса: производство H_2 путем электролиза воды и конверсии H_2 с внешним источником CO или CO_2 в CH_4 посредством метанирования. Полученный СПГ может быть введен в существующую газораспределительную сеть. Таким образом, существующая инфраструктура газовой сети может использоваться для хранения и транспортировки энергии [1].

Метанирование углекислого газа - это зрелая технология, которая уже широко применяется в промышленных процессах, таких как синтез аммиака [2]. Такие промышленные процессы обычно непрерывны, тогда как для того чтобы быть использованными для технологии P2G, метанирование должно быть приспособлено для прерывистых режимов работы. Для стадии метанирования можно использовать как биохимический, так и термохимический (каталитический) принцип метанирования. На демонстрационных установках P2G испытываются два типа метанирования:

1) Каталитическое метанирование. Это термохимический процесс, протекающий в диапазоне от 200 до 750°C, обычно с использованием никелевого катализатора [3]. Хотя на сегодняшний день этот метод преобладает над другими, используемыми в промышленности, он менее подходит для прерывистых режимов работы и для обработки примесей, которые могут присутствовать в потоке CO_2 , например, при анаэробном сбраживании.

2) Биохимическое метанирование. Суть метода заключается в преобразовании H_2 и CO_2 в СПГ с использованием метаногенных микроорганизмов. Эти типичные представители семейства Archaea одноклеточных микроорганизмов, найденных, например, в пищеварительных системах людей или крупного рогатого скота [4]. Эти микроорганизмы живут в анаэробных условиях в водном растворе при температуре в диапазоне 20-70°C. Биохимическое метанирование лучше подходит для использования в технологии P2G, чем термокаталитическое метанирование, т.к. оно менее чувствительно к прерывистым режимам работы и примесям в газовом потоке. Схема биохимического метанирования представлена на рисунке 1.

В основном из-за более высокой температуры процесса и, как следствие, более высокой скорости реакции термохимическое метанирование требует значительно меньшего объема реактора для определенного потока исходного газа по сравнению с биохимическим

метанированием. Однако полное CO_2 -превращение в одностадийном реакторе каталитического метанирования трудно достичь из-за ограничений термодинамического равновесия.

Технология «Power-to-gas» (PtG) может сыграть важную роль в будущей энергетической системе. Путем использования этой технологии «Power-to-gas» электрическая энергия из возобновляемых ресурсов может быть преобразована в сохраняемые химические энергоносители (т.е. метан). В PtG водород поступает из электролизной установки, которая использует избыточную электрическую энергию для разделения воды на водород и кислород. Затем водород вместе с CO_2 подают в реактор метанирования. Полученный метан затем модернизируют до тех пор, пока он не достигнет соответствующей теплотворной способности природного газа, а затем вводят в сеть природного газа, где ее можно хранить в течение длительного времени. Первые электростанции PtG от ETOGAS для Audi AG в Вертле, Германия, были сосредоточены на термохимическом метанировании с применением трубчатого реактора [5, 6]. Однако в настоящее время разрабатываются альтернативные технологические пути развития метанирования (трехфазное термохимическое метанирование и биохимическое метанирование) [7].

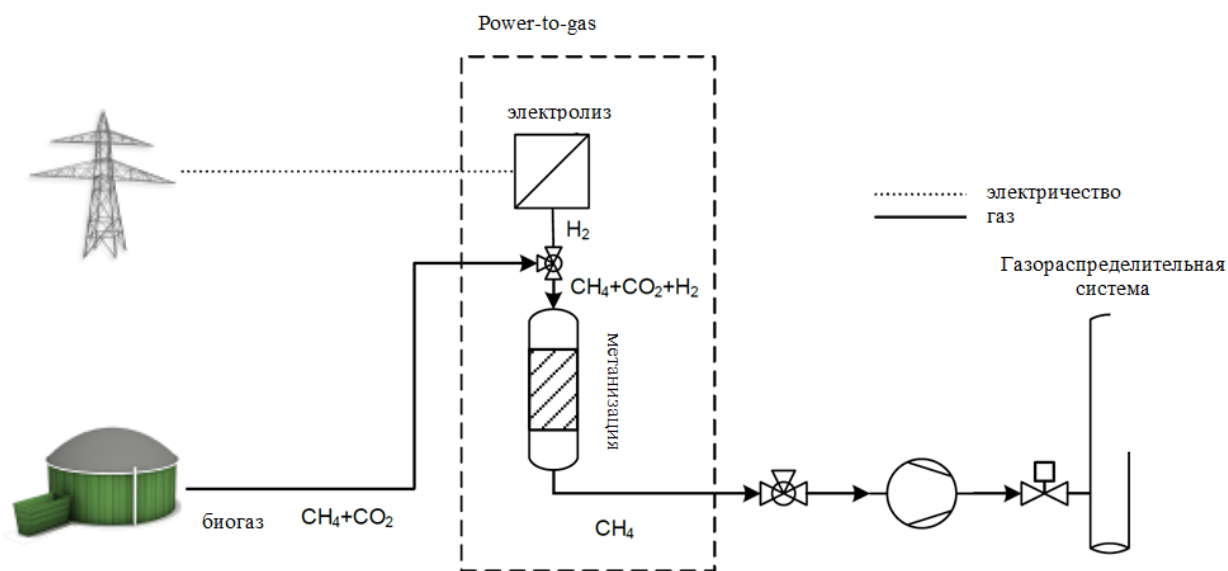


Рисунок 1 – Схема биохимического метанирования

Литература

1. ENEA. ‘The Potential of Power to Gas’, (Jan 2016), p. 27.
2. European Power to Gas White Paper. Sept 2017. [Электронный ресурс], URL: http://www.europeanpowertogas.com/media/files/EuropeanPower%20to%20Gas_White%20Paper.pdf.
3. European Power to Gas White Paper. Sept 2017
4. Demonfort Nkamgaa Vanessa. Archaea: Essential inhabitants of the human digestive microbiota/Vanessa Demonfort Nkamgaa, Bernard Henrissatb, Michel Drancourt. [Электронный ресурс], URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452231716300148>.
5. Hirtenstein Anna. Climate Changed. Big Energy Backs Hydrogen Power Storage [Электронный ресурс], URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-09-05/better-than-a-battery-big-energy-backs-hydrogen-power-storage>.
6. Institution of Gas Engineers and Managers. ‘Gas Quality Standards’. Dec 2017 [Электронный ресурс], URL: <https://www.gasgovernance.co.uk/sites/default/files/ggf/page/201712/UNC%20Transmission%20Working%20Group.pdf>

7. Bonaquist Dante. Analysis of CO₂ Emissions, Reductions, and Capture for Large-Scale Hydrogen Production Plants [Электронный ресурс], URL: <http://www.praxair.com/-/media/corporate/praxairus/documents/reports-papers-case-studies-and-presentations/our-company/sustainability/praxair-co2-emissions-reduction-capture-white-paper.pdf?la=en>

СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

Проблема глобального изменения климата и пути ее решения

Атрошенко Д.П.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Тенденции развития ядерной энергетики в мире

Башаркевич Е. К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Роль Республики Беларусь в создании общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза

Башаркевич Е. К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Выбор методов финансирования инвестиционных проектов

Гуляева А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЛАПЧЕНКО Д.А.

Организация, расчет и исследование работы разветвлённой тепловой сети с байпасными линиями с использованием теории графов

Коцубинская З.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А.

Реформирование энергетической системы германии с учетом отказа от АЭС

Лесюкова В. В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Оптимизация систем электроснабжения с применением теории графов

Лившиц Д.С.

Научный руководитель – к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А.

Сравнительный анализ моделей управления в энергетике

Максимчук А.Д.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Развитие электротранспорта, как национального приоритета страны

Матус Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е.А.

Проблема загрязнения окружающей среды пластиковыми материалами

Матус Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. САМОСЮК Н.А.

Анализ современного состояния Белорусской энергетической системы

Матус Е.В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Применение вероятностных методов при определении надежности технических систем

Павлова А.К, Хафизова А.Р.

Научные руководители – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А., к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А.

Оценка эффективности использования ПИ-труб

Петренко Р.В.

Научный руководитель — ст. препод. САМОСЮК Н.А.

Как уменьшить потери электроэнергии при ее передачи и распределении

Петрушина В.П.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е.А.

Перспективы цифровой трансформации

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е. П.

Перспективные направления цифровизации электроэнергетики

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е. П.

Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях

Царик О.Г.

Научный руководитель – ст. препод. САМОСЮК Н.А.

УДК 502

Проблема глобального изменения климата и пути ее решения

Атрошенко Д.П.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

В последнее время существенно заметным становится тот факт, что на Земле уже запущен механизм глобального изменения климата, что приводит не только к увеличению среднегодовой температуры и сопутствующими этому таянию ледников и повышению уровня Мирового океана, но и к нарушению баланса всех природных систем: все чаще будут возникать аномальные явления (засухи, наводнения, резкое изменение погоды, смещение климатических поясов).

Сейчас наиболее заметны изменения в Европе, Китае, Южной Корее и Аргентине. Там наблюдаются аномально высокие для летнего периода температуры.

Причиной данного изменения климата конечно же является антропогенный фактор. Деятельность человека: сжигание угля, нефти, газа – не остается без последствий. Использование транспортных средств, функционирование промышленных предприятий, экологические катастрофы: пожары, утечки, взрывы, аварии разного рода - все это приводит к высокой концентрации парниковых газов в атмосфере.

В сравнении со среднегодовой температурой, которую фиксировали в XIX веке, сейчас данное значение повышено на 1.02 °С. Если переступить порог в 2 °С, последствия уже будут необратимы.

Данное явление грозит не только появлением природных катаклизмов, непригодных для жизни человека территорий, но и утратой биологического разнообразия (под угрозой исчезновения находятся 30-40% видов растений и животных), нехваткой питьевой воды, голодом, эпидемиями, повышением уровня Мирового океана. Под воду первыми могут уйти город Венеция, государства Бангладеш и Нидерланды, малые островные государства – Мальдивы, Багамы и др. Немаловажным является тот факт, что данные последствия приведут к обострению политических разногласий и конфликтов. Нехватка продовольствия и питьевой воды, борьба за добычу энергоносителей, а также за использование морских и транспортных путей сильно пошатнут стабильность политических отношений.

Всего этого можно избежать путем сокращения выбросов парниковых газов. Это означает, что необходимо вводить в эксплуатацию энергосберегающие технологии и активно использовать альтернативные источники энергии (солнце, приливы, отливы, ветер, геотермальные источники). Но учитывая привязанность некоторых к географическому расположению, возникает нужда в использовании атомной энергетики.

Меры для предотвращения последствий повышения среднегодовой температуры были определены в рамках Киотского протокола и Парижского соглашения. Договор по климату подписали 195 делегаций со всего мира. Теперь участники соглашения обязаны выполнять национальный план по снижению выбросов, осуществлять обмен “зелеными” технологиями с другими государствами, оказывать помощь слаборазвитым странам, выделяя при этом в Зеленый климатический фонд около 100\$ млрд.

Важным моментом является то, что теперь (по Парижскому соглашению) ответственность за решение данной проблемы будут нести не только развитые государства, а все государства в целом вне зависимости от степени их экономического развития. Так как ранее (по Киотскому протоколу) к этому был приурочен только ряд некоторых государств: США, Канада, Япония, Россия, Украина и страны, входящие в Евросоюз. А Индия и Китай – государства, на которые приходится один из самых высоких уровней выброса парниковых газов в атмосфере, не брали на себя никаких обязательств.

Но также интересен тот факт, что конкретные обязательства по снижению выбросов углекислого газа в Парижском соглашении не фигурируют так, как это было указано в Киотском протоколе (снижение в 2008-2012 годах среднего уровня выбросов шести газов на

5.2% в сравнении с 1990 годом). Теперь каждое государство обязано установить свою норму снижения объема парниковых газов в соответствии с индивидуальными возможностями.

Так же сложным был вопрос финансирования. Здесь не были указаны конкретные обязательства для каждого из государств. Но наибольшая ответственность в данном вопросе была возложена на США. И данная роль “донора” не была воспринята. По мнению представителей США, это тормозит развитие технологий и экономики, является причиной роста безработицы. Поэтому теперь они заявляют, что не собираются финансировать модернизацию энергосетей, развитие альтернативной энергетики развивающихся государств. Это существенно осложняет ситуацию и является причиной отсутствия стимула для Китая в решении данного вопроса, что ставит под угрозу выполнение Парижского соглашения другими государствами. Поэтому нельзя сказать на данный момент, что путь решения проблемы глобального изменения климата будет найден в ближайшее время.

Литература

1. Климатический хаос [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: <https://tass.ru/spec/climate> – Дата доступа: 03.11.2019.
2. Суть Киотского протокол [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: https://finliga.com/articles/sut_kiotskogo_protokola.html – Дата доступа: 05.11.2019.
3. Суть Парижского соглашения [Электронный ресурс]. – 2019 – Режим доступа: <https://dailystorm.ru/vlast/klimat-dengi-donald-tramp-pochemu-vygod-ssha-iz-parizhskogo-soglasheniya-eto-populizm-dlya-vnutrennego-rynka> – Дата доступа: 05.11.2019.

УДК 621.039

Тенденции развития ядерной энергетики в мире

Башаркевич Е. К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

На данный момент в мире в 32 странах эксплуатируется 193 атомных5 электростанции, статус действующих имеют 452 блока, а строящегося - 56. Так же 171 энергоблок является закрытым. Такие данные приводятся в базе Power Reactor Information System (PRIS), поддерживаемой МАГАТЭ.

Всего в 2018 году было произведено девять энергопусков новых блоков (семь в Китае и два в России), началось сооружение пяти блоков (в Турции, России и Бангладеш (все три – с реакторами типа ВВЭР-1200), а также в Южной Корее и Британии) и окончательно остановлены пять блоков (по одному в США, России и Южной Корее и два на Тайване). Общее количество реактор-лет эксплуатации атомных энергоблоков в мире составляет 17914.

На данный момент список лидеров по выработке ядерной энергии возглавляют США, последующие места занимают Франция и Япония.

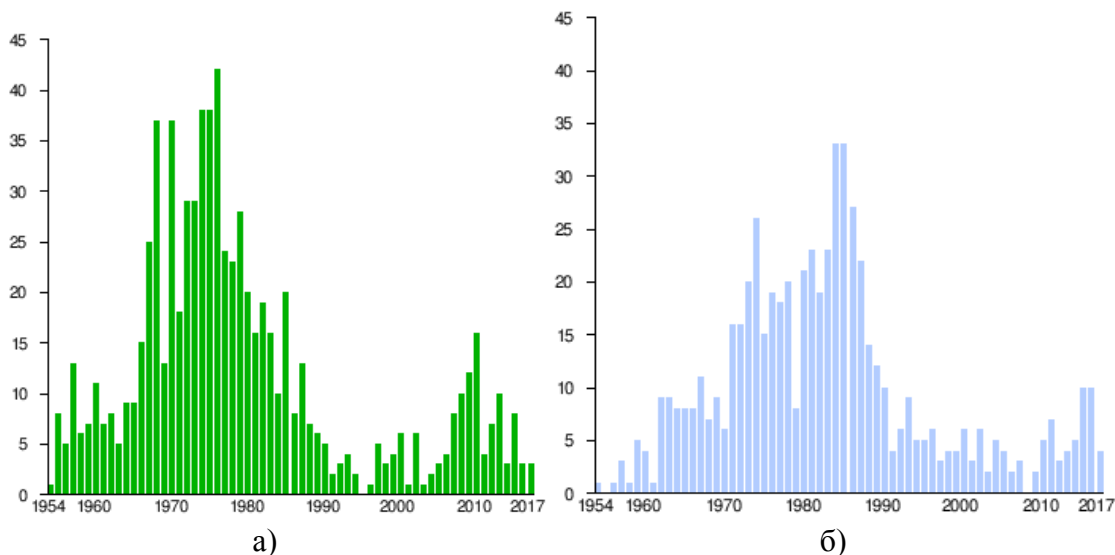


Рисунок 1 – а) Начало строительства блоков; б) Энергетические пуски блоков

На данный момент один из мощнейших в мире энергоблоков находится во Франции - АЭС Сиво (блоки 1 и 2, Water drop 2.svg PWR, 1561 МВт каждый, пуск в 1997 и 1999 году). Так же 29 июня 2018 года к сети был подключен энергоблок в Китайской Народной Республики (АЭС Тайшань) мощностью 1750 МВт, при выходе на полную мощность он станет мощнейшим в мире энергоблоком. Крупнейшая в мире АЭС находится в Японии - АЭС Касивадзаки-Карива (7 блоков Bubble2.svg BWR общей мощностью 8212 МВт, пуск с 1985 по 1996 год).27 октября 2018 года с подключением к сети 4 энергоблока Тяньваньской АЭС установленная мощность всех действующих промышленных ядерных реакторов человечества впервые превысила 400 ГВт.

Таблица 1 – Установленная мощность по миру

№	Страна	Установленная мощность, МВт
1	2	3
1.	США	102709 МВт
2.	Франция	65880 МВт
3.	Япония	46292 МВт
4.	Россия	25242 МВт
5.	Южная Корея	21442 МВт

1	2	3
6.	Китай	16703 МВт
7.	Канада	14398 МВт
8.	Украина	13835 МВт
9.	Германия	12696 МВт
10.	Великобритания	10902 МВт

Средний возраст действующего парка атомных реакторов в мире продолжает расти и составляет 29,3 лет. Более половины общего количества реакторов, 215 энергоблоков, работают более 30 лет, в том числе 59 реакторов, функционирующих более 40 лет, из которых 37 — в США.

Таблица 2 – Строящиеся АЭС

АЭС		Тип реактора
1	2	3
1.	Курская АЭС-2(Россия)	ВВЭР-1300/510
2.	Нововоронежская АЭС-2(Россия)	ВВЭР-1200/392М
3.	Ленинградская АЭС-2(Россия)	ВВЭР-1200/491
4.	Плавучая АЭС «Академик Ломоносов»(Россия)	КЛТ-40С
5.	АЭС «Аккую» (Турция)	ВВЭР-1200/491
6.	Белорусская АЭС (Беларусь)	ВВЭР-1200/491
7.	АЭС «Бушер» (Иран)	ВВЭР-1000/446
8.	АЭС "Эль-Дабаа" (Египет)	ВВЭР-1200
9.	АЭС «Куданкулам» (Индия)	ВВЭР-1000/412
10.	АЭС "Пакш-2" (Венгрия)	ВВЭР-1200
11.	АЭС «Руппур» (Бангладеш)	ВВЭР-1200/523
12.	АЭС «Тяньвань» (Китай)	АСРР-1000
13.	АЭС «Ханхикиви-1» (Финляндия)	ВВЭР-1200

Наибольшей популярностью на новых станциях пользуется водо-водяной корпусной энергетический ядерный реактор с водой под давлением, представитель одной из наиболее удачных ветвей развития ядерных энергетических установок, получивших широкое распространение в мире. АЭС на основе ВВЭР-1200 характеризуются повышенным уровнем безопасности. Это достигнуто внедрением новых «пассивных систем безопасности», которые способны функционировать без вмешательства операторов даже при полном обесточивании станции. На энергоблоке №1 НВАЭС-2 в качестве таких систем применены система пассивного отвода тепла от реактора, пассивная система каталитического удаления водорода и ловушка расплава активной зоны. Другой особенностью проекта стала двойная защитная оболочка, в которой внутренняя оболочка предотвращает утечку радиоактивных веществ при авариях.

Кроме того, Великобритания, Китай, Южная Корея готовят новые проекты, включая возможность строительства за пределами страны.

Сейчас в мире активно рассматривается вопрос об отказе эксплуатации АЭС, по мнению некоторых специалистов "время атомной энергетики заканчивается, и страны, даже такие как Тайвань и Болгария, Франция и США отказываются от строительства новых АЭС, поскольку с отработавшим ядерным топливом и со старыми АЭС не понятно, что делать. Не ясно как решить экологическую проблему надежной изоляции опасных искусственных радионуклидов от окружающей среды на протяжении сотен тысяч лет - именно такая техническая задача ставится сегодня специалистами и ей не находят решения. Страны, в первую очередь развитые и не бедные - такие как Германия, Бельгия, Италия, Швейцария отказываются от АЭС, а такие страны, где развиты ядерные технологии, как США и Франция,

уже практически перестали строить новые АЭС. И причина состоит именно в этом - современная атомная энергетика, богатые корпорации с их новыми технологиями не в состоянии сделать АЭС полностью безопасными. На сегодняшний день никто не может обеспечить на 100% безопасности новых АЭС. Также никто не смог найти решения проблеме ядерных отходов, которых сегодня на планете накоплено уже достаточно много"[5].

Белорусский учёный, политик и общественный деятель Юрия Воронезцев считает "за последние 20 лет доля электроэнергии, вырабатываемой атомной энергетикой, в мире упала почти в два раза. В Европе, не считая стран бывшего СССР, атомные электростанции есть в 15 странах. В 6 странах уже абсолютно точно их не будет – через 4 года в Германии, через 10-15 лет в других странах. У них есть программы вывода старых атомных электростанций и они не будут строить новых. В остальных 9 странах идут дискуссии" [5].

На самом деле опасные отходы по-прежнему остаются очень большой проблемой, т.к. никто не знает, как их окончательно утилизировать. Даже в таких странах, как США, Германия, которые более развиты в технологическом плане, самые лучшие, дорогие хранилища рассчитаны на 80-100 лет, а что делать потом – неизвестно, потому что эти отходы будут радиоактивными в течение десятков тысяч лет. Поэтому этот вопрос дает весомые основания задуматься по поводу перспективы развития разработки новых технологий ВИЭ, что более безопасно, чем использование атомной энергетики.

Тем не менее, в мире, ситуация выглядит несколько по-другому. Атомные станции продолжают строить развивающиеся страны, такие как Китай, Индия, Бразилия.

Подводя итоги, существует множество аспектов, по которым можно судить, есть ли перспективы развития атомной энергетики. С одной стороны, сейчас проводится антиядерная политика, активная пропаганда, переход на другие средства генерации энергии, возобновляемые источники в виду опасности выхода станции из строя и количества не утилизирующихся опасных отходов, а с другой некоторые страны всё так же продолжают активно использовать АЭС в целях генерации большого количества энергии и улучшения экономического положения страны. К слову об этом: Если вести речь о перспективе развития экономики страны, то здесь так же можно отметить как положительные, так и отрицательные черты. Из положительных будет строительство новых экономических отношений с другими странами, а также трудоустройство собственного населения, но из отрицательных станет вопрос о строительстве могильников для захоронения опасных отходов. В случае аварии, как показали предыдущие трагедии, тратится намного больше средств на устранение нанесенного ущерба, нежели на строительство и эксплуатацию станции. Всё же нужно учитывать риски, т.к. любая авария будет проблемой не одной страны, а целого региона, поэтому следует принимать во внимание множество факторов, при строительстве АЭС. И все же подводя итоги, проанализировав статистику, в среднем за последние несколько лет реакторы больше выводятся из строя, чем запускаются.

Литература

1. Список АЭС мира [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_АЭС_мира. – Дата доступа: 04.03.2019
2. Атомэнергомаш [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aem-group.ru/mediacenter/informatoriy/skolko-atomnyix-stanczij-rabotaet-v-mire-i-v-rossii.html>. – Дата доступа: 04.03.2019
3. Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/Global-nuclear-construction>. – Дата доступа: 04.03.2019
4. Росатом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosatom.ru/production/design/stroyashchiesya-aes/>. – Дата доступа: 04.03.2019
5. RU.DELFI [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.delfi.lt/abroad/belorussia/atomnyj-apokalipsis-kak-belarus-stremitsya-prygnut-v-poezd-iduschij-v-tupik.d?id=77877955>. – Дата доступа: 04.03.2019

УДК 338

Роль Республики Беларусь в создании общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза

Башаркевич Е. К.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Создание общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза (ЕАЭС) — один из важных этапов развития интеграционных процессов на евразийском пространстве. Хотелось бы отметить, что формирование рынка направлено, прежде всего, на переход к рыночным, в том числе биржевым, механизмам ценообразования, а также обеспечение добросовестной конкуренции. В мае 2019 года в рамках заседания Высшего Евразийского экономического совета главы государств подписали международный договор о формировании общего электроэнергетического рынка ЕАЭС. Документ определил правовые основы его создания, функционирования и развития, органы и организации, которые осуществляют управление и обеспечение функционирования общего электроэнергетического рынка Союза, его участников и инфраструктурные организации, а также способы торговли электроэнергией. Создание общего рынка электроэнергии позволит предпринимателям свободно выбирать поставщиков энергоресурсов, что положительно скажется на себестоимости производимой продукции.

К июлю 2019 года (сейчас дата перенесена на 1 января 2025г.) предполагалось создать условия для организации централизованных торгов электроэнергией, а также торговли по свободным двухсторонним договорам и создать для этого электронные системы торговли электроэнергией. Было бы проще, если бы страны пришли к одинаковым правилам и единому рынку. Но каждая страна настойчиво сохраняет свою систему, поэтому пути осуществления интеграции стран возникает множество проблем. Например, производителями энергии в России являются оптовые и территориально регулирующие компании, следовательно, покупателями электроэнергии и мощности на оптовом рынке являются крупные компании, которые берут её напрямую у производителей по оптовым ценам. Рынок электроэнергии в России устроен таким образом, что один лишний киловатт-час может снизить цену до нуля. А в Беларуси, Кыргызстане и Армении на данный момент отсутствует биржа электроэнергии, в этой связи цены на электроэнергию устанавливаются исходя из установленных тарифов. Сейчас, например, Россия не имеет возможности продавать электроэнергию в Казахстан, так как эта страна является энергоизбыточной, поэтому есть запрет на импорт, а поставки возможны только при дефиците энергии. Таким образом, состыковать интересы всех игроков евразийского рынка для создания действительно конкурентного ОЭР (общий электроэнергетический рынок) будет очень непросто.

Многие эксперты сходятся во мнении, что евразийский ОЭР вряд ли реально заработает, пока в ЕАЭС не будет создана наднациональная структура, нацеленная на формирование конкурентного интегрированного прозрачного энергорынка и предотвращение недобросовестных действий его участников. Она могла бы координировать взаимодействие между страновыми энергетическими регуляторами и обеспечить гармонизацию нормативной базы интеграции общего энергетического рынка.

Беларусь всегда заявляла, что конкурентный ОЭР в ЕАЭС создать невозможно, если прежде не создать общий рынок газа, поэтому требовала синхронизировать их создание. Существенное снижение цен на российский газ поможет снизить тарифы на электроэнергию. Таким образом после запуска БелАЭС Беларусь получит реальный шанс заметно нарастить поставки своей электроэнергии в Украину, а также в перспективе конкурировать и на евразийском электроэнергетическом рынке. Следовательно, без создания общего рынка газа обеспечить полномасштабную работу общего электроэнергетического рынка на конкурентных условиях в интеграционном объединении не представляется возможным.

А вот в условиях общего конкурентного электроэнергетического рынка в ЕАЭС у белорусской энергосистемы есть серьезные конкурентные преимущества, поскольку она

эффективнее, чем у других стран ЕАЭС. Поэтому Беларусь в принципе и рассчитывает на поставки своей электроэнергии на евразийский рынок. Но для этого она прежде должна реформировать свою электроэнергетическую отрасль. В энергетической отрасли в Беларуси идет вертикально-интегрированная модель управления, которая включает вертикаль всех видов экономической деятельности, в том числе производство электрической и тепловой энергии, ее передачу и распределение, а также сбыт. А чтобы Беларусь могла торговать электроэнергией на евразийском ОЭР, нужно создать оптовый и розничный рынки электроэнергии, а также провести разделение системы по видам деятельности — генерация электроэнергии, транспортировка и сбыт.

В связи с этим, энергетический рынок Беларуси предполагается разделить на опт и розницу.

Речь идет о разделении производства электроэнергии на конкурентные и монопольные виды деятельности, создании соответствующих структур оптового и розничного рынка и в целом новой системы управления энергетической отраслью страны. Уже подготовлен соответствующий законопроект, и прошло его общественное обсуждение. Вся эта работа будет проводиться в рамках закона "Об электроэнергетике".

Состоящая сегодня из вертикально-интегрированной ГПО "Белэнерго" и не входящих в ее состав локальных энергоисточников электроэнергетическая сфера трансформируется в двухуровневый электроэнергетический рынок (оптовый и розничный), на котором будут работать субъекты электроэнергетики - производители электроэнергии, системно-сетевой оператор, управляющая организация с функциями оператора оптового и розничного электроэнергетических рынков, энергоснабжающие организации. Разделение субъектов позволяет создать прозрачные условия для развития конкуренции среди производителей и последовательно двигаться в вопросе совершенствования отношений в области электроэнергетики.

Новый законопроект должен создать условия для перехода на самокупаемость каждого вида экономической деятельности, ухода от перекрестного субсидирования, привлечения инвестиций в строительство энергоисточников, развития конкуренции между производителями электроэнергии, повышения энергетической безопасности. Поставлять электроэнергию на оптовый рынок будут РУП «Белгенерация», БелАЭС, а также крупные независимые производители (имеющие установленную мощность энергоисточника 50 МВт и выше). Также на оптовый рынок будет поступать электроэнергия, закупаемая по импорту. Работой оптового электроэнергетического рынка будет заниматься управляющая организация, созданная на базе ГПО «Белэнерго». Право покупать электроэнергию с оптового рынка получают энергоснабжающие организации и крупные потребители электроэнергии при получении электроэнергии по сети напряжением 220 кВ и выше.

Проектом закона предусмотрена возможность двух способов торговли на оптовом рынке – централизованной и децентрализованной. При децентрализованной торговле субъект оптового рынка может выбирать контрагента при заключении договора купли-продажи электроэнергии. При централизованной торговле покупать электроэнергию у производителей оптового рынка может только управляющая организация (схема «единого покупателя»). При этом важное значение будет иметь происхождение электроэнергии. На оптовом рынке в первую очередь предстоит покупать электроэнергию от БелАЭС и комбинированных источников (которые вырабатывают одновременно и тепловую энергию). В то же время «зеленая» электроэнергия такого приоритета иметь не будет.

Таким образом после усовершенствования белорусской энергосистемы имеются перспективы интеграции в общий электроэнергетический рынок Евразийского экономического союза. Следовательно, у Беларуси появится реальный шанс сбыта электроэнергии, а также возможность показать свои конкурентные преимущества над рядом стран, поскольку белорусская энергосистема устроена эффективнее, чем энергосистема некоторых стран Евразийского экономического союза.

Литература

1. Office life [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://officelife.media/news/the-energy-market-of-belarus-will-be-divided-into-wholesale-and-retail/>. – Дата доступа: 04.11.2019
2. Евразия эксперт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eurasia.expert/stalo-izvestno-kogda-zarabotaet-obshchiy-energeticheskiy-rynok-eaes/> – Дата доступа: 04.11.2019
3. Звезда [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zviazda.by/ru/news/20190819/1566228153-obshchiy-elektro-energeticheskiy-rynok-eaes-budet-zapushchen-ne-pozzhe-1>. – Дата доступа: 04.11.2019
4. Белрынок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.belrynok.by>. – Дата доступа: 04.11.2019

УДК 330.332

Выбор методов финансирования инвестиционных проектов

Гуляева А.А.

Научный руководитель – ст. препод. ЛАПЧЕНКО Д.А.

Инвестиции играют существенную роль в функционировании и развитии экономики. Они создают новые предприятия и дополнительные рабочие места, позволяют осваивать передовые технологии и обновлять основной капитал, способствуют интенсификации производства, обеспечивают выход на рынок новых видов товаров и услуг. Выбор оптимальной величины и конкретного способа финансирования инвестиций, производится на основе различных критериев. Такими критериями являются: налоговая выгода, стоимость привлечения конкретного источника, доступность, риски, оперативность и т.д. Основным недостатком существующих методических подходов является, как правило, их ориентированность лишь на один критерий. При этом, если, выбирая наиболее оптимальный источник финансирования, принимать во внимание абсолютно все возможные параметры и характеристики, процесс выбора окажется достаточно сложным и длительным, что также негативно скажется на конечном выборе.

Прежде всего определяется общая потребность в финансировании, а затем рассматривается, с помощью каких внутренних или внешних источников можно покрыть эту потребность. При нехватке собственных средств для реализации проекта организация привлекает внешние источники финансирования. Обоснование выбора того или иного источника финансирования зависит, например, от возможности организации оплачивать проценты за пользование кредитами или выпускать ценные бумаги. В первую очередь выбирается тот источник финансирования, который при наименьших затратах на его использование позволит обеспечить проект необходимым для его реализации размером денежных средств.

Также важным критерием, влияющим на выбор источника финансирования, является его стоимость. Во сколько обойдется компании использование того или иного источника финансирования, это первый вопрос, на который необходимо ответить финансовой службе, для того что бы среди альтернативных видов инвестиций выбрать наиболее оптимальные и экономически эффективные. Существует множество способов определения стоимости привлеченного источника финансирования. При выборе метода расчета следует учесть наиболее важные показатели, к которым относятся: процентные ставки, уровень инфляции, премии, вознаграждения и другие выплаты, а также налоговый эффект.

Однако источники денежных средств могут иметь примерно одинаковую стоимость для предприятия. Поэтому, следует оценить другой немаловажный критерий – доступность. Данный критерий зависит от многих факторов, это в первую очередь организационно – правовая форма предприятия, его размер, финансовое обеспечение, величина активов и оборотных средств, престиж, кредитная история, оперативность привлечения источника денежных средств и др. При оценке доступности финансирования следует четко определить цели привлечения средств, необходимую сумму и оптимальный срок. Для крупных компаний, имеющих достаточное количество активов в качестве финансового обеспечения, высокие экономические рейтинги и хорошую деловую репутацию, перечень доступных финансовых инструментов значительно шире, чем для мелких и средних организаций, только пытающихся закрепить свои позиции на рынке. Однако в настоящее время многие банки предлагают кредитные программы, направленные на поддержку мелкого и среднего бизнеса. Такие кредитные программы учитывают не только размеры бизнеса и срок его существования, но и цели, на которые предоставляются средства.

Использование любого финансового инструмента влечет за собой возникновение различного рода рисков. Это риск неплатежеспособности, снижения финансовой устойчивости, процентные, инвестиционные и инфляционные риски. Для минимизации

рисков компании могут использовать различные меры, включающие страхование, самострахование, резервирование средств и другие.

Наиболее гибким параметром является оперативность привлечения средств. Для того, чтобы сократить время, необходимое на привлечение того или иного источника финансирования, компания должна использовать грамотно составленный алгоритм выбора финансового инструмента. Руководству компании необходимо рассматривать разнообразные источники финансирования, оценивать целесообразность их выбора по вышеперечисленным критериям, а также на основе заранее разработанной методики выбирать один или несколько наиболее подходящих.

Но следует рассмотреть вопрос об актуальности проблемы выбора источника финансирования в настоящее время. Возможно, что современные компании в большинстве случаев ограничиваются использованием собственных средств, а доля заемного капитала настолько мала, что выбор его источника не имеет принципиального значения.

Таким образом, проблема выбора источника финансирования является достаточно актуальной. Целесообразность и экономическая эффективность использования какого-либо финансового инструмента напрямую зависит от критериев, на основании которых был сделан выбор.

Литература

1. Методы финансирования инвестиционных проектов. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа <https://megaobuchalka.ru/>.
2. Инвестиции: организация управления и финансирования / под ред. Игошина Н.В. – М.: Финансы, 2016. – 388 с.
3. Выбор источников финансирования инвестиций на предприятии [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <https://pandia.ru/>.
4. Выбор источников финансирования инвестиций на предприятии [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <http://kursak.net/>.
5. Сенько, А.Н. Инвестиции и бизнес-проектирование: пособие для студентов экон. фак. / Сенько А.Н. – Минск: БГУ, 2012. – 191 с.
6. Золотогоров, В.Г. Инвестиционное проектирование: учеб. пособие. / Золотогоров В.Г. – Минск: ИП «Экоперспектива», 2012. – 463 с.

УДК 658.264

Организация, расчет и исследование работы разветвлённой тепловой сети с байпасными линиями с использованием теории графов

Коцубинская З.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А.

В настоящее время тепловые сети являются одним из наиболее проблемных сегментов систем теплоснабжения. Согласно сводным данным по объектам теплоснабжения 39 регионов Российской Федерации, их суммарная протяженность в двухтрубном исчислении составляет около 200 тыс. км, а средний износ оценивается в 60-70%. В результате общая сумма потерь тепловой энергии только по официальным данным ежегодно составляет более 200 Гкал. Тепловые потери в магистральных и распределительных сетях существенно различаются. Техническое состояние магистральных сетей, как правило, значительно лучше. Кроме того, суммарная поверхность магистральных сетей, через которую теряется тепловая энергия, значительно меньше поверхности намного более разветвленных и протяженных распределительных сетей. Поэтому на магистральные сети приходится в несколько раз меньшая доля тепловых потерь по сравнению с распределительными.

Средний возраст тепловых сетей по стране год от года повышается вследствие недостаточных объемов замены обветшалых трубопроводов. В связи с этим удельная аварийность теплопроводов в настоящее время выросла до 70 зарегистрированных повреждений в год на 100 км тепловых сетей. Повреждения теплопроводов в течение отопительного периода наносят огромный ущерб, последствия которого трудно оценить.

Для обеспечения надежности теплоснабжения потребителей тепловой энергией в некоторых случаях целесообразно предусмотреть возможность перераспределения нагрузок за счет установления байпасных линий или запитки потребителя от нескольких источников. Проведение подобных мероприятий позволяет избежать отключения от теплоснабжения отапливаемых объектов в случае аварий и порывов на линиях.

Наличие байпасных линий и использование в качестве источника несколько теплоснабжающих организаций серьезно усложняет саму структуру тепловых сетей в силу присутствия в ней замкнутых контуров.

Расчет тепловых сетей имеющих сложную структуру возможен с использованием графо-аналитического метода (точки ветвления можно определить как узловые точки, т.е. вершины графа, а элементы теплосети (куски теплопровода) как ребра графа). Такое представление дает возможность использовать имеющийся наработанный математический аппарат для решения прикладных теплоэнергетических задач. Каждому ребру построенного графа можно присвоить вес характеризующий долевой коэффициент или другими словами пропускную способность участка. На основании предлагаемого метода становится возможным производить гидравлический расчет теплопроводов со сложной структурой для определения надежности существующих систем и при проектировании новых с заданными надежностными параметрами.

Непосредственно для расчета тепловых сетей удобно воспользоваться алгоритмом Флойда. Сформировав, на основании исходных данных, матрицу весов представляющей из себя матричное представление имеющейся тепловой сети (под весом целесообразно понимать длину конкретного участка между двумя вершинами) используя предложенный алгоритм получим матрицу длин кратчайших путей между каждой парой вершин графа. Когда у нас есть все кратчайшие пути, необходимо рассчитать пропускную способность тепловых сетей.

Создав искусственную аварию на участке между вершинами мы получим новый граф в котором предложенный ранее путь не возможен и мы, вследствие аварии вынуждены воспользоваться обходным путем.

Имея на данном участке трубопровод с условным диаметром $D_y = 100$ мм. Максимальный расход можно вычислить по следующей формуле:

$$G = \frac{\pi * \left(\frac{D}{1000}\right)^2}{4} * U * 3600,$$

где U- скорость движения потока [м\с].

Подставив числовые данные, получим значение расхода и сравнив его с суммой всех потребительских расходов на отопление и ГВС получим понимание того можно ли будет попасть к потребителям обходными путями.

Таким образом, для решения задачи потокораспределения в гидравлических сетях с целью эффективного управления существующими трубопроводными сетями и проектирования новых трубопроводных систем возможно использование теории графов.

Литература

1. Белан А.Е. Универсальный метод гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей. -Изв.вузов. Ж-л Строительство и архитектура. 1964. №4. с. 69-73.
2. Берж К. "Теория графов и ее применение", М., ИЛ, 1962;
3. Васильченко Н.П. Расчет кольцевых водопроводных сетей путем нахождения полных поправочных расходов. – Изв.вузов. Ж-л Строительство и архитектура. 1964.№6. с. 80-90.

УДК 621.31

Реформирование энергетической системы германии с учетом отказа от АЭС

Лесюкова В. В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Вопросы загрязнения окружающей среды, изменения климата, истощения запасов природных ископаемых являются наиболее актуальными проблемами XXI века. Мировые сообщества бьют тревогу: экология на современном этапе понесла ужасный, местами непоправимый ущерб. Существует ряд способов решения этих задач, и переход к энергоэффективным экологически чистым источникам энергии – лишь один из них. Максимально кардинальный метод использовала Германия, издав указ о закрытии всех атомных электростанций [1].

Выход ФРГ из мирного атома начался еще в 1998 году по решению канцлера Гекхарда Шредера; было подписано соглашение с энергетическими компаниями о поэтапном закрытии АЭС, которое начало выполняться в 2003 году. В 2010 году движение за переход к безъядерной энергетике замедлилось, активисты «атомного лобби» добились его пересмотра, однако на фоне демонстраций правительство приняло решение об ускорении ликвидации зависимости от АЭС [2].

Одним из факторов, подтолкнувших немецкое население на массовые митинги, стала катастрофа на Японской АЭС «Фукусима-1» 11 марта 2011 года, после которой правительством была полностью переосмыслена энергосистема Германии. По словам канцлера ФРГ Ангелы Меркель, энергетическая система может и должна быть изменена коренным образом; безопасность, экономичность и надежность – вот основные критерии энергии будущего [3].

На данный момент ввиду всех поэтапных отключений реакторов действующие немецкие АЭС вырабатывают 11 тысяч мегаватт, по данным топливно-энергетического баланса 2017 года это 11,7% от всей выработки энергии. ФРГ планирует полностью отказаться от атомной энергетики к 2022 году.

Однако, несмотря на все положительные аспекты данной политики, имеется и ряд минусов. Среди них чрезвычайная дороговизна перехода на экологические источники, а также явное и закономерное из-за отказа от атомной энергетики увеличение спроса на каменный и бурый уголь, последний из перечисленных по выбросам при сжигании является одним из самых «грязных» видов топлива. Вопреки заблуждениям, возникшим в связи с закрытием в 2018 году в местечке Боттроп на западе Германии последней на территории ФРГ угольной шахты, страна вовсе не собирается отказываться от угольной энергетики, однако теперь она будет подпитываться импортным топливом. По данным немецкого Союза импортеров угля, в 2017 году страна импортировала 51,4 млн тонн каменного угля. Поскольку на каменный и бурый уголь приходится до 40% выработки электроэнергии, полный переход на экологически чистые источники не представляется возможным [4,5].

Литература

1. Какое будущее ждет атомную энергетику? [Электронный ресурс] – Euronews. – 26.11.2015. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2015/11/26/nuclear-energy-off-the-table-at-climate-change-talks>. – Дата доступа: 15.10.2019
2. Германия прощается с АЭС [Электронный ресурс] – Euronews. – 31.12.2017. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2017/12/31/germany-closes-nuclear-stations>. – Дата доступа: 15.10.2019.
3. Германия закрывает все АЭС к 2022 году [Электронный ресурс] – Euronews. – 30.05.2011. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2011/05/30/germany-plans-nuclear-phase-out-by-2022>. – Дата доступа: 15.10.2019.

4. В ФРГ закрыли последнюю шахту по добыче угля [Электронный ресурс] – Euronews. – 21.12.2018. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2018/12/21/closure-german-coal-mine>. – Дата доступа: 15.10.2019.

5. Германия дорого платит за выход из атомной энергетики [Электронный ресурс] – Россия Сегодня. – 08.10.2019. – Режим доступа: <https://inosmi.ru/social/20191008/245981050.html>. – Дата доступа: 15.10.2019.

УДК 621.316

Оптимизация систем электроснабжения с применением теории графов

Лившиц Д.С.

Научный руководитель – к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А.

В работе приведено обоснование целесообразности применения теории графов для оптимизации структуры системы электроснабжения.

Теория графов – это весьма эффективный аппарат формализации современных инженерных и научных задач. В последнее время она получила широкое практическое применение. Теорию графов используют при анализе и проектировании систем тепло-, газо-, водо- и электроснабжения, особый интерес представляют решения оптимизационных задач на графах.

Рассмотрим возможность применения теории графов для рационализации структуры системы электроснабжения при неизменном месторасположении и величинах установленной мощности потребителей.

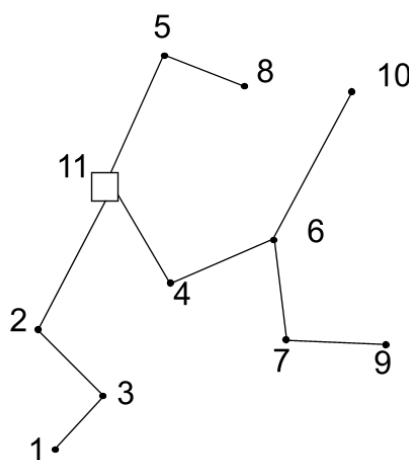


Рисунок 1 – Схема электросети : ● – места потребления электроэнергии; □ – питающая подстанция

Вершины 1-10 показывают потребителей, а вершина 11 обозначает питающую подстанцию.

Общая протяженность электросети составляет 37,52 км. В таблице 1 приведем расстояния между вершинами, т.е. длины ребер.

Таблица 1 – Длины ребер в электросети

Ребра (v_i, v_j)	Длины ребер d_{ij} , км	Ребра (v_i, v_j)	Длины ребер d_{ij} , км
(11,2)	3,11	(3,1)	0,91
(11,4)	3,11	(4,6)	2,66
(11,5)	8,04	(6,10)	8,72
(5,8)	3,11	(6,7)	3,62
(2,3)	1,74	(7,9)	2,50

В таблице 2 приведены величины потребляемой мощности, которая является нагрузкой для подстанции.

Таблица 2 – Величины потребляемой мощности

Вершина v_i	Потребляемая мощность P_i , кВт	Вершина v_i	Потребляемая мощность P_i , кВт
1	700	6	750
2	800	7	1000
3	1000	8	500
4	430	9	250
5	500	10	630

Территориальное размещение подстанции зависит от нагрузки и расположения потребителей. Расположение подстанции обусловлено целым рядом факторов. Приближенность к центру сосредоточения нагрузок позволит повысить экономичность и надежность электроснабжения потребителей. При этом непосредственно сокращается протяженность сети, уменьшаются потери электроэнергии при транспортировке, сокращаются зоны возможных аварий и т.д.

Используя Алгоритм Краскала, базируясь на теоретико-практическом поиске кратчайших остовов графа, имеется возможность сокращения протяженности линий электропередачи на 4,2 км (на 11,2%).

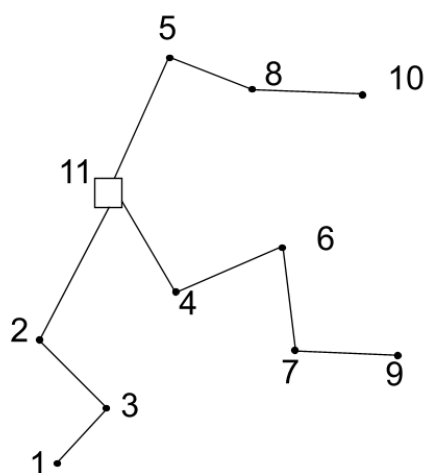


Рисунок 1 – Преобразованная схема электросети

Таким образом используя инструментарий теории графов можно оптимизировать структуру существующих электрических сетей при необходимости их структурной реконструкции и оптимизировать структуру вновь проектируемых электрических сетей.

Литература

1. Басакер Р. Конечные графы и сети / Басакер Р., Саати Т. –М.: Наука, 1974. –368 с.
2. Андерсон Дж. Дискретная математика и комбинаторика / Андерсон Дж.–М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 960 с.

УДК 330.33

Сравнительный анализ моделей управления в энергетике

Максимчук А.Д.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

В связи с особенностями производства и потребления, а также в силу социально-экономической значимости энергетику относят к числу естественных монополий. Естественная монополия в свою очередь является рыночной структурой с одной функционирующей фирмой, следовательно, и с отсутствием конкуренции. А поскольку именно конкуренция лежит в основе регулирования рыночных механизмов, при реструктуризации энергетики, чтобы избежать потерь эффективности функционирования, следует выделять только те сферы отрасли, в которых конкуренция возможна. Таковыми являются генерация и сбыт электроэнергии. Транспортировка и распределение электроэнергии должны оставаться монопольными и регулируемые сферыми.

Анализируя различные варианты реструктуризации электроэнергетической отрасли, учитывая ее особенности, можно выделить 4 модели функционирования энергетических рынков:

1. Вертикально-интегрированная модель. Данная модель предусматривает полный контроль государства над всеми аспектами работы отрасли: производства, транспорта, распределения и сбыта энергии, включая объемы продаж, тарифы и методики их расчета. Развитие энергосистемы обеспечивается за счёт включения инвестиций в тарифы для потребителей, которые устанавливаются на уровне *средних издержек* компании с добавлением инвестиционной составляющей.

Вертикально-интегрированные компании несут ответственность за планирование развития электроэнергетической системы, включая электростанции и электрические сети, а также за надежность электроснабжения потребителей на закрепленной за ней территории.

2. *Модель независимого производителя.* В соответствии с этой моделью из состава компании, которая является естественным монополистом, выделяются некоторые производственные мощности с целью повышения эффективности деятельности энергетической компании. Как свидетельствует западная практика, в качестве независимых производителей выделяются производственные единицы, имеющие наихудшие экономические показатели в своей деятельности, что позволяет таким генерирующим и передающим мощностям выжить посредством вливания сторонних инвестиций, т.е. за счет средств покупателей таких мощностей.

Стоит отметить, что повышение цены на рынке электроэнергии относительно уровня средних издержек производства по системе в целом вызвано изменением алгоритма расчета цен на рынке, а не вследствие увеличения затрат поставщиков. Кроме того, появляется ценовой барьер для вхождения в рынок новых производителей электроэнергии, возникают трудности с финансированием строительства новых электростанций.

3. Модель единого закупщика. В данной модели устройства рынка возникает конкуренция производителей электроэнергии за получение контракта на её продажу единому закупщику, который по регулируемым тарифам реализует электроэнергию сбытовым компаниям. Это и является основным отличием от двух предыдущих моделей. Возможно также появление новых производителей электроэнергии. Остальные сферы являются по-прежнему вертикально-интегрированными в рамках одной компании, которая является монополистом по отношению к потребителям.

Закупщик ответственен за бесперебойное снабжение потребителей электрической энергией и своевременное развитие электроэнергетической системы. При необходимости оно заключает долгосрочные договоры с инвесторами на строительство электростанций.

4. Конкурентная модель. В условиях данной модели возникает конкуренция производителей на оптовом рынке электроэнергии, на котором основными покупателями являются сбытовые компании, непосредственно взаимодействующие с потребителем.

При такой модели управления отсутствует орган, несущий ответственность за развитие генерирующих мощностей и предотвращение дефицита на оптовом рынке электроэнергии. Таким образом транспортно-сетевая компания несет ответственность только за развитие высоковольтных электрических сетей, а распределительно-сетевые компании формально являются ответственными за электроснабжение потребителей на своей территории, однако у них может отсутствовать возможность обеспечения его при дефиците энергии на оптовом рынке из-за недостатка средств. Кроме того, инвестиции, вложенные в новую электростанцию, окупаются посредством продажи электроэнергии, вырабатываемой только электростанцией, а не раскладываются на всех потребителей, как в предыдущих моделях. Это обстоятельство служит ценовым барьером для вхождения в оптовый рынок новых производителей электроэнергии и грозит образованием олигополии существующих производителей. [1]

Таким образом можно выделить основные положительные и отрицательные аспекты данных моделей управления.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки моделей управления в энергетике [2]

	Достоинства	Недостатки
Вертикально-интегрированная модель	<ul style="list-style-type: none"> – сохранение сложившейся структуры; – возможность контроля цен 	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие экономических стимулов для повышения эффективности; – необходимость государственного участия в финансировании отрасли либо перекладывания расходов на потребителей
Модель независимого производителя	<ul style="list-style-type: none"> – привлечение частных инвесторов при минимальных структурных изменениях; – возможность контроля за ценами 	<ul style="list-style-type: none"> – необходимость обеспечения прозрачности работы «единого закупщика»
Модель единого закупщика	<ul style="list-style-type: none"> – привлечение частных инвесторов при минимальных структурных изменениях; – возможность контроля за ценами 	<ul style="list-style-type: none"> – необходимость привлечения в отрасль капитала государственных гарантий в части уровня цен и политики в части других составляющих рынка
Конкурентная модель	<ul style="list-style-type: none"> – привлекательность для частных инвесторов; – наличие стимулов для повышения эффективности; – стимулирование саморазвития отрасли 	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие возможности контроля за ценами; – необходимость значительных структурных изменений; – коррекция уровня цен до экономически обоснованного

Анализируя преимущества и недостатки вышеперечисленных четырех моделей управления энергетическими рынками, можно сделать вывод, что наиболее рациональной и экономически обоснованной как для потребителя, так и для государства в целом, является конкурентная модель. Согласно данной модели, у потребителя появляется возможность выбирать производителя, а, следовательно, и условия покупки энергии; в то же время у государства появляется возможность интеграции в энергетические рынки на мировом уровне.

Литература

1. NovaInfo.Ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/5777>. – Дата доступа: 6.11.2019.
2. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/196144/1/Манцерава_Чиж_ОСОБЕННОСТИ%20КОНКУРЕНЦИИ%20И%20РЫНКИ%20В%20ЭНЕРГЕТИКЕ.pdf. – Дата доступа: 6.11.2019

УДК 338

Развитие электротранспорта, как национального приоритета страны

Матус Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е.А.

Впереди эра чистой энергетики. Государства стремятся отойти от использования не возобновляемых ресурсов и ориентируются на развитие возобновляемых источников.

В скором времени в Республике Беларусь начнет свою работу новая АЭС, и страна заинтересована в расширении использования электроэнергии в промышленности, аграрной сфере, транспорте, IT-секторе, ЖКХ и других областях.

Часть мощностей БелАЭС может пойти и на электротранспорт. **В Беларуси активно начали выпускать электрические машины, мопеды, велосипеды и самокаты.**

В 2017 году в Беларуси представили первый отечественный электромобиль, созданный на базе китайского серийного автомобиля Geely SC7, который собирается в нашей стране на заводе БелДжи. Автомобиль оснащен электродвигателем мощностью 80 лошадиных сил. Его максимальная скорость составляет 110 км/ч, запас хода — 150 км, время зарядки — от 3 до 6 часов в зависимости от источника питания.

На текущий момент в Беларуси насчитывается около 200 электромобилей. Этот показатель стремительно растет, особенно в Минске. Это связано, прежде всего, с количеством жителей, уровнем дохода, статусом столицы и т. д. В областных центрах количество электромобилей также увеличивается, хотя и более низкими темпами.

Для развития рынка электротранспорта необходимы следующие основные факторы:

- зарядная инфраструктура
- доступность
- поддержка со стороны государства

Первым занимается сеть «Белоруснефть».

Весной 2019 года насчитывалось порядка 100 станций зарядки электромобилей. К Евроиграм 2019 началось их активное строительство, и электрозаправки появились около отелей, вокзалов, спорткомплексов и бизнес-центров. И уже к концу года совокупное количество зарядных станций составит более 240 единиц.

На рынок, конечно, влияют цены на электромобили. А они в первую очередь зависят от стоимости аккумуляторов. Так, батарея может составлять от 25 до 50% стоимости электрокара. Благодаря развитию технологий и увеличению объемов производства аккумуляторов их стоимость может снизиться, что повысит конкурентоспособность электромобилей.

Если говорить про сервисное обслуживание у официального дилера, то первым автоцентром электромобилей полного цикла стал автоцентр «Автоидея». Для автоцентра из Германии завезли специальное оборудование и инструменты для ремонта высоковольтных батарей. Там же собраны все запчасти и расходные материалы для автомобилей с электродвигателем и гибридной установкой.

На сегодняшний день рынок электромобилей в Беларуси держится на энтузиастах. Его развитие тормозит отсутствие специальных законов и тарифов, разветвленной сети зарядных станций и мер по стимулированию спроса на электротранспорт. Однако существуют примеры со стороны стран-соседей, когда стимулирование рынка (например, отмена НДС и пошлин) позволяет получить большой приток электромобилей в страну.

«Белоруснефть» планирует запустить специальную программу лояльности для владельцев электромобилей. Она коснется не только возможностей по зарядке электромобилей. Программа будет открыта для автодилеров, которые реализуют электрокары и готовы предоставлять привилегии их владельцам.

Импортер BMW в свою очередь также готов поддерживать покупателей электромобилей различными привилегиями. Одна из них — щедрая гарантия и качественное сервисное обслуживание электрокаров в Минске.

Таким образом, Республика Беларусь стремится к уменьшению использования ископаемого топлива. Одним из решений, способствующих переходу страны к углеродной нейтральности, является переход от углеводородного транспорта к электрическому. Страна приняла решение о развитии электротранспорта, как национального приоритета. В развитии государственной инфраструктуры для электротранспорта Беларусь руководствуется тем, что наше географическое положение формирует своего рода коридор для такого транспорта. Соответственно необходима координация усилий государства в этой сфере, единые подходы к зарядным станциям и станциям техобслуживания, разработка методов и программ для достижения поставленной цели.

Литература

1. Курс на электрификацию. Превратится ли Беларусь после запуска АЭС в «рай для электромобилей» [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://av.by/news/index.php?event=View&news_id=44062 — Дата доступа: 13.04.2019
2. Белорусским электромобилем оказался Geely SC7 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.belmarket.by/beloruskim-elektromobilem-okazalsya-geely-sc7> — Дата доступа: 14.10.2019
3. В Беларуси разрабатывается программа перехода общественного транспорта на электрический [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-razrabatyvaetsja-programma-perehoda-obschestvennogo-transporta-na-elektricheskiy-363083-2019/> — Дата доступа: 16.10.2019

УДК 504.4

Проблема загрязнения окружающей среды пластиковыми материалами

Матус Е.В.

Научный руководитель – ст. препод. САМОСЮК Н.А.

Современные блага цивилизации создают не только удобства для людей, но и наносят непоправимый вред окружающей среде. **Загрязнение нашей планеты достигло невероятных масштабов. В Мировой океан** попадает до 9 миллионов тонн пластика в год, что составляет около 80% всего мусора. Человечество осознало **свою ответственность, правительства ряда стран перешли к активным действиям в борьбе против пластика**, и в целом забота об окружающей среде сейчас на острие внимания мировой общественности.

Проблема пластиковых отходов не менее актуальна для нашей страны. По результатам общественного исследования белорусских рек и озер было выявлено, что микропластик присутствует во всех пробах, в том числе из Свислочи, Минского моря, Цянского водохранилища. Микропластик попадает в окружающую среду из косметики, синтетических тканей, изнашивающихся автомобильных шин, а также крупного пластикового мусора. Потребитель не видит связи между очередным купленным пакетом и водой из-под крана. И если бутылки, пакеты и прочие отходы попадают не на переработку, а в окружающую среду, то они постепенно распадаются на более мелкие кусочки, которые не поддаются разложению. Так, следы пластикового мусора были обнаружены даже в таком отдаленном и нетронутым уголке планеты, как Антарктида.

Ежегодно в Беларуси образуется до 300 тысяч тонн отходов пластика. Перерабатывается же лишь около 30%. Переработка пластика может уменьшить его наплыв, но и тут есть свои трудности. В Беларуси залоговая стоимость пластиковой тары включена в цену продукта, и бутылки отправляются в лучшем случае в контейнер для раздельного сбора мусора, в худшем — на свалку. В 2020 году в Беларуси планируется внедрить депозитную залоговую систему на пластиковую, стеклянную и металлическую упаковки. Однако установка тароматов для сдачи отходов требует немалых финансовых вложений со стороны государства.

Но дело не только в сознательности потребителей. Большую сложность в получении вторичного полимера представляет огромное разнообразие видов пластика. Все нужно тщательно рассортировать по видам материала. Даже небольшая примесь одного вида в массе другого может привести к браку. Трудность в том, что визуально определить, из чего сделана упаковка, сложно или даже невозможно. То есть на территории государства должны действовать перерабатывающие заводы, оснащенные высокотехнологическими установками для переработки разного вида материала. Мало того, что существует большое разнообразие пластика, индустрию упаковки захватили композитные материалы, состоящие из слоев разных пластиков или из слоев пластика с металлом, пластика с бумагой и металлом. Отделить соединенные друг с другом разные материалы и добиться, чтобы они получились чистыми, без примесей друг друга, технически сложно и экономически затратно.

Производитель так же должен быть мотивирован на создание безопасной, перерабатываемой упаковки. На сегодняшний день предприятие платит одинаково и за ПЭТ, и за опасный ПВХ. Покупателю, с другой стороны, должно быть не выгодно приобретать пищу в ПВХ-упаковке, так как материал не годится для переработки.

Вместе с тем эксперты приходят к выводу — вторичная переработка не решает проблему с загрязнением окружающей среды полимерами. За все существование пластика, а это примерно 70 лет, его было переработано около 9%. И потом, после процесса переработки токсичные вещества никуда не исчезают. Кроме этого, новую продукцию практически никогда не производят из 100% вторичного пластика. Обычно его смешивают в определенной пропорции с новым материалом, чтобы поддерживать необходимые физические свойства. И это еще одно объяснение, почему переработка не решает проблему с пластиком — его объемы все равно растут. Только за последние 10 лет в мире было произведено больше пластиковых изделий, чем за предыдущее столетие.

Безусловно, отказ от использования пластиковых упаковок — это, прежде всего, колоссальные изменения внутри государства и в мире в целом. Необходимо осознать всю серьезность ситуации, определить в каком мире мы живем, а в каком будем жить или хотим жить. В 2019 году в Беларуси принята директива № 7, в которой говорится о поэтапном снижении количества полиэтиленовой упаковки и замещении ее безопасной, в том числе из стекла и бумаги. К 2021 году должен вступить в силу закон о запрете использования одноразового пластика в общепите. Альтернатив на данный момент недостаточно, но посыл от государства правильный. В Минске запущено новое предприятие по переработке ПЭТ бутылок. Производительность линии составляет 500 кг/час. На выходе получается 70% чистого сырья (флекс) и 30% этикетки, которую так же планируется реализовывать как вторсырье.

Таким образом, Беларусь оценила проблему накопления пластиковых отходов, правительство начало предпринимать ряд мер по уменьшению использования пластика. Однако такая глобальная проблема не решится только путем государственного регулирования. Каждый должен изменить свое отношение к окружающему миру, изменить свои привычки и принципы, изменить себя.

Литература

1. Пластиковое загрязнение планеты. Есть ли жизнь без пластика? [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ria.ru/20171110/1508554568.html> — Дата доступа: 09.10.2019
2. Можно ли выжить без пластмассы [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/polumery-ne-dlya-polimerov.html> — Дата доступа: 13.10.2019
3. В Беларуси хотят запретить одноразовую пластиковую посуду в общепите [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://news.tut.by/economics/645244.html> — Дата доступа: 15.10.2019
4. В УП «Экорес» запущена новая линия по переработке пластиковых бутылок [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://minsknews.by/v-up-ekores-zapushhena-novaya-liniya-po-pererabotke-plastikoviyh-butyllok/> — Дата доступа: 18.10.2019

УДК 338.45

Анализ современного состояния Белорусской энергетической системы

Матус Е.В.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е.П.

Энергетика является основой развития современного общества. Каждое государство стремится разработать такие способы энергоснабжения, которые наилучшим образом обеспечивали бы развитие экономики и повышение качества жизни населения. Бесперебойная работа энергосистемы является одним из основных критериев надежного энергоснабжения, позволяющего осуществлять подачу энергии потребителю постоянно.

Объединенная энергетическая система (ОЭС) Республики Беларусь представляет собой совокупность объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства электрической энергии (в том числе в режиме комбинированного производства электрической и тепловой энергии), передачи и распределения энергии при условии централизованного оперативно-диспетчерского управления (ОДУ). [1]

Структурно белорусская энергосистема (БЭС) состоит из 6 областных РУП — «Брестэнерго», «Витебскэнерго», «Гомельэнерго», «Гродноэнерго», «Минскэнерго», «Могилёвэнерго», центральное управление которых осуществляет ГПО «Белэнерго». [2]

На 01.01.2019 установленная мощность всех генерирующих энергоисточников Республики Беларусь составляет 10 068,68 МВт. ГПО «Белэнерго» включает 68 генерирующих энергоисточников суммарной мощностью 8 938,34 МВт. Наибольший удельный вес в балансе БЭС занимают тепловые электростанции (ТЭС). Доля гидроэлектростанций в суммарной мощности составляет 88,26 МВт. Наименьший, но не менее значимый процент приходится на Новогрудскую ветроэлектрическую станцию мощностью 9 МВт. [1]

На рисунке 1 представлена схема объединенной энергетической системы Беларуси.

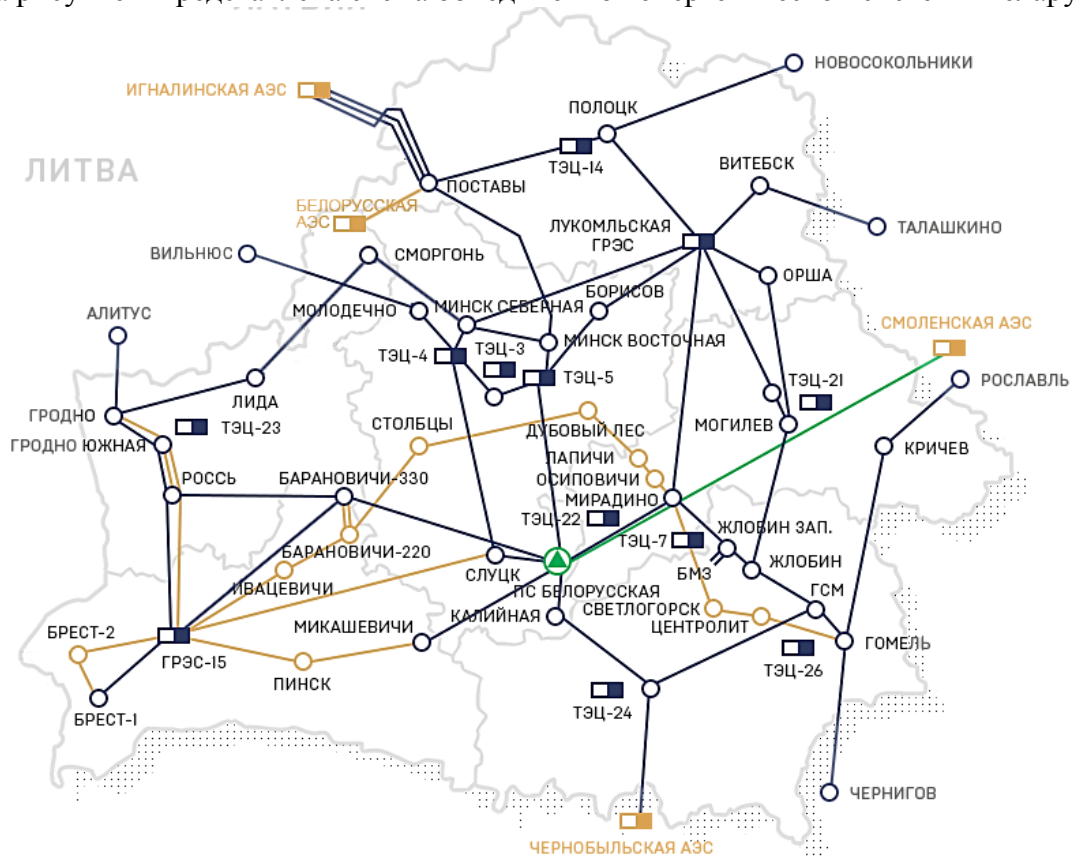
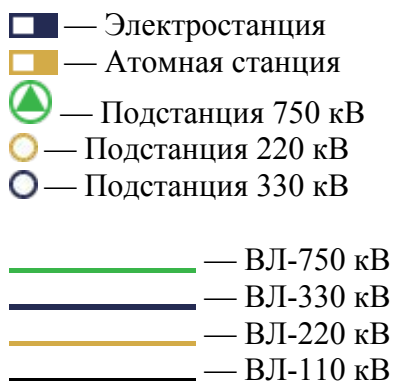


Рисунок 1 – Схема БЭС

Условные обозначения:



На рисунке 1 можно увидеть ведущие электростанции Белорусской энергосистемы – Лукомльская ГРЭС (2,89 ГВт), Березовская ГРЭС (1,41 ГВт), Минские ТЭЦ-4 (1,3 ГВт) и ТЭЦ-5 (0,76 ГВт). Кроме них имеется много крупных и средних ТЭЦ, которые также вливают в энергосистему Беларуси выработанную энергию.

Ключевая узловая подстанция энергосистемы — это ПС «Белорусская» напряжением 750-330-110 кВ. Она принимает наибольший объем электроэнергии от России и участвует в распределении потоков энергии в энергосистеме. Не менее важной является подстанция «Мирадино» 330-220-110 кВ под Бобруйском. Она находится в центре нагрузок и обеспечивает перетоки электроэнергии с Лукомльской ГРЭС на Гомельский, Минский и Бобруйский энергоузлы.

На схеме также можно заметить БелАЭС, соединенную с узловыми подстанциями для передачи электроэнергии потребителям.

Стоит обратить внимание на то, что в брестском регионе преобладают подстанции с напряжением 220 кВ. Это связано с тем, что линии и подстанции этого региона строились немного раньше по сравнению с остальными подстанциями.

Необходимо отметить, что помимо собственных источников, Беларусь импортирует электроэнергию и из других стран, в основном, из России.

В совокупности линии, соединяющие Белорусскую энергосистему и Смоленскую АЭС, называются "сечением". В случае аварийного отключения или перегрузки определенных элементов сечения, автоматика (АСБС — Автоматика Сечения Беларусь-Смоленск) разгрузит энергосистему и уберет ее от «развала». Энергосистема Беларуси работает с постоянной частотой 50 Гц. Для того, чтобы частота в сети была постоянной, требуется поддержание баланса вырабатываемой и потребляемой активной мощности, для этого и работают устройства автоматики и люди, контролирующие этот процесс. [3]

Таким образом, Белорусская энергетическая система представляет собой сложный комплекс, включающий электростанции, котельные, электрические и тепловые сети, связанные общностью режима работы на территории всей республики при условии централизованного оперативно-диспетчерского управления.

Литературы

1. Основные показатели ГПО «Белэнерго» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli/> — Дата доступа: 06.10.2019
2. Объединённая энергетическая система Беларуси [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ru.m.wikipedia.org/> — Дата доступа: 12.10.2019
3. Электроэнергия в Беларуси: распределение [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://energobelarus.by/blogs/Energy_dis-senting_opinion/19/ — Дата доступа: 10.10.2019

УДК 681.51

Применение вероятностных методов при определении надежности технических систем

Павлова А.К., Хафизова А.Р.

Научные руководители – к.т.н., доцент ЛИВШИЦ С.А., к.х.н., доцент ЮДИНА Н.А.

Если говорить об энергетике, то необходимость обеспечения надежности и бесперебойности, совпадение во времени процессов производства и потребления энергии приводят к тому, что малейшие сбои влекут за собой финансовые потери.

Для защиты потребителей от нарушений топливо- и энергоснабжения риск внезапного выхода из строя производственного, передаточного и распределительного энергетического оборудования должен быть сведён к минимуму, однако по мере отработки оборудованием своего срока службы, данная вероятность растёт. Надежность оборудования, используемого в технологическом процессе производства, передачи, распределения и сбыте энергии, характеризуется такими качественными критериями, как долговечность, безотказность, ремонтпригодность, качество изготовления и эксплуатации.

Любое энергетическое оборудование в процессе работы теряет свои заявленные эксплуатационные характеристики. Наилучшим способом решения проблемы износа является замена отработавшего нормативный срок оборудования новым — современным, экономичным и надёжным. Вместе с тем финансовое состояние предприятий в большинстве случаев не позволяет проводить широкомасштабную модернизацию основных средств. В результате в работе остаётся много изношенного оборудования, часть которого эксплуатируется за пределами нормативных сроков, что повышает риск аварий и снижает надежность работы оборудования. Очевидно, что такие факторы, как экологический, инфраструктурный и репутационный, говорят в пользу применения нового оборудования. В тоже время, основным фактором остается экономическая выгода, для оценки которой может использоваться стоимость жизненного цикла (СЖЦ) оборудования. Сравнение СЖЦ при существующих и при измененных условиях позволяет оценить срок окупаемости затрат за счет общего снижения стоимости и отклонить те изменения, которые не дают существенных преимуществ.

Полная СЖЦ складывается из затрат на приобретение изделия, а так же на ввод изделия в эксплуатацию и поддержание в работоспособном состоянии. Для энергетического оборудования в модели для расчета СЖЦ при оценке затрат на эксплуатацию должны быть учтены: затраты на эксплуатацию (затраты на расходные материалы, инфраструктуру материально-технического снабжения, содержание обслуживающего персонала, системы диагностики и мониторинга); затраты на техническое обслуживание; затраты на плановые ремонты; затраты на проведение внеплановых ремонтов, обусловленных внезапными отказами.

При рассмотрении стоимости продленного жизненного цикла для капитального ремонта/модернизации оборудования, которое уже отработало назначенный срок службы на передний план выходит проблема определения надежности и безопасной работы современных структурно-сложных технических систем и объектов. Причем определение надежности осуществляется в принципе на всех стадиях жизненного цикла, от проектирования и создания, производства, до эксплуатации, использования и утилизации.

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования, на этапе испытаний и эксплуатации расчеты надежности проводятся для оценки количественных показателей надежности.

Элементный расчет надежности оценивает техническое состояние объекта

Расчет функциональной надежности - определяет показатели надежности выполнения заданных функций

Выбор того или иного вида расчета надежности определяется техническим заданием на расчет

В первую очередь формулируется задание на расчет, при этом указываются: назначение системы ее состав и основные сведения о функционировании; показатели надежности и признаки отказов, целевое назначение расчетов и требования к точности и достоверности расчетов.

Далее составляется структурная схема системы т.е. наглядное графическое представление при которых работает или не работает исследуемый объект.

Простейшей формой структурной схемы надежности является параллельно-последовательная структура. На ней параллельно соединяются элементы, совместный отказ которых приводит к отказу. В последовательную цепочку соединяются такие элементы, отказ любого из которых приводит к отказу объекта.

Однако не всегда удается условие работоспособности представить в виде простой параллельно-последовательной структуры. В таких случаях используют или логические функции, или графы и ветвящиеся структуры, по которым оставляются системы уравнений работоспособности.

На основе структурной схемы надежности составляется набор расчетных формул.

Относительная простота расчетов надежности, основанных на использовании параллельно-последовательных структур, делают их самыми распространенными в инженерной практике. Однако не всегда условие работоспособности можно непосредственно представить параллельно-последовательной структурой. В этом случае можно сложную структуру заменить ее эквивалентной параллельно-последовательной структурой. К таким преобразованиям относятся:

- преобразование с эквивалентной заменой треугольника на звезду и обратно;
- разложение сложной структуры по базовому элементу.

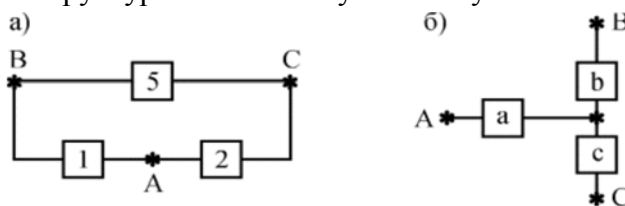


Рисунок 1 – Структурные схемы звезда и треугольник

Идея способа преобразования с помощью эквивалентной замены треугольника на звезду и обратно заключается в том, что узел сложной конфигурации заменяется на узел другой, более простой конфигурации, но при этом подбираются такие характеристики нового узла, что надежность преобразуемой цепи сохранялись прежними.

Пусть, например, требуется заменить треугольник (рис. 1,а) звездой (рис. 1,б) при условии, что вероятность отказа элемента a равна q_{13} , элемента b равна q_{12} , элемента c - q_{23} . Переход к соединению звездой не должен изменить надежность цепей 1-2, 1-3, 2-3. Поэтому значение вероятностей отказов элементов звезды q_1, q_2, q_3 должны удовлетворять следующим равенствам:

$$\left. \begin{aligned} q_1 + q_2 - q_1q_2 &= q_{12}(q_{23} + q_{31} - q_{23}q_{31}); \\ q_2 + q_3 - q_2q_3 &= q_{23}(q_{31} + q_{12} - q_{31}q_{12}); \\ q_3 + q_1 - q_3q_1 &= q_{31}(q_{12} + q_{23} - q_{12}q_{23}). \end{aligned} \right\}$$

Для обратного преобразования звезды в треугольник справедливы следующие равенства:

$$q_{12} = \sqrt{q_1q_2/q_3}; \quad q_{23} = \sqrt{q_2q_3/q_1}; \quad q_{31} = \sqrt{q_1q_3/q_2}.$$

Рассчитав надежность системы в целом и вычислив СЖЦ можно выяснить, что экономически целесообразней в конкретной ситуации: провести капитальный ремонт энергетического оборудования или его замену.

УДК 622.692.4

Оценка эффективности использования ПИ-труб

Петренко Р.В.

Научный руководитель — ст. препод. САМОСЮК Н.А.

Одним из безусловных приоритетов экономического развития Республики Беларусь является энерго- и ресурсосбережение. Поэтому актуальным направлением в республике является внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий, и прежде всего – минимизация потерь тепла на теплотрассах. При транспорте тепловой энергии в Республике Беларусь показатель потерь достигает 20% и более, в развитых странах он составляет примерно 7%. Решением данной проблемы может являться замена обычных труб на предизолированные трубы (ПИ-трубы).

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.

В системе жилищно-коммунального хозяйства в настоящее время находится на обслуживании более 6,2 тыс. км трубопроводов в предварительно-изолированном исполнении, или 38% от общей протяженности тепловых сетей в однотрубном исчислении. На балансе предприятий ГПО «Белэнерго» – ещё 1,2 тыс. км ПИ-трубопроводов (21% от общей протяженности теплотрасс). Переход на применение ПИ-труб обусловлен не только кардинальным снижением теплотерь, но и резким повышением надежности теплотрасс. Это обеспечивается за счет более высокого качества гидроизоляции, увеличения межремонтного периода с 10 до 25-30 лет, а также существенным снижением издержек на эксплуатацию, обслуживание и ремонт. Оснащение трубопроводов встроенной системой оперативного дистанционного контроля состояния изоляции позволяет в кратчайшие сроки выявлять наличие повреждения и с высокой точностью определять его место, а следовательно, оперативно устранять утечки теплоносителя, предотвращая возможные аварии.

Оценку эффективности ПИ-труб с стальными трубами проводят по следующим формулам:

1. Определение нормируемых среднегодовых тепловых потерь:

$$Q_{\text{ср г}} = \sum(q \cdot L \cdot \beta), \text{ ккал/м}\cdot\text{ч},$$

где q – удельные часовые тепловые потери, определённые для каждого диаметра трубопровода;

L – длина трубопровода, соответствующего диаметра, м;

β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматуры, опоры и т.п.

2. Величина среднегодовых тепловых потерь через изоляцию трубопровода определяется по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = q \cdot L \cdot \beta \cdot t \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал},$$

3. Перерасход топлива, получаемый при использовании данного теплопровода:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = Q_{\text{пот}} \cdot b_{\text{тэ}} / 1000 - Q_{\text{потПИ}} \cdot b_{\text{тэ}} / 1000, \text{ т у. т.},$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери по существующей теплотрассе, Гкал;

$Q_{\text{потПИ}}$ – потери по теплотрассе из ПИ-труб;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива действующего теплоисточника, кг у.т./Гкал.

4. Расход электроэнергии необходимый на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = Q_{\text{пот}} \cdot \mathcal{E}_{\text{сн тэ}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн тэ}}$ – удельный расход электроэнергии необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал.

5. Количество электроэнергии необходимое для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из ПИ-труб:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = Q_{\text{пот ПИ}} \cdot \Delta \epsilon_{\text{сн тэ}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

6. Расход топлива необходимый для покрытия перерасхода электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии с учётом потерь в электросетях:

$$\Delta B_{\text{э}} = (\Delta \epsilon_{\text{п}} \cdot \Delta \epsilon_{\text{пи}}) \cdot \frac{k_{\text{пот}}}{100} \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-6}, \text{ т у.т.},$$

где $\Delta \epsilon_{\text{п}}$ – расход электроэнергии необходимой на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе, кВт·ч;

$\Delta \epsilon_{\text{пи}}$ – расход электроэнергии необходимый для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из ПИ-труб, кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива на замыкающей станции в энергосистеме, т у.т./кВт·ч.

7. Общая экономия топлива от применения ПИ-труб:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{тэ}} + \Delta B_{\text{э}}, \text{ т у.т.}$$

По результатам расчетов можно отметить, что при замене существующей теплотрассы длиной 1150 м на ПИ-трубы, общая экономия топлива составит 39 т у.т. (16389,75 руб.). Применение ПИ-труб является рациональным решением проблемы, связанной с наличием больших теплопотерь при транспортировке тепловой энергии.

Литература

1. Применение ПИ-труб в Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://energobelarus.by/articles/tehnologii/primenenie_pi_trub_v_belarusi_effektivnaya_modernizatsiya_ili_beg_s_prepyatstviyami/ – Дата доступа: 27.10.2019.

2. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200051462> - Дата доступа: 28.10.2019.

3. Особенности применения ПИ-труб в теплосетях. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://proekt.by/otoplenie_teplosnabzhenie_ventilyaciya_kondicionirovanie-b24.0/osobennosti_primeneniya_pitrub_v_teplosetyah-t33703.0.html - Дата доступа: 28.10.2019.

4. 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: 18.10.2019.

УДК 621.315

Как уменьшить потери электроэнергии при ее передаче и распределении

Петрушина В.П.

Научный руководитель – ст. препод. КРАВЧУК Е.А.

Международные эксперты считают, что относительные общие потери электроэнергии при ее передаче и распределении в сетях можно считать нормальными, если они составляют не больше 4-5%. В Республики Беларусь, по официальным данным, эти потери составляют среднем 11,13%.

Прежде всего, на потери могут влиять такой фактор, как *коэффициент мощности*. На сегодняшний день в Беларуси при передаче электроэнергии потребителям не учитывается реактивная мощность и коэффициент мощности нагрузки, невзирая на то, что у потребителей есть счетчики активной и реактивной энергии. Еще лет 30 назад система оплаты за электричество осуществлялась в зависимости от коэффициента мощности нагрузки. Если потребитель выполнял минимальное значение коэффициента мощности нагрузки (0.95 var), оплата была минимальной. А при его снижении меньше этого значения, оплата возрастала. Такая система стимулировала потребителей увеличивать мощность нагрузки, что приводило к уменьшению энергетических потерь.

Синусоидальность напряжения – один из основных показателей качества электроэнергии. Иногда возникает несинусоидальность напряжения, которую создают сами потребители электроэнергии. Дело в том, что первичные источники электроэнергии (синхронные генераторы) вырабатывают напряжение почти синусоидальной формы. Если у потребителя нету нелинейной нагрузки, то напряжение сохраняет синусоидальность. Однако у многих потребителей электроэнергии есть нелинейная нагрузка.

Если у потребителя есть нелинейная нагрузка, то он расходует из электросети несинусоидальный ток. Это приводит к несинусоидальному падению напряжения. Чем больше мощность источника, тем меньше его внутреннее сопротивление. А источники с малой мощностью имеют большое внутреннее сопротивление. Самая большая несинусоидальность напряжения появляется при высоком сопротивлении линии электропередачи во время подключения нелинейной нагрузки к источнику соизмеримой мощности, а самая малая – при подключении нелинейной нагрузки к источнику высокой мощности.

С точки зрения энергосбережения, важную роль играет *КПД оборудования*. Чем ниже коэффициент полезного действия, тем больше электроэнергии на единицу продукции потребляет оборудование. Из-за технической сложности измерения, КПД не нормируется на большей части установок. Дело в том, что для определения КПД оборудования с любым приводом необходимо знать мощность на валу, для чего надо измерить момент на валу и число оборотов. Измерить число оборотов несложно. Для этого можно использовать *тахометр*. А вот простых методов измерения момента на валу не существует. Среди распространенных – электромагнитный тормоз, система генератор постоянного тока – электродвигатель, тензометрическая установка. На большинстве предприятий по изготовлению оборудования с электроприводом таких установок нет, и во время испытания оборудования или в процессе эксплуатации КПД зачастую не измеряют. В связи с этим, специалисты не могут проконтролировать значение КПД, а значит неизвестно, какие лишние потери электроэнергии происходят во время использования оборудования с электроприводом. Только применение современного частотного электропривода, предусматривает измерение КПД, но такой электропривод есть на малом количестве предприятий.

Также существует возможность *экономии электроэнергии на освещении*.

На сегодняшний день для освещения все еще распространено применение лампы накаливания, в которых всего лишь 5–10 % электроэнергии тратится на формирование светового потока, а остальная идет на тепло. Для решения этой проблемы начали использовать *энергосберегающие лампы*, потребление электроэнергии которых примерно в 5 раз меньше, чем у ламп накаливания при том же световом потоке. Минус в применении

энергосберегающих ламп– высокая цена и относительно недолгий срок службы. Поэтому в последнее время начали приобретать *светодиодные лампы*. У них высокая светоотдача и срок службы составляет 50-100 тысяч часов. Хотя Беларусь, как многие страны, пока не освоила производство светодиодов, однако уже совсем скоро мы придем к их производству.

Таким образом, можно внести **основные предложения по уменьшению потерь электроэнергии**:

- взять за основу старую система оплаты за электричество, которая осуществлялась в зависимости от коэффициента мощности нагрузки;
- обязать все крупные предприятия приобрести анализаторы качества электроэнергии и вести отчет об их показаниях, что позволит получить истинные данные о качестве электроэнергии;
- решить вопрос по компенсации реактивной емкостной мощности в высоковольтных линиях электропередач и при необходимости увеличить количество управляемых реакторов.
- Комитету по стандартизации упростить способ измерения КПД оборудования с электроприводом и в будущем проводить рейды по проверке этого КПД на предприятиях. Это позволит выявить резервы по уменьшению потерь электроэнергии.

Литература

1. Фурсанов, М. И. Оптимальные технические потери электроэнергии в распределительных электрических сетях / М. И. Фурсанов // Энергетическая стратегия. - 2016. - № 3. - С. 25 - 28.
2. Амичба, К. В. Эффективность использования постоянного тока при транспортировке электроэнергии / К. В. Амичба ; науч. рук. М. Л. Протасеня // Актуальные проблемы энергетики : материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет ; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 160-161.
3. Поспелов, Е. Г. Потери электроэнергии от перетоков реактивных мощностей в электрических сетях и пути их ограничения / Е. Г. Поспелов, Г. Е. Поспелов // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика : международный научно-технический и производственный журнал. – 2008. – № 6. – С. 10 – 17.
4. Потери электроэнергии в сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://multiring.ru/eor/html/752/content/66352/66352.htm/>.-Дата доступа: 28.10.2019.

УДК 330

Перспективы цифровой трансформации

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е. П.

Цифровая трансформация — это процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности, требующий внесения коренных изменений в технологии, культуру, операции и принципы создания новых продуктов и услуг. Для максимально эффективного использования новых технологий и их оперативного внедрения во все сферы деятельности человека предприятия должны отказаться от прежних устоев и полностью преобразовать процессы и модели работы. Цифровая трансформация требует смещения акцента на периферию предприятий и повышение гибкости центров обработки данных, которые должны поддерживать периферию. Этот процесс также означает постепенный отказ от устаревших технологий, обслуживание которых может дорого обходиться предприятиям, а также изменение культуры, которая теперь должна поддерживать ускорение процессов, обеспечиваемое цифровой трансформацией (Рисунок 1).

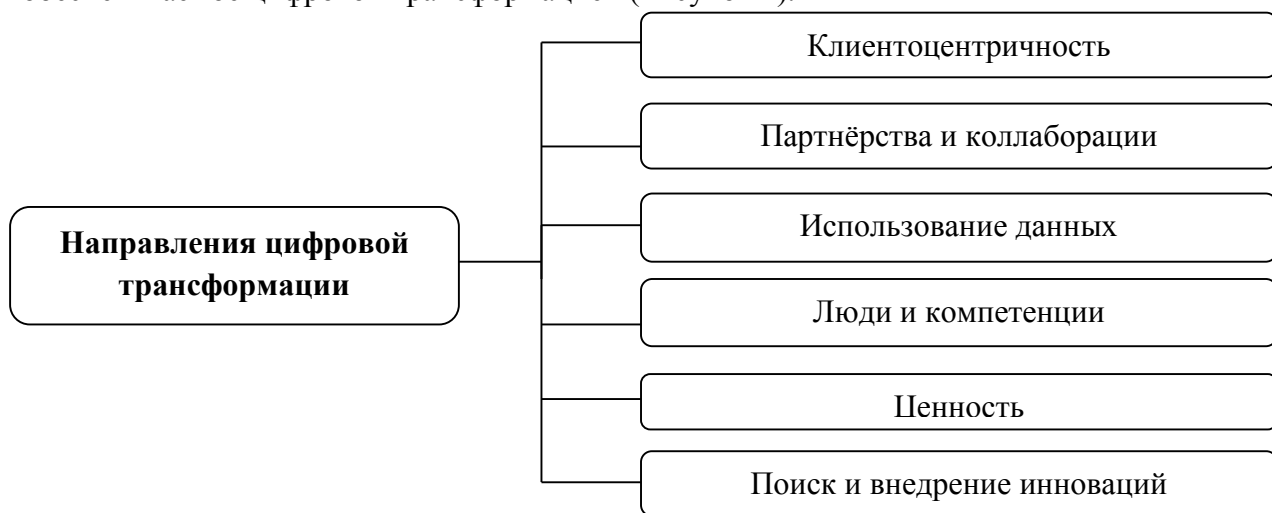


Рисунок 1 – Направления цифровой трансформации

Согласно прогнозам ООН, численность населения мира вырастит до 8 млрд. к 2030 году и до 10 млрд к 2050 году, при чём 80% населения будут проживать в развивающихся странах (Рисунок 2).

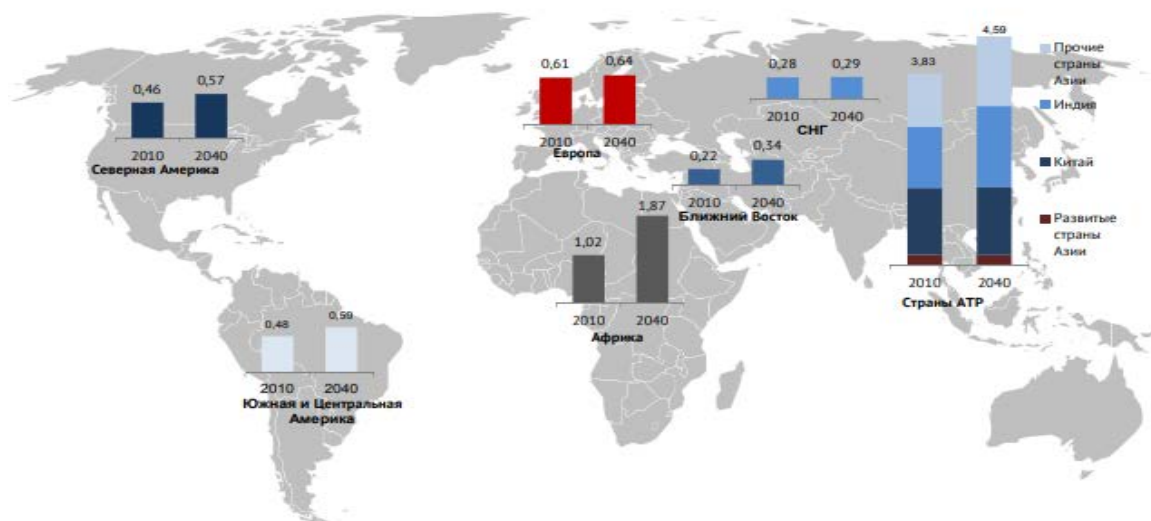


Рисунок 2 – Прогнозный рост численность населения по регионам мира

Важнейшим демографическим показателем, влияющим на темпы экономического роста и уровень энергопотребления, является доля трудоспособного населения в возрасте от 15 до 64 лет. Больше всего рабочих рук потеряют развитые страны Азии (-16%), Европа (-7%), ЕС (-11%) и СНГ

(-3,5%) – Рисунок 1.5. Самые высокие темпы прироста трудоспособного населения к 2040 году ожидаются в Африке (112%), Индии (37%), на Ближнем Востоке (60%) и в Южной и Центральной Америке (26%). Северная Америка при довольно значительной прибавке трудоспособного населения (15%) одновременно столкнется с существенным увеличением численности пожилых людей. В Китае ожидается стабилизация, а после 2020 года - сокращение численности трудоспособного населения. В сочетании со стремительным увеличением доли населения старше 65 лет это будет иметь существенные последствия для развития экономики этой страны. Со схожими проблемами столкнется и Россия, где к 2040 году наиболее активная часть населения сократится на 11%, а доля пожилых людей увеличится на 40% от уровня 2010 года (Таблица 1).

Таблица 1 – Динамика населения мира по регионам

	Численность населения, млн чел.		Среднегодовой рост численности населения, %	Уровень урбанизации, %		Доля трудоспособного населения, %	
	2010	2040		2010-2040	2010	2040	2010
Северная Америка	464	578	0,7%	81%	87%	66%	62%
США	312	383	0,7%	82%	88%	67%	60%
Европа	611	643	0,2%	73%	81%	67%	59%
ЕС-28	506	516	0,1%	74%	81%	67%	58%
Развитая Азия	203	203	0,0%	88%	94%	66%	56%
Япония	127	115	-0,4%	91%	97%	64%	53%
СНГ	280	286	0,1%	64%	70%	70%	67%
Россия	143	139	-0,1%	74%	80%	72%	66%
Развивающаяся Азия	3632	4404	0,6%	40%	57%	68%	66%
Китай	1367	1444	0,2%	50%	74%	74%	63%
Индия	1206	1566	0,9%	31%	46%	65%	68%
Южная и центральная Америка	478	605	0,8%	79%	85%	65%	65%
Бразилия	195	229	0,5%	84%	90%	68%	66%
Ближний Восток	216	332	1,4%	68%	74%	65%	68%
Африка	1031	1999	2,2%	39%	53%	55%	61%
Мир	6915	9051	0,9%	52%	64%	66%	64%

Численность населения Земли существенно влияет на потребление энергии, но в большей степени энергобаланс зависит от темпов индустриального развития. Например, в XX в. население мира выросло в 3,6 раза, в то время как мировой энергобаланс увеличился более чем в 10 раз. Зависимость изменения потребления электроэнергии от роста численности населения представлена на рисунке 3.

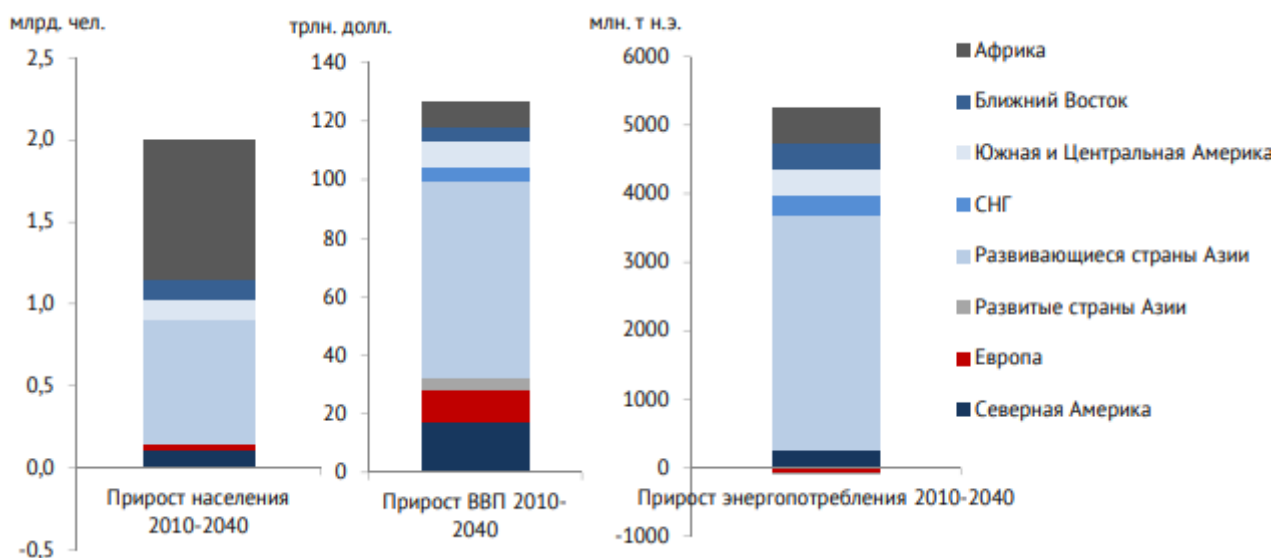


Рисунок 3 – Прирост населения, ВВП, энергопотребления по регионам мира

Как мы видим, до 95% прироста мирового населения дадут развивающиеся страны, включая Китай, Индию, страны Ближнего Востока и Латинской Америки. К 2040 году около 85% населения мира будет жить в этих регионах. Все чаще люди будут мигрировать в города из сельских районов, что приведет к дальнейшему росту городов, а соответственно - к расцвету строительства и промышленности в целом (Рисунок 4).

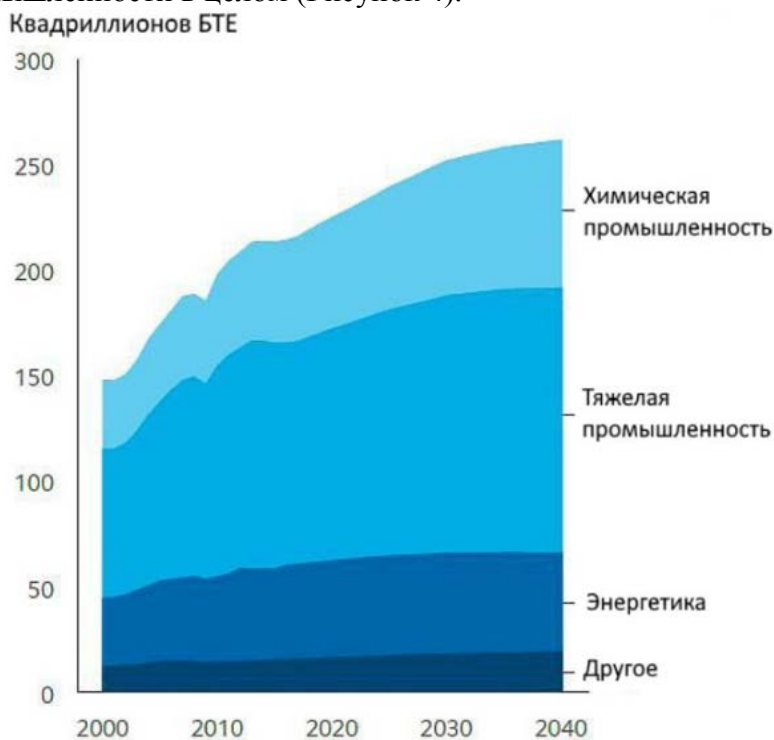


Рисунок 4 – Прогноз потребления электроэнергии промышленностью

Таким образом, для того, чтобы обеспечить энергией почти на 2 миллиарда больше человек, чем сегодня, а так же обеспечить надежность функционирования процесса

производства, передачи и распределения энергии мировой энергетической системе предстоит пройти ряд серьезных трансформаций:

- повышения качества электроэнергии и надежности снабжения (бесперебойное питание, резервирование и т.д.);
- обеспечение качества обслуживания потребителей
- развитие возобновляемой энергетики (биомассы, солнечная и ветровая энергетика);
- снижение стоимости потребления электроэнергии за счет более эффективной генерации и исключения «сетевой» составляющей;
- развитие научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса, в том числе в целях стимулирования смежных отраслей.

Всё выше перечисленное может быть достигнуто с проведением программы цифровизации электроэнергетической отрасли.

Цифровизация или **цифровая трансформация** предусматривает внедрение на энергообъектах электросетевого комплекса страны передового оборудования, создание единой полностью автоматизированной системы управления инфраструктурой и изменение всех бизнес-процессов.

Основными вызовами для перехода к цифровой трансформации являются:

- увеличение темпов роста тарифов для конечного потребителя;
- нарастающий износ сетевой инфраструктуры;
- наличие избыточного сетевого строительства.

Цель цифровой трансформации – изменение логики процессов и переход компании на риск-ориентированное управление на основе внедрения цифровых технологий и анализа больших данных.

Задачи цифровой трансформации:

- адаптивность компании к новым задачам и вызовам;
- улучшение характеристик надежности электроснабжения потребителей;
- повышение эффективности компании;
- повышение доступности электросетевой инфраструктуры;
- развитие кадрового потенциала и новых компетенций;
- диверсификация бизнеса компании за счет дополнительных сервисов

Цифровая трансформация позволит повысить надежность, качество, доступность оказания услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению потребителей, сформировать новую инфраструктуру для максимально эффективного процесса передачи электроэнергии между субъектами электроэнергетики, а также развивать конкурентные рынки сопутствующих услуг.

Литература

1. Прогнозы развития мира и России до 2040 года [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf>– Дата доступа: 29.10.2019.
2. Новая технологическая революция и требования к ней [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/novaya-tehnologicheskaya-revolyuetsiya-i-trebovaniya-k-energetike.pdf>– Дата доступа: 30.10.2019.
3. Энергетический прогноз компании Eххонmobil [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <https://rgk-palur.ru/energetica-prognoz-ekhonomobil-2040/>– Дата доступа: 30.10.2019.

УДК 330

Перспективные направления цифровизации электроэнергетики

Русецкая М.И.

Научный руководитель – препод. КОРСАК Е. П.

Электроэнергетика — отрасль энергетики, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии. Для повышения надежности протекания данного процесса целесообразно произвести анализ эффективности существующих технологий для дальнейшей модернизации отрасли, а именно цифровизации.

Цифровизация предусматривает внедрение на энергообъектах электросетевого комплекса страны передового оборудования, создание единой полностью автоматизированной системы управления инфраструктурой и изменение всех бизнес-процессов.

Цифровая трансформация позволит повысить надежность, качество, доступность оказания услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению потребителей, сформировать новую инфраструктуру для максимально эффективного процесса передачи электроэнергии между субъектами электроэнергетики, а также развивать конкурентные рынки сопутствующих услуг. Существующие направления цифровизации в электроэнергетике представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Существующие технологии в электроэнергетике

Технологии	Существующие (2019-2024 гг)	Перспективные (2025-2030 гг.)
1	2	3
Информационные системы управления	ADMS-системы с поддержкой функционала: SCADA, DMS, EMS, OMS, GIS, AMI, WFM, базирующиеся на модель сети с процессором топологий.	Сетецентрические двухконтурные онлайн и офлайн системы поддержки принятия решений(включая цифровое проектирование)сетевые компании, основанные на онтологийбизнес-процессов деятельности и математической модели сети элементы искусственного интеллекта (включая предиктивную риск-ориентированную аналитику).
Цифровые подстанции	Разнообразные архитектурные формы вторичных цепей и автоматических систем защиты протокола МЭК 61850. Преимущественно с традиционной архитектурой вторичных цепей. На существующих технических решениях в части коммутационного, измерительного и распределительного оборудования, терминалов защитных и автоматических.	Компактные Plug-n-Play центры питания, работающие преимущественно с применением цифровых каналов связи. Вероятно, иной архитектуры по первичным цепям, не требующие специальной длительной наладки при вводе в эксплуатацию, выполненные по цифровым проектам. Имеющие в своем составе интеллектуальное коммутационное оборудование, цифровые системы измерений и контроллеры присоединений интегрированные функции защит и автоматики, учета и передачи данных), вероятно не требующие индивидуальной настройки системы предиктивной диагностики.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Системы автоматизации и процессов ликвидации аварий воздушных (кабельных) сетей	Преимущественно распределенная автоматизация воздушных сетей с применением автоматических пунктов секционирования, управляемых разъединителей и индикаторов короткого замыкания. Централизованная (с применением индикаторов аварийных событий) автоматизация кабельных сетей. С интеграцией в ADMS-системы.	Адаптивные автокластерные(состоящие из элементарных автоматизированных ячеек) сети оптимальной топологии, рассчитанной с применением цифровых моделей сети, с интеллектуальными Автоматическими устройствами (не требующими индивидуальных настроек), а также неавтоматическими, необслуживаемыми делителями сети, интегрируемые в онлайн и офлайн системы поддержки принятия решений.
Интеллектуальные системы учёта и энергомониторинга	Системы АИИС КУЭ (AMI) и интеллектуальные приборы учета электроэнергии. Системы энергомониторинга узлов нагрузки на границах балансовой принадлежности и узлах нагрузки сетей. С интеграцией в соответствующие задачи ADMS-систем.	Интеллектуальные системы энергомониторинга и управления энергопотреблением. Измерительные контроллеры на уровне конечных потребителей, поддерживающие технологии промышленного интернета вещей (в части передачи данных), с интеграцией в онлайн и офлайн системы поддержки принятия решений, а также, вероятно, технологии распределенных реестров для реализации смарт контрактов. Измерительные контроллеры энергомониторинга.

Перспективные технологии цифровизации электроэнергетики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Перспективные технологии в электроэнергетике

Технология	Влияние	Эффект
1	2	3
Онтологические модели	Постепенная цифровизация деятельности по бизнес-процессам компании.	Снижение себестоимости всех бизнес-процессов компании
Цифровые двойники (Digital Shadows)	В рамках развития онлайн и офлайн систем поддержки принятия решений создание математических моделей сети, объектов, процессов и т.д.	Снижение операционных затрат и развитие новых видов бизнеса для компании
Промышленный интернет вещей (IoT)	Существенное снижение CAPEX и OPEX на сбор данных от удаленных объектов и устройств в сети, в том числе качественное увеличение объема этих данных.	Снижение операционных затрат и развитие новых видов бизнеса для компании
Большие данные (Big Data)	Существенное повышение прозрачности деятельности, качественное насыщение данными онлайн и офлайн систем поддержки принятия решений.	Оптимальность принятия решений по оперативной и перспективной обстановке. Дополнительные эффекты за счет общей обработки технологических данных.

1	2	3
---	---	---

Машинное обучение (<i>Machine Learning</i>)	Автоматизированная обработка массив данных в рамках задач онлайн и офлайн систем поддержки принятия решений при наличии соответствующих математических алгоритмов.	Оптимальность принятия решений по оперативной и перспективной деятельности.
Распределенные реестры (<i>Blockchain</i>)	Исключение посредников в цепочке реализации кВт·ч до конечного потребителя, переход на автоматизированные smart-контракты, развитие сервис для активных потребителей и распределенной энергетики.	Развитие новых видов сервисов (бизнеса) сетевых компаний для субъектов рынка.

Таким образом, можно сделать вывод, что основная цель цифровизации есть повышение эффективности работы всего электроэнергетического комплекса и рыночных механизмов с реальным положительным эффектом для потребителей и энергосистемы в целом. Однако нельзя допустить, чтобы цифровизация превратилась в длительную реализацию дорогостоящих проектов, не имеющих осязаемых эффектов, и тем самым дискредитировала себя в глазах потребителей. Поэтому необходимо определить приоритетные направления, внедрение которых повысит эффективность работы энергосистемы и скорость ликвидации аварий, снизит издержки, улучшит показатели надежности.

Литература

1. Русецкая М.И. Blockchain в Республике Беларусь. Перспективы и проблематика / М.И. Русецкая, Я.А. Стасула; науч. рук. Е. П. Чиж // -Наука І молодь в ХХІ сторіччі: збірник тез доповідей III Міжнародної молодіжної науково-практичної інтернет-конференції / Полтавський університет економіки і торгівлі-Полтава : ПУЕТ, 2017. – С.122-123.
2. Новая технологическая революция и требования к ней [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/novaya-tehnologicheskaya-revolyuetsiya-i-trebovaniya-k-energetike.pdf>– Дата доступа: 30.10.2019.
3. Энергетический прогноз компании Exxonmobil [Электронный ресурс]. – 2018 – Режим доступа: <https://rgk-palur.ru/energetica-prognoz-exxonmobil-2040/>– Дата доступа: 30.10.2019.

УДК 629.735

Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях

Царик О.Г.

Научный руководитель – ст. препод. САМОСЮК Н.А.

Без электричества невозможно представить современную жизнь. Промышленность, общественный транспорт, сельское хозяйство и современный человек нуждаются в энергии в больших количествах. Промышленные успехи каждой страны в значительной степени определяет сильно развитая энергетическая база. Во всем мире существует та же проблема, что и у нашей республики: собственные месторождения угля, нефти и природного газа в Беларуси малы, поэтому наша страна импортирует их в большом количестве. С целью снижения потерь, а также для повышения энергетической безопасности внедряется энергетический менеджмент.

Энергетический менеджмент – совокупность технических и организационных мероприятий для уменьшения затрат на энергетические ресурсы путём улучшения энергетической эффективности. Это приводит к ряду преимуществ: увеличению экономической устойчивости предприятия, повышению экологической безопасности, повышению эффективности использования энергии, уменьшению потерь.

Важными моментами для системы энергетического менеджмента являются принятие закона и государственной программы в области энергосбережения, а также образование Департамента по энергоэффективности.

При внедрении энергетического менеджмента огромную роль играет проведение профессионального энергетического аудита – обследования для определения эффективности использования энергетических ресурсов и разработки наиболее эффективных способов его реализации.

Проведение энергоаудита включает в себя:

1. Оценку текущего состояния предприятия и анализ потребления энергоресурсов.
2. Определение целесообразности предлагаемых энергосберегающих мероприятий, реализуемых на объекте.
3. Расчеты экономической эффективности внедрения различных предложений или инвестиций.

На первом этапе следует ввести контроль над потреблением и расходами на энергоресурсы. Для этого требуется составить энергетический баланс предприятия. Нужно предусмотреть все виды энергии и сырья. Для составления энергетического баланса нужны показания счетчиков, а также различных датчиков и измерителей. Ещё нужно собрать сведения по объёму производства и использованию сырья. Затем происходит анализ различных систем (электро-, тепло-, водоснабжения, вентиляции), котельных, оборудования и т.д. На этом этапе также выявляются различные необоснованные потери.

После проведения всех анализов, а также разработки программ энергосберегающих мероприятий проводится расчёт экономической эффективности и их целесообразности. В качестве мероприятий предприятию могут быть предложены:

1. Реконструкция тепловых сетей с применением предизолированных труб.
2. Оптимизация режима работы установок.
3. Установка устройств плавного пуска оборудования.
4. Внедрение автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов.

По результатам проведенного энергетического обследования на предприятии, производящем торфяную продукцию были выявлены резервы экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Разработана программа мероприятия по экономии ТЭР, которая предусматривает резервы экономии:

1. Тепловой энергии – 260,26 Гкал
 2. Электрической энергии – 429,02 тыс. кВт·ч
- Суммарный экономический эффект составит 175,78 т у.т.

Энергетический аудит не должен проводиться однократно. Для эффективного снижения энергозатрат и сокращения потерь нужно провести серию энергоаудитов. В данном случае перемены в условиях работы предприятия, внедрение новых технологий, запуск в производство новых видов продукции не будут выводить предприятие из энергетически эффективного режима.

Литература

1. Сеницын, С.А., Бабич, В.И. Организация системы энергоменеджмента на предприятии // Энергобезопасность и энергосбережение [Электронный ресурс]. – 2009. – №6. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/organizatsiya-sistemy-energomenedzhmenta-na-predpriyatii>. – Дата доступа: 25.10.2019.
2. Тыршу, М.С. Энергоаудит как инструмент энергосбережения / М.С. Тыршу, Д.А. Зайцев, И.В. Голуб // Проблемы региональной энергетики. – 2013. - №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/energoaudit-kak-instrument-energoberezeniya>. – Дата доступа: 25.10.2019.
3. Энергетический менеджмент: учебное пособие / С.И. Рощина [и др.]; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 85 с.