

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Материалы 78 – й научно – технической конференции
студентов и аспирантов
«Актуальные проблемы энергетики»
(Апрель 2022г.)

Минск БНТУ 2022

УДК 621.1
ББК 31.3я43
Т 34

Редакционная коллегия:

Пономаренко Евгений Геннадьевич – декан энергетического факультета БНТУ, кандидат технических наук, доцент;

Седнин Владимир Александрович – заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», доктор технических наук, профессор

Карницкий Николай Борисович – заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», доктор технических наук, профессор

Составитель:

Жуковская Т.Е. – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника» БНТУ

В сборник включены материалы секции «Теплоэнергетика и теплотехника» 78 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2022 г.).

Статьи печатаются в авторской редакции

Белорусский национальный технический университет.
Энергетический факультет.
пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73
E-mail: ef@bntu.by
<http://www.bntu.by/ef.html>

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| БЕЗДЕАЭРАТОРНЫЕ СХЕМЫ..... | 7 |
| П.М. ПЛАКСЕНОК, А.С. КАРАНЕВСКАЯ | 7 |
| Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ..... | 7 |
| ГИДРОТУРБИНЫ | 11 |
| П.М. ПЛАКСЕНОК, А.М. ПЛОТНИКОВА | 11 |
| Научный руководитель – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 11 |
| КОМПОЗИТНЫЕ ГАЗОПРОВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ..... | 17 |
| Г.В. АЛИМОВ, В.Г. ПОЛЕЩУК, А.Д. ЯКОВЕНКО..... | 17 |
| Научный руководитель – А.Г. ГЕРАСИМОВА, К.Т.Н., ДОЦЕНТ | 17 |
| КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ | 22 |
| М.Д. ЮРЧЕНКО..... | 22 |
| Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ..... | 22 |
| МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК | 26 |
| А.А. СТРЕЖИК | 26 |
| Научный руководитель – С.А. Качан, К.Т.Н., ДОЦЕНТ | 26 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР МОЩНОСТИ ТУРБИНЫ ПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА | 30 |
| И.С. Евсиевич..... | 30 |
| Научный руководитель – С.И. Ракевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 30 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛОАГРЕГАТА..... | 34 |
| А.А. ШКУРКО, Д.В. ПЛЯХИНА | 34 |
| Научный руководитель – С.И. Ракевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 34 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР РАСХОДА ОБЩЕГО ВОЗДУХА ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТА С КОРРЕКЦИЕЙ ПО СО | 39 |
| А.А. ШКУРКО, Д.В. ПЛЯХИНА..... | 39 |
| Научный руководитель – В.В. Кравченко, К.Т.Н., ДОЦЕНТ | 39 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР УРОВНЯ В ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ..... | 44 |
| В.В. ЯКИМЦОВА | 44 |
| Научный руководитель – С.И. Ракевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 44 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ Р-50-130-1ПР149 | |
| Р.И. Осташков..... | 49 |
| Научный руководитель – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 49 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОПОДГОТОВКИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ МИНСКОЙ ТЭЦ-3 | 53 |
| М.О. Супрон, П.К. Мартыянов | 53 |
| Научный руководитель – С.А. Качан, К.Т.Н., ДОЦЕНТ | 53 |
| НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАРОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ | 57 |
| В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова..... | 57 |
| Научный руководитель – С.А. Качан, К.Т.Н., ДОЦЕНТ | 57 |
| НАСОС РЕЦИРКУЛЯЦИИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ С ГИДРОТУРБИНЫМ ПРИВОДОМ..... | 62 |
| Т.Р. Шумаров Научный руководитель – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 62 |
| ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ | 68 |
| М.Д. Сытая..... | 68 |
| Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, К.Т.Н., ДОЦЕНТ..... | 68 |
| ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПАРИТЕЛЕЙ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ..... | 71 |
| А.М. ПЛОТНИКОВА..... | 71 |
| Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ..... | 71 |
| ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК | 75 |
| М.В. Колчин, Д.А. Степанов, А.А. Кожух | 75 |
| Научный руководитель – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ | 75 |

| | |
|--|------------|
| ПРОГРЕВ ПАРПОДВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ ПУСКЕ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ СОСТОЯНИЙ | 79 |
| В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова, Е.А. Савенко | 79 |
| Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент | 79 |
| СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ | 83 |
| К.А. Мельник | 83 |
| Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент | 83 |
| СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ТЭС | 87 |
| Д.О. Маер, К.А. Мельник, А.В. Керницкий | 87 |
| Научные руководители – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель, В.А. Романко, старший преподаватель | 87 |
| СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА НАСЫЩЕННОМ ПАРЕ..... | 91 |
| К.А. Мельник, М.Д. Сытая | 91 |
| Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель | 91 |
| ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ | 95 |
| К.А. Галишева, Д.С. Шулепов, И.О. Аликевич | 95 |
| Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель | 95 |
| ЭЛЕКТРОЭРОЗИЯ ПОДШИПНИКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ..... | 98 |
| П.К. Мартыянов, А.Ю. Поланцевич | 98 |
| Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент | 98 |
| ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ ТЕРМОУЛУЧШЕНИЯ СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «МИНСКИЙ ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД»..... | 102 |
| Д.Э. Ильющенко | 102 |
| Научный руководитель – Л.И. Качар | 102 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРОТУРБИНОЙ ТЭЦ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ АБТН..... | 107 |
| Рапута А.В. | 107 |
| Научный руководитель – Бобич А.А, кандидат технических наук, доцент..... | 107 |
| УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РУП «БРЕСТЭНЕРГО» | 111 |
| В.С. Матерн..... | 111 |
| Научный руководитель – М.И. Позднякова, старший преподаватель | 111 |
| ПОВЫШЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГТУ И ПГУ | 115 |
| Т. А. Сиваков, Н. С. Покровский | 115 |
| Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент..... | 115 |
| ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ | 120 |
| Е.В. Буча | 120 |
| Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент | 120 |
| ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛАХ..... | 122 |
| Д.А. Войтович | 122 |
| Научный руководитель – Л.И. Качар..... | 122 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ | 127 |
| В.М. Терехович, М.В. Лесь | 127 |
| Научный руководитель –Т.А. Петровская, старший преподаватель | 127 |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА..... | 131 |
| О.Г. Щесняк..... | 131 |
| Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент | 131 |
| БИОЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ..... | 134 |
| Д. А. Бабинец, А. В. Чешун..... | 134 |
| Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель | 134 |

| | |
|---|------------|
| УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОКОТЛОВ НА МИНСКОЙ ТЭЦ-3 | 137 |
| В.И.САВИЦКАЯ..... | 137 |
| Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель..... | 137 |
| СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РК «СТЕПЯНКА» ФИЛИАЛА «МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ» РУП «МИНСКЭНЕРГО»..... | 140 |
| П.А. ПЕРЕХВАЛ..... | 140 |
| Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель..... | 140 |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ТЭЦ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС..... | 144 |
| И.В. ВАСИЛЕВСКИЙ, Я.С. ЯЦУХНО..... | 144 |
| Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент..... | 144 |
| АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС БЕЛАРУСИ НА ЭЛЕКТРОКОТЛЫ | 148 |
| М. С. КАРАКА | 148 |
| Научный руководитель – И.Л. Иокова, к.т.н., доцент..... | 148 |
| СОРБЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ..... | 153 |
| К.Н. КУБРАКОВ, С.В. ВОЙТОВА, Р.А. ТИУНЧИК..... | 153 |
| Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель..... | 153 |
| МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ОАО «КАМВОЛЬ» | 157 |
| В.М. РЫКТЕР..... | 157 |
| Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель..... | 157 |
| МЕТОД АЭРАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ | 160 |
| М.А. ЗАРУБА, М.В. РЫНКЕВИЧ..... | 160 |
| Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель | 160 |
| ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО РАЙОНА ГОРОДА ЖОДИНО..... | 163 |
| Д.В. ХУДЕНКО | 163 |
| Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент | 163 |
| РАЗРАБОТКИ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... | 166 |
| А.С. ШЕНЕЦ..... | 166 |
| Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор | 166 |
| ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА 17 БНТУ..... | 172 |
| А.В. КУЛЫГИН | 172 |
| Научный руководитель – Е.О. Иванчиков..... | 172 |
| АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ | 174 |
| И. Ю. ПРОНТИШЕВ, | 174 |
| Научный руководитель – И. Н. Прокопеня, старший преподаватель | 174 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ С ПОВЫШЕНИЕМ ЕЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ | 177 |
| К.А. МОРДАС | 177 |
| Научный руководитель – И.А. Скицунова, ассистент | 177 |
| РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ ОАО «БЕЛШИНА» | 179 |
| А.А. СУДАК | 179 |
| Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор | 179 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... | 182 |
| П.А. КУЦЕНКО | 182 |
| Научный руководитель – И.А. Скицунова, ассистент | 182 |
| МОДЕРНИЗАЦИЯ РАЙОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ С УСТАНОВКОЙ ГАЗОПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА .. | 184 |
| Е.Ю. АДИНЦОВА | 184 |
| Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажёр | 184 |

| | |
|--|------------|
| МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ..... | 187 |
| Д.В. МАРУСИЧ | 187 |
| Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент | 187 |
| РАСШИРИТЕЛЬ-СЕПАРАТОР В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЧАСТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ..... | 190 |
| БЕГУНКОВИЧ Т. В. СЕВОСТЬЯН А. П. | 190 |
| Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель | 190 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS CFX ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С УЧЕТОМ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ТЕПЛООБМЕНА, МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ, ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И ГОРЕНИЯ | 193 |
| А. Н. ЖДАНОВИЧ В. В. ВОРОПАЙ Ф. Д. БАШУРА | 193 |
| Научный руководитель – В. И. Лазакович, преподаватель | 193 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS ENERGICO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК, ГОРЕЛЫХ КОТЛОВ И МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ..... | 197 |
| Р.В. ЧЕРНЮК, В.В. ПАНЦЫРЕВ, К.Г. КИСЛЫЙ..... | 197 |
| Научный руководитель – В.И. Лазакович | 197 |
| АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ | 200 |
| А. В. КАЗЕЙКА | 200 |
| Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель | 200 |
| РАБОТА С ОБЛАКОМ ТОЧЕК ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ КОТЕЛЬНОЙ | 204 |
| А. П. КАМЕНКО..... | 204 |
| Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель | 204 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS TURBOGRID ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЕТОК ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ..... | 208 |
| А. А. ЕГОРОВ | 208 |
| Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель | 208 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ | 211 |
| П.А. БРИЛЁВ, М.С. ВОЙЛОКОВ | 211 |
| Научный руководитель – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, старший преподаватель..... | 211 |

УДК 621.166

**БЕЗДЕАЭРАТОРНЫЕ СХЕМЫ
SCHEME WITHOUT DEAERATOR**

П.М. Плаксёнок, А.С. Караневская
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pronkevichAV@mail.ru
P. Plaksenok, A. Karanevskay
Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer
Belarusian technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматриваются бездеаэрационные схемы, экономичность и целесообразность, преимущества и недостатки, использования данных схем на ТЭЦ и АЭС. Примеры станций, на которых они применяются. Так же показаны турбины, которые часто участвуют в бездеаэрационных схемах и станции, на которых применяются данные схемы.*

***Abstract:** this article discusses non-aerator schemes, cost-effectiveness and expediency, advantages and disadvantages of using these schemes at thermal power plants and nuclear power plants. Examples of stations where they are used. Also shown are turbines that are often involved in non-aerator circuits and stations where these circuits are used.*

***Ключевые слова:** деаэрактор, тепловая электрическая станция, питательная вода, котёл, бустерные насосы.*

***Keywords:** deaerator, thermal power plant, feed water, boiler, booster pumps.*

Введение

Для увеличения КПД тепловых электрических станций, экономии ресурсов, простоты конструкций учёные и инженеры разрабатывают с каждым годом всё более совершенные рабочие схемы. Примером может служить бездеаэрационная схема. На энергоблоках, работающих на сверхкритических параметрах пара, можно применять нейтрально-кислородный и гидразио-аммиачный водные режимы. Для работы схем в данных режимах необходимо использовать смешивающие ПНД. Также можно проводить деаэрацию в конденсаторах паровых турбин. Отказ от деаэратора, как от дорогого элемента схемы, может сэкономить затраты на выработку энергии. При бездеаэрационных тепловых схемах не требуются деаэрактор, бустерные насосы, большое количество арматуры и трубопроводов, что уменьшает стоимость строительства ТЭЦ.

На рисунке 1 можно увидеть простейшую бездеаэрационную схему.

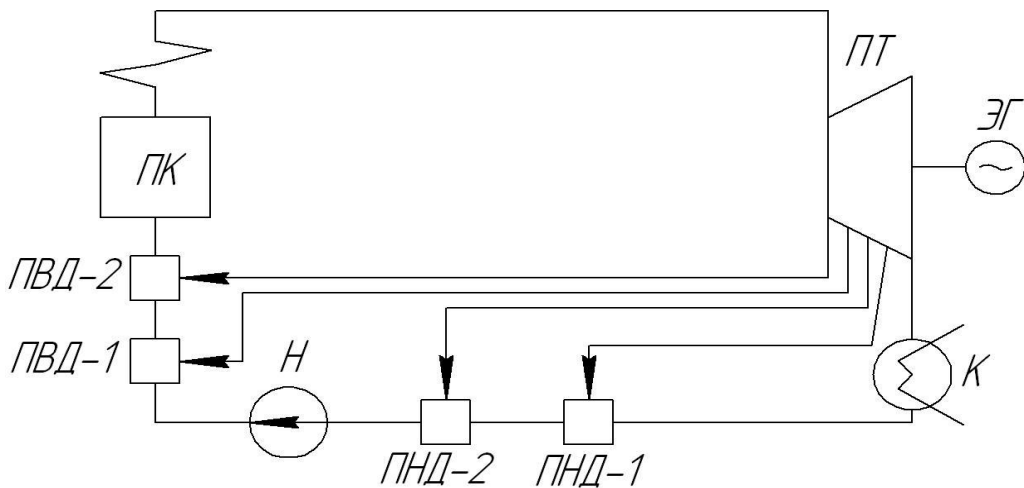


Рисунок 1 – Бездеаэраторная схема

Основная часть

Для нормальной работы установки без деаэратора необходимо введение избыточного кислорода, что позволяет отказаться от применения нержавеющей стали при изготовлении трубок поверхностей нагрева регенеративных подогревателей и использовать для этой цели низколегированную перлитную сталь, которая удешевляет производство оборудования. Для того, чтобы ввести в эксплуатацию данную схему, необходимо использовать смешивающий ПНД с повышенной деаэрационной способностью.

Также процесс деаэрации не обязательно должен проходить в деаэраторе. Функцию деаэратора могут выполнять конденсатор главной турбины и особенно в вакуумных смешивающих ПНД. С точки зрения экономии топлива использование бездеаэраторных схем достаточно выгодно.

Характерной особенностью большинства БТС является полная автоматизация всех технологических процессов, не требующих вмешательства персонала.

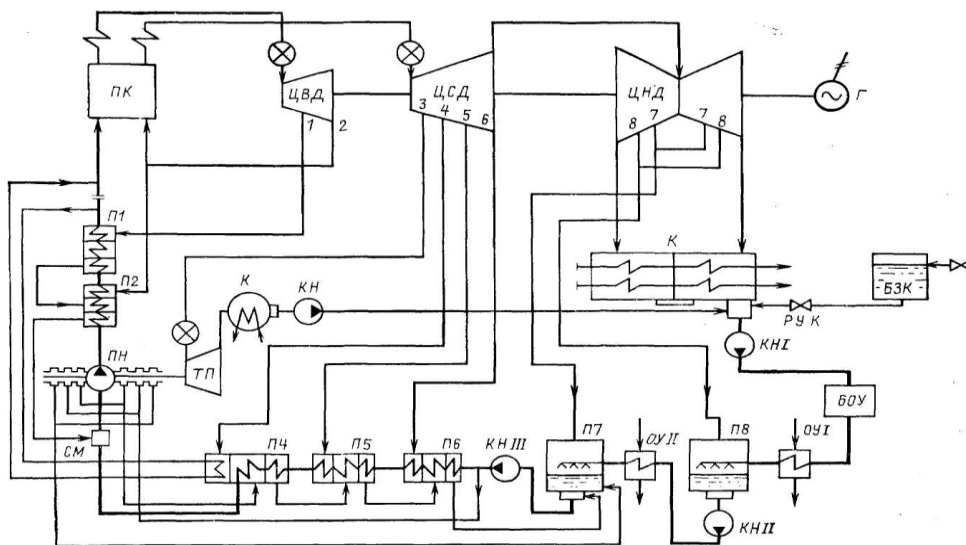


Рисунок 2 – Бездеаэраторная схема ТЭЦ:

БЗК - бак запаса конденсата, РУК - регулятор уровня конденсата, СМ - смеситель, КН - конденсационный насос, ПН - питательный насос, ПК - паровой котёл, КН - конденсационный насос

На рисунке 2 показана бездеаэраторная схема ТЭЦ на сверхкритических параметрах. Первые ПНД после конденсатора смесительного типа, вертикальные, включены в схему с насосами для перекачки конденсата. Эти ПНД имеют в своих корпусах определенный демпфирующий запас воды для устойчивой работы конденсатных насосов. Необходимое количество этой воды, с учетом ее наличия в конденсатосборнике конденсатора главной турбины, составляет 20-50 м³ в энергоблоках мощностью 300-800 МВт. Деаэратор питательной воды заменен дополнительным пятым ПНД поверхностного типа. Конденсатные насосы третьей ступени также служат в качестве бустерных насосов. Дренажи греющего пара после ПВД1 и ПВД2 введены в смеситель перед питательным насосом.

Важной мерой, влияющей на экономичность и надежность эксплуатации, стало усовершенствование схемы подачи пара в уплотнения турбины. В проектной схеме подача пара к уплотнениям турбины осуществляется из коллектора или из коллектора собственных нужд станции.

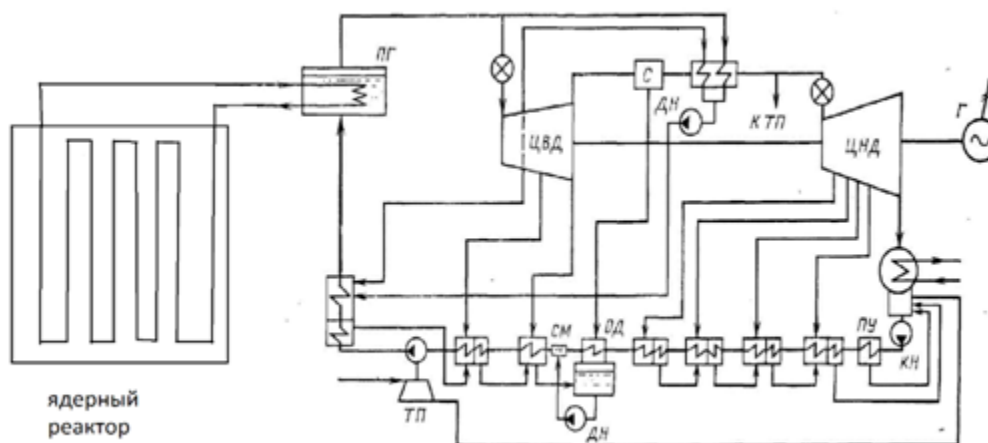


Рисунок 3 – Бездеаэраторная схема АЭС

Бездеаэраторные схемы применяются так же на АЭС (рисунок 3).

Почти все виды турбин могут применяться в бездеаэраторных схемах. Т-180/210-130, Т-250/300-240, К-300-240 ЛМЗ, К-300-240 ХТЗ, К-250-240 – примеры часто применяющихся турбин, с которыми можно использовать бездеаэраторные схемы.

В странах СНГ бездеаэраторные схемы применяются довольно редко, а на территории Беларуси такие схемы не используются. В Республике Беларусь часто перед деаэратором идёт противодавленческая турбина малой мощности для увеличения объёма производимой электроэнергии.

Бездеаэраторные схемы имеют ряд недостатков. Редукционное устройство и регулятор уровня воды отсутствует вместе с деаэратором, поэтому контролировать температуру и прочие параметры становится проблематично. Также бездеаэраторные схемы трудно использовать в прямоточных котлах. С точки зрения безопасности, схемы с деаэратором надежнее.

Заключение

Использование бесконтактных тепловых схем паротурбинных установок без деаэраторов значительно снижает затраты на строительство ПТУ, а также устраняет необходимость в отдельном теплообменнике-деаэраторе в качестве элемента тепловой схемы. Использование схем без деаэратора устраняет необходимость в деаэрации воды перед поступлением и, как правило, повышает общую экономичность установки паровых турбин. Однако отказ от деаэратора менее привлекателен в плане надёжности и безопасности. Данные схемы не имеют широкое применение в энергетике стран СНГ. Как правило, применение бездеаэраторных схем выгоднее на небольших тепловых станциях.

Литература

1. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Тепловые и Атомные электрические станции: справочник / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС / Я.М. Рубинштейн, М.И. Щепетильников. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

УДК 621.224

ГИДРОТУРБИНЫ HYDRO TURBINES

П.М. Плаксёнок, А.М. Плотникова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by
P. Plaksenok, A. Plotnikava
Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной работе рассматриваются типы и конструкция турбин, работающие на гидроэлектростанциях. Тема гидротурбин является актуальной, так как гидростанции в Беларуси являются одним из самых распространённых видов альтернативной энергетики. На территории Республики Беларусь находится 29 гидроэнергетических установок суммарной мощностью приблизительно 90 МВт. Рассмотрены преимущества и недостатки основных типов гидротурбин.

Abstract: this paper discusses the types and design of turbines operating in hydroelectric power plants. The topic of hydro turbines is relevant, since hydro stations in Belarus are one of the most common types of alternative energy. On the territory of the Republic of Belarus there are 29 hydropower plants with a total capacity of approximately 90 MW. The advantages and disadvantages of the main types of hydraulic turbines are considered.

Ключевые слова: турбина, вода, сопло, колесо, лопатки.

Keywords: turbine, water, nozzle, wheel, blades.

Введение

Гидротурбина – это устройство, которое основано на преобразовании энергии потока воды в механическую работу на валу, что в свою очередь вращает ротор генератора, где происходит преобразование механической энергии в электрическую. Тип гидротурбин выбирается по расчетному напору, номинальной мощности, энергетическим и кавитационным показателями, режиму течения реки и прочим факторам.

Основная часть

Разделяют достаточно много видов турбин, но в практике строительства гидроэлектростанций широко применяются четыре вида, отличающиеся количеством напора: осевые ($H = 1 \div 70$ м), диагональные ($H = 40 \div 200$ м), радиально-осевые ($H = 50 \div 700$ м) – реактивные турбины, и ковшовые – активные турбины ($H = 400 \div 1600$ м).

Ковшовая турбина – активная гидротурбина, работает при очень больших напорах. Эти турбины имеют другое название «турбина Пелтона».

Главными достоинствами ковшовых турбин являются: значительная результативность при выборочных нагрузках, конструктивная простота, легко

заменяемы отдельные узлы, удобная реализация режима синхронного компенсатора.

Рабочее колесо – важный узел, образующий ковшовую систему, где ковши находятся симметрично относительно оси вращения. На сегодняшний день большинство производителей делают рабочие колеса без механического крепления ковшей к диску. Общее число сопл и соответственно число струй, натекающих с высокой скоростью на лопатки турбины, определяют конструкцию ковшовых турбин. Мощность турбины повышается с увеличением количества струй при учёте диаметра рабочего колеса.

Данный вид турбин имеет высокие требования к качеству металла, так как песок быстро изнашивает материал. Колеса производят либо цельнолитыми из коррозионностойкой стали, либо сварными деталями двух следующих типов: в первом использован отлитый венец из ковшей, свариваемый с опорным диском; в другом – отдельно отлитые ковши, далее сваривают друг с другом вместе с опорным диском.

Для большей точности механической обработки, рабочая и внешняя поверхности ковшей обрабатываются до сварки хвостовиков. После конечного обрабатывания рабочему колесу необходима балансировка. *Направляющее устройство* ковшовых турбин производится в виде системы сопл, где внутри перемещаются профилированные иглы. Величина пропускаемого через сопло расхода регулируется положением игл относительно выходных отверстий сопла. Распространены турбины с шестью соплами, позволяющие результативно использовать срок службы турбины в половинном количестве сопл.

Самыми качественными считаются прямоточные сопла без штока, где создаются более устойчивые передвижения жидкости с минимальными потерями.

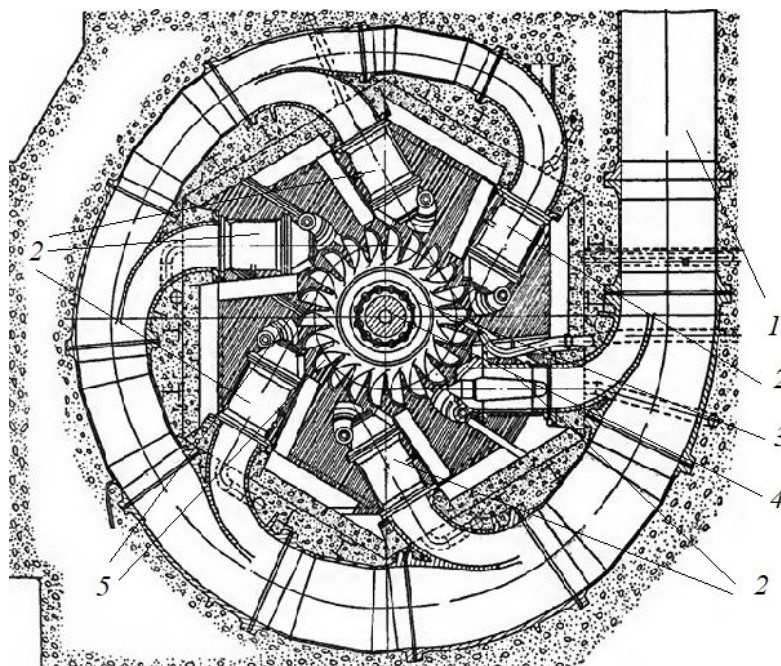


Рисунок 1 – Схема ковшовой гидротурбины: 1 – подводный трубопровод; 2 – сопло; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – рабочие лопатки.

Осевые турбины бывают следующих типов: горизонтальные капсульные (напор до 25 м); поворотн-лопастные вертикальные (турбины Каплана), напор до 60 м; пропеллерные (напор до 60 м).

В осевых турбинах основу рабочего колеса составляют лопатки, которые соединены с валом и закреплены в корпусе с обтекателем. В обычном случае число лопастей лежит в диапазоне от 4 до 8 штук и возрастает с увеличением напора.

Подводящая часть осевой турбины состоит из турбинной спиральной камеры, которая обеспечивает равномерное распределение воды по всему периметру направляющего аппарата. Спиральная камера турбины чаще всего изготавливается из бетона и имеет трапецеидальное поперечное сечение. В случае работы при высоких напорах (более 50 м) применяются турбинные камеры круглого поперечного сечения из металла.

Нагрузки от верхнего опорного пояса статора к нижнему передают колонны статора турбины. Колонны статора сделаны в удобообтекаемой форме для того, чтобы снизить гидравлические потери.

Кольцевая решетка лопастей закручивает поток перед его входом на лопатки рабочего колеса. Она формируется из 20-32 направляющих лопаток (их число определяется расположением лопаток на диаметре – d_1) решетки из спрофилированных лопаток перед рабочим колесом. Лопатки направляющего аппарата позволяют регулируют мощность, развиваемую турбиной. С этой целью каждую лопатку можно проворачивать на оси и при определенном угле изменяется открытие, если соблюдать условие синхронного поворота всех лопаток. Соответственно меняются пропускаемый расход и мощность гидротурбины.

Повышение КПД турбины можно добиться благодаря снижению кинетической энергии, а это в свою очередь возможно только при медленном снижении скорости воды до выхода потока в нижний бьеф, что позволяет осуществить отсасывающая труба в виде диффузора, которая отводит воду от рабочего колеса. Отсасывающие трубы крупных турбин изготавливают преимущественно из бетона.

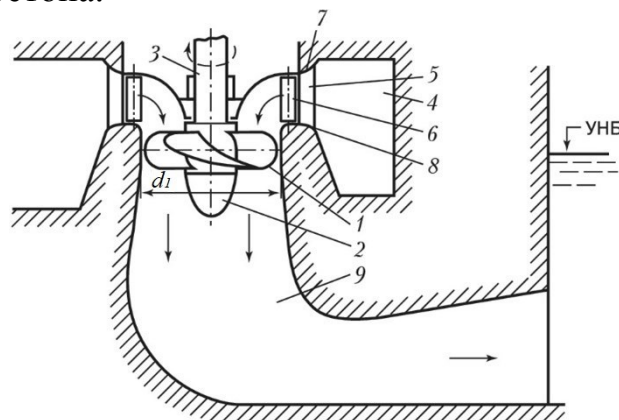


Рисунок 2 – Схема осевой турбины: 1 - лопатки рабочего колеса; 2 – втулка с обтеканием; 3 – вал; 4 – камера турбины; 5 – статор; 6 – сопловой аппарат с лопатками; 7,8 – спорное пояса статора; 9 – отсасывающая труба; УНБ – уровень нижнего барельефа; d_1 – диаметр внешнего колеса.

Радиально-осевая гидротурбина (турбина «Френсиса») пользуется преимуществом в гидроэнергетике. Функционирует она при напорах от 40 до 700 м. Радиально-осевые турбины названы так из-за вхождения потока воды в рабочее колесо турбины радиальным путем и выходом из него в осевом направлении.

Кольцевая решетка образована из 12-17 лопастей, входящих в состав рабочего колеса радиально-осевой турбины. Вследствие жестко заделанных лопастей в ступицу и обод, рабочее колесо, соединенное валом с фланцем, обретает необходимую надежность и жесткость.

В подводящей части радиально-осевой гидротурбины спиральная камера выполнена в металле с круглым поперечным сечением с целью наилучшего восприятия большого внутреннего давления воды.

Направляющие лопатки соплового аппарата в количестве 16-24 лопастей обеспечивают необходимое направление потока перед входом на рабочее колесо.

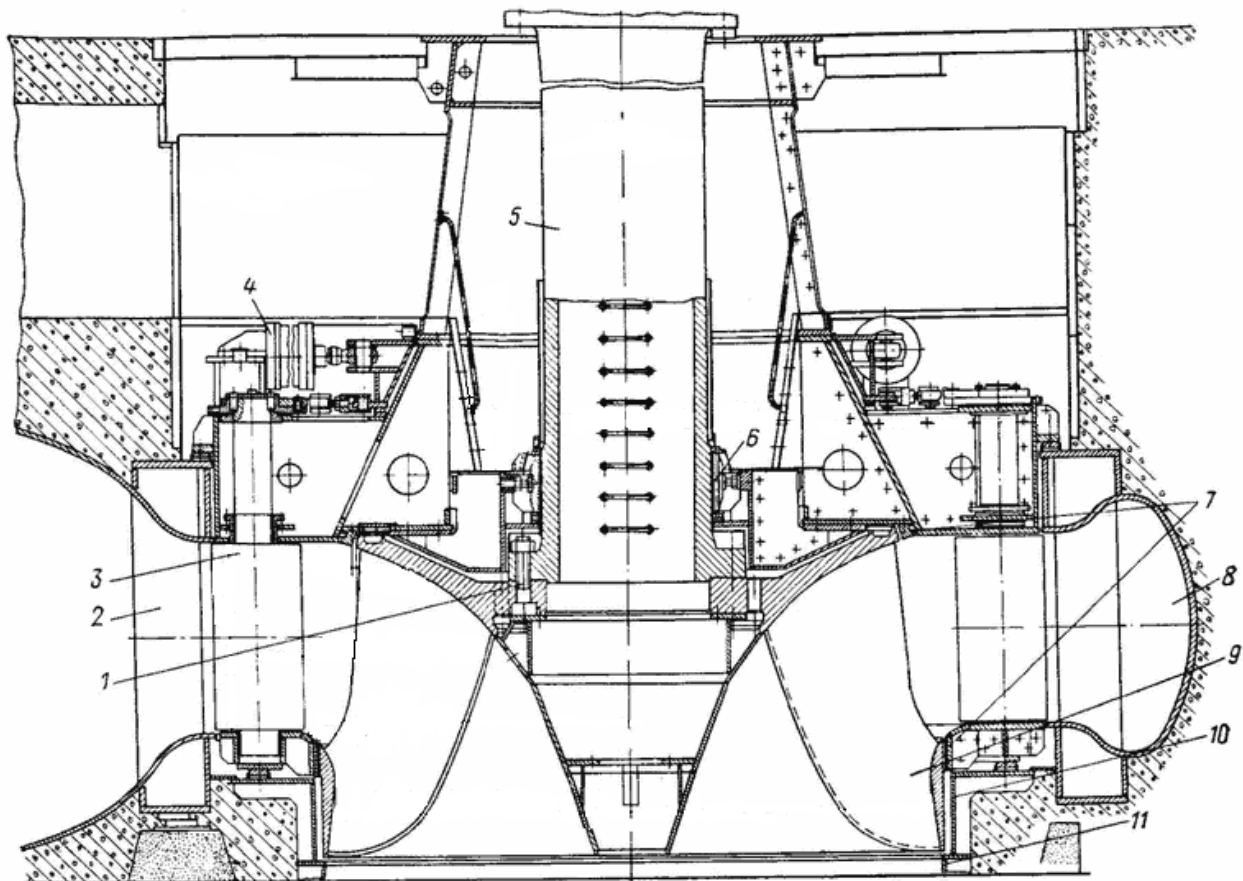


Рисунок 3 – Разрез радиально-осевой гидротурбины: 1 – приспособанный болт; 2 – статор; 3 – сопловой аппарат; 4 – масляной сервомотор; 5 – вал; 6 – направляющий подшипник; 7 – кольца; 8 – металлическая сварная камера; 9 – рабочее колесо.

Диагональные гидротурбины разработаны для использования поворотно-лопастных турбин при высоких напорах. Отличительной особенностью таких турбин являются лопасти рабочего колеса, расположенные под наклоном к оси вращения (угол $45-60^\circ$). Лопасти рабочего колеса – поворотные, благодаря чему можно применить диагональные

турбины в диапазоне высоких напоров и составлять конкуренцию радиально-осевым турбинам, так как регулирование имеет большие возможности, если учитывать напор и расход, повышение среднеэксплуатационного КПД.

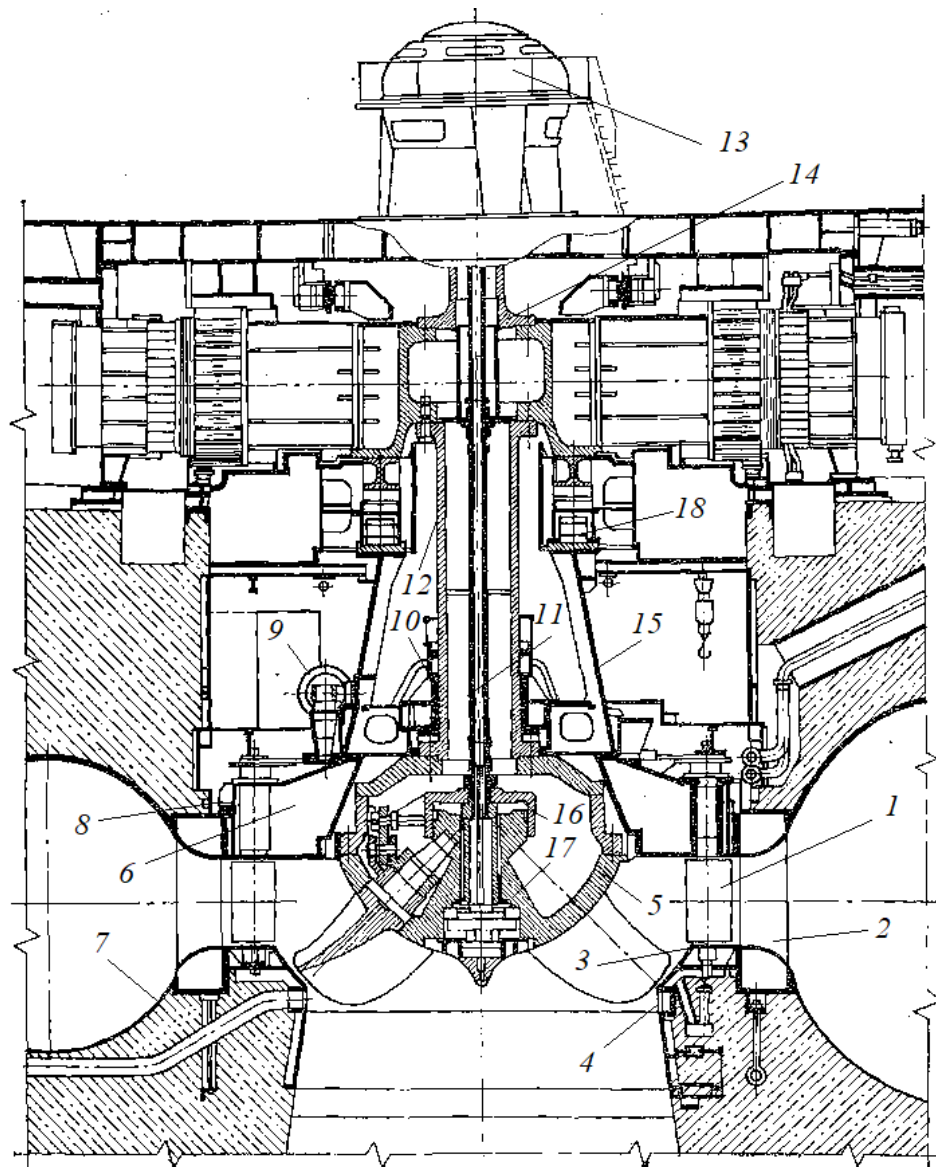


Рисунок 4 – Разрез диагональной гидротурбины: 1 – лопасти соплового аппарата; 2 – колонны статора; 3 – сферическая часть камеры рабочего колеса; 4 – нижний пояс камеры рабочего колеса; 5 – рабочее колесо турбины; 6 – крышка турбины; 7 – спиральная камера; 8 – опорный фланец; 9 – сервомотор направляющего аппарата; 10 – турбинный подшипник; 11 – маслопроводы к сервомотору рабочего колеса; 12 – вал; 13 – маслоприемник; 14 – надставка вала; 15 – опорный конус; 16 – крышка рабочего колеса; 17 – сервомотор рабочего колеса; 18 – подпятник.

Диагональные турбины обладают более высоким КПД и более сложной конструкцией, больше подвергаются износу, чем радиально-осевые. Диагональные турбины на ГЭС выгоднее использовать для режимов работы с большими колебаниями напора и мощности.

Обычно применяют в диагональных турбинах сопловой аппарат с вертикальным расположением осей лопаток конического и обычного радиального вида. Благодаря исследованиям было выявлено, что

энергетические качества при коническом и радиальном аппаратах остаются почти одними и теми же. Несущественное повышение КПД даёт конический направляющий аппарат при небольших мощностях. Быстроходность диагональных турбин и сферы их использования при различных напорах обусловлена конструкцией и формой проточной части турбины.

Заключение

Гидротурбины конструктивно и функционально разнообразны и имеют большие отличия от паровых турбин, так как применяется разная рабочая среда. Гидротурбины не подвержены высоким температурам, но воздействие эрозии выше, а осуществление фильтрации и подготовки речной воды дорогостоящее мероприятие.

Литература

1. Гидротурбины и обратимые гидромашины – Энергетика [Электронный ресурс] / гидротурбины и обратимые гидромашины – энергетика. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2>. – Дата доступа: 16.03.2022.
2. Конструкции ковшовых турбин: справочник по гидротурбинам [Электронный ресурс] / конструкция ковшовых турбин: справочник по гидротурбинам. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/spravochnik-ro-gidroturbinam/Page-44.html>. – Дата доступа: 10.04.2022.
3. ГЭС: принцип работы, схема, оборудование, мощность [Электронный ресурс] / ГЭС: принцип работы, схема, оборудование, мощность. – Режим доступа: <https://altenergiya.ru/poleznye-stati/ges-princip-raboty-sхема-oborudovanie-moshhnost.html>. – Дата доступа: 25.03.2022.

УДК 621.644.8

**КОМПОЗИТНЫЕ ГАЗОПРОВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
COMPOSITE GAS PIPELINES AND ENERGY SAVING PROSPECTS**

Г.В. Алимов, В.Г. Полещук, А.Д. Яковенко
Научный руководитель – А.Г. Герасимова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

G. Alimov, V. Poleshchuk, A. Yakovenko
Supervisor – A. Gerasimova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** данная статья посвящена вопросу оценки целесообразности использования альтернативных материалов для строительства газопроводов.*

***Abstract:** this article is devoted to the issue of assessing the feasibility of using alternative materials for the construction of gas pipelines.*

***Ключевые слова:** трубопровод, коррозия, композитная труба, газ.*

***Key words:** pipeline, corrosion, composite pipe, gas.*

Введение

В последние годы надежность трубопроводных систем инженерно-технологического назначения практически повсеместно переживает кризис. Основной причиной частых аварий на стальных коммуникациях была коррозия. Многочисленные теоретические исследования и практические испытания показали, что полимеры и их композиции являются многообещающей альтернативой металлическим трубопроводам. Эффективность композитных трубопроводов подтверждается ростом инженерных композитных коммуникаций. Основными преимуществами нанокompозитных труб являются длительный срок службы (до 80-100 лет), низкое гидравлическое сопротивление и отсутствие необходимости для систем катодной и анодной защиты благодаря внешней коррозионной стойкости. Согласно годовому отчету ПАО «ГАЗПРОМ» за 2017 год, протяженность газотранспортной системы (ГТС) страны в настоящее время составляет 172 100 км. Все магистральные газопроводы построены из стальных труб от DN500 до DN1400. Нагнетатели природного газа с моторным приводом, газовым двигателем и газотурбинным приводом используются для подачи газа с месторождений к западной границе и в конечном итоге к российским потребителям (рисунок 1).

Основную долю газотранспортного оборудования составляют газотурбинные компрессоры - 86% от общей мощности. Гидравлическое сопротивление магистральных газопроводов и трубопроводов участка на газокompрессорных станциях (КС) определяет расход топливного газа для привода ГТС. В соответствии с целевыми показателями ПАО «Газпром» на

2018 год собственные потребности ГТС составляют около 11% (60 млрд м³ в год) от объема добычи газа [1].

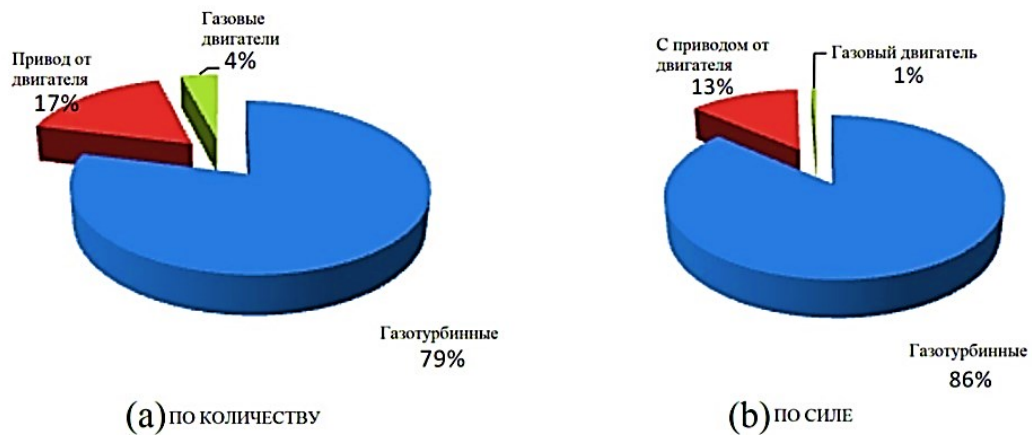


Рисунок 1 – Структура парка газовых компрессоров по типу привода, Россия

Основная часть

Гидравлическая эффективность современных систем газопроводов.

Многочисленные совместные совещания руководства ПАО «ГАЗПРОМ» и ООО «УК РОСНАНО» подтверждают высокий интерес к применению современных разработок наноиндустрии. Наряду с системами постоянного тока с литий-ионными батареями, волоконно-оптическими устройствами для контроля технического состояния газопроводов, мембранными технологиями, термоэлектрическими генераторами, работающими на природном газе, большой интерес отмечается к нанокompозитным трубам для строительства магистральных газопроводов (МГП) и ответвлений газопроводов (GPB) [2]. Два контрольных участка для строительства газопроводов из композитных труб (один наземный (90 км), один подводный (14 км) переход через ручей) и подрядчик для производства композитных газопроводов до DN1400 были согласованы с руководством компании. Обоснование энергетического и экономического эффекта от возможной реконструкции ГТС производится путем сравнения четырех вариантов газовых труб:

- базовая версия: сталь с системой электрохимической защиты (ЕСР) от внешней коррозии;
- альтернатива А1: сталь с внутренним гладким эмалевым покрытием и системой ЕСР;
- альтернатива А2: композитные трубы без системы ЕСР;
- альтернатива А3: сталь с внутренним гладким покрытием Scotchkote и системой ЕСР.

Шероховатость газовых труб с внутренним гладким покрытием (вариант 1) не должна превышать 15 мкм. Согласно требованиям, этот показатель рекомендуется принимать равным 0,01 мм. Основным назначением внутренних антифрикционных покрытий является уменьшение шероховатости внутренней поверхности труб. Внутреннее двухкомпонентное гладкое

покрытие Scotchkote (альтернатива 3) имеет специальные антифрикционные свойства. Материал не содержит растворителей, бензилового спирта и других летучих веществ, что позволяет получить внутреннее покрытие с шероховатостью 1...10 мкм. Наноккомпозит (альтернатива 2) представляет собой большое количество специальных нанослоев толщиной не более 2×10^{-9} м. Он изготовлен из глинистых минералов монтмориллонита. Частицы монтмориллонита искусственно добавляются в полимер PE-RT и образуют уникальный сверхпрочный материал. Результатом создания многослойной структуры является увеличение механической прочности трубы, термостойкость и долговечность за счет устранения коррозии газопроводящих труб. Внутренний слой наноккомпозитной трубы, контактирующий с потоком, изготовлен из полиэтилена PE-RT. С точки зрения обеспечения оптимальных гидравлических условий газопроводов этот материал обладает следующими преимуществами:

- чрезвычайно низкое значение шероховатости - 0,0015 мм;
- почти нулевая адгезия.

Оценка энергетической эффективности гидравлических режимов для базового и трех альтернативных вариантов выполняется путем расчета давления в конце участка протяженностью 100 км в соответствии с методиками:

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - \frac{10^{12} \cdot q \cdot \Delta T_m \cdot Z_m \cdot L}{3.32^2 \cdot d^5}}$$

Построены гидравлические характеристики газопроводов для труб от DN 500 до DN 1400. На рисунке 2 показана зависимость гидравлического КПД для наибольшего и наименьшего диаметров от загрузки газовой системы в диапазоне 60%...100%.

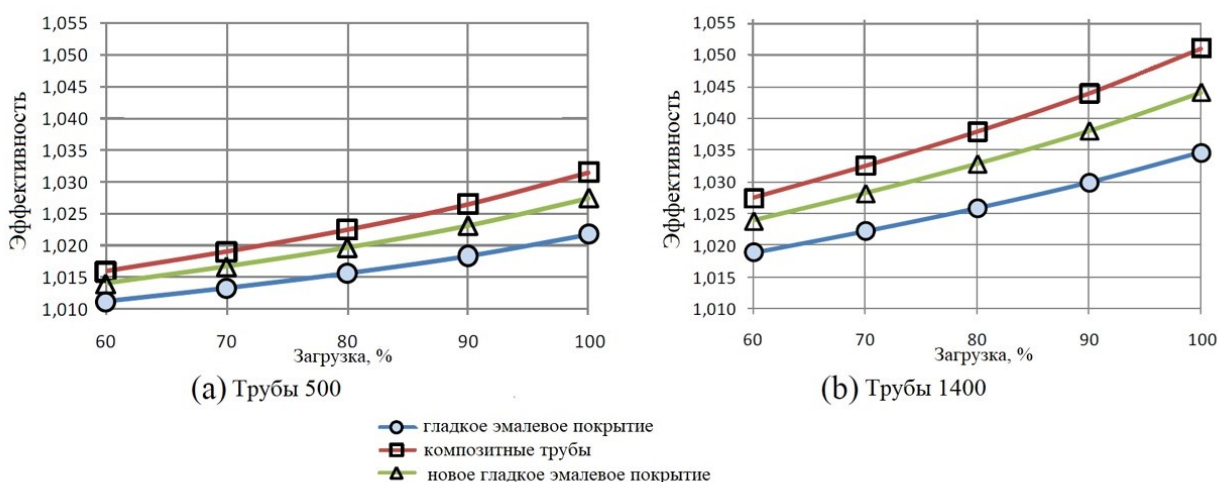


Рисунок 2 – Гидравлическая эффективность газопроводов

Расчеты показали, что величина необходимого напора для перекачки газа значительно варьируется в зависимости от шероховатости трубопроводов. На рисунке 3 показаны относительные значения потерь давления на участке длиной 100 км между CS с обозначениями:

В/А 1 - отношение потерь давления в стальном трубопроводе (базовый вариант конструкции системы) к потерям давления в стальном трубопроводе с гладким внутренним эмалевым покрытием (альтернатива А1);

В/А 2 - коэффициент потерь давления в стальном трубопроводе (базовый вариант конструкции системы) к потерям давления в составном трубопроводе (вариант А2);

В/А 3 - коэффициент потерь давления в стальном трубопроводе (базовый вариант конструкции системы) к потерям давления в стальном трубопроводе с внутренним покрытием Scotchkote (альтернатива А3).

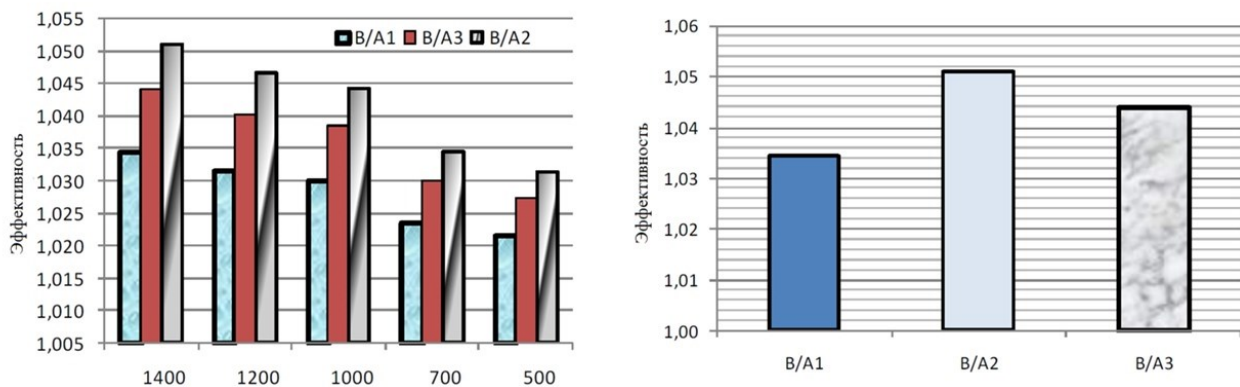


Рисунок 3 – Сравнение гидравлической эффективности труб с различной шероховатостью при расчетной нагрузке

Чтобы обеспечить поток газа повышенного давления в головной части системы, требуется дополнительный расход топливного газа GCU (газокомпрессорная установка) для привода нагнетателя. С учетом исходных данных (таблица 1) было рассчитано снижение затрат на топливный газ при реализации реконструкции ГТС для вариантов А1... А3 (таблица 2) на примере газопровода DN1400.

Таблица 1 – Исходные данные для оценки эффективности использования композитных и альтернативных газопроводов

| № | Параметр | Единица измерения | Значение параметра |
|---|------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Начальное давление газа | МПа | 7,5 |
| 2 | Расстояние между CS | км | 100 |
| 3 | Диаметр газопровода | мм | DN1400 |
| 4 | Пропускная способность газопровода | Миллион кубометров в день | 70...95 |

Результаты оценки целесообразности реконструкции ГТС.

Для комплексной оценки целесообразности использования композитных трубопроводов для системы газопроводов определяется еще одна составляющая эффективности предлагаемого решения - эксплуатационные расходы на систему ЕСП магистральных газопроводов. При рассмотрении учитываются блоки катодной защиты Minerva-3000, разработанные в

соответствии с заданием и техническим заданием ПАО «Газпром». Номинальная мощность агрегата составляет 3 кВт. Протяженность зоны покрытия газопровода составляет 10 ... 30 км, в зависимости от состояния изоляции газопровода и свойств грунта. Нормативные требования к мощности для станций ESP газопроводов DN1400 были оценены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка экономической целесообразности использования газопроводов из композитных и альтернативных материалов

| № | Параметр | Единица измерения | Параметры в А1 | Параметры в А2 | Параметры в А3 |
|---|--|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | Экономия топливного газа | млн. кубометров в год | 0,9-7,5 | 1,2-10,8 | 1,1-9,4 |
| 2 | Снижение стоимости топливного газа | млн. рублей в год | 3,4-29,9 | 4,9-43,0 | 4,3-37,6 |
| 3 | Экономия электроэнергии при ЕСП | млн. кВт в год | - | 0,295 | - |
| 4 | Снижение затрат на электроэнергию ЕСП | млн. рублей в год | - | 1,329 | - |
| 5 | Затраты на поддержание газопроводов в рабочем состоянии | млн. рублей в год | 14,42 | 5,87 | 14,42 |
| 6 | Общий экономический эффект | млн. рублей в год | 2,7-29,2 | 6,2-44,3 | 3,6-36,9 |
| 7 | Дополнительные затраты на газопроводы, нормированные до максимального срока службы | млн. рублей | 40+ | 8 | 25+ |
| 8 | Срок окупаемости | год | | | |

Заключение

Экономия топливного газа при использовании композитных газопроводов, в зависимости от нагрузки, достигает почти 450 тысяч рублей на один километр однострубногo газопровода DN1400 в год.

Итоговые годовые капитальные затраты на строительство композитного магистрального газопровода DN1400 более чем в 4,5 раза ниже аналогичного показателя стальных газопроводов с гладким эмалевым покрытием.

Учет ежегодных общих затрат на эксплуатацию систем магистральных газопроводов обеспечивает почти 7-кратное экономическое преимущество нанокompозитных трубопроводов по сравнению со стальными аналогами.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Приложение к общественному и деловому журналу «Энергетическая политика». М.: Институт энергетической стратегии, 2010. – 172 с.
2. Филатов, А.А. Газовая промышленность / А.А. Филатов [и др.] // Камелот пabлишинг. – 2018. – №7. – С. 34–37.

УДК 621.647.3

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ CORROSION AND PROTECTION OF METALS

М.Д. Юрченко

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Республика Беларусь
pronkevichAV@mail.ru

M. Yurchenko

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

Аннотация: рассматривается значимость и положительный эффект применения антикоррозионного покрытия. Как следствие, повышение долговечности вспомогательного оборудования и уменьшения затрат на его обслуживание. Предлагаются такие мероприятия как: пассивация, легирование, ингибирование, цинкование, гальванические и другие виды покрытий.

Annotation: the significance and positive effect of the use of an anti-corrosion coating is considered. As a result, increasing the durability of auxiliary equipment and reducing the cost of its maintenance. Such measures are offered as: passivation, alloying, inhibition, galvanizing, electroplating and other types of coatings.

Ключевые слова: коррозия, строение, покрытие, защита, факторы.

Key words: corrosion, structure, coating, protection, factors.

Введение

С тех пор как человек научился выплавлять металл, природа упорно стремится разрушить всё, что создано из металла. И хотя в обычных условиях, в которых чаще всего находится металл, это разрушение не так стремительно, тем не менее коррозия преследует металл на всех этапах служению человеку.

Коррозия – это изнашивание металла вследствие взаимодействия с окружающей средой. Это происходит всякий раз, когда газ или жидкость химически воздействуют на открытую поверхность металла и ускоряются под воздействием высоких температур, кислот и солей. Обычно продукты коррозии, например, ржавчина, остаются на поверхности и защищают ее. Удаление этих отложений вновь обнажает поверхность, и коррозия продолжается.

Поверхность корродирующего металла упрощённо можно рассмотреть, как двухэлектродную систему, состоящую из участков двух видов: анодных и катодных, находящихся в одной и том же электролите. За счёт разности потенциалов катода и анода, работа коррозионного элемента напоминает работу гальванического элемента и сопровождается перемещением электронов в металле и ионов в электролите. В нержавеющих металлах не происходит коррозия, потому что формируется плотная оксидная плёнка.

Основная часть

Существуют металлические и неметаллические покрытия, которые являются изолятором между металлом и внешней средой.

По механизму протекания различают два типа коррозии: химическую (встречает металл прямо при его появлении на свет, окалина её продукт); электрохимическую (возникает электрический ток).

По характеру агрессивной среды различают: атмосферную; подземную; подводную.

Коррозию обычно определяют, как разрушение металлов в результате электрохимического процесса. Образование ржавчины на железе, потускнение серебра и сине-зеленая патина на меди – все это примеры коррозии.

Ежегодно тратятся большие суммы денег на устранение последствий коррозии или ее предотвращение. Некоторые металлы, такие как алюминий и медь, образуют защитный слой при коррозии на воздухе. Тонкий слой, образующийся на поверхности металла, предотвращает контакт кислорода с большим количеством атомов металла и таким образом «защищает» оставшийся металл от дальнейшей коррозии. Железо корродирует при воздействии воды и кислорода. Ржавчина, образующаяся на железном металле, отслаивается, обнажая свежий металл, который также подвергается коррозии. Одним из способов предотвращения или замедления коррозии является нанесение покрытия на металл. Покрытие предотвращает контакт воды и кислорода с металлом.

По характеру строения коррозия бывает:

- равномерная;
- неравномерная;
- избирательная;
- пятнами;
- язвенная;
- точечная;
- межкристаллитная (преимущественно распространяется по границам зёрен самый опасный вид коррозии);
- подповерхностная;
- структурно-избирательная (отчётливо видна на микрошлифе)

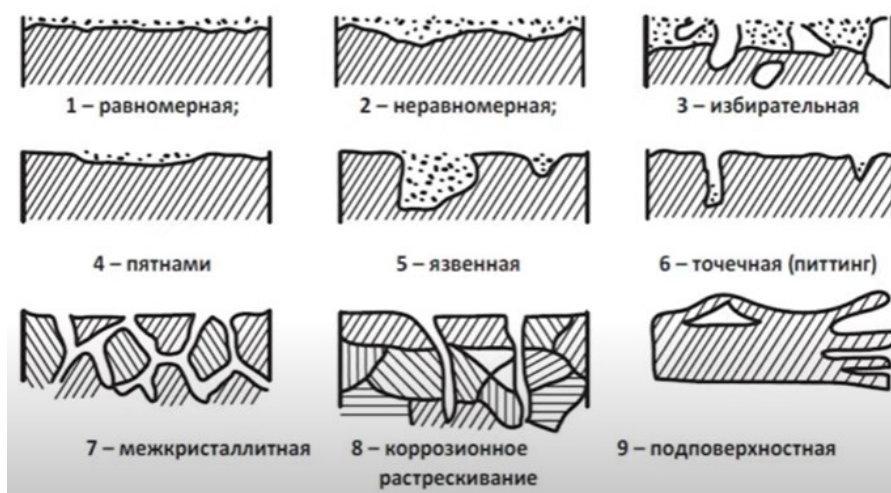


Рисунок 1 – Строения коррозии

Самый опасный вид коррозии – это межкристаллитная, её можно увидеть только под микроскопом.

Один из способов защиты металл сам подсказал человеку – это пассивация, но необходим прочный химический щит, который предохранял бы металл от агрессивного воздействия. В лабораторных условиях, с помощью потенциостата можно наблюдать процесс пассивации. Пассивация – это процесс, направленный на появление на поверхности металлического изделия оксидной плёнки. Это явление широко используется в современной технике. Так, например, при воронение оксидные плёнки получают в расплаве едкого натра и нитрита натрия.

Существует достаточное количество способов защиты от коррозии. Оптимальным вариантом является создание металла, который не подвергается окислительным процессам, но, к сожалению, про такой сплав общественность пока не слышала. В настоящее время проблему коррозии изучают в научных лабораториях по всему миру в разных климатических условиях. Изменение окружающей среды – одно из возможных условий уменьшения коррозии.

Легирование – эффективный способ создания коррозионностойкого металла. Процесс легирования тонких пленок включает использование коротких импульсов энергии. Типичная толщина сплава составляет несколько микрометров. Процесс смешения основан на диффузионном механизме массопереноса на высоких скоростях охлаждения, что приводит к сильному снижению концентрации легирующих элементов.

Хромирование – это квалифицированная практика гальванопокрытия тонкого слоя хрома на металлическом или пластиковом объекте. Голый металл полируется с помощью шлифовальных лент, чтобы удалить любые царапины и загрязнения для получения гладкой поверхности. Затем применяется процесс очистки с использованием мыльных, кислотных и водных растворов, что необходимо перед нанесением покрытия, поскольку любое постороннее вещество может привести к отторжению покрытия. Затем изделие помещается в чан хромирования, где нагревается до температуры раствора и происходит процесс гальванопокрытия. Время нахождения в растворе соответствует желаемой толщине покрытия. Так, например, в пищевой промышленности широко используются покрытия оловом, лужение.

Крупногабаритные детали погружают в расплав для горячего цинкования, при этом покрытия не имеют декоративного вида, но надёжно защищают изделие в производственных условиях.

Большие детали или трубы защищают методом металлизации. Металл распыляется в электрической дуге, и сжатым воздухом или инертным газом наносится на поверхность изделия.

Морские нефтьвышки, подводные сооружения, гребные винты судов могут быть защищены методом протекторной защиты. В этом случае протектором будет активный металл с более отрицательным потенциалом, например, цинк, который, разрушаясь сам, защищает объект.

Неметаллические покрытия – это покрытия красками, лаками, различными эмалями и полимерными материалами. Органические покрытия,

используемые для защиты металла, сами в конечном итоге разрушаются солнечным светом, который является самым серьезным фактором разрушения покрытий, находящихся на открытом воздухе. Поскольку все типы органических покрытий не обладают одинаковым типом и степенью устойчивости к деградации, определенный тип покрытия должен использоваться для определенных условий, чтобы получить максимальную выгоду.

Фторопласт применяется при защите изделий, работающих в наиболее жестких условиях. Нанести фторопласт на изделие довольно сложно, он практически не имеет растворителя.

Методом диффузионной металлизации стального проката в вакууме обрабатываются, например, стальные ленты. Разогревается феррохром, чем выше его температура и глубже вакуум, тем активнее ионы атома хрома оторвутся от его поверхности и станут глубже проникать в стальную ленту. Вверху лента внизу феррохром, они не должны соприкасаться. Поверхность ленты подвергается бомбардировке. Атомы хрома проникают в поверхностный слой стали всё глубже и глубже и образуют прочный защитный слой.

Факторы, которые ускоряют коррозию:

- высокая температура (вследствие чего быстрее протекают химические реакции);
- условия окружающей среды (влажность, наличие электролитов и элементов, которые увеличивают химическую активность);
- способ эксплуатации;
- различные виды обработки;
- электропроводимость, блуждающие токи.

Заключение

Развитие народного хозяйства в значительной степени определяется производством металлов и сплавов. Успешное решение вопросов борьбы с коррозией, общегосударственные задачи. Порой достаточно установить на производстве качественную систему вентиляции для удаления избытка водяных паров, конденсата, который разрушает поверхность трубопровода. Для этого в магистралях применяют такие устройства как адсорбенты, змеевики, маслоотделители, пылесловки, фильтры и т.д. Как следствие, протекающие коррозионные процессы могут частично или безвозвратно повреждать металлические конструкции, станки, оборудования, механизмы машин, приводя к их преждевременной замене и к увеличению затрат на обслуживание.

Литература

1. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник / А.А. Герасименко [и др.]; под общ. ред. А.А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с.
2. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2002. – 336 с.

УДК: 621.438 + 621.311

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК
METHOD FOR EVALUATION OF INDICATORS OF FUEL
CONSUMPTION OF COMBINED UNITS**

А.А. Стрежик

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

kachan@bntu.by

A. Strezhik

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** приведены основные положения методики расчета показателей топливоиспользования парогазовых установок на примере ПГУ-427 МВт Лукомльской ГРЭС. Рассматривается понятие «условного» котла. Показан алгоритм расчета удельных расходов топлива ПГУ-427 МВт, и приведены их графические зависимости.*

***Abstract:** the main provisions of the methodology for calculating the indicators of fuel consumption of combined-cycle units are given on the example of CCGT-427 MW of Lukomlskaya GRES. The concept of a «conditional» boiler is considered. An algorithm for calculating the specific fuel consumption of CCGT-427 MW is shown and their graphical dependences are given.*

***Ключевые слова:** парогазовая установка, газотурбинная установка, «условный» котел, алгоритм, удельные расходы топлива.*

***Keywords:** combined cycle unit, gas turbine unit, «conditional» boiler, algorithm, specific fuel consumption.*

Введение

В связи с широким внедрением парогазовых технологий в энергетике Беларуси разработаны и внедрены методические основы расчета показателей топливоиспользования комбинированных парогазовых установок (ПГУ). Рассмотрим основные их положения применительно к ПГУ-427 Лукомльской ГРЭС.

Основная часть

Ключевым положением разработанной ОАО «Белэнергоремналадка» методики расчета показателей топливоиспользования комбинированных установок является применение понятия «условный» котел [1].

Этот «условный» котел включает высокотемпературную газотурбинную установку (ГТУ) и паровой котел (ПК) или котел-утилизатор (КУ), в которых используется теплота отработавших в ГТУ газов.

К расходу топлива на «условный» котел относится топливо, сжигаемое в камере сгорания ГТУ $V_{ГТУ}$ (или камерах сгорания, если в ГТУ применяется ступенчатый подвод теплоты), а также в паровом котле $V_{ПК}$ – при использовании схемы полного дожигания («сбросной» схемы) или в котле-

утилизаторе $B_{КУ}$ – при применении дожигания топлива в нем. При этом в «условном» котле производится не только пар для паровой турбины ПГУ, но и теплота, отпускаемая, например, с сетевой водой из сетевого пучка котла-утилизатора или за счет охлаждения воздуха между ступенями воздушного компрессора ГТУ.

При определении КПД брутто «условного» котла величина потерь теплоты с уходящими газами q_2 рассчитывается по формуле:

$$q_2 \approx \frac{Q_{ух}}{Q_{н,у}^p (B_{ГТУ} + B_{ПК} + B_{КУ})},$$

где $Q_{ух}$ – абсолютная величина потерь теплоты с уходящими газами «условного» котла.

При таком способе определения потерь q_2 эта величина оказывается примерно равной потере q_2 традиционного топливоиспользующего котла паротурбинной тепловой электростанции (ТЭС).

Соответственно, удельный расход условного топлива на отпуск теплоты от ПГУ $b_{тэ}^{ПГУ}$ примерно равен уровню удельных расходов топлива на отпуск теплоты для паротурбинных ТЭС $b_{тэ}^{ПГУ} \approx 41$ кг у.т./ГДж. Отметим, что если рассчитывать $b_{тэ}^{ПГУ}$, используя КПД котла-утилизатора $\eta_{КУ}$, то эта величина оказывается существенно выше, чем $b_{тэ}^{ПГУ}$. Это объясняется тем, что $\eta_{КУ} \approx 0,75 \dots 0,85$ значительно ниже, чем КПД традиционного топливоиспользующего котла брутто $\eta_{ПК} \approx 0,91 \dots 0,94$. Также величина $\eta_{КУ}$ в большей степени зависит от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, чем $\eta_{ПК}$.

Для наглядности на рисунке 1 приведена зависимость КПД «условного» котла брутто и нетто для ПГУ-427 Лукомльской ГРЭС.

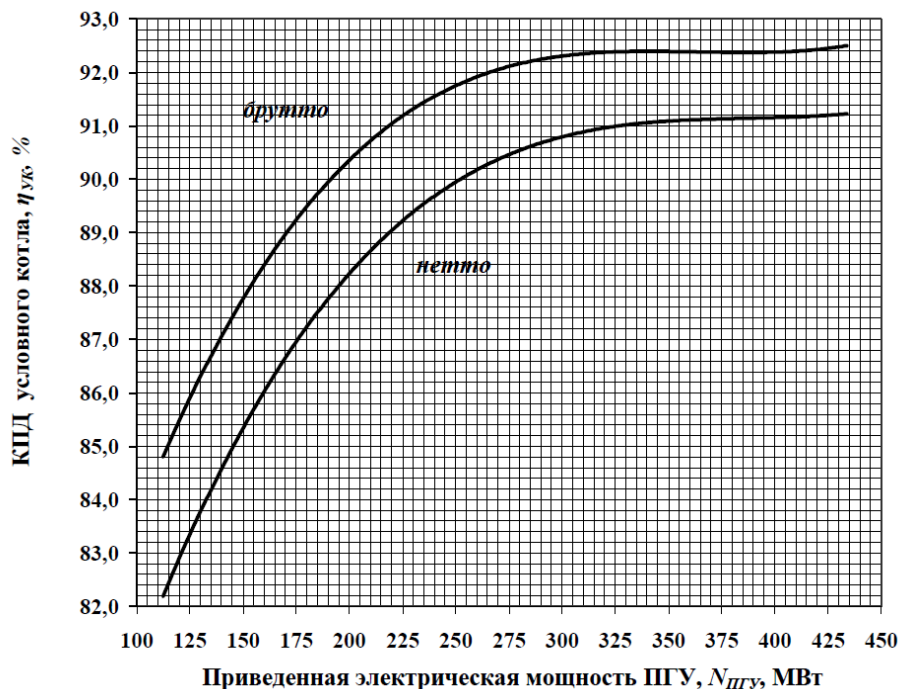


Рисунок 1 – Зависимость КПД «условного» котла ПГУ-427 Лукомльской ГРЭС

В состав этой ПГУ входит следующее основное оборудование:

- энергетическая ГТУ типа SGT5-PAC 4000F номинальной мощностью 285,87 МВт с генератором SGen-5-1000A (производства «Siemens» Германия / Shanghai Electric Group Co., Ltd);

- котел-утилизатор типа NG-54000F-R (производства «Hangzhou Boiler Group Co., Ltd»);

- паровая конденсационная турбина типа N141-563/551 номинальной мощностью 141,13 МВт с генератором с системой возбуждения QF-141-2 (производства «Shanghai Electric Group Co.Ltd»).

В соответствии с алгоритмом расчет номинальных и нормативных технико-экономических показателей ПГУ-427 должен производиться в следующем порядке:

- подготовка исходных данных;

- вычисление приведенной (с поправкой на внешние условия) мощности ПГУ;

- расчет номинальной мощности ГТУ;

- расчет номинальной мощности паротурбинной установки (ПТУ);

- расчет номинального значения удельного расхода тепла на выработку электроэнергии ГТУ брутто;

- расчет номинального значения удельного расхода тепла на выработку электроэнергии ПТУ брутто;

- расчет номинальных мощностей механизмов собственных нужд, относимых на ГТУ;

- расчет номинальных мощностей механизмов собственных нужд, относимых на ПТУ;

- расчет номинальных мощностей механизмов собственных нужд, относимых на котел-утилизатор;

- расчет номинальных расходов тепла на собственные нужды ГТУ;

- расчет номинальных расходов тепла на собственные нужды ПТУ;

- расчет номинальных расходов тепла на собственные нужды котла-утилизатора;

- расчет номинального значения удельного расхода тепла на отпуск электроэнергии от ПТУ нетто;

- расчет номинального значения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ГТУ;

- расчет номинального значения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ПТУ;

- расчет нормативного значения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ГТУ;

- расчет нормативного значения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ПТУ;

- расчет нормативного значения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ПГУ.

На рисунке 2 приведены итоговые зависимости для определения удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от ПГУ-427 Лукомльской ГРЭС.

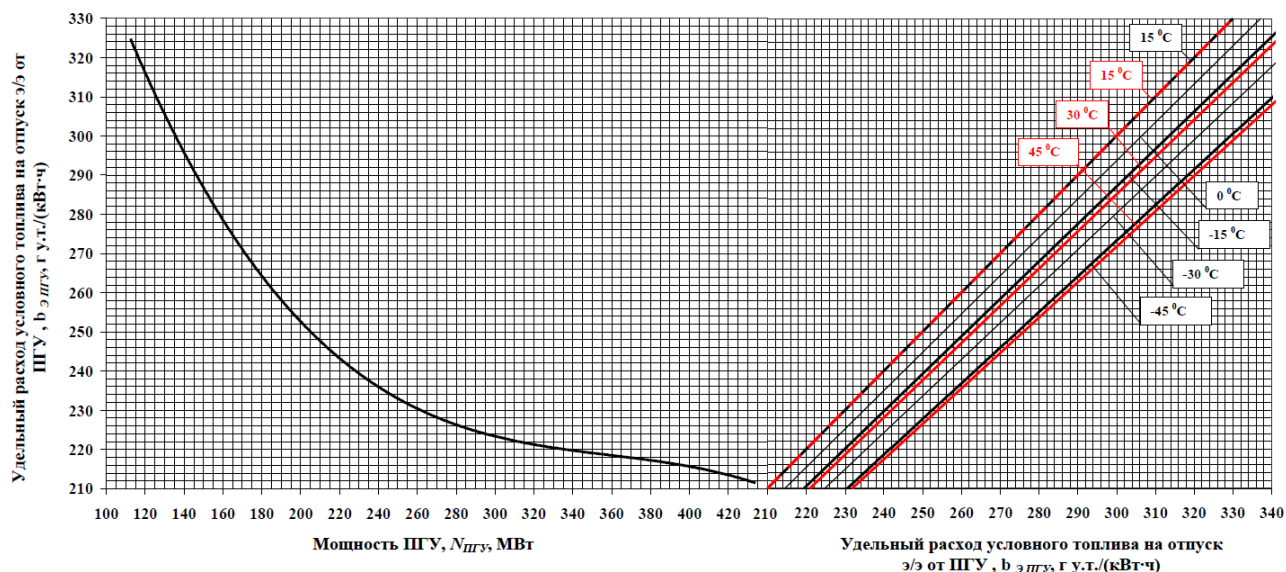


Рисунок 2 – Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от ПГУ

Заключение

Рассмотренная методика расчета удельных расходов топлива основывается на положениях, действующих в энергетике Беларуси алгоритмов определения показателей топливоиспользования [2]. При этом учитываются особенности бинарного парогазового цикла, объединяющего высокотемпературный газовый и низкотемпературный паровой циклы.

Литература

1. Качан, С.А. К вопросу определения показателей топливоиспользования парогазовых установок / С.А. Качан, В.И. Филазафович. – Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2010. – № 1. – С. 88–92.
2. Качан, А.Д. Анализ эффективности топливоиспользования на ТЭС: [учебное пособие для специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции»] / А.Д. Качан и С.А. Качан; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, кафедра «Тепловые электрические станции». – Минск: БНТУ, 2005. – 156 с. <http://rep.bntu.by/handle/data/22447>.

УДК 681.51

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР МОЩНОСТИ ТУРБИНЫ ПРИВОДА
ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА
MODERNIZATION OF THE ASR POWER OF THE TURBINE
DRIVE OF THE FEED PUMP**

И.С. Евсиевич

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
rakevich95@tut.by

I. Evsiesich

Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** модернизация существующей системы автоматизации мощности турбины привода питательного насоса.*

***Annotation:** modernization of the existing automation system of the turbine power of the feed pump drive.*

***Ключевые слова:** модернизация, турбина, привод, питательный насос.*

***Keywords:** modernization, turbine, drive, feed pump.*

Введение

Работа всей котельной напрямую зависит от качества работы АСР питательного турбонасоса. Чем эффективнее и надежнее система работы турбины привода питательного насоса, тем успешнее эксплуатация станции в целом.

Модернизация АСР мощности турбины привода питательного насоса приведет к значительному улучшению качества регулирования, не менее чем в 2 раза, что в свою очередь позволит уменьшить затраты электроэнергии на собственные нужды.

Основная часть

Модернизированная АСР строится на базе уже существующей системы, а именно типовой каскадной АСР.

Инерционный участок объекта регулирования представляет собой инерционное звено второго порядка, $T_{ин} \neq \sigma_{ин}$ с запаздыванием τ_y :

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин} p + 1)(\sigma_{ин} p + 1)},$$

где $K_{ин}$ – коэффициент передачи, $T_{ин}/\sigma_{ин}$ – различные постоянные времени.

Корректирующий регулятор настраиваем по формуле оптимального ПИД регулятора по методу полной компенсации в частном виде:

$$W_{p2}^{opt} = \frac{K_{p2}(T_{ин} p + 1)(\sigma_{ин} p + 1)}{T_{ин} p \left(\frac{\sigma_{ин}}{10} p + 1 \right)},$$

$$k_{p2} = \frac{T_{ин}}{2K_{ин}\tau_y}$$

Стабилизирующий регулятор настраиваем по методу частичной компенсации с коэффициентами A_1 и A_2 , выбранными по методу «Правила Золотого Сечения»:

Относительное значение коэффициента передачи K :

$$K = (k_p \cdot k_{оп}) = 1,382 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1.$$

Относительная постоянная времени равна:

$$T = \frac{T_{оп}}{\sigma_{оп}}$$

Относительное значение времени интегрирования равно:

$$I = \left(\frac{T_{и}}{\sigma_{оп}}\right) = \frac{2,618 \cdot K}{T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^3}$$

Коэффициент передачи регулятора равен:

$$k_{p1} = \frac{K}{k_{оп}}$$

Время интегрирования равно:

$$T_{и1} = I \cdot \sigma_{оп}$$

Наиболее опасным является внешнее возмущение, так как оно сразу проходит на выход системы и может привести к появлению статической ошибки регулирования.

Для получения наилучшей отработки f_2 настроим передаточную функцию устройства компенсации инвариантной каскадной АСР при плановом изменении нагрузки:

$$\begin{aligned} W_{ук}^{f_2^0}(p) &= W_{зд1}(p) \cdot W_{ин}^0(p) \cdot e^{-\tau_y p} = W_B(p) \cdot e^{-\tau_y p} \\ &= \frac{K_B(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)}{K_{ин}(T_Bp + 1)(T_{зд2}p + 1)^2} = \frac{K_B(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)}{K_{ин}(T_Bp + 1)(T_{зд2}p + 1)^2}, \end{aligned}$$

где $T_{зд2} = \gamma$,

где $\gamma_1 = 0,618$, $\gamma_2 = 0,382$, $\gamma_3 = 0,09$.

При моделировании исходная система – ТКСАР, модернизированные – МТКСАР при различных коэффициентах.

Схема моделирования:

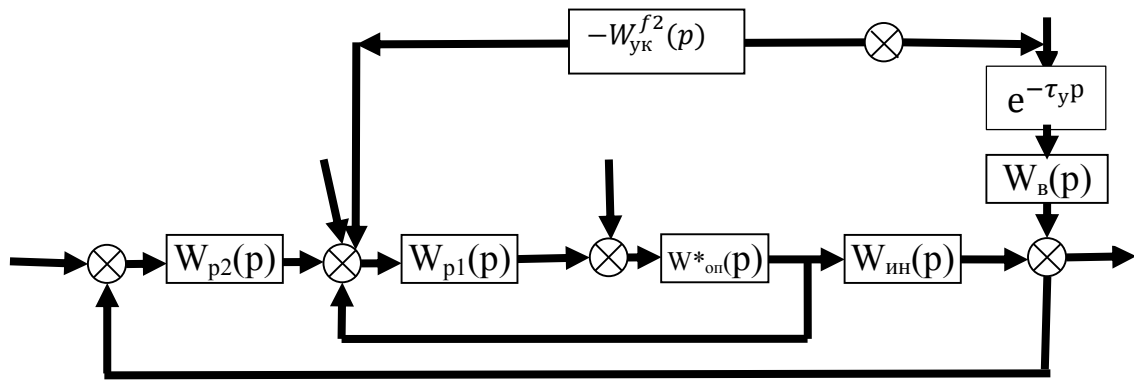


Рисунок 1 – Структурная схема инвариантной КСАР при плановом изменении нагрузки

Графики переходных процессов:

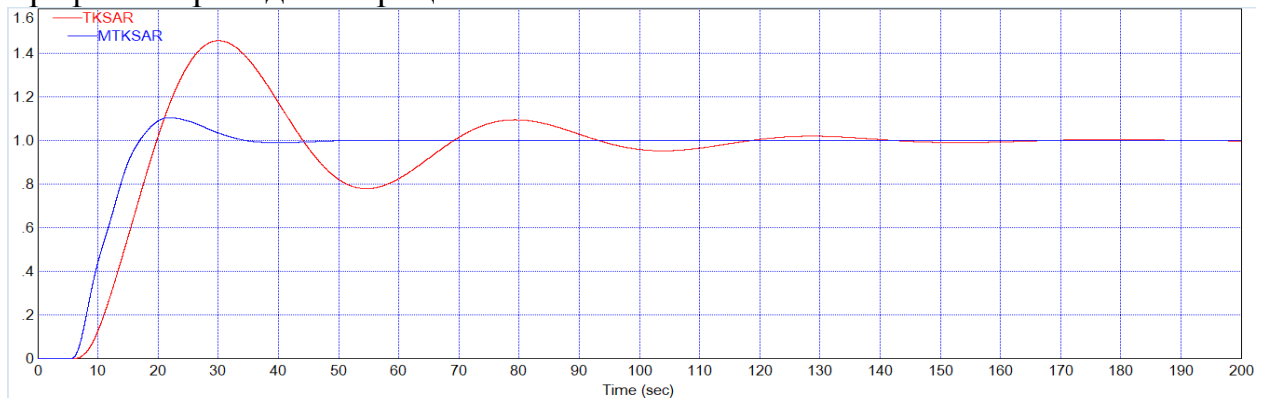


Рисунок 2 – Отработка скачка задания $x_{зд}$

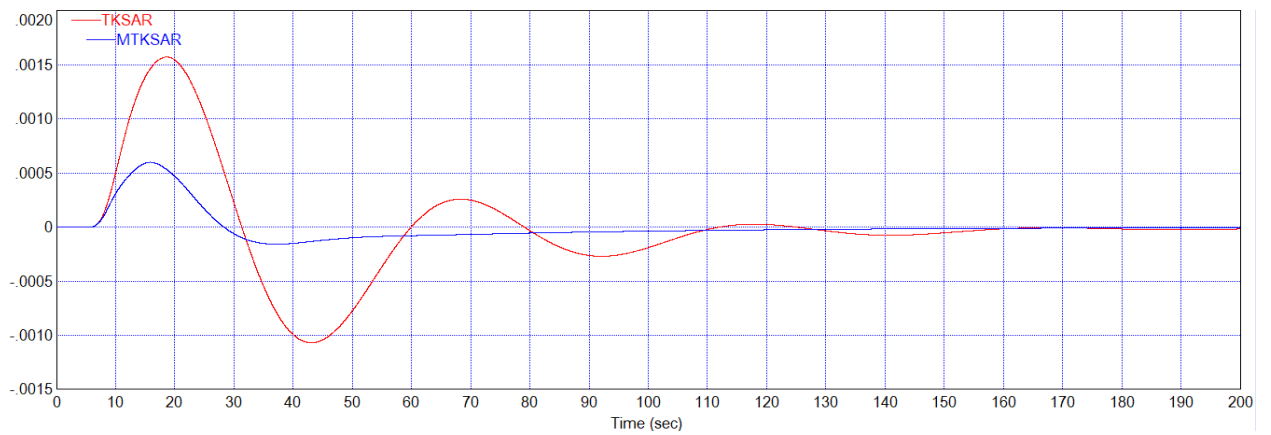


Рисунок 3 – Отработка внутреннего возмущения f_1

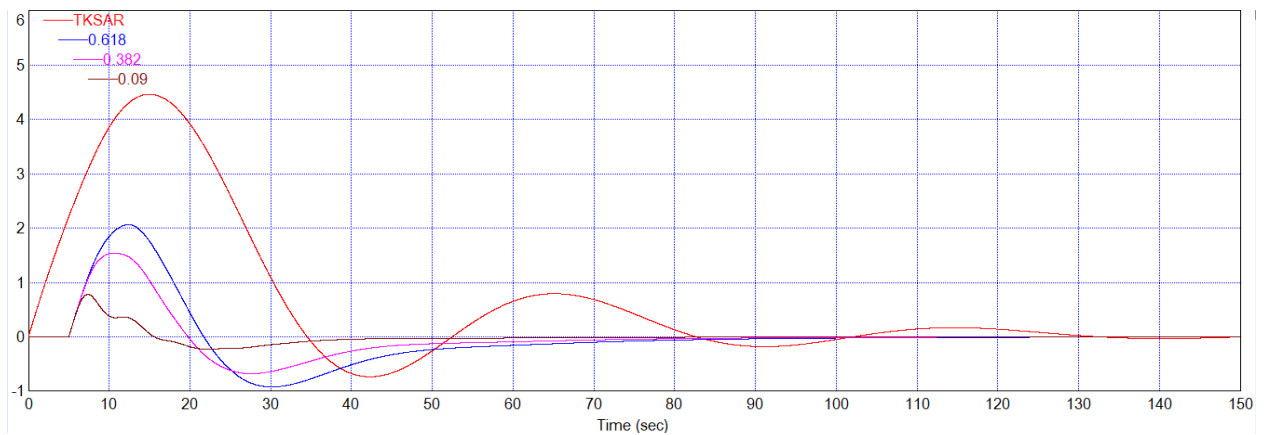


Рисунок 4 – Отработка внешнего возмущения f_2

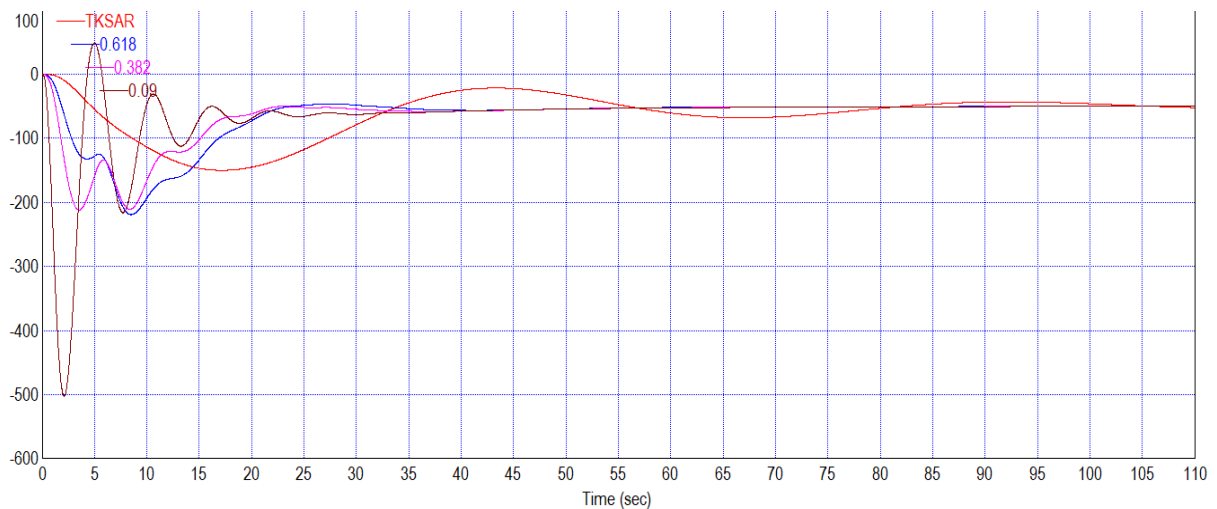


Рисунок 5 – Регулирующее воздействие x_p при отработке крайнего внешнего возмущения f_2

Заключение

Из графиков следует, что регулирующее воздействие x_p наименьшее при МТКСАР $\gamma_3 = 0,09$, но, так как статическая ошибка регулирования при коэффициенте $\gamma_3 = 0,09$ выходит за пределы допустимых отклонений, за оптимальную следует принять МТКСАР при $\gamma_2 = 0,382$.

При отработке скачка задания МТКСАР лучше типовой в 3,11 раза.

При отработке внутреннего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования A_1^+ при настройке МТКСАР лучше типовой в 3 раза, время регулирования лучше в 1,5 раза.

При отработке внешнего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования A_1^+ при настройке МТКСАР лучше типовой в 3 раза, время регулирования лучше в 2 раза.

Из всего вышеприведенного следует, что при модернизации АСР мощности турбины привода питательного насоса мы добились улучшения качества регулирования всех воздействий не менее, чем в 2 раза.

Литература

1. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 82 с.
2. Теория автоматического управления: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 296 с.

УДК 625.313

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО
КОТЛОАГРЕГАТА
MODERNIZATION OF THE AUTOMATIC POWER CONTROL
SYSTEM OF A DRUM BOILER UNIT**

А.А. Шкурко, Д.В. Пляхина
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
rakevich95@tut.by
А. Shkurko, D. Pliakhina
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье произведен расчет типовой САР питания барабанного котлоагрегата с последующей модернизацией в виде превращения ТСАР в инвариантную каскадную САР при плановом изменении нагрузки. Модернизация производится путём добавления корректирующего регулятора и добавления устройства компенсации в канал обратной связи воздействия расхода пара на объект регулирования.*

***Abstract:** article shows the calculation of a typical ACS of power supply of a drum boiler unit with subsequent modernization in the form of transformation of the typical ACS into an invariant cascade system of automatic control with a planned change in load. The modernization is carried out by adding a corrective regulator and adding a compensation device in the feedback channel of the steam flow rate effect on the controlled object.*

***Ключевые слова:** АСР питания барабанного котлоагрегата, инвариантная КСАР при ПИИ, модернизация, структурная схема, графики переходных процессов.*

***Keywords:** ACS of drum boiler feed, invariant CACS for PLC, modernizations, organigram, transient charts.*

Введение

В настоящее время применяемые методы расчёта динамической настроек АСР питания барабанного котлоагрегата и схемы моделирования не позволяют достаточно хорошо обрабатывать основные возмущающие воздействия – задающее воздействие $x_{зд}$, внутренне возмущение f_1 и наиболее опасное крайнее внешнее возмущение f_2 . Производимая модернизация в виде превращения ТСАР в инвариантную каскадную САР при плановом изменении нагрузки производится путём добавления корректирующего регулятора и добавления устройства компенсации в канал обратной связи воздействия расхода пара на объект регулирования. Модернизация подразумевает значительное улучшение всех прямых показателей качества автоматической системы регулирования.

Проведенные в работе исследования позволяют подобрать оптимальные настройки для регуляторов данной системы автоматического регулирования с

использованием в расчётах правила золотого сечения, что увеличивает вариативность данного метода настройки.

Основная часть

Структурная схема типовой САР представлена на рисунке 1.

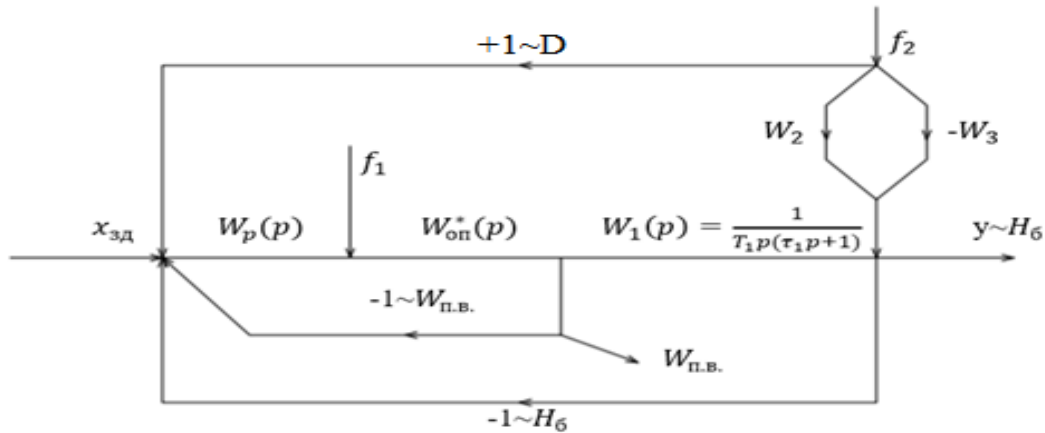


Рисунок 1 – Структурная схема типовой САР

2. Опережающий участок объекта регулирования:

$$W_{оп}^*(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}^* p + 1} \frac{\tau / \text{ч}}{\% \text{ УП РПК}}$$

3. Инерционный участок объекта регулирования:

$$W_1(p) = \frac{1}{T_1 p (\tau_1 p + 1)}$$

4. Крайнее внешнее возмущение:

$$W_B(p) = W_2(p) - W_3(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1} - \frac{1}{T_3 p}$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3 p}$$

Регулятор типовой САР рассчитан по формулам оптимального регулятора:

$$T_{зд1} = \gamma \tau_1,$$

$$K_{p2} = \frac{T_{оп}^*}{K_{оп} T_{зд2}},$$

$$W_{p2}^{opt}(p) = \frac{K_p (T_i p + 1)}{T_i p}.$$

Для значительного улучшения прямых показателей качества отработки всех основных воздействий была проведена модернизация типовой КСАР путём добавления устройства компенсации в канал обратной связи крайнего

внешнего возмущения и добавления дополнительного регулятора. Таким образом ТСАР была преобразована в инвариантную КСАР при плановом изменении нагрузки (см. рисунок 1).

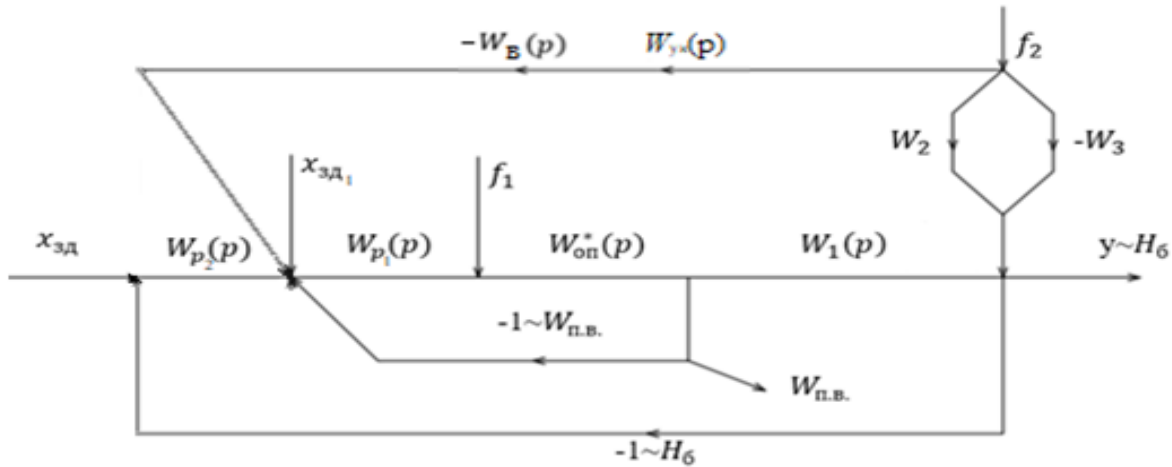


Рисунок 2 – Структурная схема инвариантной КСАР при ПИН

Стабилизирующий регулятор:

Стабилизирующий регулятор направлен на оптимальную обработку внутреннего возмущения f_1 , расчет выполняется по формулам настройки оптимального регулятора.

$$T_{зд1} = \frac{T_1^2}{27\tau_1},$$

$$W_{p1}(p) = \frac{T_{оп}^*p + 1}{K_{оп}T_{зд1}p}.$$

Корректирующий регулятор:

Корректирующий регулятор направлен на оптимальную обработку крайнего внешнего возмущения f_2 которое заменяем скачком задания $x_{зд2}$, расчет выполняется по формулам настройки оптимального регулятора.

$$W_{p2}^{opt}(p) = [W_{оп}^*]^{-1}W_{зд}^{pc(n=2)} = \frac{T_1p(\tau_1p + 1)}{2T_{зд2}p\left(\frac{T_{зд2}}{2}p + 1\right)},$$

$$T_{зд2} = \gamma\tau_1,$$

где τ_1 выбирается из чисел ряда ПЗС: 0,618; 0,382; ... 0,09.

Структура устройства компенсации найдена из условия инвариантности, и имеет следующий вид:

$$W_{ук}^{f_2}(p) = \frac{T_1p}{T_{зд2}p + 1} \cdot \frac{\tau_1p + 1}{T_{зд2}p + 1},$$

где $T_{зд2}$ принимается из расчёта оптимального корректирующего регулятора W_{p2}^{opt} .

Схемы моделирования:

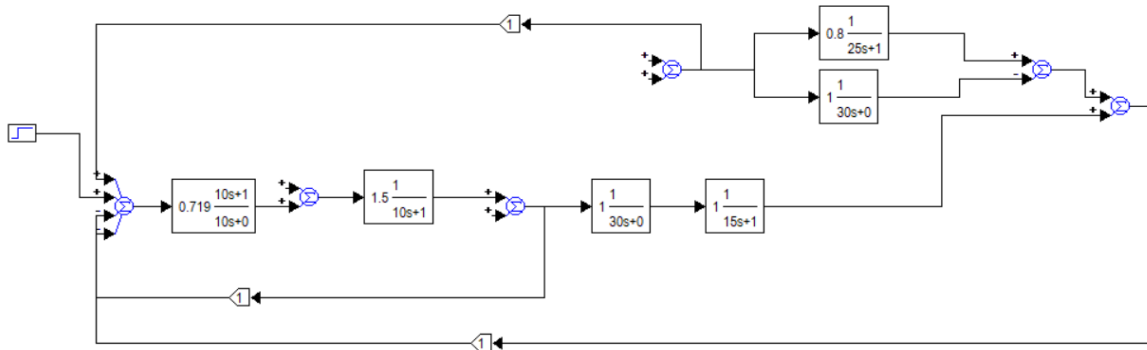


Рисунок 3 – Схема моделирования трёхимпульсной ТСАР

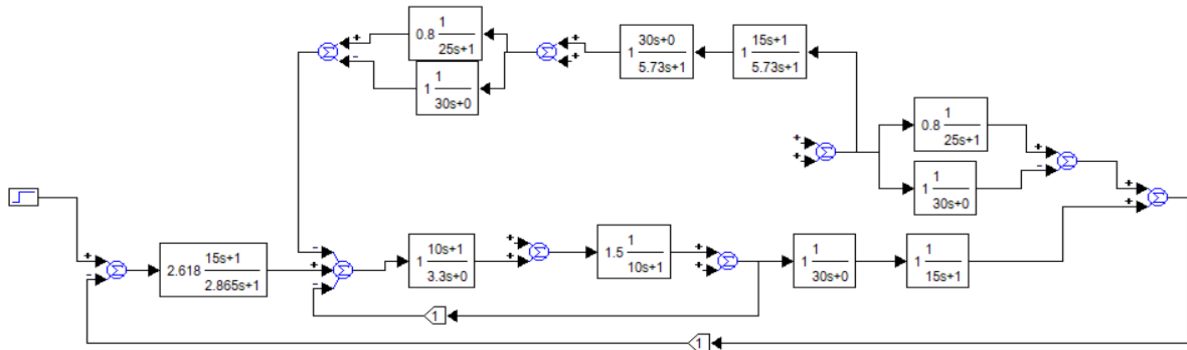


Рисунок 4 – Схема моделирования инвариантной КСАР при ПИН

Графики переходных характеристик:

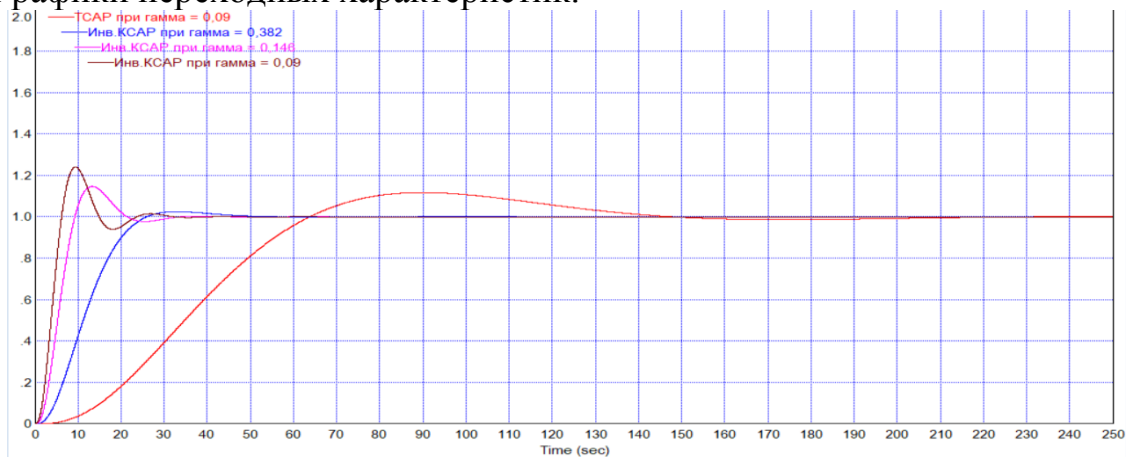


Рисунок 5 – Отработка скачка задания $x_{зд}$

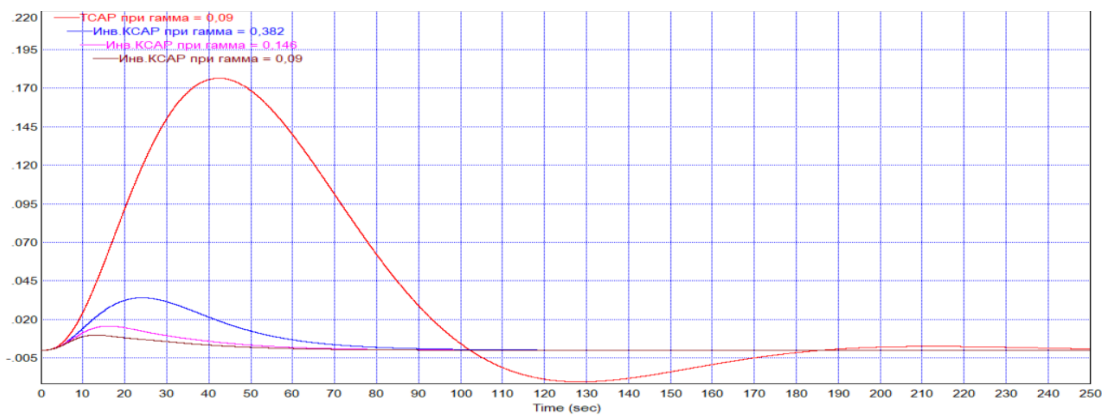
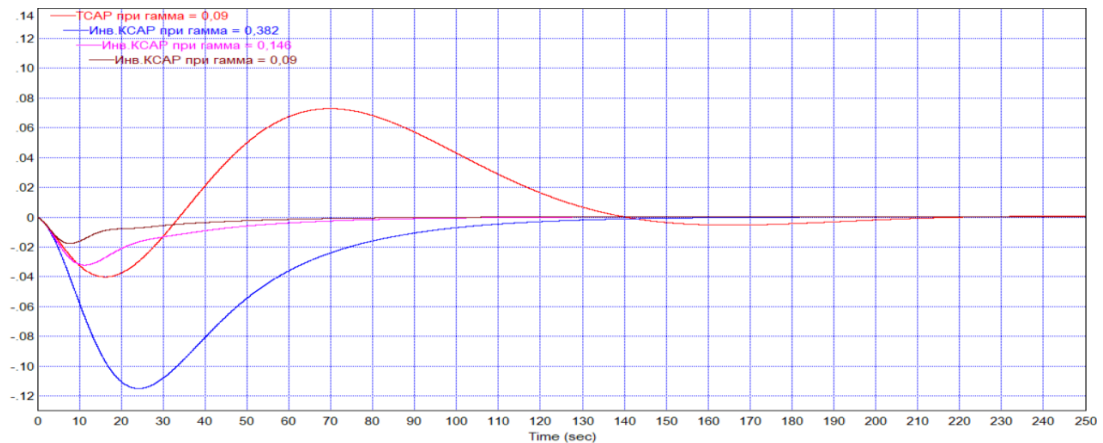
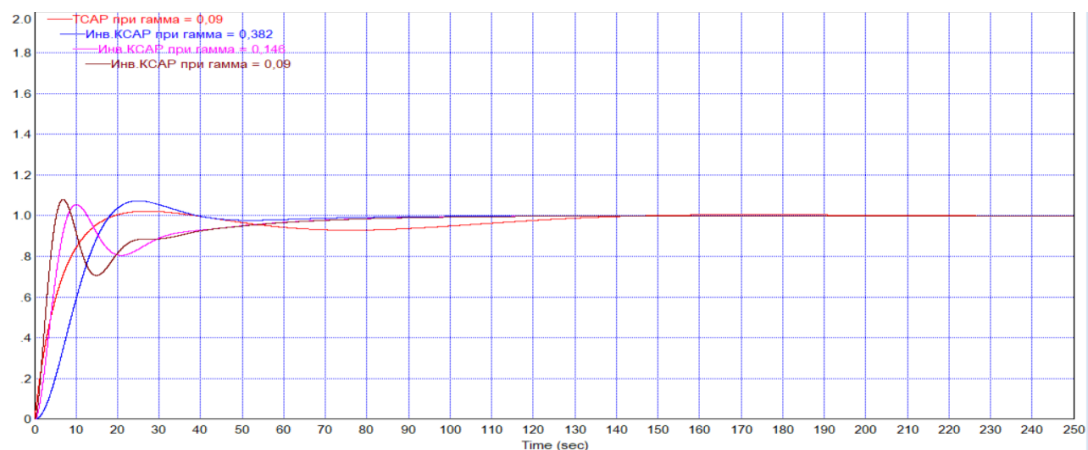


Рисунок 6 – Отработка внутреннего возмущения f_1

Рисунок 7 – Отработка внешнего возмущения f_2 Рисунок 8 – Возмущающее воздействие $W_{п.в.}$ при отработке крайнего внешнего возмущения f_2

Заключение

Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод, что по передовым методам БНТУ модернизированная КСАР, улучшает отработку всех воздействий не менее чем в 2,44 раза. При этом данная настройка позволяет не затрачивать средства на модернизацию технической базы, так как улучшение качества отработки достигается на уже имеющемся оборудовании.

Литература

1. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. / Г.Т. Кулаков. – М.: УП «Технопринт», 2003. – 134 с.
2. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 82 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 296 с.

УДК 625.313

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР РАСХОДА ОБЩЕГО ВОЗДУХА
ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТА С КОРРЕКЦИЕЙ ПО СО
MODERNIZATION OF THE ACS OF THE FLOW RATE
OF THE COMMON AIR OF THE DIRECT-FLOW BOILER UNIT
WITH CO CORRECTION**

А.А. Шкурко, Д.В.Пляхина

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

vladmir70@rambler.ru

A.Shkurko, D.Pliakhina

Supervisor – V.V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье произведен расчет типовой каскадной АСР с СО с последующей модернизацией: настройка корректирующего регулятора по РПИД по МПК в ЧВ, настройка стабилизирующего регулятора с учетом измененных коэффициентов правило золотого сечения, превращение ТКАСР в инвариантную КАСР при плановом изменении нагрузки с добавлением устройства компенсации.

Abstract: article shows calculation of a typical cascade ACS at SO with the following modernizations: adjustment of the correcting regulator in the form of a RPID by the MFC in a PF, adjustment of the stabilizing regulator taking into account the modified coefficients of the golden section rule, transformation of the TCACS into an invariant CACS with PLC.

Ключевые слова: АСР расхода общего воздуха, инвариантная КАСР при ПИН, модернизация, структурная схема, графики переходных процессов.

Keywords: ACS of general airflow, invariant CACS for PLC, modernizations, organigram, transient charts.

Введение

В настоящее время применяемые методы расчёта динамический настроек АСР общего воздуха прямооточного котлоагрегата с коррекцией по СО Модернизация методики расчёта параметров динамической настройки регуляторов двухконтурной каскадной АСР, а именно стабилизирующего регулятора (внутренний контур) и корректирующего регулятора (внешний контур). Под модернизацией понимаем улучшение качества регулирования переходных процессов при отработке различных задающих возмущений или скачка задания, посредством нахождения оптимальных параметров настройки регулятора.

В свою очередь каждый из двух ПИ-регуляторов каскадной системы рассчитывается одним из известных методов МЧК (по внутреннему контуру), МПК в ЧВ (для внешнего контура). Проведенные в работе исследования позволяют подобрать оптимальные настройки для регуляторов данной системы автоматического регулирования.

Основная часть

Структурная схема ТКСАР с СО изображена на рисунке 1.

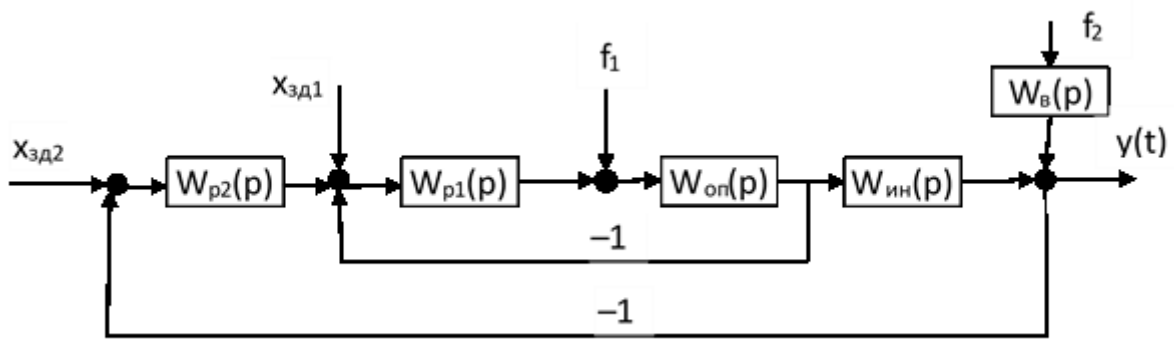


Рисунок 1 – Структурная схема ТКСАР с СО

1. Стабилизирующий регулятор:

$$W_{p1}(p) = \frac{K_{p1}(T_{u1}p + 1)}{T_{u1}p}.$$

2. Корректирующий регулятор:

$$W_{p2}(p) = \frac{K_{p2}(T_{u2}p + 1)}{T_{u2}p}.$$

3. опережающий участок объекта регулирования:

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\sigma_{оп}p + 1)}.$$

4. Инерционный участок объекта регулирования:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} \cdot e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)}.$$

5. Крайнее внешнее возмущение:

$$W_B(p) = \frac{K_B}{T_B p + 1}.$$

Модернизация ТКСАР для улучшения качества обработки основных воздействий.

Для улучшения качества регулирования вместо ПИ настраиваем корректирующий регулятор используем по РПИД по МПК в ЧВ.

Формула передаточной функции оптимального регулятора примет вид:

$$W_{p2}^{opt} = \frac{K_{p2}(T_{и2}p + 1)(T_{д2}p + 1)}{T_{и2}p(T_6p + 1)}.$$

Для получения наилучшей обработки f_2 настроим передаточную функцию устройства компенсации:

$$W_{ук}^{f_0}(p) = W_{зд1}(p) \cdot W_{ин}^0(p) \cdot e^{-\tau_y p} = W_B(p) \cdot e^{-\tau_y p} \\ = \frac{K_B(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)}{K_{ин}(T_Bp + 1)(T_{зд2}p + 1)^2}$$

Сравнение ТКСАР с СО и инвариантной КСАР при ПИН. Схема моделирование переходных процессов при основных воздействиях изображена на рисунке 2.

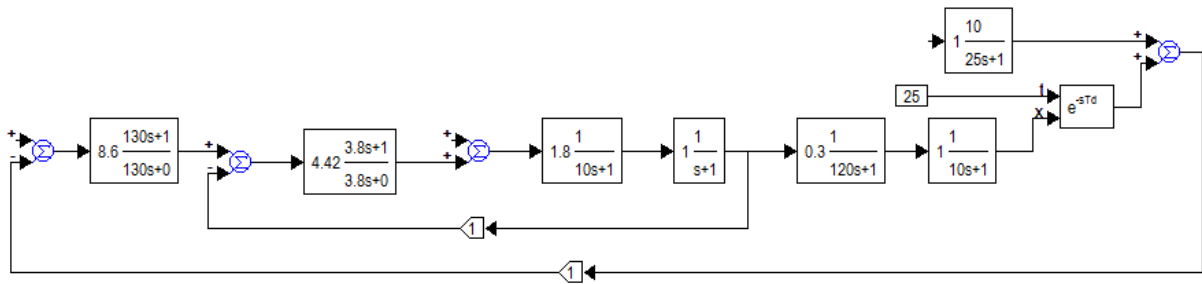


Рисунок 2 – Схема моделирования ТКСАР с СО

Схема моделирования инвариантной КСАР при ПИН изображена на рисунке 3.

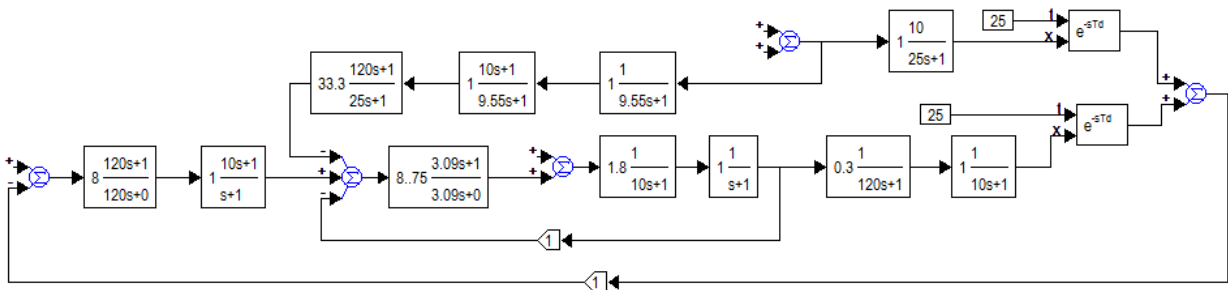


Рисунок 3 – Схема моделирования ИКСАР при ПИН

Графики переходных процессов:

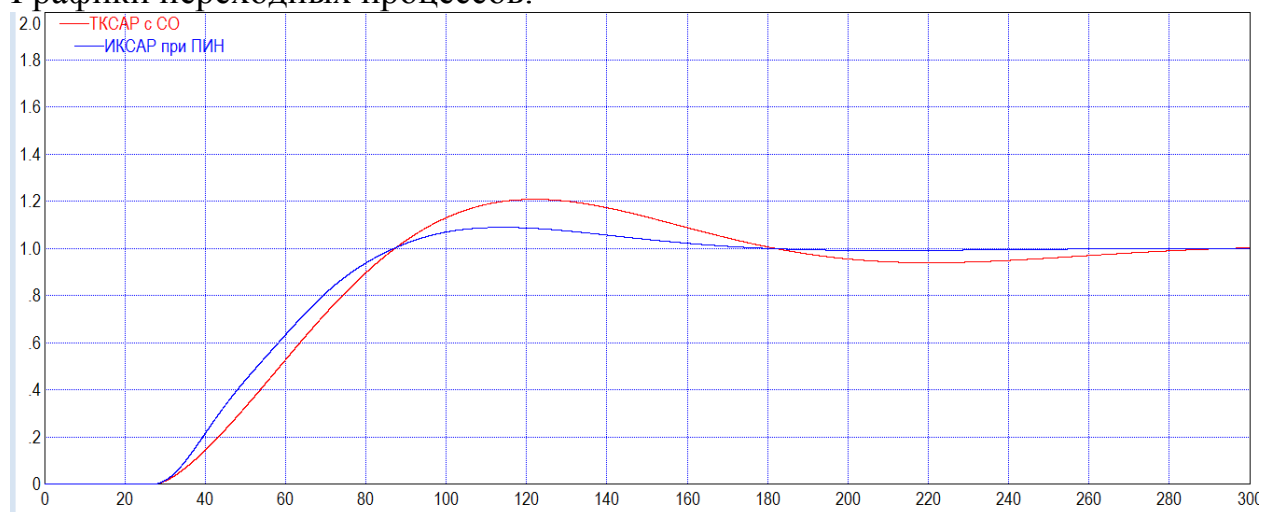


Рисунок 4 – Графики переходных процессов типовой КСАР с СО и ПИН при отработке скачка задания $X_{зд2}$

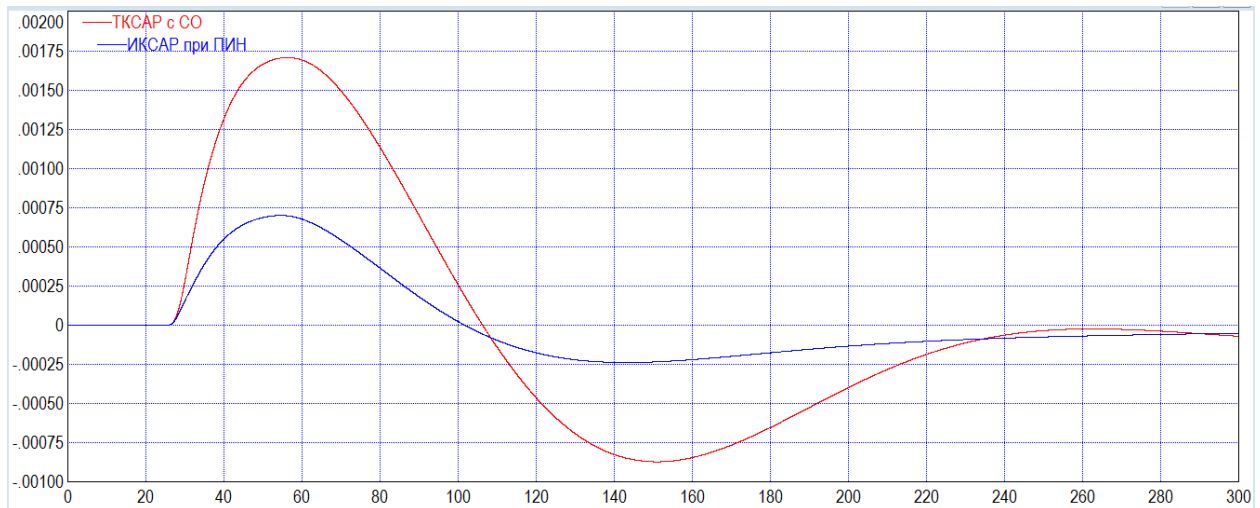


Рисунок 5 – Графики переходных процессов типовой КСАР с СО и ПИН при обработке скачка внутреннего возмущения f_1

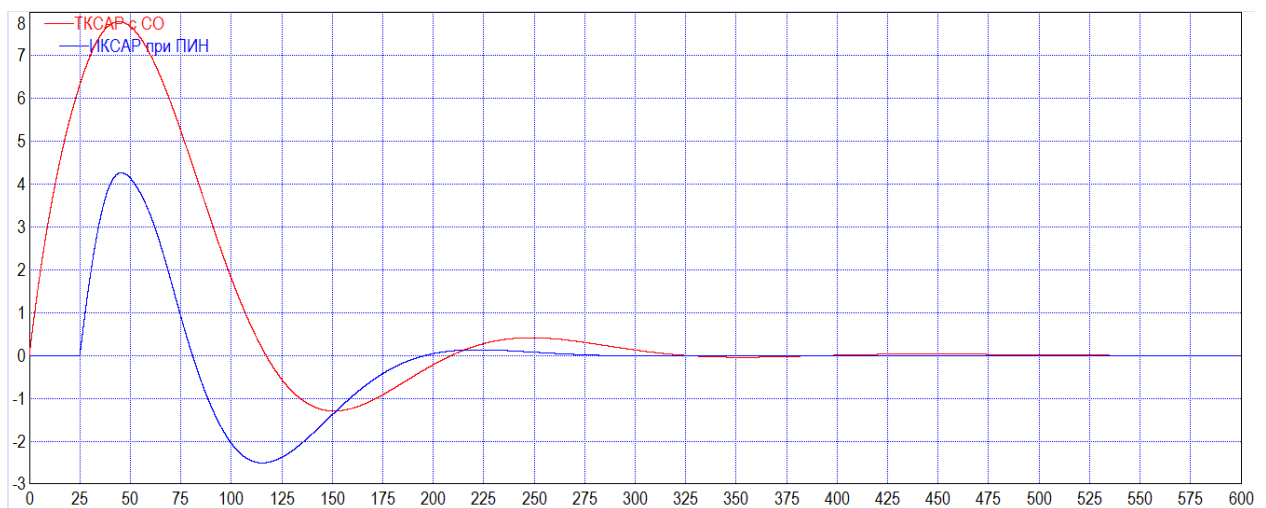


Рисунок 6 – Графики переходных процессов типовой КСАР с СО и ПИН при обработке скачка крайнего внешнего возмущения f_2

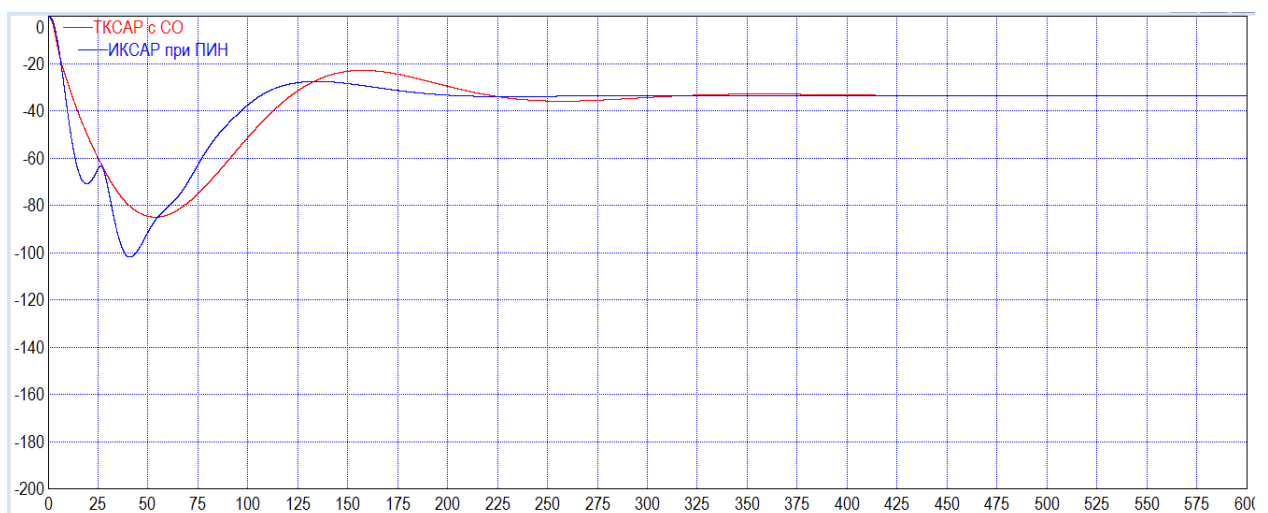


Рисунок 7 – Графики регулирующего воздействия x_p типовой КСАР с СО и ПИН при скачке крайнего внешнего возмущения

ППК приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица ППК

| Метод | $x_{зд}$ | | | f_1 | | | f_2 | | | x_p^m |
|------------------|----------|--------------|--------|----------|--------|---------|----------|---------|--------|---------|
| | t_p, c | $\sigma, \%$ | Ψ | t_p, c | Ψ | A_1^+ | t_p, c | A_1^+ | Ψ | |
| ТКСАР | 320 | 25 | 0.24 | 450 | 0.83 | 0.00148 | 400 | 7.9 | 0.79 | -83 |
| ИКСАР при ПИН | 150 | 9 | 1 | 225 | 1 | 0.00074 | 200 | 3.9 | 1 | -100 |

Результаты моделирования переходных процессов (таблица 1) показали, что:

1. При отработке скачка задания $x_{зд}$ время регулирования t_p в инвариантной КСАР при ПИН является минимальным, и составляет 150 с, что в 2,13 раза меньше, чем в ТКСАР с СО. Перерегулирование составляет 9%, что на 16% меньше, чем в ТКСАР с СО.

2. При отработке внутреннего возмущения f_1 максимальная динамическая ошибка регулирования A_1^+ наименьшая в инвариантной КСАР при ПИН, и составляет 0,00074, что в 2,46 раза меньше, чем в ТКСАР при ПИН. А так же время регулирования t_p минимально и составляет 225 с, что в 2 раза меньше, чем в ТКСАР с СО.

3. При отработке внешнего возмущения f_2 минимальное время регулирования в инвариантной КСАР при ПИН, и составляет 200 с, что в 2 раза меньше, чем в ТКСАР с СО. Максимальная динамическая ошибка регулирования A_1^+ наименьшая в инвариантной КСАР при ПИН и составляет 3,9, что в 2,03 раза меньше, чем в ТКСАР с СО.

4. При отработке регулирующего воздействия x_p выяснилось, что в ТКСАР с СО несколько меньшая величина x_p , чем в инвариантной КСАР при ПИН.

Заключение

Исходя, из графиков переходных процессов и таблицы ППК можно сделать вывод, что модернизация методики расчёта параметров динамической настройки регуляторов двухконтурной каскадной САР – корректирующего и стабилизирующего – путём превращения исходной КСАР в инвариантную КСАР при ПИН позволило уменьшить время отработки всех возмущений в 2 раза, максимальную динамическую ошибку регулирования A_1^+ при отработке внутреннего возмущения f_1 и крайнего внешнего возмущения f_2 удалось улучшить минимум в 2,03 раза. При этом незначительно возросла величина регулирующего воздействия x_p , что является приемлемым.

Литература

1. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков – М.: УП «Технопринт», 2003. – 134 с.
2. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

УДК 681.51

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР УРОВНЯ В ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
MODERNIZATION OF THE ASR LEVEL IN HIGH PRESSURE HEATER

В.В. Якимцова

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
rakevich95@tut.by

V. Yakimtsova

Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматривается модернизация системы автоматического регулирования уровня в подогревателе высокого давления.*

***Abstract:** this article discusses the modernization of the automatic level control system in the high pressure heater.*

***Ключевые слова:** подогреватель, давление, уровень, автоматизация, модернизация.*

***Keywords:** heater, pressure, level, automation, modernization.*

Введение

Из не регулируемых отборов турбины, пар поступает в регенеративные подогреватели, тем самым подогревая питательную воду и конденсат. Пар поступает из отборов турбины с более высоким давлением обеспечивая постепенный подогрев воды от конденсатора к парогенератору. Дренаж греющего пара или отводится самотеком в паровую зону предыдущего по ходу воды подогревателя, либо подается насосом в питательную линию.

Снижение уровня конденсата в подогревателях не приемлемо, оголении дренажных патрубков в них может появиться пар («проскок» пара). Проскок пара понижает термодинамический КПД цикла, увеличивая расход пара из отборов более высокого давления, в этом случае дренаж подается самотеком в другой подогреватель. Возникновение проскока может вывести насос из строя при отводе дренажа. Из-за угрозы заброса воды в паропровод, переполнение корпуса ПВД водой до уровня врезки трубопровода греющего пара недопустимо. При отказе автоматических регуляторов уровня конденсата в корпусе ПВД или разрыве змеевиков питательной воды возникает опасность. Обратный клапан предусмотрен на случай если возникнет угроза заброса воды в трубопровод, соединяющем корпус ПВД с камерой нерегулируемого отбора. Конденсат собирается в нижней части ПВД и отводится через регулирующий клапан. Специальное защитное устройство воздействует на систему подачи питательной воды в обвод всей группы ПВД.

Улучшению качества регулирования станет следствием модернизации АСР уровня в ПВД, не менее чем в 2 раза, что в свою очередь позволит уменьшить затраты на расход топлива в котлоагрегате.

Основная часть

Модернизация АСР производится на базе существующей системы, а если быть точнее, то она строится на типовой КСАР.

Опережающий участок объекта представлен в виде инерционного звена второго порядка с различными постоянными времени $T_{оп} \neq \sigma_{оп}$:

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\sigma_{оп}p + 1)}$$

Инерционный участок объекта представлен в виде инерционного звена второго порядка с различными постоянными времени $T_{ин} \neq \sigma_{ин}$ без запаздывания.

$$W_{ин}(p) = \frac{1}{T_1 p (\tau_1 p + 1)}$$

Передающая функция крайнего внешнего возмущения представлена в виде инерционного звена первого порядка с постоянной времени T_B :

$$W_B(p) = \frac{K_B}{T_B p}$$

Корректирующий и стабилизирующий ПИ-регуляторы представлены в виде передаточных функций:

$$W_{p1}(p) = \frac{K_{p1}(T_{и1}p + 1)}{T_{и1}p} \text{ — стабилизирующий регулятор,}$$

$$W_{p2}^{opt}(p) = [W_{ин}(p)]^{-1} W_{зд}^{pc(n=2)}(p) \text{ — корректирующий регулятор.}$$

Стабилизирующий регулятор необходимо настроить на оптимальную обработку внутреннего возмущения f_1 , т.к. регулирующее возмущение алгебраический складывается с внутренним возмущением. Поэтому применяем МЧК и рассчитываем параметры оптимальной динамической настройки СР по передаточной функции опережающего участка.

КР настраиваем по передаточной функции оптимального регулятора. Настройку КР осуществляем по передаточной функции инерционного участка.

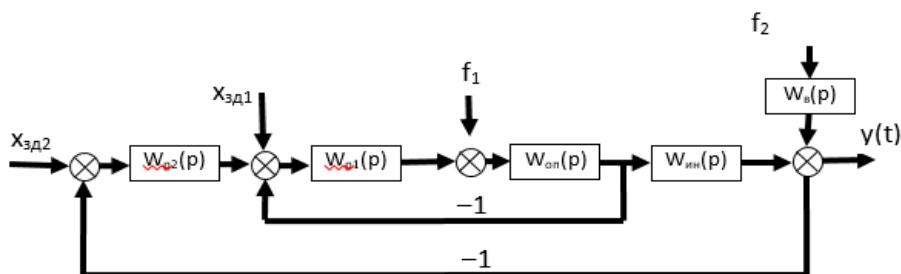


Рисунок 1 – Схема ТКСАР

Разложение двухконтурной САР на две одноконтурные:

1. Расчёт настройки СР по МЧК:

Блок управления (БУ1) КР переведём в положение «дистанционно», в результате получим первую одноконтурную систему:

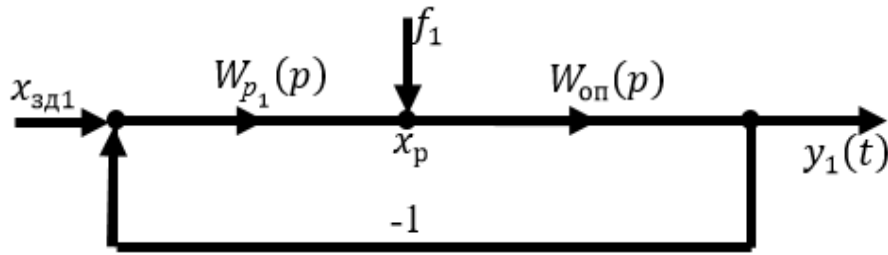


Рисунок 2 – Внутренний контур КСАР для расчета настройки СР

Относительное значение коэффициента передачи К:

$$K = (k_p \cdot k_{оп}) = 0,7395 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1.$$

Относительная постоянная времени равна:

$$T = \frac{T_{оп}}{\sigma_{оп}}.$$

Относительное значение времени интегрирования равно:

$$I = \left(\frac{T_{и}}{\sigma_{оп}}\right) = \frac{6.36 \cdot K}{T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^3}.$$

Тогда коэффициент передачи регулятора равен:

$$k_{p1} = \frac{K}{k_{оп}}.$$

Тогда время интегрирования равно:

$$T_{и1} = I \cdot \sigma_{оп}.$$

2. Расчет настройки КР по передаточной функции оптимального регулятора:

$$W_{зд}^{pc(n=2)}(p) = \frac{1}{2T_{зд2}p\left(\frac{T_{зд2}}{2}p+1\right)};$$

$$W_{p2}^{opt}(p) = [W_{ин}(p)]^{-1}W_{зд}^{pc(n=2)}(p) = \frac{T_1p(\tau_1p+1)}{2T_{зд2}p\left(\frac{T_{зд2}}{2}p+1\right)} = \frac{T_1(\tau_1p+1)}{2T_{зд2}\left(\frac{T_{зд2}}{2}p+1\right)};$$

$$T_{зд1} = \gamma_2\tau_1.$$

Модернизация ТКСАР для улучшения качества обработки основных воздействий. Структурная схема модернизированной ТКСАР представлена на рисунке 3.

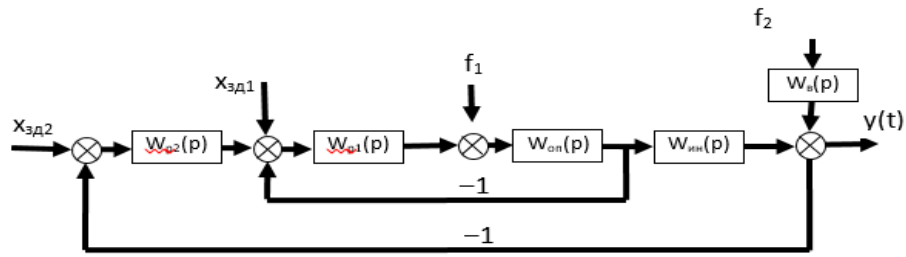


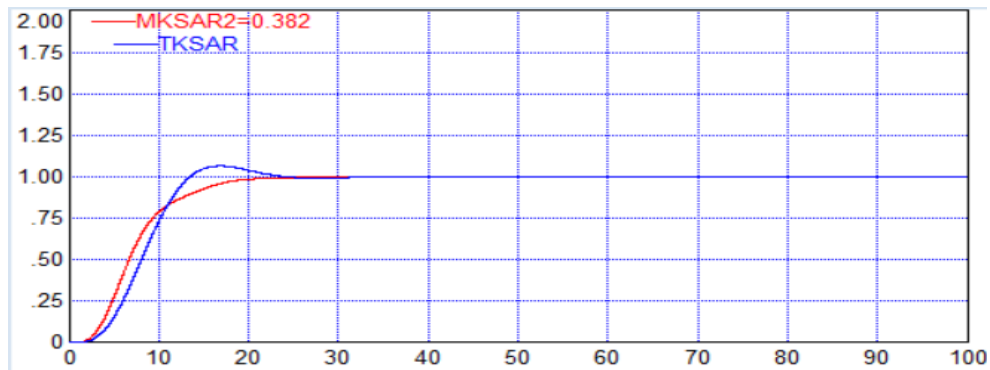
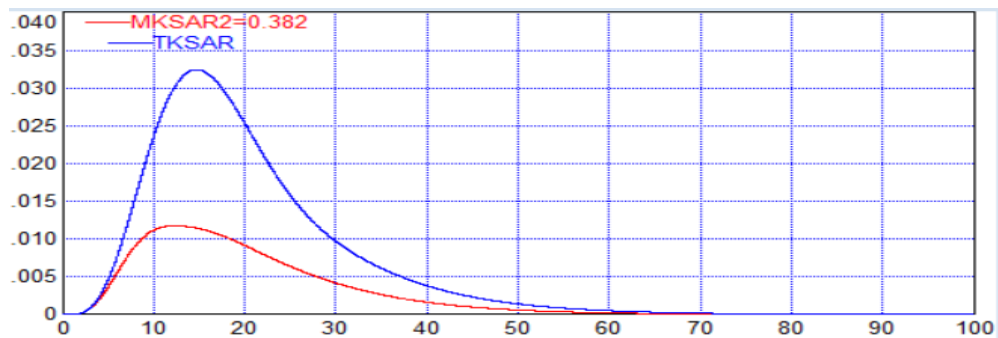
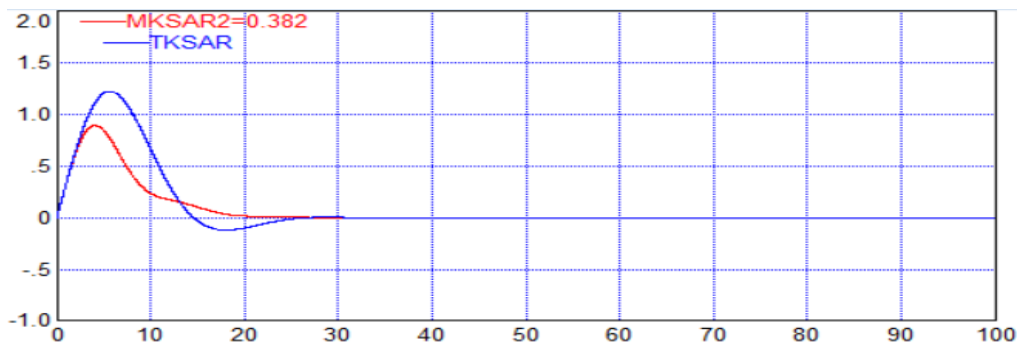
Рисунок 3 – Схема МТКСАР

Для улучшения качества регулирования стабилизирующий регулятор настраиваем с учетом измененных коэффициентов ПЗС:

Относительное значение коэффициента передачи K :

$$K = (k_p \cdot k_{\text{оп}}) = 1,382 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1.$$

Графики переходных процессов:

Рисунок 4 – Отработка скачка задания $x_{\text{зд}}$ Рисунок 5 – Отработка внутреннего возмущения f_1 Рисунок 6 – Отработка внешнего возмущения f_2

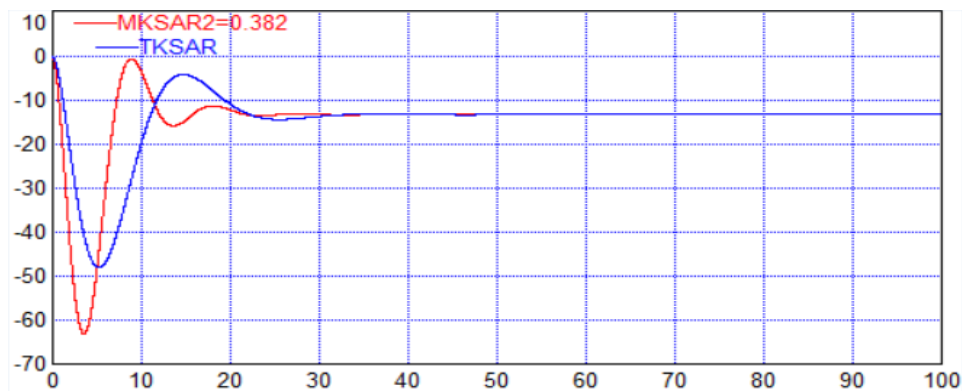


Рисунок 7 – Регулирующее воздействие x_p при обработке крайнего внешнего возмущения f_2

Заключение

Как видно из графиков МТКСАР является наиболее эффективной при обработке скачка задания, максимальная величина перерегулирования σ составляет 0%, что на 10% меньше, чем при ТКСАР. Время регулирования t_p при настройке МТКСАР является минимальным и составляет 26 с, что в 1,3 раза меньше, чем при ТКСАР.

При отработке внутреннего возмущения f_1 , максимальная динамическая ошибка регулирования A_1^+ при настройке МТКСАР наименьшая и составляет 0,011, что 2,7 раза меньше ТКСАР. Время регулирования при МТКСАР является минимальным и составляет 76 с, что в 1,06 раза меньше ТКСАР.

Так же при отработке внешнего возмущения f_2 , минимальное время регулирования при настройке по МТКСАР1 является минимальным и составляет 26 с, что в 1.3 раза меньше ТКСАР.

Из всего вышеприведенного следует, что модернизированная ТКСАР обладает практически минимальным временем регулирования и значительно лучше обрабатывает остальные воздействия ($x_{зд}, f_1, f_2, \dots$).

Литература

1. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – М.: Высшэйшая школа, 1984. – 82 с.
2. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

УДК 621.18-182.2

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ Р-50-130-1ПР1
MODERNIZATION OF SVETLOGORSK CHPP R-50-130-1PR1
TURBINE AUTOMATIC REGULATION SYSTEM**

Р.И. Осташков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
panteley@bntu.by

R. Ostashkov

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

***Аннотация:** в статье рассматривается модернизация системы автоматического регулирования турбины Р-50-130-1ПР1 Светлогорской ТЭЦ.*

***Abstract:** the article deals with modernization of Svetlogorsk CHPP R-50-130-1PR1 turbine automatic regulation system.*

***Ключевые слова:** Светлогорская ТЭЦ, модернизация, турбина, система автоматического регулирования.*

***Key words:** Svetlogorsk CHPP, modernization, turbine, automatic regulation system.*

Введение

Система автоматического регулирования (САР) паровой турбины Р-50-130-1ПР1 представляет сложное комплексное устройство, предназначенное для обеспечения безопасной и надежной работы турбоагрегата и для поддержания в определенных пределах величину противодействия.

Основная часть

Система регулирования действует на клапаны турбины, осуществляя автоматическое управление расходом пара в зависимости от тепловой нагрузки потребителей. Выработка электрической энергии зависит от расхода пара на турбоустановку. В случае работы турбины параллельно с другими источниками пара на общую паровую магистраль регулятор давления может быть отключен, и в этом случае изменение расхода пара в турбину производится посредством механизма управления. Управление регулирующим клапаном свежего пара при пуске, сбросе электрической нагрузки и поддержании холостого хода осуществляется регулятором скорости, который имеет статическую неравномерность регулирования скорости около 5%. Неравномерность регулирования противодействия составляет около 2 кг/см^2 [2].

Для предохранения турбогенератора от чрезмерного повышения оборотов турбина имеет систему защиты, прекращающую поступление пара в турбину при достижении числа оборотов 111 – 112% от номинальных [2]. Так же имеются электрические защитные автоматические устройства,

предохраняющие турбину от недопустимого осевого сдвига ротора, повышения температуры свежего пара и повышения перепада давления за последней ступенью. Поступление пара в турбину может быть мгновенно прекращена воздействием на систему защиты вручную непосредственно у самого турбоагрегата или дистанционно с главного щита, через установленные на турбине дистанционные приводы и указатели.

В маслосистеме турбины имеется пусковой насос регулирования 6МС-6 развивающий напор 20 кг/см^2 и производительностью $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ при скорости вращения 1000 об/мин . Насос подает масло в систему регулирования и параллельно в двухступенчатый инжектор, размещенный в маслобаке. После первой ступени инжектора масло давлением около 1 кг/см^2 поступает к всасывающему патрубку центробежного масляного насоса (ЦМН), вращаемого непосредственно ротором турбины. Вторая ступень инжектора повышает давление масла до 3 кг/см^2 и подает его на охладители, после которых оно с давлением $0,8 \text{ кг/см}^2$ поступает на подшипники турбины. Для поддержания давления масла в системе смазки за маслоохладителями установлен сливной клапан. При нормальной работе турбины подача масла производится от ЦМН с такими же параметрами и по такой же схеме, что и для пускового насоса. При останове турбины или при вращении ее ВПУ подача масла на подшипники производится электронасосом 5НДВ с напором 3 кг/см^2 и производительностью 126 кг/см^2 , который может быть включен как вручную, так и автоматически от реле пуска масляного насоса [2].

При пуске турбины по мере повышения числа оборотов турбины регулятор скорости, воздействует на сервомотор и прикрывает регулирующие клапаны. При пуске из холодного состояния в целях равномерного прогрева турбины необходимо по мере повышения оборотов поддерживать достаточное открытие РК с помощью механизма управления, если такой необходимости нет, то пуск производится на первом регулирующем клапане.

При работе турбины на холостом ходе при достижении скорости вращения ротора в 2800 об/мин происходит перевод системы смазки и регулирования турбины с пускового электронасоса на центробежный путем медленного перекрытия задвижки пускового насоса. Взаимодействие узлов системы регулирования (рисунок 1) при данном режиме работы происходит следующим образом: при увеличении числа оборотов ротора грузы регулятора скорости под действием центробежных сил расходятся, и муфта регулятора скорости переместиться вправо (направление перемещения элементов указано применительно к схеме регулирования). Вслед за муфтой переместится золотник регулятора скорости и посредством рычага переместит вправо нижний золотник блока ЗРС. Слив масла из камеры под отсечным золотником сервомотора при этом увеличится и отсечной золотник, смещаясь от своего среднего положения вниз, увеличивает перетечку напорного масла в камеру над поршнем сервомотора и увеличивает перетечку масла из камеры под поршнем в линию всасывания ЦМН. Вследствие этого сервомотор переместится вниз, прикрывая регулирующие клапана и передвигая золотник обратной связи вверх, увеличит впуск масла с напорным давлением под

отсечной золотник, возвращая его в среднее положение. В результате этого положение сервомотора установится соответственно с положением муфты регулятора скорости и положением механизма управления.

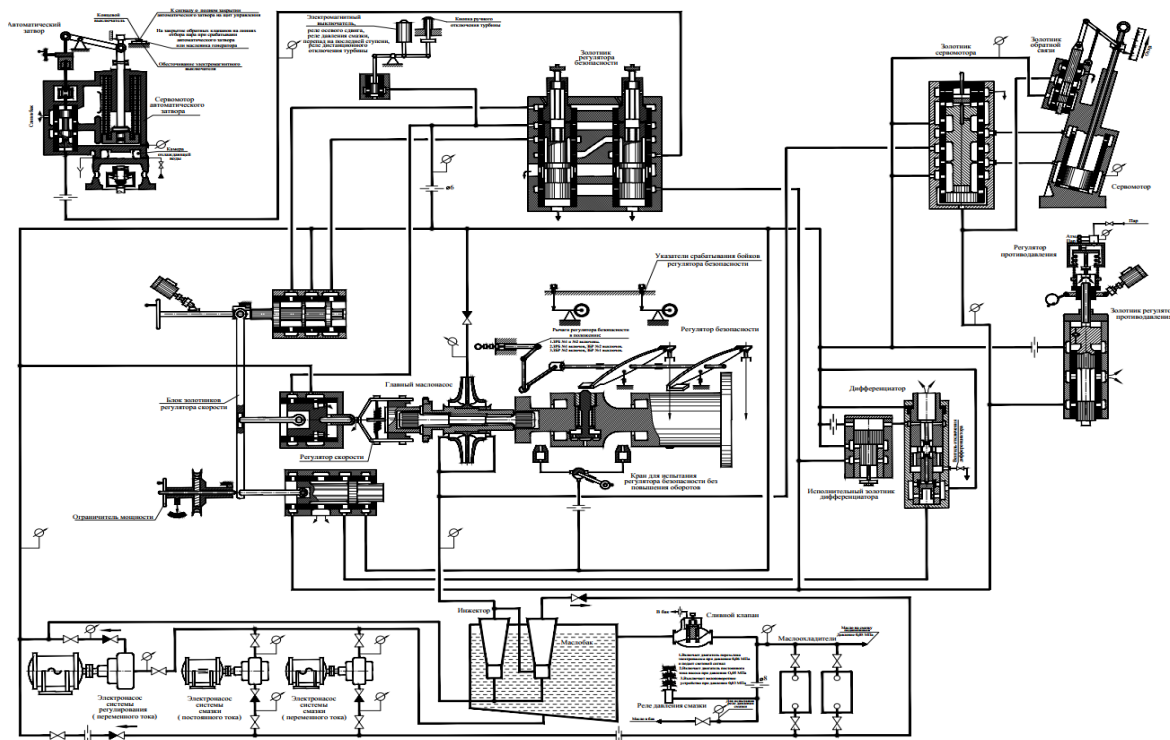


Рисунок 1 – Система регулирования турбины Р-50-130-1ПР1. При уменьшении оборотов ротора, взаимодействие узлов системы регулирования будет обратным описанному выше и будет приводить к увеличению открытия регулирующих клапанов.

В системе регулирования турбины Р-50-130-1ПР1 установлено устройство ограничения мощности в виде ограничительного кольца на сервомоторе регулирующих клапанов, которое служит для устранения излишнего запаса хода сервомотора, образующегося при работе с параметрами противодавления ниже 14 ата. Данное устройство обеспечивает защиту от перегрузки в случае снижения противодавления по независимым от турбоагрегата причинам.

Работа турбины под нагрузкой может производиться в двух режимах: с выключенным регулятором давления или с включенным.

Регулирование турбины при работе в первом режиме осуществляется только механизмом управления. При вращении маховика механизма против часовой стрелки нижний золотник, перемещаясь влево, уменьшит выпуск масла из камеры под отсечным золотником сервомотора регулирующих клапанов, увеличивая давление под золотником. Отсечной золотник, смещаясь вверх, увеличивает перетечку напорного масла из камеры над поршнем в линию всасывания насоса. Вследствие этого сервомотор перемещается вверх и увеличивает открытие клапанов, передвигая золотник обратной связи вниз, уменьшает впуск масла с напорным давлением под отсечной золотник, этим самым возвращая его в среднее положение. Расход пара, и электрическая выработка возрастут, а положение сервомотора установится соответственно с

новым положением механизма управления. При вращении маховика по часовой стрелке взаимодействие элементов будет происходить в обратном порядке, а расход пара на турбину, и ее электрическая выработка уменьшится.

Регулирование турбоагрегата с включенным регулятором давления происходит следующим образом: при увеличении расхода пара тепловым потребителем давление за турбиной снижается, и мембрана регулятора перемещается вверх вместе с золотником, который уменьшает слив из камеры под отсечным золотником сервомотора, увеличивая давление под отсечным золотником. Это приводит к подъему сервомотора и увеличению расхода пара в турбину в соответствии с возросшим потреблением пара. Это приводит к увеличению электрической выработки. При уменьшении расхода пара тепловым потребителем регулирование происходит в обратном порядке.

Заключение

После проведенной модернизации САР продолжает обеспечивать безопасную и надежную работу турбоагрегата и соответствует всем требованиям с точки зрения, как качества регулирования, так и надежности работы.

Литература

1. Турбоустановка Р-50-130-1ПР1 СТ.№6. Инструкция по эксплуатации. Светлогорская ТЭЦ, БЭРН. 2020. – 165 листов.
2. Описание системы регулирования турбины типа Р-50-130: утв. Бюро паровых турбин 1961 – Ленинград: Ленинградский Ордена Ленина Металлический завод. – 61 лист.

УДК 621.438

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОПОДГОТОВКИ ПАРОГАЗОВОЙ
УСТАНОВКИ МИНСКОЙ ТЭЦ-3
MODERNIZATION OF THE GAS TREATMENT SYSTEM OF THE
MINSK CHPP-3**

М.О. Супрон, П.К. Мартьянов

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

M. Supron, P. Martyanov

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: описывается модернизация системы газоподготовки парогазовой установка ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3. Дается описание и технические характеристики компрессорной установки дожимной компрессорной станции. Рассматриваются особенности работы винтового компрессора. Приводятся основные требования безопасности эксплуатации установки.

Abstract: the modernization of the gas treatment system of the steam-gas unit CCGT-230 of the Minsk CHPP-3 is described. The description and technical characteristics of the compressor unit of the booster compressor station are given. The features of screw compressor operation are considered. The main requirements for the safety of operation are given.

Ключевые слова: дожимная компрессорная станция, винтовая компрессорная установка, характеристики, эксплуатация.

Key words: booster compressor station, screw compressor unit, characteristics, operation.

Введение

С 2009 года в составе Минской ТЭЦ-3 (филиал РУП «Минскэнерго») действует парогазовая установка ПГУ-230, основное и резервное топливо которой – природный газ. В прошлом году на площадке ПГУ введена в эксплуатацию новая дожимная компрессорная станция ДКС-2 на основе газовой компрессорной установки EGSI-S-625/3200 W производства ENERPROJECT SA [1]. Этим завершён проект модернизации (расширения) системы газоподготовки ПГУ, основу которой первоначально составляла дожимная компрессорная станция ДКС-1 производства VPT Kompressoren GmbH.

Основная часть

ДКС-2, поставленная компанией ЭНЕРГАЗ, выполнена на базе винтового маслозаполненного компрессора (рисунок 1) и представляет собой блочно-модульную технологическую установку с максимальной интеграцией элементов на единой раме.

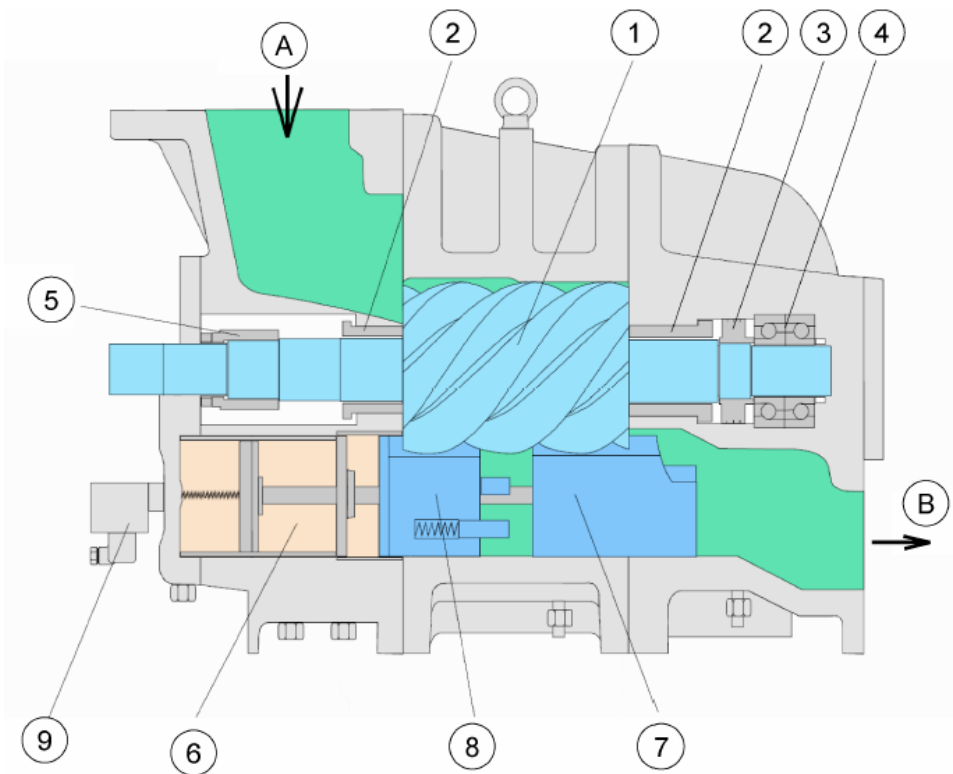


Рисунок 1 – Винтовой компрессор: 1 – главный ротор; 2 – подшипник скольжения; 3 – разгрузочный поршень; 4 – упорный подшипник; 5 – торцевое уплотнение; 6 – гидравлическая система; 7 – регулирующий золотник; 8 – дополнительный золотник; 9 – датчик положения LDS; А – патрубок всасывания; В – патрубок нагнетания

Винтовой компрессор EGSI-S-625/3200 W представляет собой двухроторную машину объемного действия с впрыском масла, в которой газ является рабочей средой. Оба ротора имеют механически выточенные винтовые зубья ассиметричного профиля и устанавливаются в корпус с минимальными зазорами. Ведущий ротор имеет 5 зубьев, приводится во вращение от электродвигателя и приводит во вращение ведомый ротор, имеющий 6 зубьев.

Подшипники скольжения воспринимают радиальную нагрузку, а осевые шариковые подшипники – осевую. Разгрузочный (балансирующий) поршень, установленный на вал ведущего ротора, снижает осевую нагрузку на шариковые подшипники. Со стороны муфты на ведущем роторе предусмотрено маслозаполненное ненагруженное уплотнение вала.

Производительность компрессора и внутренняя степень сжатия могут регулироваться с помощью золотника.

При вращении роторов образуется полость сжатия, которая перемещается по направлению от стороны всасывания к стороне нагнетания. Эта полость расположена между двумя зубьями ведущего и двумя зубьями ведомого ротора. Она занимает V-образное пространство, которое увеличивается до максимального значения. По мере того, как роторы продолжают вращаться, V-образная полость отделяется от полости всасывания следующим зацеплением винтов. По мере вращении роторов объем полости постепенно уменьшается.

Процесс сжатия завершается, когда замкнутое пространство достигает кромок отсечных дисков, вставленных в корпус и кромок золотника.

Отсечные кромки являются частью выходного отверстия, имеющего осевую и радиальную части. Положение отсечных дисков определяет объем полости сжатия и, следовательно, степень сжатия. При дальнейшем вращении роторов сжатый объем выталкивается из межзубного пространства, объем которого уменьшается до нуля, в полость нагнетания компрессора.

Описанный выше процесс повторяется для каждого последующего межзубного пространства. Таким образом осуществляется почти непрерывная подача сжатой среды.

ДКС включает также систему фильтрации топливного газа, маслосистему, модульную воздушную компрессорную станцию.

Основные технические данные компрессорной установки EGSI-S-625/3200 W приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики компрессорной установки EGSI-S-625/3200 W (рабочая среда – природный газ)

| № пп | Описание | Ед.изм. | Величина | |
|------|--|---------------------|-----------|-----------|
| | | | Вариант 1 | Вариант 2 |
| 1 | Газовый компрессор | | | |
| 1.1 | Давление газа на входе (на фланце компрессорной установки) | бар (изб.) | 8 | 12 |
| 1.2 | Температура газа на входе | °С | 20 | 20 |
| 1.3 | Давление газа на выходе (на фланце компрессорной установки) | бар (изб.) | 27 | 27 |
| 1.4 | Температура газа на выходе (на фланце компрессорной установки) | °С | 50 | 50 |
| 1.5 | Номинальная производительность при нормальных условиях | кг/с | 10.6 | 10.6 |
| 1.6 | Мощность на муфте | кВт | 2880 | 2230 |
| 1.7 | Частота вращения | об/мин | 2980 | 2980 |
| 1.8 | Остаточное содержание масла на нагнетании | ppm w | 1 | 1 |
| 2 | Система охлаждения | | | |
| 2.1 | Температура охлаждающей среды на входе (мин ... макс) | °С | 20 ... 30 | 20 ... 30 |
| 2.2 | Перепад температур в системе | °С | 10 | 10 |
| 2.3 | Количество отводимого тепла | кВт | 2300 | 2300 |
| 2.4 | Расход охлаждающей жидкости (вода) | м ³ /час | 300 | 300 |

Компрессорные станции оснащены двухуровневой системой автоматизированного управления и регулирования (САУиР), которая объединила локальные САУ обеих ДКС и интегрировала их в АСУ ТП объекта.

Газовые компрессорные установки ENERPROJECT спроектированы таким образом, чтобы обеспечить их безопасное и надежное

функционирование. Технические средства установок защищают их от повреждений. Персонал должен быть строго ознакомлен с требованиями безопасности и с процедурами первой помощи, и всегда соблюдать их. Максимальная безопасность персонала имеет первостепенное значение, наряду с защитой оборудования от повреждений.

Требования безопасности включают процедуры, которым надо следовать при работе персонала в специфической окружающей среде, такой как взрывоопасная атмосфера или при наличии в воздухе специфических веществ.

Проверка безопасности должна проводиться перед каждым пуском и после каждого останова газовой компрессорной установки. Особенно важно проверять ее до и после технического обслуживания и ремонта.

Определенные условия работы компрессора могут быть ненормальными. Эти признаки могут говорить о необходимости техобслуживания или ремонта, например, перегрев и вибрация компрессора, образование взрывоопасной атмосферы.

Заключение

Модернизация системы подготовки газа повысит надежность топливоснабжения ПГУ-230 и обеспечит бесперебойную эксплуатацию парогазового энергоблока на всех режимах. Помимо системы подготовки топливного газа модернизирована схема газоснабжения ПГУ. ДКС-1 и ДКС-2 функционируют попеременно, равномерно распределяя эксплуатационную нагрузку. При включении в работу одной установки вторая переходит в режим горячего резерва. Их собственные САУ осуществляют подготовку к пуску, пуск, останов и поддержание оптимального режима эксплуатации; контролируют рабочие характеристики и загазованность в технологических отсеках ДКС; обеспечивают автоматические защиты и сигнализацию; обрабатывают параметры основных процессов и аварийных событий с выдачей информации на панель оператора по стандартному протоколу обмена.

Литература

1. ГПО «Белэнерго» ввело в эксплуатацию ПГУ-230 на Минской ТЭЦ-3 (Беларусь) 03.07.09 / <http://www.combienergy.ru/news/1246587807-GPO-Belenergo-vvelo-v-ekspluatatsiyu-PGU-230-na-Minskoy>.

2. ЭНЕРГАЗ модернизировал систему газоподготовки и схему топливоснабжения ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3 / <http://energaz.ru/pressroom/news/energaz-moderniziroval-sistemu-gazopodgotovki-i-skhemu-toplivosnabzheniya-pgu-230-minskoy-tets-3/>.

УДК 621.186.3

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАРОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
STRESSED STATE OF STEAM PIPELINES OF THERMAL POWER
PLANTS**

В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

V. Bayankova, A. Belozerova
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассматриваются напряжения, возникающие при работе паропроводов тепловых электростанций, в том числе тангенциальные, аксиальные и радиальные нормальные напряжения. Описаны напряжения от внутреннего давления, от самокомпенсации температурных удлинений, а также температурные напряжения. Приведены типичные графики распределения температур по окружности паропроводной трубы при плохом и при хорошем ее дренировании.*

***Abstract:** stresses arising during the operation of steam pipelines of thermal power plants, including tangential, axial and radial normal stresses, are considered. Stresses from internal pressure, from self-compensation of temperature elongations, as well as thermal stresses are described. Typical graphs of temperature distribution along the circumference of a steam pipe with poor and good drainage are given.*

***Ключевые слова:** напряжения, внутреннее давление, самокомпенсация температурных удлинений, температурные напряжения.*

***Key words:** stresses, internal pressure, self-compensation of thermal elongations, thermal stresses.*

Введение

С повышением единичной мощности паротурбинных энергетических блоков возрастают требования к надежности работы главных паропроводов тепловых электростанций (ТЭС). В практике эксплуатации ТЭС известен ряд случаев аварийной остановки энергоблоков в связи с повреждениями металла паропроводов. Для выяснения причин повреждений и устранения возможного их повторения наряду с диагностикой состояния металла необходимо знать уровень действующих в паропроводе напряжений.

Основная часть

Металл паропроводов работает в условиях сложноподвижного состояния.

Если вырезать из трубы элементарный (малый) сегмент, то на его ограничивающих поверхностях будут действовать как нормальные к ним, так и касательные напряжения (рисунок 1) [1].

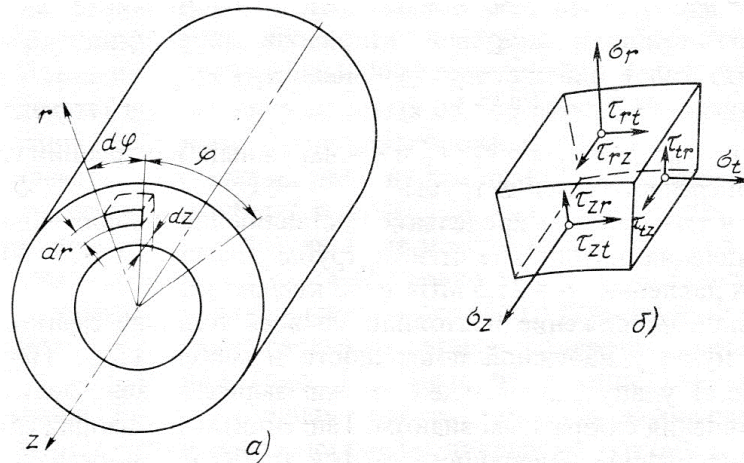


Рисунок 1 – Нормальные и касательные напряжения, действующие в паропроводе при сложном напряженном состоянии: а - паропроводная труба и ее цилиндрические координаты; б - элементарный сегмент, вырезанный из паропровода, и действующие на его видимых граничных поверхностях нормальные σ и касательные τ напряжения

В соответствии с используемыми для прямолинейных участков труб цилиндрическими координатами φ , z , r принято различать тангенциальные (окружные) σ_t , аксиальные (осевые) σ_z и радиальные σ_r нормальные напряжения.

Действующие в паропроводах напряжения принято классифицировать по нагружающим факторам, вызвавшим их появление.

Различают напряжения от внутреннего давления, от самокомпенсации температурных удлинений, от весовой нагрузки, от внешних воздействий (ветер при наружной прокладке), от динамического воздействия потока пара (достигают значительной величины в выхлопных трубах при срабатывании предохранительных клапанов) и температурные напряжения. При совместном действии различные виды напряжений алгебраически суммируются.

Одной из основных составляющих напряжений в паропроводах считается напряжение от внутреннего давления. По давлению при расчетах на прочность определяется толщина стенки паропровода [2]. Под действием внутреннего давления в элементарном сегменте трубы в окружном, осевом и радиальном направлениях возникают только нормальные натяжения.

Для примера на рисунке 2 [1] показано распределение составляющих напряжений от внутреннего давления по толщине стенки трубы диаметром 377x70 мм при внутреннем давлении $p = 25,5$ МПа.

Напряжения от самокомпенсации температурных удлинений паропроводов [2] связаны с удлинениями труб при нагреве, которым препятствует мертвое закрепление концов, а иногда и некоторых промежуточных точек трассы, что приводит к деформациям и к возникновению изгибающих и крутящих моментов. Нагрузки от самокомпенсации температурных удлинений и от веса трубопровода учитываются как дополнительные нагружающие факторы в поверочных расчетах паропроводов на прочность после выбора по внутреннему давлению толщины стенки.

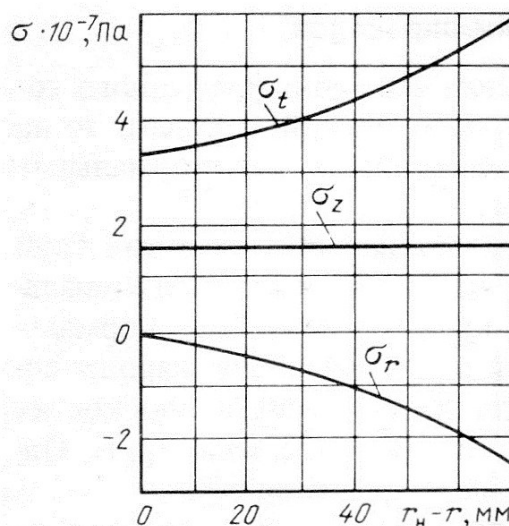


Рисунок 2 – Распределение напряжений от внутреннего давления по толщине стенки толстостенной трубы: r_n , r - наружный радиус трубы и текущая радиальная координата

Температурные напряжения в стенке трубы вызываются главным образом температурной неравномерностью в радиальном направлении (по толщине стенки) в режимах прогрева или охлаждения, а также в окружном – между верхом и низом трубы на горизонтальных участках при плохом дренировании. Они учитываются в поверочных расчетах паропроводов на малоцикловую усталость в случае частых пусков и остановов энергоблоков в условиях эксплуатации [1] для обоснования допустимости принятых режимов работы из условия исключения возможного появления трещин в местах концентрации напряжений.

Роль температурных напряжений в развитии повреждений паропроводов в иллюстрируется следующим примером.

Так в [1] при обследовании металла паропровода с поперечными связями от котла ТП-87 в месте соединения с переключательной магистралью была обнаружена кольцевая трещина на наружной поверхности одного из швов приварки линейной задвижки котла к паропроводу $\varnothing 273 \times 36$ мм из стали 12Х1МФ. Трещина развивалась снаружи по границе зоны термического влияния и основного металла на глубину до 18 мм [1]. Вблизи трещины имелось множество межкристаллитных надрывов, свидетельствующих о большом уровне действующих напряжений. При подключении котла к переключательной магистрали прогрев этого участка паропровода происходил с недопустимо высокой скоростью (до $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$), что объясняется недостаточным его прогревом в предшествующий период растопки котла, когда линейная задвижка была еще закрыта.

Температурная неравномерность в окружном направлении наблюдается преимущественно на горизонтальных участках паропроводов и достигает значительной величины главным образом в переходных режимах. Она обусловлена неравномерной по окружности теплоотдачей от конденсирующегося пара к стенке трубы и связана со стеканием пленки конденсата в нижнюю часть горизонтальной трубы при ее прогреве с образованием ручья конденсата, движущегося к точке дренирования. В этих

условиях температура верхней части трубы становится больше, чем нижней. Температурная неравномерность в окружном направлении существенно зависит от качества дренирования паропровода при прогреве.

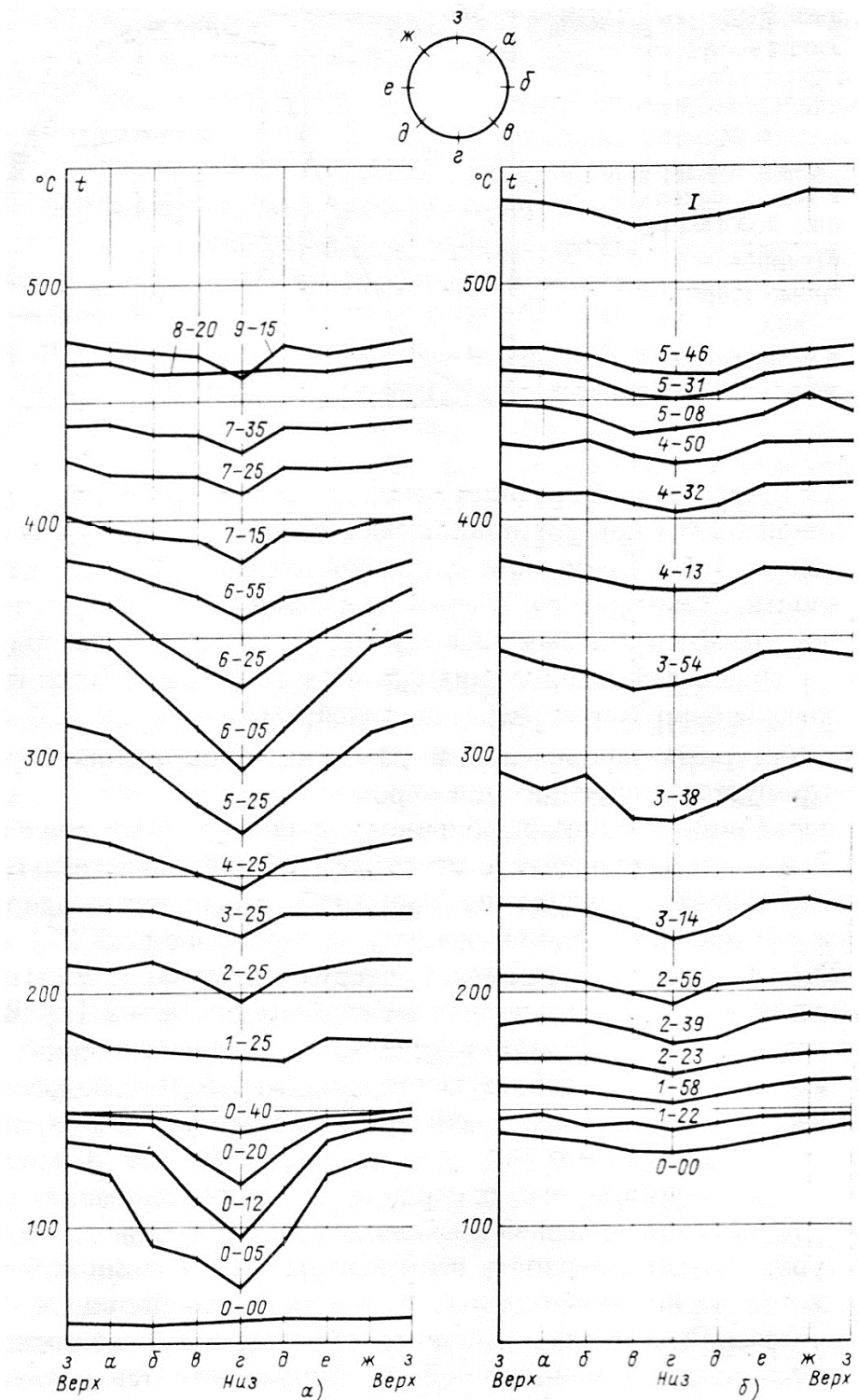


Рисунок 3 – Температурное поле по окружности поперечного сечения главного паропровода котла типа ТП-80 на горизонтальном участке при прогреве: а - до реконструкции дренажей; б - после реконструкции. Цифрами у кривых обозначено время от начала прогрева; а, б, в, ... - термопары у наружной поверхности стенки паропровода, расположение которых по окружности трубы показано над графиками; I - установившийся температурный режим

Типичные графики распределения температур по окружности паропроводной трубы при плохом и при хорошем дренировании изображены на рисунке 3 [1].

Как видно, при плохом дренировании разность температур между верхом и низом паропровода в процессе прогрева возрастала до 60 °С, при хорошем – не превышала 25 °С.

Заключение

Температурная неравномерность в радиальном и в окружном направлениях играет наиболее существенную роль в развитии температурных напряжений в паропроводах. Для ограничения температурных напряжений регламентируется средняя скорость прогрева паропроводов значениями от 5 до 1 °С /мин в зависимости от параметров пара, марки стали и ряда других факторов, а также хорошее дренирование трубопроводов.

Литература

1. Паропроводы тепловых электростанций / Д.П. Елизаров. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 88 с.
2. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды (РД 10-249–98). Серия 20. Выпуск 4 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 344 с.

УДК 621.165

НАСОС РЕЦИРКУЛЯЦИИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ С ГИДРОТУРБИНЫМ ПРИВОДОМ

Т.Р. Шумаров

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

T. Shumarov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассматриваются конструкции циркуляционных насосов разработки ОАО «НПО ЦКТИ» и фирмы Hayward Tyler. Также проводится сравнительный анализ характеристик и конструкции насосов на примере их эксплуатации в составе оборудования котлоагрегатов сверхкритического давления.

Abstract: this article discusses the designs of circulation pumps developed by JSC «SPA ЦКТИ» and Hayward Tyler. A comparative analysis of the characteristics and design of pumps is also carried out on the example of their operation as part of the equipment of supercritical pressure cooling units.

Ключевые слова: насос рециркуляции, герметичный насос, сверхкритические параметры, гидротурбонасос, электронасос, тепловые электрические станции.

Keywords: recirculation pump, power plant, electrically driven pump, hydro-turbine driven pump, glandless pump, supercritical parameters.

Введение

В настоящее время в котельных агрегатах сверхкритического давления в системе рециркуляции рабочей среды применяют герметичные электронасосы. Отсутствие отечественных электронасосов на указанные параметры вынудило применять на котлоагрегатах ТГМП - 344 насосы рециркуляции рабочей среды иностранных фирм KSB и Hayward Tyler.

Основная часть

Особенностью конструкции иностранных насосов является отсутствие уплотнений между насосом и приводным электродвигателем, их размещение в едином корпусе с общим валом и подшипниками насоса и приводного электродвигателя. Для компенсации разницы между температурой рабочей среды (около 400°C) и максимальной температурой электродвигателя (80°C) в конструкции предусмотрен термобарьер и внешний теплообменник для отвода тепла из области электродвигателя [3].

Основными проблемами проектирования и эксплуатации таких насосных агрегатов являются:

1) обеспечение надежности и герметичности корпуса насосного агрегата, работающего в условиях с большой разностью температур в области электродвигателя и насоса;

2) создание электропривода с «мокрым» статором, работающим при большом внешнем давлении на обмотке (около 40 кПа).

Так же к недостаткам можно отнести тот факт, что при относительно небольшой мощности (около 500 кВт) насосный агрегат имеет большие габариты и вес (размеры около 4х1х1 м, вес агрегата около 16 т); «мокрый» статор обуславливает низкий КПД агрегата (КПД с учетом затрат на охлаждение не более 59%).

Циркуляционный насос фирмы Hayward Tyler представляет из себя агрегат, состоящий из двух основных узлов – насоса и электродвигателя (рисунок 1). Эти узлы расположены на одном валу, что обуславливает некоторые особенности конструкции:

1. Заполнение корпуса двигателя водой под давление выше давления перекачиваемой среды (40 кПа).
2. Наличие у электродвигателя собственного теплообменника.
3. Наличие теплобарьера из-за большой разницы между температурой перекачиваемой среды и максимальной допустимой температурой электродвигателя.
4. Наличие в корпусе электродвигателя рабочего колеса для прокачки охлаждающей воды.
5. Большие геометрические размеры и большой вес.

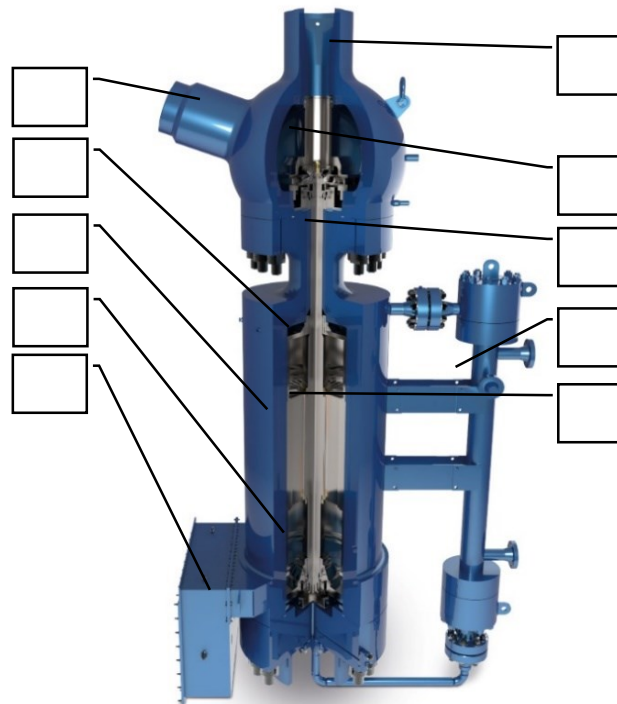


Рисунок 1 - Циркуляционный насос фирмы Hayward Tyler:

- 1 - место рабочего колеса; 2 - входной патрубок; 3 - выходной патрубок; 4 - теплобарьер; 5 - насос и радиальный подшипник; 6 – теплообменник; 7 – статор; 8 – ротор; 9 – упорно-радиальный подшипник; 10 - электрическая коробка

Опыт эксплуатации показал невысокую эксплуатационную надежность герметичных электронасосов и способствовал разработке и поиску новых инженерных решений в создании циркуляционных насосов для котлоагрегатов.

Анализ тепловой схемы энергоблока сверхкритического давления показывает перспективу использования циркуляционных насосов с гидротурбинным приводом, как с точки зрения создания насосов рециркуляции рабочей среды, так и обеспечения их надежной работы во всем диапазоне нагрузок котла.

РГТН представляет собой герметичный агрегат (рисунок 2), корпус которого выполнен из теплостойкой стали с одним фланцевым разъемом высокого давления. Корпус имеет патрубки подвода и отвода перекачиваемой среды и питательной воды к гидротурбине, крепящиеся посредством сварки к соответствующим трубопроводам. Ротор агрегата имеет общий вал насоса и приводной гидротурбины, на котором установлены рабочее колесо насоса, втулки подшипников, четыре рабочих колеса приводной гидротурбины. Статор агрегата состоит из конфузора, лопаточного отвода насоса, направляющих аппаратов турбины. Статор и ротор объединены в монтажную часть – внутренний корпус агрегата, который зафиксирован в корпусе нажимным кольцом и уплотнен клиновой металлической прокладкой.

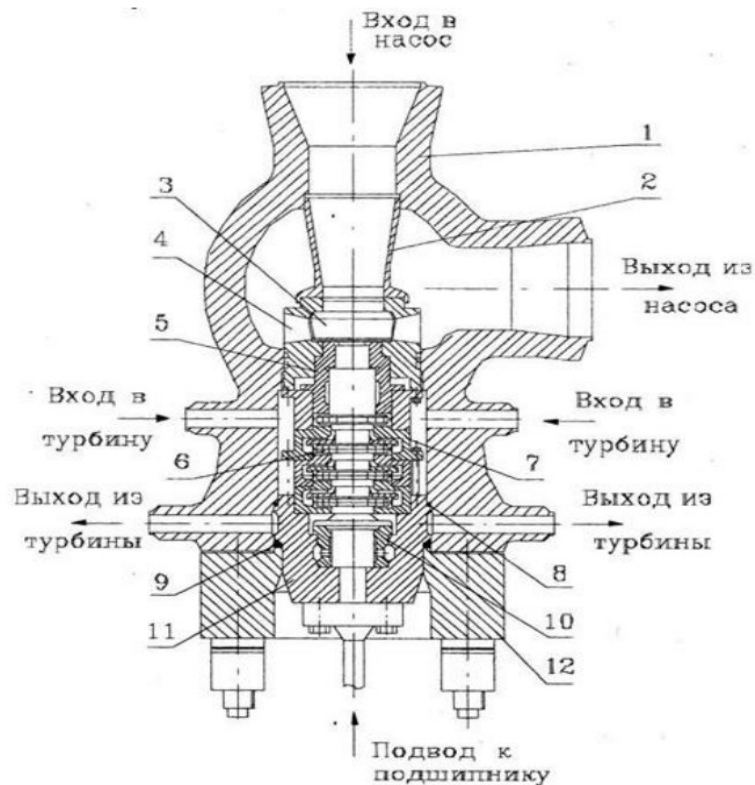


Рисунок 2 – Насосный агрегат РГТН:

1 - корпус; 2 - входной конфузор; 3 - колесо насоса; 4 - аппарат насоса; 5 - подшипник верхний; 6 - колесо турбины; 7 - аппарат турбины; 8 - прокладка; 9 - клиновья прокладка; 10 - подшипник нижний; 11 - корпус подшипника; 12 - нажимное кольцо.

Основные характеристики насоса типа РГТН 1000-150 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики РГТН 1000-150

| Наименование параметра | Значение |
|--|-------------|
| Подача насоса, м ³ /ч | 1000 |
| Напор насоса, м | 150 |
| Давление на входе в насос, кгс/см ² МПа | до 400 |
| Температура перекачиваемой среды, °С | до 410 |
| Напор, срабатываемый приводной гидротурбиной, м | до 2200 |
| Расход питательной воды на приводную гидротурбину, т/ч; | до 110 |
| Температура питательной воды на приводную гидротурбину, °С | 170 |
| КПД насоса, % | 0,85 |
| КПД приводной гидротурбины, % | 0,6 |
| Масса агрегата, кг | 2500 |
| Габаритные размеры, м | 1,5x0,7x0,7 |

Впервые в практике энергомашиностроения система рециркуляции рабочей среды с насосом с гидротурбинным приводом была реализована ОАО «НПО ЦКТИ» на энергоблоке 300 МВт Киришской ГРЭС (котел ТГМП - 324) [4]. Рециркуляционный гидротурбонасос (РГТН) – центробежный, высокой быстроходности, приводная гидротурбина – радиальная, четырехступенчатая. Подшипники агрегата – гидростатические, верхний – радиальный, нижний – радиально-упорный. Рабочая среда подшипников – питательная вода, проходящая дополнительную очистку в фильтрах гидроциклонного типа.

Параметры РГТН 1000-150 соответствуют аналогичным параметрам ранее используемых циркуляционных электронасосов фирм KSB и Hayward Tyler. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика электронасосов и насосов с гидротурбинным приводом.

Таблица 2 – Сравнительная таблица параметров насосов

| Насосы | РГТН 1000-150 | Hayward Tyler |
|---|---------------|---------------|
| Подача насоса, м ³ /ч | 1000 | 1000 |
| Напор, м | 150 | 150 |
| Расход охлаждающей воды в теплообменнике, т/ч | - | 40 |
| Суммарная мощность, кВт | 415 | 440 |
| КПД, % | 0,85 | 0,82 |
| КПД привода, % | 0,6 | 0,59 |
| Габаритные размеры, м | 1,5x0,7x0,7 | 3,5x0,8x0,8 |
| Вес агрегата, кг | 2500 | 16000 |

Сравнительная характеристика зависимости производительности, напора и оборотов вращения электронасосов и насосов с гидротурбинным приводом представлена на рисунке 3.

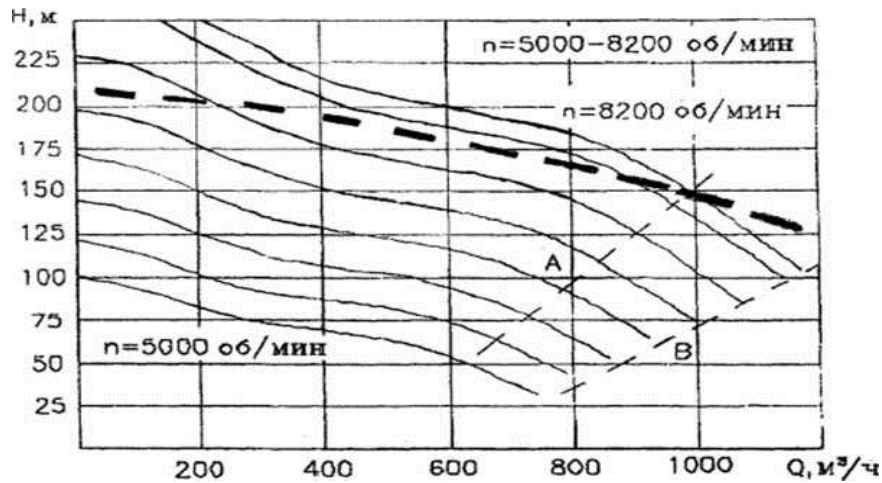


Рисунок 3 – Характеристики насоса рециркуляции среды: РГТН 1000-150

— Электронасос фирмы Hayward Tyler

Схема включения циркуляционного насоса в тепловую схему энергоблока представлена на рисунке 4. Включение гидротурбинного привода (на котле установлено два насоса – рабочий и резервный) выполнено по замкнутому контуру: деаэратор (1) → бустерный и питательный насос (2, 3) → гидротурбинный привод РГТН 1000-150 → деаэратор (1). Насос рециркуляции (11) установлен между смесителем (7), в который поступает питательная вода и рабочая среда после НРЧ (8) и ВРЧ (9) котла.

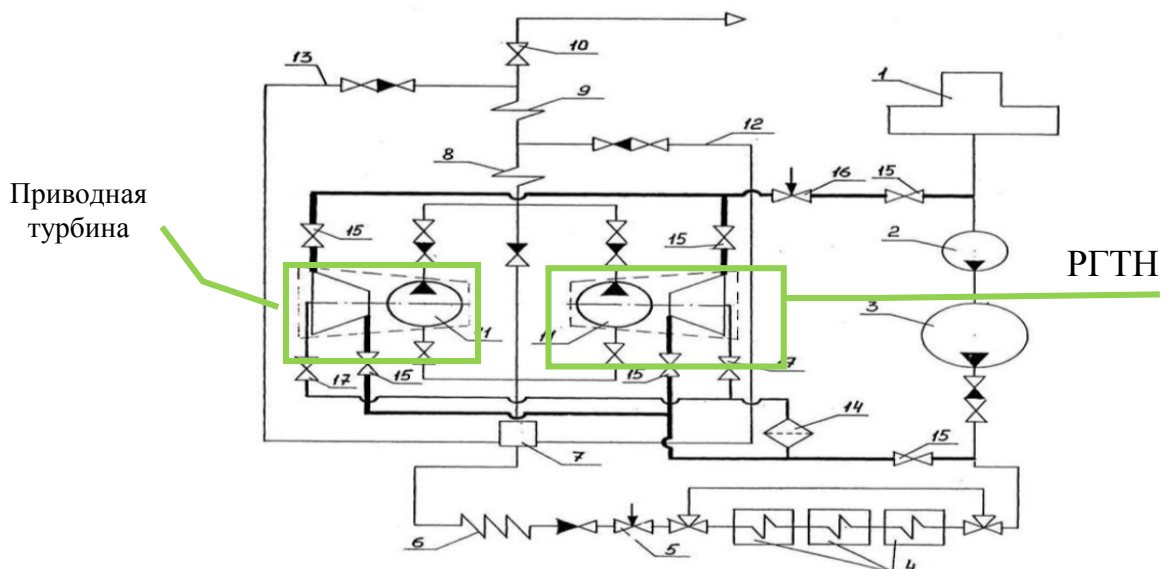


Рисунок 4 – Схема включения РГТН 1000-150 в тепловую схему энергоблока ТЭС:

1 - деаэратор; 2 - бустерный насос; 3 - питательный насос; 4 - ПВД; 5 - регулятор питания котла; 6 - экономайзер; 7 - смеситель; 8 - НРЧ; 9 - ВРЧ; 10 - встроенная задвижка; 11 - РГТН 1000-150; 12 - трубопровод рециркуляции за НРЧ; 13 - трубопровод рециркуляции за ВРЧ; 14 - фильтр; 15 - задвижка силовой воды; 16 - регулирующий клапан; 17 - клапан воды на подшипники. Регулирующий клапан (16) на трубопроводе отвода питательной воды после гидротурбинного привода позволяет регулировать параметры насоса рециркуляции рабочей среды изменением частоты вращения РГТН

В котлоагрегате прямоточного типа, циркуляционные насосы включены в систему комбинированной циркуляции, работающую при пуске и нагрузках до 40%. В течение более 10 лет проводилась контрольная эксплуатация гидротурбонасосов, подтвердившая высокий уровень конструктивной надежности.

Заключение

В результате анализа опытной эксплуатации можно сделать вывод, что система рециркуляции рабочей среды с насосом с гидротурбинным приводом ОАО «НПО ЦКТИ» на энергоблоке 300 МВт Киришской ГРЭС (котел ТГМП - 324) показала следующие преимущества данного насоса по сравнению с иностранными насосами с «мокрым» статором:

1. Высокая эксплуатационная надежность.
2. Малые габариты, по сравнению с импортными насосами.
3. Большой межремонтный период в следствии простоты конструкции.
4. Отличные показатели регулирования.
5. Меньшая стоимость ремонта и эксплуатации по сравнению с импортными насосами.
6. Актуальность дальнейших разработок в сфере проектирования насосов с гидротурбинным приводом.

Литература

1. Создание насосов с гидротурбинным приводом для энергетических установок / Труды ЦКТИ, выпуск 213, Ленинград, 1984.
2. Hydraulic turbine-driven boiler circulation pump [Электронный ресурс] / EPRI, 1995. – Дата доступа: 21.02.2022.
3. Boiler circulating pumps for fluidized bed boilers [Электронный ресурс] / Hayward Tyler, 1983. – Дата доступа: 05.04.2022.
4. Field testing of the hydraulic turbine-driven boiler circulation pump at the southern power plant, LENENERGO in St. Petersburg, Russia [Электронный ресурс] / Joseph Technology Corporation, Inc., 1995. – Дата доступа: 25.03.2022.

УДК 658.264

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ОЧИСТКИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ON THE EFFICIENCY OF USE OF ULTRASONIC CLEANING FOR
HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT**

М.Д. Сытая

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
leo07@tut.by

M. Sytaya

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматриваются эффективность применения ультразвуковой очистки теплообменного оборудования.*

***Abstract:** the article discusses the effectiveness of ultrasonic cleaning of heat exchange equipment.*

***Ключевые слова:** ультразвуковая очистка, теплообменное оборудование.*

***Keywords:** ultrasonic cleaning, heat exchange equipment.*

Введение

На энергетических предприятиях нашли применение большое количество теплообменного оборудования, работающего на разных параметрах и при разных температурах. В качестве рабочих сред в теплообменных установках используют влажный пар, сетевую и подпиточную воду. Эффективность работы оборудования напрямую зависит от загрязнения поверхностей нагрева, так как они снижают коэффициент теплопередачи из чего вытекает увеличение расхода тепла.

Основная часть

Характер загрязнений теплообменного оборудование зависит используемого типа теплоносителей в двух контурах (греющий и нагреваемый).

Количество тепла Q , которое передается от греющего контура к нагреваемому можно найти по формуле:

$$Q = k * F * \Delta t ,$$

где: k - коэффициент теплопередачи, $Вт/(м^2 * °C)$;

F - температурный напор, $°C$;

Δt - площадь поверхность теплообмена, $м^2$.

Взаимосвязь между коэффициентом теплопроводности материала стенки и коэффициентом теплоотдачи слоя загрязнений с коэффициентов теплопередачи выражается уравнением:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_n - d_{вн}}{\lambda_{ст}} * \frac{d_{вн}}{d_{ср}} + \frac{\delta}{\lambda_3} * \frac{d_n + 2 * \delta}{d_{ср.з}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где: α_1 - коэффициент теплоотдачи внутри теплообменной трубы, $Вт/(м^2 * °C)$;

α_2 - коэффициент теплоотдачи снаружи теплообменной трубы, $Вт/(м^2 * °C)$;

$d_{вн}$ - внутренний диаметр теплообменной трубы, $м$;

d_n - наружный диаметры теплообменной трубы, $м$;

$d_{ср}$ - средний диаметр теплообменной трубы, $м$;

$d_{ср.з}$ - средний диаметр слоя загрязнений, $м$;

δ - толщина слоя загрязнений, $м$;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности материала теплообменных труб, $Вт/(м * °C)$;

λ_3 - коэффициент теплопроводности загрязнений, $Вт/(м * °C)$.

Так же данную формулу можно представить в следующем виде:

$$k = \frac{1}{R_1 + R_{ст} + R_3 + R_2},$$

где: R_1 - термическое сопротивление со стороны внутренней стенки трубы;

$R_{ст}$ - термическое сопротивление материала стенки трубы;

R_3 - термическое сопротивление слоя загрязнений;

R_2 - термическое сопротивление со стороны наружной стенки трубы.

При различной толщине загрязнений были произведены расчеты её влияния на коэффициент теплопередачи. Результаты сведены в таблицу.

Результаты расчетов подтверждают вышесказанное о том, что при увеличении толщины загрязнения коэффициент теплопередачи падает.

Ярким примером является снижения коэффициента на 45% при толщине загрязнений всего 1.5 мм.

Перейдем к средствам очистки поверхностей. Одним из наиболее эффективных является ультразвуковая чистка. Принцип действия заключается в использовании колебаний ультразвуковой частоты и передаче их объекту при помощи магнитострикционного преобразователя, который закрепляется способом приварки к крышке теплообменного устройства или трубной доске.

Данный метод первоначально использовался для очистки подогревателей мазута. Магнитострикционные устройства для подогрева мазута присоединяют к передней крышке с помощью сварки. Далее данные

преобразователи соединяют с трубной доской. Нагрев вещества осуществлялся паром с установленными параметрами: давление – 0,6 Мпа, температура – 170 градусов Цельсия. Чистка осуществлялась один раз в полгода. До начала использования рассматриваемого метода чистки расход пара на подогрев составлял 0,122 тонны. Для сравнения, при использовании чистки расход сократился на 45%.

Таблица 1 – Результаты расчета влияния толщины стенки на коэффициент теплопередачи

| $\alpha_2,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $\delta = 0$ | $\delta = 0.1мм$ | $\delta = 0.3мм$ | $\delta = 0.5мм$ | $\delta = 1.0мм$ | $\delta = 1.5мм$ | $\lambda,$ $\frac{Вт}{м * °С}$ |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | $k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$ | |
| 290 | 276.1 | 223.9 | 160.1 | 120.6 | 77.5 | 55.7 | 0.12 |
| 174 | 170.5 | 148.5 | 118.3 | 94.6 | 65.8 | 49.9 | |
| 58 | 56.8 | 54.5 | 49.9 | 45.2 | 37.1 | 31.3 | |
| 290 | 276.1 | 244.6 | 200.1 | 167 | 121.5 | 92.8 | 0.23 |
| 174 | 170.5 | 157.5 | 136.9 | 120.6 | 94 | 76.1 | |
| 58 | 56.8 | 56.0 | 52.2 | 55.6 | 45.4 | 40.5 | |
| 290 | 276.1 | 256.4 | 223.9 | 197.2 | 149.6 | 118.3 | 0.35 |
| 174 | 170.5 | 162.4 | 148.5 | 136.9 | 112.5 | 94 | |
| 58 | 56.8 | 56.8 | 54.5 | 52.9 | 48.7 | 45.2 | |
| 290 | 276.1 | 261 | 303.9 | 211 | 168.2 | 139.2 | 0.46 |
| 174 | 170.5 | 164.7 | 154.3 | 143.8 | 121.8 | 105.6 | |
| 58 | 56.8 | 55.7 | 55.3 | 53.9 | 50.6 | 47.6 | |

Заключение

Подводя итоги, можем сделать вывод, что применение ультразвуковой чистки на теплообменном оборудовании улучшило его физические и экономические параметры.

Литература

1. Снижение энергозатрат на нефтеперерабатывающих заводах / И.Т. Багиров, И.М. Кардаш. – М.: Химия, 1972.
2. Ультразвуковая очистка [Электронный ресурс] / Ультразвуковая чистка. – Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/newtechnolog/17-ultrazvukovay-ochistka-poverhnostey.html/>. – Дата доступа: 25.04.2022.

УДК 621.647.4

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПАРИТЕЛЕЙ МГНОВЕННОГО
ВСКИПАНИЯ**
**GENERAL CHARACTERISTICS EVAPORATORS INSTANT
BOILING**

А.М. Плотникова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pronkevichAV@mail.ru

A. Plotnikava

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer
Belarusian technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе представлена конструкция испарителей мгновенного вскипания, принцип работы и основные характеристики. Объясняется преимущество применения таких установок на ТЭЦ, также перечислены качественные особенности приведенного в статье аппарата типа мгновенного вскипания.*

***Abstract:** this paper presents the design of flash evaporators, the principle of operation and the main characteristics. The advantage of using such installations at thermal power plants is explained, and the qualitative features of the apparatus of the instantaneous boiling type given in the article are also listed.*

***Ключевые слова:** испарители, пар, вода, ступень, секция.*

***Keywords:** evaporators, steam, water, stage, section.*

Введение

В нынешнее время отечественная энергетика занимается обессоливанием воды двумя способами: химическим и обратного осмоса. Данные методы имеют много недостатков для того, чтобы прибегнуть к альтернативному методу, который называется термическим способом обессоливания. Поэтому в основном на ТЭЦ используются испарители поверхностного типа, но наиболее экономичным вариантом считаются аппараты вакуумной термической подготовки воды. К этим установкам можно причислить подогреватели мгновенного вскипания (ИМВ).

Кроме них также применяются испарители с вынесенной зоной кипения — это аппараты, в подогревающих камерах которых, вода греется только до той температуры, что близится к температуре насыщения. В ИМВ же пар возникает при вскипании воды, которая заранее нагревается до температуры, имеющей немного больше градусов, чем температура насыщения, что соотносится с давлением в секции, образующей пар, куда попадает вода.

Более подробно уделим внимание испарителям мгновенного вскипания.

Основная часть

Испаритель мгновенного вскипания подогревает питательную воду в системе регенерации, а также служит для производства воды без солей высокого качества (содержание Na^+ меньше 20 мкг/дм³).

ИМВ является одноступенчатым, либо многоступенчатым аппаратом. Даже независимо от большого количества ступеней, устройство относительно малых размеров, например, ИМВ 50-16 имеет габариты 7х6,8х5.

Многоступенчатость определяет повышенную экономичность ИМВ: на 1 тонну производимой обессоленной воды нужно 0,1-0,125 тонны пара на подогрев. Испарители работают в диапазоне температур 40-100°C, поэтому для их функционирования хватает пара давлением 0,12 МПа. Относительно маленький расход греющего пара и невысокие параметры дают возможность использовать испаритель без потери на тепло. Так в нижние ступени испарителя пускают первоначальную воду для повышения ее температуры, чтобы впоследствии она прошла очистку. В таком варианте в цикл ТЭЦ вернётся все то тепло, что выделилось с помощью греющего пара.

Испарители мгновенного вскипания в своей работе чаще всего используют «сырую» воду с затравкой или воду, которая обрабатывается способом подкисления. Применяя облегчённый метод обессоливания воды на питание, загрязнение накипью в объемах нагрева не происходит при температурах воды примерно 120 °С, т. е. в случае не превышения давления в первоначальной ступени 0,2 Мпа.

В ИМВ объем генерируемого вторичного пара и дистиллята не обуславливается количеством ступеней и определяется по большей части от расхода циркуляционной воды G_B и перепада температур $\Delta t_{уст}$ (разница между температурой t_0 и температурой насыщения в последней камере установки $t'_ж$). При одних и тех же G_B и $\Delta t_{уст}$ производительности вне зависимости от количества ступеней останутся идентичными, но расходы теплоты при этом сильно разнятся.

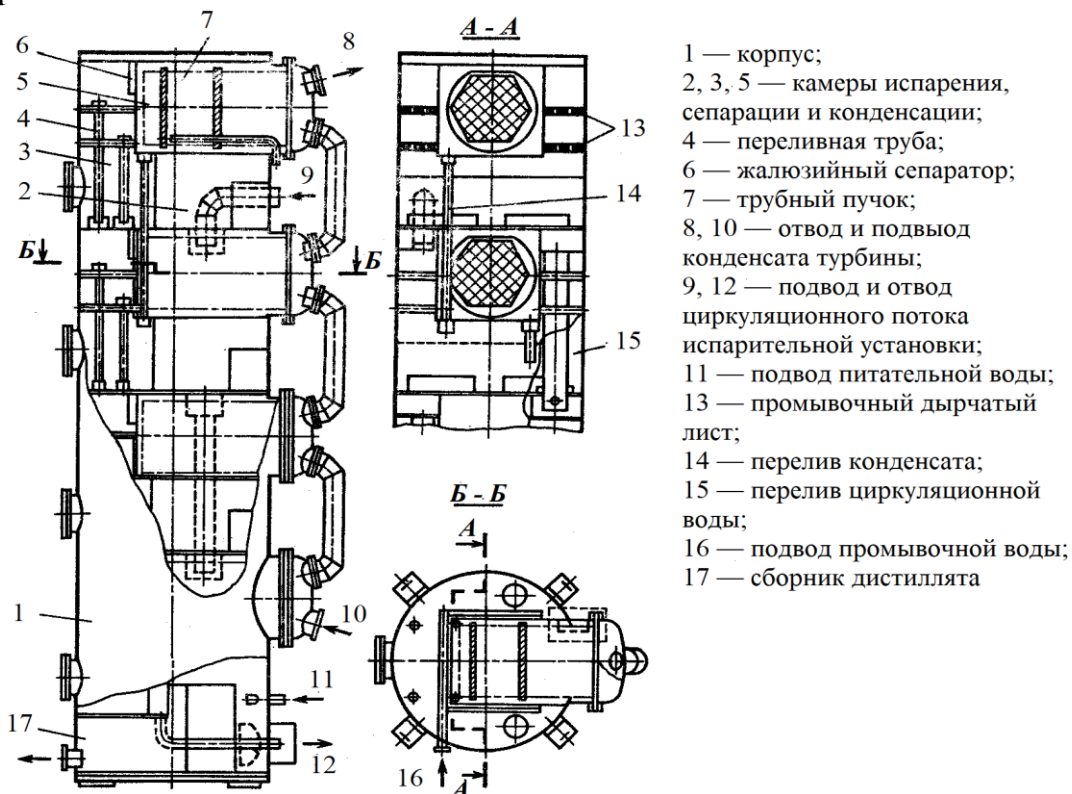


Рисунок 1 – Испаритель мгновенного вскипания

Основной принцип работ ИМВ заключается в постоянной выработке пара при повторяющихся адиабатных вскипаниях воды, происходящих в ступенях аппарата, при условии вакуума и свободного объёма.

На рисунке 1 представлен ИМВ с 4-мя ступенями испарения, которые помещены в общий корпус 1. Ступени в корпусе разделяются перегородками на 4 секции. В каждой секции находятся камеры, где происходит вскипание и испарение некоторого количества циркулирующего потока, отделение капель воды от пара и конденсация. Такой испаритель установлен в системе регенеративного подогрева конденсата турбины, и теплота конденсации отводится основным потоком конденсата. Циркуляционный поток направляется в первую камеру испарителя 2, что является первой ступенью испарения, там часть потока испаряется, а оставшая часть по переливному устройству 15 спускается в секции ниже. Из самой последней секции, которая является четвертой ступенью испарения, вода высасывается циркуляционным насосом. Образовавшийся пар во всех камерах 2 переходит в камеры 3, там он сначала проходит сепарацию от более крупных капель в свободном паровом объеме, после пар конденсатом промывается паропромывочными дырчатыми листами 13. Влага в виде капель захватывается паром со второго паропромывочного листа, и в каждой из ступеней пар отделяется в вертикальных жалюзийных сепараторах 6, что установлены на входе в камеры конденсации 5. В этих секциях 5 пар конденсируется на внешних поверхностях трубных пучков 7 и передает теплоту конденсации проходящему по трубам конденсату турбинной установки. Образовавшийся дистиллят дальше течет по переливам 14 из одной секции в другую и накапливается в сборнике дистиллята 17, после чего благодаря насосу попадает в деаэратор турбины или ёмкость с чистым дистиллятом. Основной конденсат турбины потоком перетекает в камеры конденсации 5 четвертой ступени испарения и, после прохождения всех камер снизу вверх, конденсат отводится из камеры 5 первой ступени. Все остальные газы (неконденсирующиеся) отсасываются из конденсационных камер эжекторной установкой. Продувается испаритель через нижнюю испарительную камеру.

Заключение

Можно выделить следующие качества ИМВ:

- экологичность – выброс запасов солей в 2-2,5 раза меньше в сравнении с методом химического обессоливания воды;
- экономия на тепле – конструкция и технология ИМВ позволяет обратно вернуть в цикл все количество тепла, что потребляется испарителем;
- высокое качество дистиллята (такого качества обработанная вода спокойно обеспечивает работу и питание котлов до 14,0 МПа);
- компактность (малые габариты оборудования среди всех остальных установок термического метода подготовки воды);
- минимальные требования к подаваемой воде (возможность работать на осветленной воде, не чувствителен к аварийным ухудшениям состава исходной воды);

- простота управления (все процессы в ТОО полностью автоматизированы, персонал удалённо контролирует технологические параметры и процессы);
- надёжность (данные установки работают более 15 лет в постоянном режиме производительности).

Литература

1. Испаритель мгновенного вскипания – ЗАО ИКС А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iksa.ru/catalog/imv/>. – Дата доступа: 16.03.2022.
2. Испарители мгновенного вскипания: состояние и перспективы применения – ЗАО ИКС А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispariteli-mgnovennogo-vskipaniya-sostoyanie-i-perspektivy-primeneniya>. – Дата доступа: 16.03.2022.
3. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС: учебник для вузов / Л.С. Стерман. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

УДК 621.165

**ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
PROBLEMS ARISING DURING THE OPERATION OF GAS TURBINE
INSTALLATIONS**

М.В. Колчин, Д.А. Степанов, А.А. Кожух
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
nvpanteley@tut.by

M. Kolchyn, D. Stepanov, A. Kozhukh
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье представлены наиболее частые проблемы, возникающие при эксплуатации газотурбинных установок и возможные пути минимизации рисков серьёзных поломок.*

***Abstract:** article presents the most frequent problems that arise during the operation of gas turbine installations and possible ways to minimize the risks of serious breakdowns.*

***Ключевые слова:** коррозия, проблемы, газотурбинные установки, поломки.*

***Keywords:** corrosion, problems, gas turbine installations, breakdowns.*

Введение

ГТУ – это энергетическая установка, предназначенная для выработки электроэнергии и подогрева воды. Непосредственно сама ГТУ состоит из следующих частей: сама газовая турбина, электрогенератор, система управления, котел-утилизатор.

Основная часть

На сегодняшний день большое количество газотурбинных агрегатов используются в качестве энергоустановок различной специализации. Однако наибольшее их количество задействовано в виде газоперекачивающих агрегатов на магистральных газопроводах. Тем не менее, не стоит забывать о части ГТУ используемых в качестве двигателей для самолетов, судов и некоторых автомобилей. Несмотря на различия в секторах, где используются ГТУ, перед любыми производителями установок стоят практически одинаковые задачи при проектировании, это экономичность, экологичность, мощность, надежность и долговечность. На последних двух мы остановимся поподробнее. Несмотря на огромные достижения, в области исследования технической части турбинных установок, к моменту настоящего времени остаются нерешенными множество проблем, связанных с естественным износом газотурбинного и турбинного оборудования, и возникающими при нормируемой эксплуатации. К таким проблемам относят естественный перегрев сопловых лопаток в ГТУ. Лопаточные части ГТУ представляют собой важнейшую часть газовой турбины, в зависимости от задач,

конструктивных особенностей установки, вида топлива с различным уровнем примесей, как эксплуатационные условия работы установки, так и срок службы будут разительно меняться. На сегодняшний день в странах СНГ, Европы, США, накоплена достаточная база опыта, позволяющая повысить долговечность и надёжность ГТУ.

Сопловые лопатки в отличие от рабочих, температура которых определяется средней температурой газа, имеют среднюю температуру от 720 до 1200°C, что, несмотря на начальные параметры, в любом случае на 100-150°C выше, чем температура рабочих лопаток. Так же сопловые лопатки испытывают большие температурные и растягивающие напряжения, в том числе из-за большей площади сечения. Из-за перегрева на сопловых лопатках ГТУ возникают трещины, а в некоторых случаях, разрушение кромки, осколки которой могут попасть в проточную часть турбины.



Рисунок 1 – Фрагмент рабочих лопаток

Ещё одной проблемой, возникающей при эксплуатации ГТУ, является коррозия. В ГТУ наблюдается несколько видов коррозии. Наиболее часто встречаются газовая и горячая коррозии.

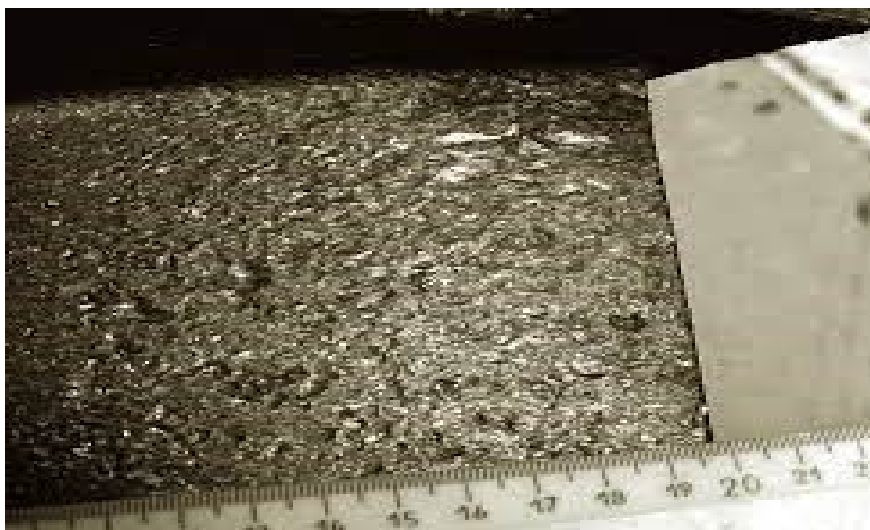


Рисунок 2 – Коррозия материала рабочих лопаток

Газовая коррозия возникает при контактировании металла с так называемым, химически активным газом. При их контакте образуется специфическая пленка на поверхности металла. Образовавшаяся плёнка состоит из продуктов коррозии, которые, в свою очередь, интенсивно увеличиваются в объёмах при высоких температурах, что препятствует пятну контакта корродируемого металла с газом. Как результат газовой коррозии возможно появление значительных повреждений поверхности пера лопатки газовой турбины: образование наростов и язв в результате локального повреждения возникшей оксидной пленки, а также изменение профиля лопаток, «разъедание» их краев.

Горячая коррозия – это разновидность газовой коррозии, особый вид коррозии металлов, характеризующийся наличием на поверхности сплава слоя осадка: соли или шлака. Возникновение этого слоя вызывает масштабные изменения характера взаимодействия сплава с окружающей средой. Наиболее часто подобный вид коррозии встречается в промышленных и морских газовых турбинах. Во многом уровень интенсивности коррозии зависит от степени загрязнения используемого топлива. К тому же, как и скорость, так и механизм разрушения материалов во многом зависят от состава сплава, газовой среды, температуры и других факторов, усложняющих изучение этого процесса. Один и тот же сплав может вести себя по-разному при изменении условий горячей коррозии.

Существует два типа горячей коррозии, базирующейся на понятии диапазона температур: высокотемпературная и низкотемпературная горячая коррозия. Высокотемпературная горячая коррозия представляет собой невероятно быструю форму окисления, протекающую при температуре свыше 800°C в присутствии сульфата натрия (Na_2SO_4), образующегося при сгорании топлива, а низкотемпературная горячая коррозия происходит примерно в диапазоне температур $600\text{-}700^{\circ}\text{C}$ и возникает при наличии SO_3 в газовой фазе. К сожалению, на сегодняшний день не существует сплавов, абсолютно нечувствительных к горячей коррозии, но разработки и исследования по этой теме, разумеется, ведутся. Резюмируя вышеперечисленные проблемы, будь то перегрев или же газовая или горячая коррозии, главнейшими проблемами являются утоньшение рабочей части деталей, трещины и сколы. Борьба с подобными проблемами помогают следующие технологии: материалы с высоким пределом выносливости или любая другая упрочняющая обработка, позволяющая повысить необходимый порог виброустойчивости. Также так называемый, импульсный материал может снизить уровень вибрационного напряжения. К таким материалам относятся хром и высокопрочные стали.

К тому же у любого материала лопаток, помимо коррозии, существует недостаток, связанный с работоспособностью, а именно выкрашивание (побежалость) материала с поверхности пера из-за неравномерности старения при рабочих температурах и от термической усталости. Данные недостатки неизбежно приводят к образованию трещин на лопатках.



Рисунок 3 – Побежалость материала лопаток

Подобные проблемы можно минимизировать благодаря использованию специальных материалов и сплавов. Материалы, применяемые на сегодняшний день для деталей ГТУ, подразделены на несколько классов: перлитные, хромистые ферритные, ферритно-мартенситные, мартенситные и аустенитно-мартенситные, аустенитные стали, титановые сплавы, сплавы на никелевой и кобальтовой основе. И так называемые, «Ферритные стали», являющиеся жаропрочными. Химический состав жаропрочных сталей существенным образом влияет на их физические свойства и напряженность. При изготовлении рабочих лопаток наиболее распространены такие материалы и сплавы как ЭИ893Л, ЦНК-7, МИ-3У, ЧС-104, IN738 LC.

Перечисленные ранее проблемы, так или иначе, неизбежно будут возникать при эксплуатации установок. Поэтому главной задачей производства, будет являться минимизация последствий возникающих поломок.

Литература

1. Gardzilewicz A, Marcinkowski S, 1995 Diagnosis of LP Steam Turbine prospects of Measuring Technique, PWR Vol. 28 1995, Joint Power Generation Vol. 3 ASME 1995. – P. 349–358.
2. Материалы и прочность деталей газотурбинных установок / М.К. Гесов [и др.], 2004. – 591 с.
3. Gardzilewicz A, Marcinkowski S, Sobera H. and Józefowicz Z 1994 Experimental Experience of Patent No. 160-805 Application in 200 MW Turbines, Energetyka (No. 3). – P. 73–78 (in Polish).

УДК 621.165

**ПРОГРЕВ ПАРПОДВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ
ПУСКЕ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ СОСТОЯНИЙ
HEATING THE STEAM SUPPLY SYSTEM OF THE TURBINE AT
STARTING FROM VARIOUS THERMAL STATES**

В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова, Е.А. Савенко
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

V. Bayankova, A. Belozeroва, E. Savenko
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** приведены результаты расчетного исследования прогрева пароподводящей системы турбоагрегата типа К-300-240. При этом рассматриваются пуски из различных тепловых состояний. Описываются особенности теплообмена в паропроводах. Оцениваются изменение температуры и напряжений. Указаны условия предстартовой готовности пароподводящей системы к пуску.*

***Abstract:** the results of a computational study of the heating of the steam supply system of a K-300-240 turbine unit are presented. Launches from various thermal states are considered. The features of heat transfer in steam pipelines are described. Changes in temperature and stresses are estimated. Conditions for the pre-launch readiness of the steam supply system for launch are indicated.*

***Ключевые слова:** паропроводы, пуск, прогрев, теплообмен, температура, напряжения, надежность.*

***Key words:** steam pipelines, start-up, warm-up, heat transfer, temperature, mechanical stresses, reliability.*

Введение

Прогрев главных паропроводов играет существенную роль в реализации пуска современных мощных паротурбинных агрегатов, особенно при частых пусках блоков сверхкритического давления (СКД), где, как известно, после остановок трубопроводы и клапаны остывают значительно быстрее корпусов и ротора. Поэтому изучение процессов прогрева пароподводящих трубопроводов и парораспределительных органов свежего пара и оперативное использование полученных результатов на практике является актуальной задачей. Ее успешное решение позволяет правильно организовать предтолчковый период пуска агрегата и выявить резервы сокращения общего времени пуска.

Основная часть

Рассмотрим результаты расчетного исследования прогрева пароподводящей системы турбоагрегата типа К-300-240, проведенного в [1], где для анализа были использованы методы, модели и программы

исследования нестационарного двухфазного и однофазного теплообмена в трубопроводах паровых турбин.

В [1] исследованы режимы прогрева трубопроводов свежего пара (на всем участке котел–турбина) турбоагрегата К-300-240 от толчка турбины до набора нагрузки $Nэ = 50$ МВт из холодного (общее время $\tau = 3$ ч, начальная температура паровпуска цилиндра высокого давления (ЦВД) не более 350°C) и горячего (общее время $\tau = 40$ мин, начальная температура паровпуска ЦВД не менее 350°C) состояния.

Трубопроводы свежего пара (четыре нитки от котла до блока парораспределения) имеют внутренний диаметр 245 мм, толщину стенки 45 мм, длину одной нитки 77 м; перепускные трубы (десять ниток от блока парораспределения до турбины) – внутренний диаметр 194 мм, толщину стенки 36 мм, длину 16 м. При определении расчетных длин трубопроводов от блока парораспределения до турбины учитывались массы стопорного и регулирующего клапанов; в результате эта длина получилась равной 33 м. Материал трубопроводов и клапанов – сталь 15Х1М1Ф.

При выборе расчетной начальной температуры трубопроводов в [1] исходили из экспериментальных данных, полученных ОРГРЭС и ХТГЗ при испытаниях турбин типа К-300-240 на различных ГРЭС. Рассмотрены сочетания начальных температур ($^{\circ}\text{C}$) трубопроводов и паровпуска ЦВД, представленные в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Сочетания начальных температур ($^{\circ}\text{C}$) трубопроводов и паровпуска ЦВД

| Элемент | Варианты пуска | | | | | |
|----------------------------|------------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|
| | Из холодного состояния | | | Из горячего состояния | | |
| | I | II | III | I | II | III |
| Трубопроводы от котла до | 150 | 200 | 250 | 150 | 200 | 250 |
| Трубопроводы от до турбины | 100 | 150 | 200 | 100 | 150 | 200 |
| Паровпуск ЦВД | 100 | 100 | 100 | 350 | 350 | 350 |

Для всех вариантов пуска расход пара через байпасную систему (от котла до блока парораспределения) принимался равным 30% номинального. Расход пара через турбину при работе ее с нагрузкой оценивался по формуле

$$G = G_{\text{ном}} N/N_{\text{ном}},$$

а от толчка до холостого хода (ХХ) – соотношением

$$G = G_0 (n/n_0)^3,$$

где $G_{\text{ном}}$, $N_{\text{ном}}$ – номинальные расход пара и мощность;

G_0 – расход пара на ХХ ($G_0 = 0,05 G_{\text{ном}}$);

n_0 – число оборотов ХХ ($n_0 = 3000$ об/мин);

n – число оборотов на развороте.

Давление и температура пара за котлом определялись согласно графикам пуска из различных тепловых состояний, давление пара за блоком парораспределения – по формулам переменного режима [2], температура пара перед блоком парораспределения и перед турбиной – расчетом по специально разработанной программе [1].

Анализ результатов исследований [1] показывает следующее.

В первые моменты пуска на стенках трубопроводов происходит конденсация пара (особенно интенсивно в I вариантах пуска, см. таблицу 1). При этом величины коэффициента теплоотдачи от стенки к пленке α_n , существенно изменяясь на начальном участке трубопроводов (свежего пара и перепускных), на всей остальной длине их находятся на уровне 7000–10 000 Вт/м²·°С.

По мере прогрева стенок трубопроводов количество конденсата уменьшается. Время окончания конденсации зависит от начальной температуры металла, скорости течения и температуры пара; в рассмотренных вариантах на участке трубопровода от котла до блока парораспределения оно наступает через 5–12 мин после начала прогрева [1].

В большинстве исследованных режимов прогрева начальная температура перепускных труб выше температуры насыщения, протекающего через них пара (из-за дросселирования в блоке парораспределения); поэтому здесь в основном происходит однофазный теплообмен.

При прогреве перепускных труб с начальной температурой металла 100°С на первых этапах идет интенсивная конденсация пара. Поскольку его давление непрерывно увеличивается, происходит опережающий рост температуры насыщения пара по сравнению с ростом температуры стенки. Окончание конденсации наблюдается приблизительно через 30 мин после начала прогрева.

Температура пара, поступающего к турбине, существенно изменяется во времени в результате отдачи тепла пароподводящей системе. В начальные моменты прогрева из-за малой скорости пара (из-за малого расхода) эта температура приблизительно равна начальной температуре перепускных труб (или температуре насыщения при давлении пара перед турбиной). В конце прогрева по графику пуска из холодного состояния она увеличивается до 358–360°С за 3 ч при температуре пара за котлом 385°С; при прогреве по графику пуска из горячего состояния – до 445–450°С при температуре пара за котлом 500°С.

Понижение температуры пара (вследствие отдачи тепла трубопроводам и парораспределительным органам), поступающего к турбине, при пуске из холодного состояния не приводит к «захолаживанию» паровпуска ЦВД, поскольку при начальной температуре паровпуска ЦВД не более 100°С температура трубопровода доведена до уровня не менее 100°С предварительным прогревом.

Максимальные температурные напряжения в режиме пуска из холодного состояния на участке трубопроводов котел – блок парораспределения достигают 240 МПа ($\tau = 0,25$ мин, вариант I), то есть не превышают предел текучести материала трубопроводов сталь 15X1M1Ф ($\sigma_{0,2} = 350$ МПа).

При дальнейшем прогреве температурные напряжения резко уменьшаются: например, уже при $\tau = 5$ мин $\sigma = 20$ МПа. Еще ниже уровень напряжений во II и III вариантах прогрева. Напряжения в перепускных трубах во всех случаях незначительны. Таким образом, прочность паропроводов при рассмотренных пусках из холодного состояния не вызывает опасений.

В режиме пуска из горячего состояния наибольшая разность (235°С) между начальной температурой паровпуска ЦВД и температурой пара,

поступающего к турбине, наблюдается в начальный момент пуска ($\tau = 0-5$ мин) при начальной температуре металла трубопроводов свежего пара и перепускных труб, равной соответственно 150 и 100°C (см. таблицу 1). При других сочетаниях температур эта разность снижается соответственно до 200 и 150°C.

В этих режимах наиболее термонапряженным местом является начальный участок трубопровода свежего пара возле котла. При начальной температуре этого участка 150°C (вариант I) максимальные условные упругие термические напряжения σ здесь достигают ($\tau = 0,5$ мин) 490 МПа; при II варианте прогрева $\sigma = 430$ МПа; при III варианте $\sigma = 364$ МПа. Со временем эти напряжения уменьшаются, достигая, например, через $\tau = 10$ мин значения $\sigma = 50$ МПа.

Также можно отметить следующее [1].

Процесс конденсации на участке трубопроводов от котла до блока парораспределения занимает значительное время начального периода пуска (до 30 мин). Для уменьшения этого времени и снижения влияния воздействия конденсации пара на работу деталей турбины представляется целесообразным:

- трубопроводы свежего пара и перепускные трубы (предварительно, до толчка) прогревать до максимально возможной температуры, близкой к температуре насыщения пара, поступающего из котла в начальные моменты толчка;

- прогрев трубопроводов начинать при минимальном давлении, обеспечиваемом котлом, с постепенным повышением этого давления во времени;

- вести прогрев трубопроводов, начиная с начальных моментов процесса при максимально возможных расходах пара.

Заключение

Надежность работы трубопроводов в рассмотренных режимах пуска из холодного состояния не вызывает опасений, так как возникающие в них термические напряжения существенно меньше предела текучести материала. Минимальная температура пара, поступающего к турбине, близка к температуре паровпуска ЦВД (из-за предварительного прогрева трубопроводов). Для снижения напряжений в трубопроводах целесообразно перед толчком ротора обеспечить максимально возможное по технологическому процессу повышение температуры трубопроводов свежего пара и перепускных труб. Более полно вопросы предстартовой готовности пароподводящей системы к пуску могут быть решены наложением на трубопроводы и клапаны высококачественной изоляции, позволяющей удерживать их температуру на должном уровне после остановок различной продолжительности, а также применением различных систем обогрева.

Литература

1. Задачи теплового состояния базовых и маневренных турбоагрегатов / Д.А. Переверзев. – Киев: Наук. думка, 1980. – 216 с.
2. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.

УДК 621.311

**СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ
НАСОСОВ
HEAT SUPPLY SYSTEMS USING HEAT PUMPS**

К.А. Мельник

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

leo07@tut.by

K. Melnik

Supervisor –L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрены основные типы тепловых насосов, которые используются в быту и промышленности.*

***Abstract:** the article discusses the main types of heat pumps that are used in everyday life and industry.*

***Ключевые слова:** тепловые насосы, парокомпрессионная установка, хладагент.*

***Keywords:** heat pumps, steam-compression installation, coolant.*

Введение

В наше время большую популярность обрели теплонасосные системы теплоснабжения. Данные системы в отличии, от традиционных систем теплоснабжения, являются объединением более экономного и экологически чистого способа производства тепла, путем использования энергии биосферы.

Основная часть

Тепловой насос представляет из себя парокомпрессионную установку, в которой происходит передача тепла от низкопотенциального источника к рабочему телу. Низкопотенциальный источник теплоты – это среда с невысокой температурой, данной средой обычно является воздух, грунт, подземные воды или водоем. В качестве рабочего тела используют хладагент, который имеет низкую температуру кипения, и способен испаряться при температуре 7-12 °С. Хладагент парокомпрессионной установки поступает в испаритель под низким давлением, и получает теплоту от внешнего источника, в следствии чего испаряется и после чего поступает в компрессор. В компрессоре происходит сжатие хладагента с резким повышением его температуры. Далее сжатый и разогретый до высоких температур хладагент поступает в конденсатор. В конденсаторе хладагент охлаждается и передает тепловую энергию воздуху, который используется для отопления потребителя. Передавая теплоту хладагент переходит обратно в жидкое состояние и после поступает в дросселирующее устройство, в котором понижается давление хладагента до начального.

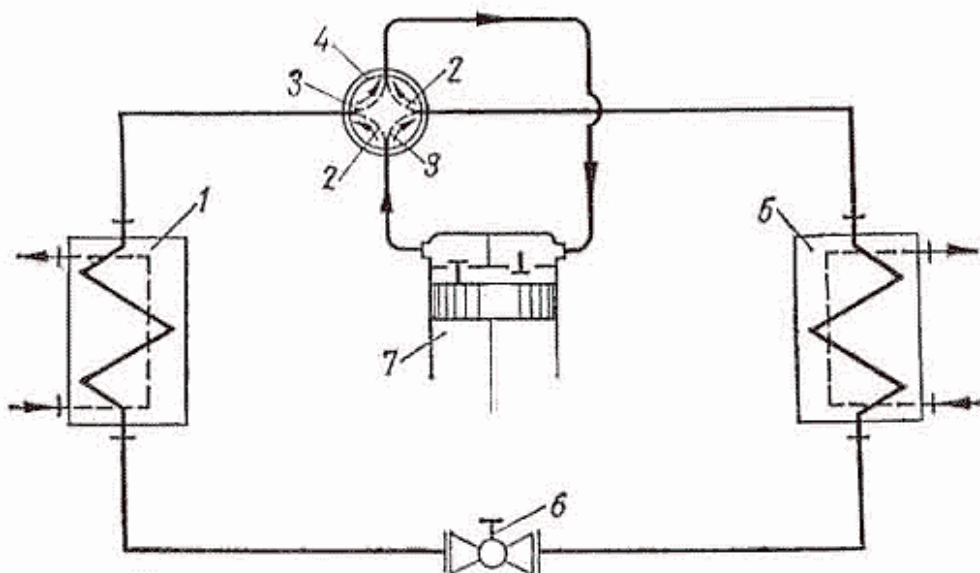


Рисунок 1 – Схема работы теплового насоса:

1 - наружный теплообменник; 2 - направление движения хладагента при охлаждении помещения; 3 - направление движения хладагента при отоплении помещения; 4 - четырехходовой кран-переключатель; 5 - внутренний теплообменник; 6 – регулирующий вентиль; 7 – компрессор

Тепловые насосы по классификации делят на две категории:

- тепловые насосы, используемые исключительно для отопления помещений;
- тепловые насосы, используемые исключительно для отопления помещений;
- совмещенные системы на основе тепловых насосов, которые обеспечивают отопление помещений, кондиционирование и горячее водоснабжение, подогрев воды осуществляется либо отборами тепла хладагента с компрессора или комбинированным отбором тепла хладагента и регенерированного тепла конденсатора.

Почти все тепловые насосы используют тепло выпускаемого из помещения воздуха, также зачастую увлажняют и фильтруют всасываемый воздух. Выбор источника тепловой энергии очень тесно связан с климатическими условиями местности, в которой данный тепловой насос требуется установить.

Самым популярным типом теплового насоса является насос с источником отбора тепла из атмосферного воздуха. В общем случае данный тип известен как кондиционер. Данные системы тепловых насосов используют зимой вплоть до температуры до -25°C , но эффективность такого типа мала, поэтому используют комбинированные дополнительные системы отопления.

Более эффективным является отбор тепла от горной породы. В горной породе бурят несколько скважин по 60-100 метров, в данные скважины опускается U-образный груз с двумя трубками, который в совокупности образует контур. В пластиковую трубку закачивают хладагент (зачастую это 30% раствор этилового спирта). Саму скважину заполняют водой для лучшего

теплообмена. Данный тип тепловых насосов получил большую популярность в странах Скандинавии.

Самыми эффективными, но в тоже время и самыми дорогими являются тепловые насосы, которые отбирают теплоту от грунта. Трубопровод с хладагентом закапывают на 30-50 см ниже уровня промерзания грунта, тем самым повышается эффективность установки, из-за постоянной температуры грунта на определенной глубине (0,7-1,2 метра). Минусом данного типа являются обширные земляные работы и большая площадь, для оборудования трубопровода (для теплового насоса производительностью около 10 кВт необходим контур около 400 м²).

Еще одним типом тепловых насосов является установки с отбором тепла от водоема. Данные установки зачастую используют в промышленности из-за простоты установки, и обязательного наличия на производстве пожарного водоема. Трубопровод теплового насоса устанавливают на глубине не ниже 2 метров. Коэффициент преобразования энергии данного типа тепловых насосов, примерно одинаковый, как и при отборе тепла от грунта.

Достоинством тепловых насосов является в первую очередь экономичность. Тепловой насос использует тепловую энергию возобновляемых источников энергии намного эффективнее котлов и парогенераторов, которые используют для выработки теплоты органическое топливо. Основной единицей измерения эффективности тепловых насосов – это коэффициент преобразования тепла. Данный коэффициент равен отношению получаемого тепла к затрачиваемой энергии, и так как тепловой насос работает практически автономно, и тратит энергию только на работу компрессора, то данный коэффициент примерно 3,5–6.

Также к плюсам можно отнести, что тепловые насосы можно использовать повсеместно, ведь источник тепла можно найти в любой точке мира. Экологичность – это одно из преимуществ тепловых насосов. Так как тепловой насос не производит никаких выбросов вредных газов в атмосферу, что улучшает экологическую составляющую региона, в котором используется установка.

Так же преимуществом тепловых насосов является их универсальность и способность работать в обратном цикле, правда, не во всех моделях. Если говорить по-простому, то рассматриваемый насос, предназначенный для теплоснабжения, может использоваться в качестве кондиционера.

Но все же главным преимуществом тепловых насосов считается их безопасность. Данные агрегаты на 99% процентов пожаробезопасны. Такой высокий уровень пожаробезопасности обеспечивается за счет того, что в рассматриваемых установках не используют топливо, которое необходимо сжигать. Так же, в сравнении с температурой сжигания органического топлива, работают достаточно низкие температуры. Одним из факторов безопасности является специальный хладагент. Он практически не имеет вреда для человека, что также делает эту установку еще более безопасной в

использовании, в сравнении с котлоустановкой, в которой при нарушении целостности происходит задымление помещений.

Заключение

В результате проделанной работы можем сделать вывод, что одним из решений проблемы теплоснабжения является применение тепловых насосов разной мощности. Они позволяют достигать максимальной эффективности в зависимости от климатических условий и сезона года.

Применение тепловых насосов разной мощности является принципиально новым решением проблемы теплоснабжения, и позволяет в зависимости от сезона года и климатических условий достигать максимальной эффективности. С высоким ростом цен на электроэнергию и увеличивающимся из года в год загрязнением окружающей среды, при сжигании органического топлива, использование тепловых насосов является актуальным решением проблемы теплоснабжения. Тепловые насосы имеют достаточно большой срок службы (10-15 лет) и работают полностью в автономном режиме. Техническое обслуживание производится только перед каждым сезонным включением и периодическом контроле режима работы. Что делает использование тепловых насосов более экологичным, эффективным и экономичным способом теплоснабжения.

Литература

1. Тепловые насосы / В.С. Мартыновский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 192 с.
2. Принципиальная схема тепловых насосов [Электронный ресурс] / Принципиальная схема тепловых насосов. – Режим доступа: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_9_2005_Heat_pump.htm. – Дата доступа: 11.04.2022.
3. Тепловые насосы, их технико-экономические возможности и области применения / А.М. Каплан – Работы ЦКТИ. Кн. 4, вып. 1. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947. – 195 с.

УДК 621.311

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ТЭС
MODERN WAYS OF WATER PURIFICATION AT TPP

Д.О. Маер, К.А. Мельник, А.В. Керницкий

Научные руководители – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель,

В.А. Романко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pronkevichAV@mail.ru, vivja@mail.ru

D. Maer, K. Melnik, A. Kernitsky

Supervisors – E. Pronkevich, Senior Lecturer, V. Romanko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрены современные способы очистки воды на ТЭС, которые включают в себя множество этапов обработки. Основные цели водоподготовки - защита оборудования от коррозии, образования накипи, отложений солей.*

***Abstract:** the article discusses modern methods of water purification at thermal power plants, which include many processing steps. The main goals of water treatment are to protect equipment from corrosion, scale formation, and salt deposits.*

***Ключевые слова:** водоподготовка, очистка, фильтр, реагенты, примеси.*

***Keywords:** water treatment, cleaning, filter, reagents, impurities.*

Введение

Водоподготовка является обязательным процессом в промышленном производстве. Для надежной и долговременной работы нужна обязательно очищенная вода. Сырая и жесткая вода не подойдет по параметрам, к тому же первоначальный источник воды содержит микроорганизмы и соединения примесей. Поэтому перед применением обязательно проводят очистку воды.

Одной из главных проблем ТЭС является образование твердых осадков, накипи, которые выпадают в процессе нагревания воды. Образование накипи значительно снижает теплопроводность, даже тонкий слой накипи на поверхности нагрева приводит к увеличенному расходу топлива.

Еще одной проблемой использования такого теплоносителя, как вода, является коррозия. Главная причина возникновения коррозии является наличие кислорода в воде. Также при наличии в воде солей, особенно сульфатов и хлоридов, увеличивается вероятность образования на поверхности трубопровода коррозии. В любой неочищенной воде находятся бактерии, которые влияют на качество используемой воды и образуют различные виды коррозии.

Основная часть

Для решения проблем очистки воды устанавливают водоподготовительные установки. Весь процесс разделен на этапы, в каждом из которых происходит очистка от определенных примесей и загрязнений. Все происходит в определенном порядке, причем каждому этапу соответствует

свой более удобный и экономически выгодный метод очистки. Главная цель водоподготовительных установок - чистая, мягкая вода без солей на выходе. Рассмотрим несколько методов очистки.

Вода на ТЭС поступает из разных источников, и зачастую содержит много механических загрязнений (песок, глина, мелкие камушки). Содержание таких загрязнений в технической воде недопустимо. Устройства механической очистки воды устанавливают в самом начале процесса водоподготовки. Они представляют собой систему фильтров с постепенно уменьшающейся сеткой, которые постепенно отфильтровывают крупные частицы механических загрязнений. Данные фильтры хорошо справляются с очищением технической воды от частиц ржавчины, песка и других механических загрязнений. Такие фильтры имеют простую конструкцию и отличаются значительной дешевизной, по сравнению с последующими стадиями очистки.

Большинство источников воды на ТЭС содержат соли железа. Взаимодействуя с другими органическими элементами образуются нерастворимые соединения, что приводит воду в непригодность для использования на производстве. Также железо может попасть в воду через магистральный трубопровод, подверженный коррозии. Для очищения воды от окисленного и растворенного железа устанавливают специальные фильтры. Есть несколько методов обезжелезивания воды:

- безреагентное обезжелезивание с применением напорной аэрации;
- безреагентное обезжелезивание с применением безнапорной аэрации;
- реагентное обезжелезивание.

Метод напорной аэрации заключается в принудительной подаче воздуха под высоким давлением с помощью компрессора. Воздух подается в воду, вблизи с колонной или аэрационной трубой, где происходит окисление железа и отвод лишнего количества воздуха. Далее поток технической воды поступает на колонну с фильтром, где оседает окисленное железо и затем удаляется.

Суть метода безнапорной аэрации такая же, с отличием в том, что воздух не подается с помощью компрессора, а с помощью эжектора или душирующего устройства. В эжекторной системе происходит засасывание воздуха через поток воды и его перемешивание, после чего окисленное железо задерживается в фильтре, а затем, при промывке фильтра, сбрасывается в канализацию. Во втором способе вода подается в открытый резервуар через душирующее устройство, которое разбрызгивает воду, увеличивая площадь контакта частиц воды и кислорода. Затем вода из резервуара подается насосом на фильтр, где окисленное железо задерживается, а при обратной промывке фильтра сбрасывается в канализацию.

Метод реагентного обезжелезивания применяют при низком показателе рН и высоких показателях примесей железа, марганца, сероводорода и др. В трубопровод подачи воды дозируют окислитель, зачастую это гипохлорит натрия. Далее, как и в безреагентных методах, окисленное железо осаждается на фильтрах установок очистки воды.

Сорбционные установки удаляют из воды различные органические примеси, взвешенные вещества, а также избавляют от разных запахов, вкуса и цвета. Данные установки представляют собой угольный фильтр, в который поступает вода и равномерно распространяется на его поверхности, затем проходит через угольный слой, очищаясь от загрязнений, которые задерживаются в фильтре. В процессе работы сорбционной установки, несколько раз в неделю производят рыхление и обратную промывку фильтрующей смеси, для предотвращения слеживания и удаления органических загрязнений.

В следующем этапе очистки используют фильтр для умягчения воды, который представляет собой установку, позволяющую очистить воду от солей магния и кальция. В качестве способа умягчения воды могут быть использованы разные методы: ионозамещение, реагентный способ и магнитное очищение.

Наиболее удобный способ – ионозамещение. Процесс очистки предполагает под собой прохождение воды через слой ионообменной смолы, которая при взаимодействии с водой распадается, и соли жесткости прилипают к ней, тем самым очищая воду от минералов кальция и магния. Со временем смола забивается разного рода примесями и для дальнейшей работы ее промывают солевым раствором.

Реагентный способ представляет собой добавление химикатов в поток воды, после чего происходит реакция, и соли жесткости выпадают в осадок. Данный метод является одним из быстрых способов смягчить воду, но не самым безопасным, так как количество реагентов надо строго дозировать, иначе в воде могут появиться вредные элементы, способные испортить оборудование и вызвать коррозию.

Электромагнитное очищение представляет собой систему на основе магнита. При помощи магнитного поля соли жесткости меняют свою прежнюю форму и вытягиваются. Данный метод отличается своей неприхотливостью и простотой в эксплуатации. Наиболее эффективно работает в замкнутых цепях. Для нормальной работы магнита необходим постоянный поток воды, с постоянной скоростью. Так же вода должна быть определенной температуры, слишком горячую или холодную воду магнит не умягчит.

Для обессоливания воды, кроме реагентного способа могут использовать установки обратного осмоса. Принцип работы данной установки заключается в использовании полупрозрачной мембраны, размеры пор которой составляют до 0.0001 микрона. Данная мембрана устанавливается в емкости, разделяя два раствора с разной концентрацией солей, мембрана способна пропускать только молекулы воды и растворенные в ней газы, а молекулы соли остаются на ней. В промышленных установках обратного осмоса исходная вода подается под давлением через мембрану, тем самым возрастает производительность установки. Эффективность обратного осмоса падает при забитии пор мембраны, которую нужно своевременно регенерировать и заменять.

Обеззараживание технической воды проводят с целью избавления воды от бактерий, вирусов и неприятных запахов. Есть два основных способа обеззараживания воды, при помощи хлорирования или ультрафиолетом.

Хлорирование подразумевает использование таких реагентов, как хлор или озон. В настоящее время большую популярность получил метод дезинфекции технической воды путем ее хлорирования. Для этого метода используют жидкий или газообразный хлор, в некоторых случаях прибегают к использованию хлорной извести и гипохлоритов натрия. Дозу хлорирования устанавливают путем предварительного анализа технической воды. Главный минус данного метода — это то, что на выходе получается вода с хлором, который в будущем тоже надо будет удалить из воды. Более эффективно обеззараживание воды можно выполнить с помощью ультрафиолета.

На современных ТЭС ультрафиолетовый стерилизатор воды встречается чаще, чем метод хлорирования благодаря ряду преимуществ:

- отсутствие химических реагентов;
- отсутствует запах и привкус хлора;
- высока эффективность обеззараживания (более 99,99%).

Ультрафиолетовый стерилизатор состоит из ртутно-кварцевой лампы, которая испускает ультрафиолетовые лучи с длиной волны, примерно равной 250 нм, которые вызывают изменение ДНК всех микроорганизмов, препятствуя их жизнедеятельности и размножению. Ультрафиолетовый стерилизатор устанавливается непосредственно на линию потребления, что делает данный способ более эффективным и упрощает его обслуживание.

Заключение

Водоочистка ТЭС является комплексом систем, которые направлены на полное уничтожение примесей. Для полной очистки воды для использования на ТЭС необходима комбинация нескольких способов. От скорости водоочистки зависит и производительность работы основного оборудования. Также качественная очистка воды обеспечивает более долгий срок службы оборудования на станции. Именно поэтому работе химического цеха водоочистки следует уделять особое внимание.

Литература

1. Водоподготовка / В.Ф. Вихрев, М.С. Шкроба. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Издательство «Энергия», 1973. – 416 с.
2. Водоподготовка для ТЭС [Электронный ресурс] / Водоподготовка для ТЭС. – Режим доступа: <https://diasel.ru/article/vodopodgotovka-dlya-tec>. – Дата доступа: 22.03.2022.
3. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – Изд. 2-е. – М: Издательство МГУ, 1996. – 680 с.
4. Водоподготовка водно-химические режимы в теплоэнергетике / Э.П. Гужулев [и др.]. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2005. – 384 с.

УДК 621.165

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК,
РАБОТАЮЩИХ НА НАСЫЩЕННОМ ПАРЕ
WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STEAM TURBINE
PLANT OPERATING ON SATURATE STEAM**

К.А. Мельник, М.Д. Сытая

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
nvpanteley@tut.by

K. Melnik, M. Sytaya

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

***Аннотация:** в статье рассматриваются основные способы повышения КПД паротурбинных установок работающих на влажном паре.*

***Abstract:** the article discusses the main ways to increase the efficiency of steam turbine plants operating on wet steam.*

***Ключевые слова:** паротурбинные установки, АЭС, увеличение КПД, потери теплоты.*

***Keywords:** steam turbine plants, nuclear power plants, increase in efficiency, heat loss.*

Введение

С появлением большого количества типов электрических станций, появилась необходимость в создании различных конструкций турбин, которые работают с различными параметрами. В наше время существует две большие категории турбин, которые работают на перегретом и насыщенном паре. Турбоагрегаты, работающие на перегретом паре, устанавливаются на КЭС и ТЭС, а турбины, работающие на насыщенном паре, нашли применение на АЭС.

Основная часть

Любая турбина работает за счет превращения кинетической энергии пара в механическую энергию вращения ротора. Пар для работы турбоагрегатов образуется в паровых котлах на ТЭС и в парогенераторе на АЭС. Над поверхностью испарения в паровых котлах и в парогенераторе АЭС возможно получить только насыщенный пар, с разной степенью сухости. На ТЭС влажный пар в дальнейшем перегревают, используя теплоту от уходящих газов, на АЭС же не представляется возможным перегревать пар, без использования дополнительных генераторов теплоты, по этой причине турбины, устанавливаемые на АЭС, работают на насыщенном паре. Пар считается насыщенным, когда число молекул, покинувших жидкость за единицу времени равно числу молекул вернувшихся в жидкость за то же время. В данном состоянии давление на АЭС составляет 58-67 ата, температура 272-282 градусов Цельсия со степенью сухости 1. Следует принять во внимание, что большая часть турбин на АЭС работают на влажном

паре, но степень сухости не допускают ниже 0,86. Важной особенностью влажного пара является то, что одному значению давления соответствует одно значение температуры, в отличие от перегретого, где температура может принимать любое значение выше температуры насыщения при данном давлении. Из чего можно сделать вывод что пар, который при определенном давлении имеет температуру выше обозначенной в “таблице насыщенного пара” называется перегретым. И имеет параметры давления 130-245 ата, температуры 535-565 градусов Цельсия.

С развитием АЭС, которые используют паротурбинные установки, работающие на насыщенном паре, стал вопрос о влиянии влажности пара на характеристики работы турбин. Большая часть ступеней ЦВД и ЦНД работает на влажном паре. Особенность влажного пара в том, что в потоке пара влага может присутствовать в виде тумана или капель, которые могут скапливаться и двигаться по элементам проточной части турбины, снижая её внутренний КПД. Уменьшение КПД обуславливается потерями энергии на трение пара о капли, срывание струй капель и ударами капель о рабочие органы турбины. В ступенях турбины, работающих на насыщенном паре часто наблюдается снижения КПД из-за эрозии и коррозии. В потоке пара образуются капли разных размеров, скоростей и траекторий, которые с течением времени разрушают последние ступени цилиндров турбин, а из-за наличия влажной среды и подсосов воздуха образуется коррозия последних ступеней проточной части турбины.

Турбины насыщенного пара, используемые на АЭС, имеют ряд конструктивных отличий от турбин, работающих на перегретом паре.

Выделяют три основные причины этих отличий:

- большинство ступеней турбины АЭС работает на влажном паре;
- на выходе из парогенератора АЭС пар имеет низкие начальные параметры;
- специфика работы турбоустановки из-за тесной связи с реактором.

В турбинах, работающих на насыщенном паре, по сравнению с турбинами на высоких параметрах с промежуточным перегревом теплоперепад меньше примерно в 1,5-2 раза. Из-за низкого теплоперепада на АЭС нужно минимизировать потери с выходной скоростью и потери давления из-за дросселирования, которые неизбежны при протекании пара в паровпускных органах и через сепаратор-пароперегреватель, вследствие чего аэродинамическим параметрам этих органов отводится пристальное внимание.

На электрических станциях ЦНД вырабатывает примерно 50-60% мощности всей установки, что существенно оказывает влияние на внутренний относительный КПД. В связи с этим, для повышения КПД на АЭС устанавливаются больше цилиндров низкого давления, а цилиндры среднего давления, как правило, отсутствуют. Большинство турбин АЭС имеет один или два ЦВД, и три или четыре ЦНД.

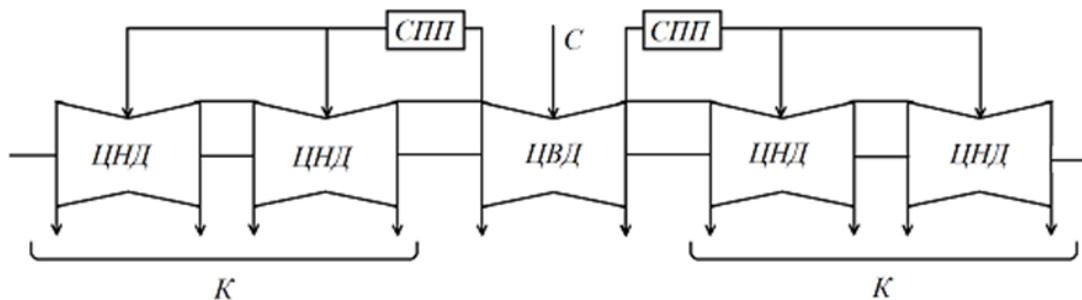


Рисунок 1 – Структурная схема турбины влажного пара мощностью 500-1000 МВт: ЦНД - цилиндр низкого давления; ЦВД - цилиндр высокого давления; СПП - сепаратор пароперегреватель; К - конденсатор

Зачастую в турбинах, работающих на насыщенном паре, применяется конструктивно совмещенный стопорный регулирующий клапан (СРК), который опирается на одно седло и приводится в действие от своих сервомоторов, через соосно расположенные штоки. Такое конструктивное решение уменьшает дросселирование пара на входе в турбину, что увеличивает относительный КПД турбины на 0.4-0.6%. Для минимизации потерь скорости и давления на линии перепуска пара в ЦВД и ЦНД стремятся сократить тракт, путем объединения сепаратора пара с промежуточным пароперегревателем.

Промежуточный перегрев пара осуществляют с целью повышения внутреннего относительного КПД, а также увеличения степени сухости пара. В турбинах, работающих на насыщенном паре используют только паровой промперегрев из отбора парогенератора, однако он возможен с использованием пара из парогенератора и пара из отбора ЦВД. Такое решение обусловлено повышением надежности работы реактора. В целях повышения КПД и уменьшения отбора пара на промперегрев устанавливают сепарационную установку. Сепарация пара после ЦВД применяется с целью повышения степени сухости пара до 99%. Сепарация – это отделение влаги от пара, путем расположения по ходу его движения волнообразно изогнутых листов, которые набираются в пакеты. Отделение влаги происходит при соударении капелек воды с поверхностями изогнутых листов. Сепаратор устанавливают в одном корпусе с промежуточным пароперегревателем. На АЭС применяют двухступенчатый промышленный пароперегреватель, который обеспечивает дополнительное увеличение КПД на 1.5-2.5%.

Существует метод, в котором используют вместо сепаратора-пароперегревателя пароперегреватель, работающий на органическом топливе. При использовании такого способа перегрева пара, повышается степень сухости, и уменьшаются потери пара в турбине из-за отвода конденсата, тем самым повышается КПД турбины. КПД использования органического топлива равен 40%, а расход теплоты снизится на 6-12%, что соответственно увеличит мощность турбоагрегата.

Для повышения мощности турбины работающей на насыщенном паре, из-за низких начальных параметров увеличивают объемные пропуски пара. Но в связи с этим, увеличиваются габариты паровпускных систем, и ЦВД производят в двухпоточном исполнении соответственно, как и ЦНД.

КПД турбоустановки работающей на насыщенном паре достигает 40-45%, что в свою очередь меньше КПД турбоустановки, работающей на влажном паре, которая максимально достигает 35%. Данная разница КПД возникает из-за теплоперепада, который выше на 15-20% в турбинах, работающих на перегретом паре.

Заключение

Модернизация и увеличение КПД паротурбинных установок, работающих на насыщенном паре, в настоящее время осуществляется по двум основным направлениям. Это снижение степени сухости пара, путем использования дополнительных пароперегревателей и большого количества ЦНД. Также имеет место незначительное увеличение КПД, путем уменьшения длины магистралей паропровода, и установки парораспределительных систем с уменьшенным дросселированием пара, что в совокупности увеличивает КПД паротурбинных установок, работающих на насыщенном паре.

Литература

1. Турбины для атомных электростанций / Б.М. Трояновский. – Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Издательство «Энергия», 1978. – 232 с.
2. Тепловые и атомные электростанции / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Издательство «МЭИ», 2003. – 648 с.
3. Влияние специфических свойств влажного пара на эксплуатационную надежность турбин [Электронный ресурс] / Влияние специфических свойств влажного пара на эксплуатационную надежность турбин. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/vliyanie-specificheskikh-svoystv-vlazhnogo-para-na-ekspluatacionnuyu-nadezhnost-turbin.html>. – Дата доступа: 26.03.2022.
4. Турбины тепловых и атомных электрических станций / А.Г. Костюк [и др.]. – Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Издательство «МЭИ», 2001. – 488 с.

УДК 628.35:628.971

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ SOLAR POWERED WATER FILTRATION

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов, И.О. Аликевич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vivja@mail.ru

K. Galisheva, D. Shulepov, I. Alikevich
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе рассмотрим такой способ фильтрации воды как SunSpring Hybrid, работающую на солнечной энергии.*

***Abstract:** in this paper, we will consider such a water filtration method as the SunSpring Hybrid, powered by solar energy.*

***Ключевые слова:** sunSpring Hybrid, солнечная энергия, фильтрация.*

***Keywords:** sunSpring Hybrid, solar energy, filtration.*

Введение

Во многих странах мира проблема не в том, что не хватает воды, а в том, что она загрязнена. Некоторые развивающиеся страны сбрасывают в водные пути воду без очистки. Ученые, занимающиеся проблемой загрязненности воды разработали автономную портативную систему фильтрации воды SunSpring Hybrid, которая обеспечивает 20000 литров чистой воды в день [1].

Основная часть

Для начала рассмотрим принцип работы системы SunSpring.

Данная система работает исключительно на батареях, которые заряжаются от возобновляемых источников энергии, а именно солнечной и ветровой энергии. Благодаря этому обеспечивается бесперебойная работа устройства.

Система включает в себя солнечную панель и небольшую ветроэлектрическую установку. Насос перекачивает воду из близлежащего источника – это может быть, как озеро, река, ручей, так и подземный источник на глубине не более 2,4 м. Далее вода проходит через семимильную мембрану толщиной 0,02 микрона, специально разработанную для защиты от микробиологических загрязнений [2]. Затем очищенная вода выходит из водопроводных кранов (рисунок 1).

Мембраны ультрафильтрации в каждом гибриде SunSpring Hybrid автоматически промывают от одного до двадцати четырех раз в день. Энергия системы обеспечивается как солнечной, так и ветровой технологией и хранится во внутренних батареях для использования днем или ночью, в дождь или солнце. В SunSpring Hybrid есть 3-контактная электростанция для зарядки мобильных телефонов. Используемая технология является самой современной, но система легко обслуживается местными жителями, и ее

можно настроить и ввести в эксплуатацию всего за несколько часов (рисунок 2).



Рисунок 1 – SunSpring Hybrid



Рисунок 2 – Солнечное очищение

Огромным преимуществом данной системы является мобильность и сравнительно небольшой вес в 450 кг. Также, полученную воду можно хранить в цистернах, но с предварительной обработкой их хлором. Ученые разработали недорогое устройство для мытья бутылок и дезинфицирующее средство – SunSpring Bottle Buddy.

SunSpring Bottle Buddy – простой и эффективный инструмент для очистки бутылок. Благодаря способности быстро дезинфицировать и ополаскивать

многоразовые бутылки объемом до 20 литров, Bottle Buddy является отличным кандидатом для микропредприятий, раздающих воду сообществам в сельской местности развивающихся стран (рисунок 3).



Рисунок 3 – SunSpring Bottle Buddy

Благодаря новым технологиям, которые присутствуют в системе очистки воды, можно судить о низких эксплуатационных расходах. SunSpring Hybrid может служить более 10 лет [3]. Её можно использовать не только в развивающихся странах, но и на небольших предприятиях, так как КПД всей системы составляет 92%.

SunSpring Hybrid прекрасно подходит для аварийного реагирования, обеспечения готовности к стихийным бедствиям, деревень, больниц, детских домов, церквей, общественных центров, военных, лагерей для переселенцев, лагерей беженцев, палаточных лагерей, курортов. Систему также можно устанавливать на крышах высотных зданий, обеспечивая всё здание безопасной питьевой водой, отказавшись от бутилированной воды.

Заключение

Таким образом можем сказать, что данная инновационная технология обеспечивает безопасную воду для оказания помощи при стихийных бедствиях и оказывает огромное влияние на международное развитие.

Литература

1. Новые технологии, создающие чистую воду для мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.goodnet.org/articles/7-new-technologies-that-create-clean-water-for-thirsty-world>. – Дата доступа: 12.04.2022.
2. Система SunSpring очищает воду, используя возобновляемую энергию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://thewaternetwork.com/article-FfV/sunspring-system-purifies-water-using-renewable-energy-2lyJxn92u7qLOa_Q10zpEA. – Дата доступа: 12.04.2022.
3. Гибрид SunSpring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldthirstsolutions.com/Products/sunspring-hybrid/>. – Дата доступа: 12.04.2022.

УДК 621.165

**ЭЛЕКТРОЭРОЗИЯ ПОДШИПНИКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ
ELECTROEROSION OF BEARINGS OF TURBOUNITS**

П.К. Мартьянов, А.Ю. Поланцевич
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

P. Martyanov, A. Polantsevich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: рассматриваются причины возникновения электроэрозии подшипников турбоагрегатов. Описана схема циркуляции тока в контуре: вал - подшипник - фундаментная плита - заземляющая щетка – вал. Приведены наиболее характерные признаки существования электроэрозионных процессов. Указаны меры для своевременного выявления и предотвращения электроэрозии подшипников турбоагрегатов.

Abstract: the reasons for the occurrence of electrical erosion of bearings of turbine units are considered. The scheme of current circulation in the circuit: shaft - bearing - foundation plate - grounding brush – shaft is described. The most characteristic signs of the existence of electroerosive processes are given. Measures for the timely detection and prevention of electrical erosion of bearings of turbine units are indicated.

Ключевые слова: электроэрозия, подшипник, турбоагрегат, заземление, изоляция, повреждения.

Key words: electrical erosion, bearing, turbine unit, grounding, insulation, damage.

Введение

Электроэрозия подшипников турбоагрегатов проявляется в постепенном разрушении деталей подшипника и соприкасающейся с ними поверхности вала паразитными токами. Сам процесс электроэрозии может протекать при этом достаточно длительное время, без каких-либо внешних проявлений, однако в некоторый момент времени может возникать быстрое механическое разрушение баббитовых вкладышей подшипников и даже повреждение поверхности вала [1].

Основная часть

Причины возникновения электроэрозии могут быть следующие [2]:

1. Отсутствие заземления (нарушение заземления) вала турбоагрегата, при этом на валу накапливается электростатический заряд, обусловленный трением сухого пара о лопатки турбины. Величина постоянного напряжения, определяемая этим зарядом, достигает сотен вольт [3], что может приводить к пробоям масляной пленки между валом и подшипником. В месте пробоя при этом протекает ток разряда, вызывающий микроскопические разрушения вала и вкладыша подшипника. После отекания заряда и восстановления изоляции

масла происходит новое накопление заряда на валу, новый пробой - и процесс повторяется циклически в течение длительного времени. Обычно эрозионные разрушения, вызванные статическими разрядами, невелики вследствие незначительной мощности разрядов.

2. Наиболее опасной причиной является протекание через подшипники турбоагрегатов паразитных токов. Магнитная система ротор-статор турбоагрегата, как всякая неидеальная система, обладает некоторой несимметрией. Причиной несимметрии может быть несовпадение геометрических осей ротора и статора, различия в размерах стыков пакетов стали в статоре, несимметрия осевых вентиляционных каналов и т.д. В результате магнитный поток в зазоре между статором и ротором в системе координат, связанной с ротором, приобретает переменную составляющую, пульсирующую с частотой вращения ротора. Вал ротора в этом случае можно рассматривать как проводник, находящийся в переменном магнитном поле. По закону Ленца на концах вала наводится переменная электродвижущая сила (ЭДС), значение которой составляет обычно несколько вольт, которая называется продольной ЭДС ротора. Переменная ЭДС на концах вала может возникнуть и при отсутствии асимметрии магнитной системы машины, если сталь статора имеет остаточное намагничивание.

Если вал ротора со стороны турбины соединен с землей через заземляющую щетку, то ЭДС ротора оказывается приложенной к противоположному концу. Во избежание образования короткозамкнутого контура корпус подшипника с этой стороны изолируют относительно земли, причем в подшипнике имеются два изолирующих промежутка: масляная пленка и подступовая изоляция. Если по каким-либо причинам происходит одновременное нарушение масляной пленки и подступовой изоляции, то под действием продольной ЭДС ротора начинает циркулировать ток в контуре: вал – подшипник – фундаментная плита – заземляющая щетка – вал, как это показано на рисунке 1 [2].

При малом сопротивлении этого контура значение тока может достигать десятков ампер, что приводит к интенсивному электроэрозионному разрушению шейки вала и вкладышей подшипников. Данный режим является абсолютно недопустимым и требует достаточно быстрой остановки турбоагрегата для своевременного устранения выявленного дефекта. При отсутствии или нарушении контакта заземляющей щетки с валом турбоагрегата данный режим может возникнуть при дополнительном пробое масляной пленки на заземленном подшипнике со стороны турбины.

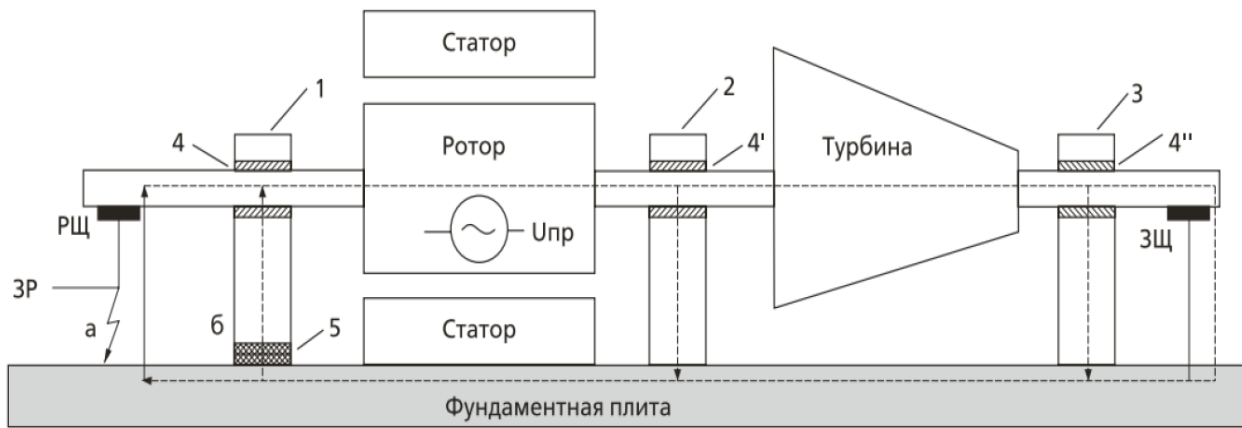


Рисунок 1 – Циркуляция тока в контуре: вал - подшипник - фундаментальная плита - заземляющая щетка – вал: РЩ - релеяная щетка; ЗР - защита ротора от замыканий на землю в одной точке; ЗЩ - заземляющая щетка; 1 - подшипник генератора со стороны возбудителя (изолированный); 2 - подшипник генератора со стороны турбины (неизолированный); 3 - подшипники турбины (неизолированные); 4, 4', 4'' - масляные пленки подшипников; 5 - подступовая изоляция; а - замыкание на землю поводка РЩ; б - перекрытие на землю подступовой изоляции

При исправной изоляции изолированного подшипника и нарушении масляной пленки в контуре также могут протекать токи, но существенно меньшие по величине, обусловленные емкостью корпуса подшипника относительно земли. Однако при длительном протекании эти токи также могут вызвать электроэрозию, которая обычно обнаруживается при плановых ремонтных работах со вскрытием подшипника. Наиболее характерными признаками существования электроэрозионных процессов являются [2]:

- наличие на поверхности деталей подшипника повреждений в виде точечных углублений, заполненных продуктами окисления масла;
- наличие каверн, покрытых теми же окислами;
- отпечатки выступов или отверстий контроля на поврежденной поверхности;
- матовые пятна на блестящей, приработанной поверхности шейки вала и вкладышах;
- ветвящиеся или почти прямые треки-отпечатки каналов разрядов по поверхности деталей;
- покрытые налетом меди пояски электроэрозионных каверн над латунными кольцами масляных уплотнений и кромками стальных деталей.

Вышеперечисленные признаки встречаются как по отдельности, так и в различных сочетаниях, нередко маскируясь абразивным износом подшипниковых деталей.

Заключение

Из вышеизложенного следует, что для своевременного выявления и предотвращения электроэрозии подшипников турбоагрегатов должны приниматься следующие меры [2]:

- вал турбоагрегата должен иметь надежную связь с Землей через заземляющую щетку со стороны турбины, обеспечивающую стекание статических зарядов;

- изоляция масляной пленки и корпусов подшипников относительно земли со стороны, противоположной турбине, должна быть исправна и контролироваться специальными устройствами.

Литература

1. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением / Под общ. редакцией Л.С. Линдорфа и Л.Г. Мамиконянца. – Москва: Энергия, 1972. – 351 с.
2. Илюшин, П. Электроэрозия подшипников // Технологии и оборудование / Турбоагрегаты. – 2014. – № 3 (55). – С. 28 – 30.
3. Исследование мощных паровых турбин на электростанциях / С.Ш. Розенберг, Л.П. Сафонов, Л.А. Хоменок. – Москва: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.

УДК 621.74

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ ТЕРМОУЛУЧШЕНИЯ
СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ОАО «МИНСКИЙ
ТРАКТОРНЫЙ ЗАВОД»
THERMAL TECHNOLOGY EQUIPMENT AND POWER SUPPLY OF THE
THERMAL IMPROVEMENT DEPARTMENT OF STEEL CASTING
FOUNDRY "MINSK TRACTOR WORKS"**

Д.Э. Ильюченко

Научный руководитель – Л.И. Качар

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

D. Ilyuchenko

Supervisor – L. Kachar

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *выбор технологического оборудования и расчет энергоснабжения отделения термоулучшения стального литья литейного цеха тракторного завода.*

Abstract: *selection of technological equipment and calculation of power supply of the thermal improvement department of steel casting foundry of tractor plant.*

Ключевые слова: *выбор технологического оборудования и расчет энергоснабжения отделения.*

Keywords: *selection of technological equipment and calculation of the department's power supply.*

Введение

Энергоснабжение занимает ведущее место в промышленности, поскольку технология является базой большинства производств. Современный этап развития народного хозяйства характеризуется ускорением научно-технического прогресса на основе интенсификации всех технологических процессов с применением энергосберегающих технологий. Поэтому энергосберегающая политика приобретает очень важное значение для производств, базирующихся на высокотемпературных технологиях, что соответствует основным направлениям энергетической программы РБ.

Знание происходящих в огнетехнических установках технологических процессов, а также сопутствующих им явлений теплообмена позволяет обеспечить наиболее правильное использование топливно-энергетических ресурсов.

Металлургическое производство и машиностроение – одни из главных отраслей народного хозяйства любой высокоразвитой индустриальной страны. Машины и механизмы – это главные продукты данных отраслей, без них невозможно представить жизнь в современном мире. Чтобы обеспечить их качественное изготовление, соответствующее современному уровню мировых стандартов, необходимо получать оптимальное сочетание прочности и

вязкости обрабатываемых деталей, а также требуемое состояние поверхностей изделий, что позволит, в дальнейшем, ликвидировать очистные операции. Это достигается путем использования высокотемпературных огнетехнических технологий: химико-термические процессы, процессы нагрева металла под ковку, прокатку, штамповку.

Объектом разработки является отделение термоулучшения стального литья литейного цеха автотракторного предприятия с производительностью 15 тыс. тонн/год годного стального литья.

Целью проекта является выбор технологического оборудования и расчет энергоснабжения отделения термоулучшения стального литья литейного цеха автотракторного предприятия.

В процессе проектирования должен быть выполнен тепловой и гидродинамический расчет закаочно-отпускного агрегата и расчет рекуператоров для подогрева воздуха-окислителя, расчет мероприятий по охране окружающей среды и мероприятий по технике безопасности и охране труда, разработана и рассчитана схема электроснабжения отделения термоулучшения литейного цеха, а также подсчитан экономический эффект от использования ВЭР.

В ходе дипломного проектирования должен быть выполнен выбор варианта теплотехнологии термической обработки на базе научного анализа существующих схем теплотехнологий.

Основная часть

Термическая обработка поковок производится с целью улучшения структуры (исключения неоднородности, измельчения зерна), подготовки к последующей их переработке в готовые детали. При термообработке формируются заданные механические свойства. Основными видами термической обработки поковок являются нормализация, термоулучшение (закалка и отпуск), отжиг.

Закалку и отпуск применяют для поковок из среднеуглеродистых сталей (0,4-0,6% углерода) с целью получения заданной микроструктуры и твердости, связанной с механическими свойствами. При закалке поковки также нагревают до температуры выше точки ТАСЗ на 30-50 К, а при отпуске – обычно до 823-953К. Поковки из легированных сталей закаливают в масле, из углеродистых – обычно в воде. Охлаждение после отпуска производится в атмосфере печи, на воздухе либо в воде (в ванне или под душем).

Указанные операции термического упрочнения производят в различного типа проходных или садочных печах. Из проходных применяются толкательные и конвейерные, а из садочных – камерные, с выкатным подом, с шаровым подом, печи с перемещающимся корпусом и другие.

При нагревании массивных заготовок в результате неравномерного прогрева сечения (при нагреве массивных заготовок температура центра сильно отличается от температуры поверхности металла) в них возникают температурные напряжения. Возникающие напряжения максимальны в начальный период нагрева, когда наблюдается наибольшая неравномерность прогрева середины и поверхности металла. Эти напряжения могут иметь

остаточный характер и быть крайне нежелательными при дальнейшей обработке заготовок в механосборочном производстве. Поэтому наряду со всесторонне обоснованным выбором температуры нагрева металла выбору технологии тепловой обработки стали должны предшествовать анализ напряжений, возникающих в контрольном сечении на начальном этапе нагрева, а также оценка допустимого перепада температур на поверхности и центре сечения заготовки. В ряде случаев при интенсивном нагреве в сечении металла возникают напряжения, превосходящие предел упругости. Чтобы температурные напряжения носили временный характер, нагрев заготовок на начальном этапе нужно производить определенным образом.

Малоуглеродистые и низколегированные стали, обладая пластичностью в широком диапазоне температур, позволяют осуществлять нагрев с любыми скоростями. Для таких сталей не опасно появление температурных напряжений, поэтому учитывать эти напряжения при разработке технологии нагрева, разработке температурных графиков нет необходимости.

При нагревании массивных заготовок из высокоуглеродистых и легированных сталей на начальном этапе имеют место большие температурные напряжения. Дальнейший нагрев сопровождается снижением напряжений. Однако с дальнейшим нагревом может наступить такой момент, когда механические свойства стали ухудшаются и наступает перегрев стали. Обработка перегретого металла сопровождается образованием трещин. А пережженный металл не может быть восстановлен и считается браком.

В настоящее время нагрев металла под ковку, штамповку, закалку выполняется в высокомеханизированных методических и полуметодических печах. Это печи непрерывного действия. Широкое внедрение таких печей объясняется необходимостью комплексной механизации и автоматизации всех процессов производства проката и деталей.

Методические печи в зависимости от температурного графика бывают двух- и трехзонные. В каждой зоне продукты сгорания имеют определенную температуру. Когда нагреваются массивные заготовки, печь имеет три зоны. Третья зона называется томильной или зоной выдержки. Она позволяет довести температуру центра заготовки до температуры её поверхности.

Температурный график позволяет получать исходные сведения, которые ложатся в основу расчета и выбора эксплуатационных условий. Такой график базируется на технологических данных и зависит от вида тепловой обработки, а также от условий, определяющих внутренний и внешний теплообмен.

Как упоминалось ранее, в основе выбора числа зон печи лежит вид тепловой обработки. Так, например, нагрев садки из высокоуглеродистых и легированных сталей под закалку осуществляется в двухзонной печи. Температурный график для данной операции представлен на рисунке 1.

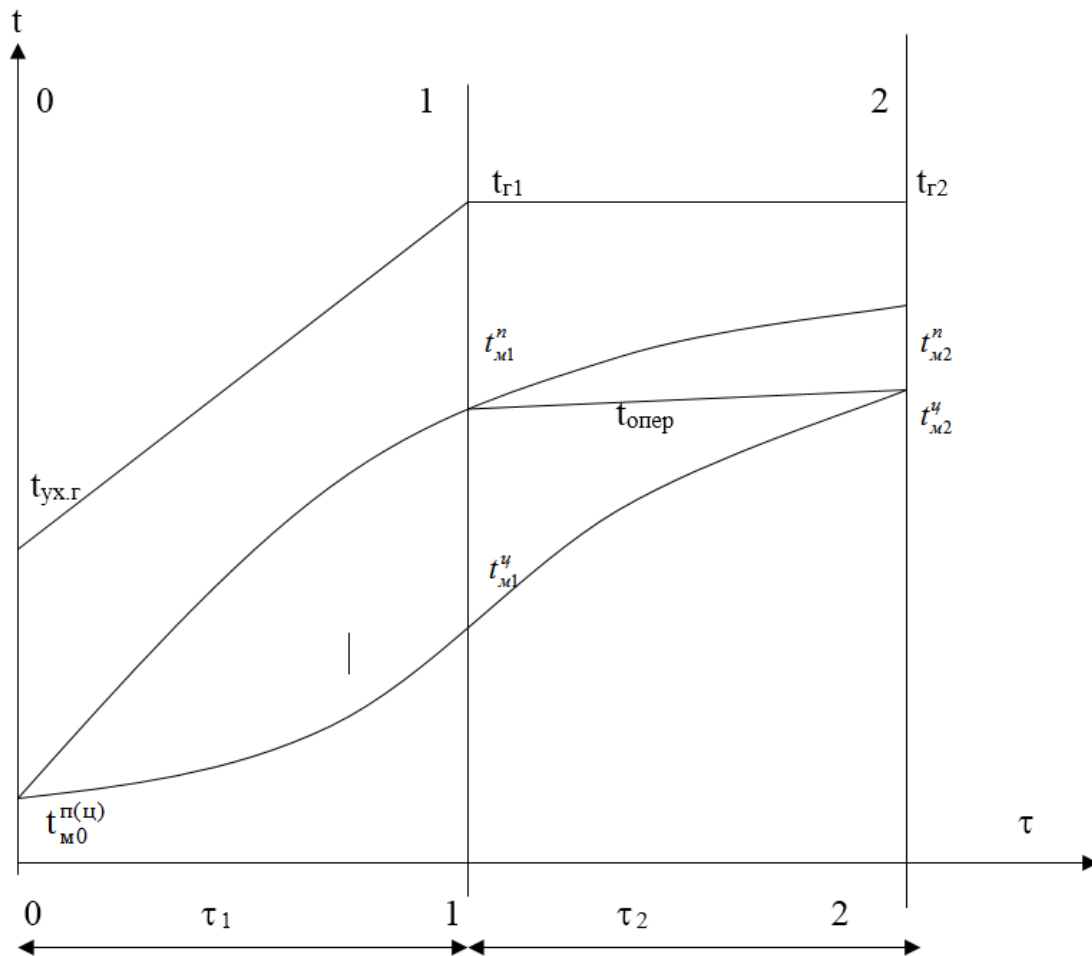


Рисунок 1 - Температурный график двухзонной нагревательной печи

Между сечениями 0-0 и 1-1 находится зона основного нагрева, где температура на поверхности материала достигает температуры операции.

Поскольку центр контрольного сечения металла в конце первой зоны имеет температуру более низкую, чем того требуют технологические соображения, то применяется вторая зона – зона выдержки (сечения 1-1 и 2-2). Здесь температура центра металла доводится до температуры операции. При этом между температурами поверхности и центра наблюдается разность температур, поскольку поверхность садки несколько перегревается.

Этому температурному перепаду $\Delta t_{\text{кон}}$ следует уделять большое внимание, так как неравномерность прогрева контрольного сечения садки влияет на время выдержки, угар и обезуглероживание садки, а также на работу кузнечно-прессового оборудования.

Значение $\Delta t_{\text{кон}}$ находится по формуле:

$$\Delta t_{\text{кон}} = \delta t, \quad (1.1)$$

где δt – удельная неравномерность прогрева садки в сечении 2-2: $\delta t = 2 \dots 3$ °C/см;

x – характерный размер садки в контрольном сечении и направлении потока теплоты.

Температура продуктов сгорания на выходе из печи $t_{г.ух}$ принимается на уровне 800...950°C. Значения температур $t_{г1}$ принимаются из соображения их превышения над температурой металла на 400...150 °С, а температуры $t_{г2}$ – на 100...150 °С.

Заключение

В соответствии с заданием на дипломное проектирование требуется произвести расчёт технико-экономических показателей отделения термоулучшения (закалка и отпуск) стального литья.

При сравнении полученной цифры по энергетической составляющей себестоимости с отраслевыми нормами результаты расчёта согласуются с данными энергетической составляющей себестоимости, приведенной в отраслевых нормах.

Литература

1. Теплотехнологическое оборудование [Электронный ресурс]/ теплотехнологическое оборудование. -Режим доступа: <https://helpiks.org/6-3977.html/>. – Дата доступа: 01.03.2022.
2. Термическая обработка стали [Электронный ресурс]/ термическая обработка стали. - Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/termicheskaya-obrabotka-stali.html/>. – Дата доступа: 01.03.2022.

УДК 621.577

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРОТУРБИННОЙ ТЭЦ С ПОМОЩЬЮ
УСТАНОВКИ АБТН
MODERNIZATION OF A STEAM TURBINE CHPP WITH THE HELP OF
ABSORPTION HEAT PUMPS**

Рапута А.В.

Научный руководитель – Бобич А.А, кандидат технических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
bobichsas@mail.ru

А. Raputa

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в работе приводится анализ работы ТЭЦ до и после
установки АБТН

Abstract: the paper provides an analysis of the operation of the CHP before
and after the installation of ABTN

Ключевые слова: ТЭЦ, АБТН, модернизация, паротурбинная ТЭЦ.

Keywords: CHP, ABTN, modernization, steam turbine CHP.

Введение

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) решают не только задачи сохранения получаемой ими энергии, но дают возможность дополнительного обеспечения потребителей паром низкого давления, необходимого многим промышленным предприятиям, а также горячей водой.

Модернизация – это процесс обновления объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества.

Основная часть

Абсорбционный тепловой насос – устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного неестественного перехода тепловой энергии требуется на привод АБТН затратить тепловую энергию (ТЭ). Абсорбционные установки обратного цикла уступают по энергетическим характеристикам парокомпрессионным машинам, но если последним для работы требуется энергетически и экономически более ценная механическая энергия, то первые могут использовать дешёвую тепловую энергию отборов паровых турбин, утилизационных котлов энергии выхлопных газов газовых двигателей внутреннего сгорания, вторичных энергоресурсов. Это обстоятельство и определяет для АБТН нишу, которую они в ближайшее время займут в различных технологических системах. [2]

В роли рабочего тела в АБТН используются растворы (в рассматриваемом случае вода — бромистый литий), в которых концентрация компонентов различна для жидкой и паровой фаз. Концентрация компонентов

не может отличаться от величины, соответствующей уравнению равновесия раствора, что делает возможным конденсацию (абсорбцию) холодного пара более горячим жидким раствором до выравнивания концентраций в соответствии с указанным уравнением. В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе. [2]

Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки. Кроме этого, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН. [2]

Теплоэлектростанция (ТЭЦ) предназначена для выработки электроэнергии, пара и горячей воды. Её технологическая схема состоит из следующих производственных процессов: [1]

- транспортирования, складирования и подготовки топлива для сжигания;
- сжигания топлива в топках котлов и получения пара;
- использования пара для вращения турбин и выработки генератором электроэнергии;
- отбора из турбин отработанного пара для нужд теплофикации;
- передачи потребителям пара и горячей воды с возвращением конденсата и охлажденной воды;
- трансформирования электроэнергии на другие напряжения и передачи ее в потребительскую сеть.

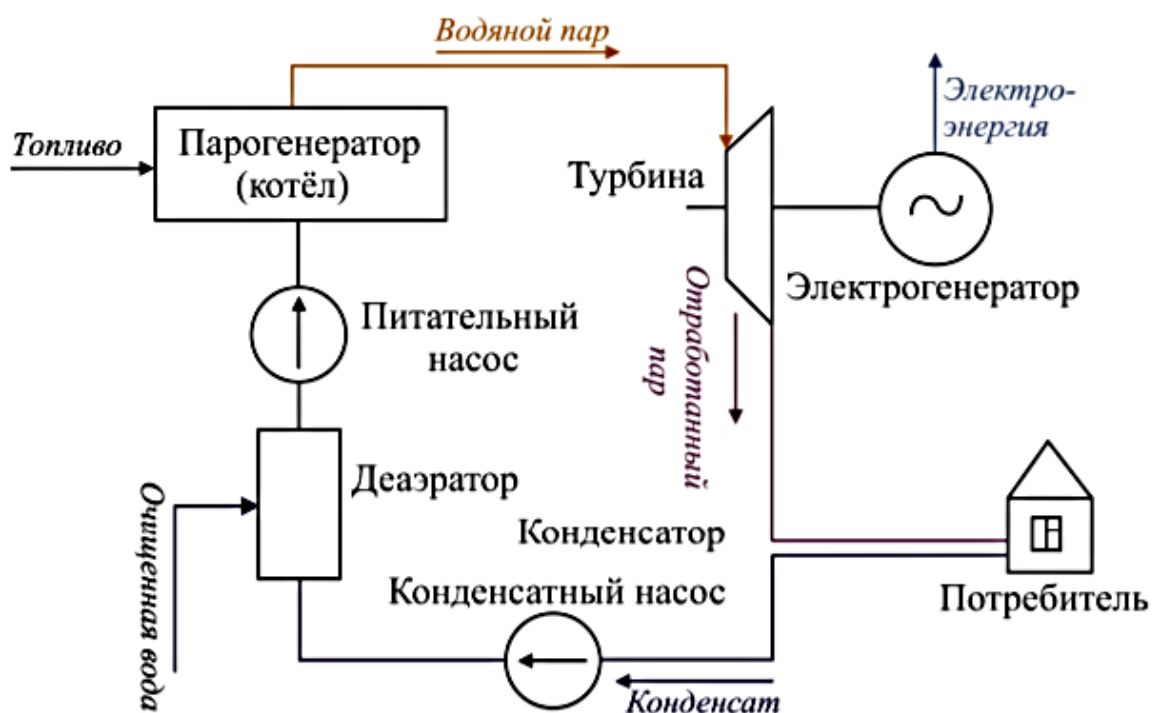


Рисунок 1 - Технологическая схема ТЭЦ

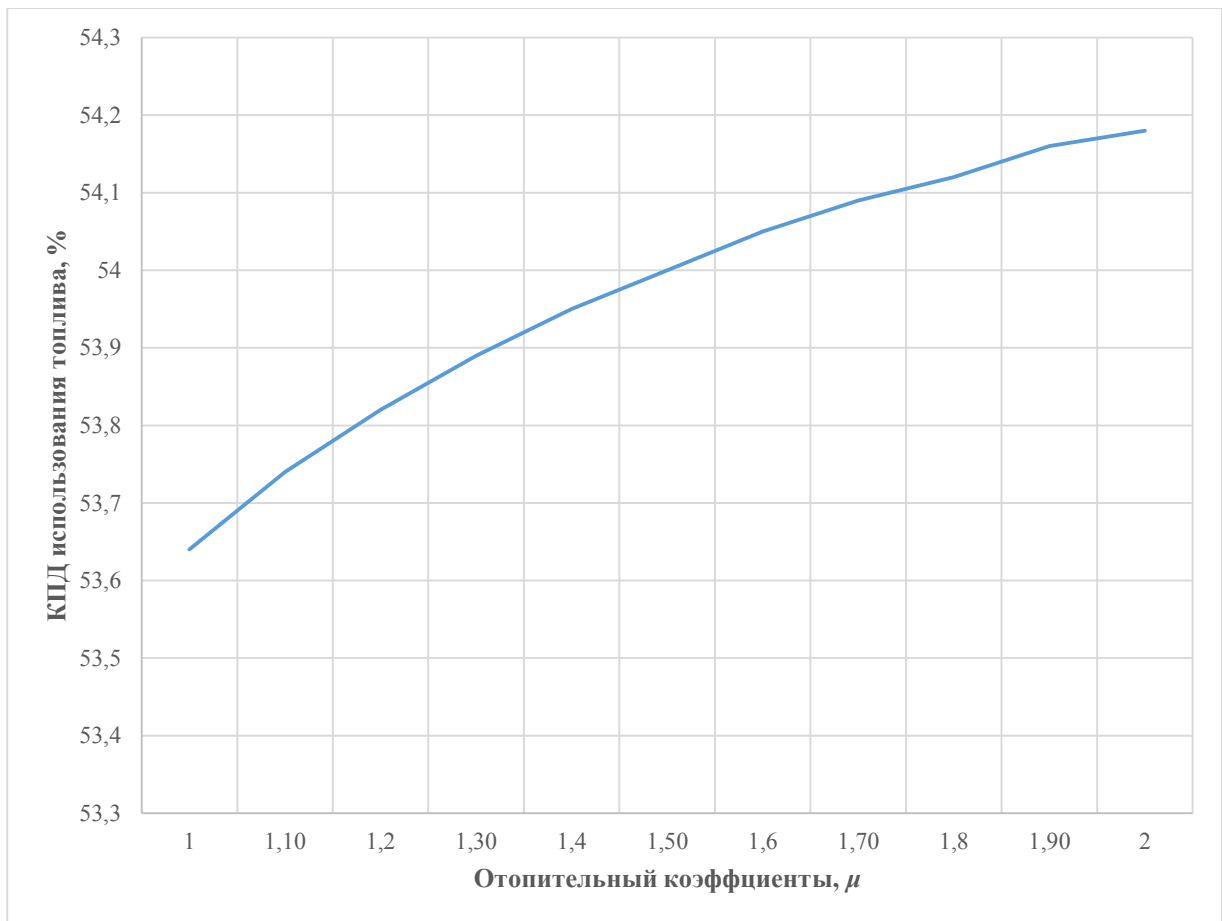


Рисунок 2 - Зависимость КПД использования топлива ТЭЦ от отопительного коэффициента АБТН

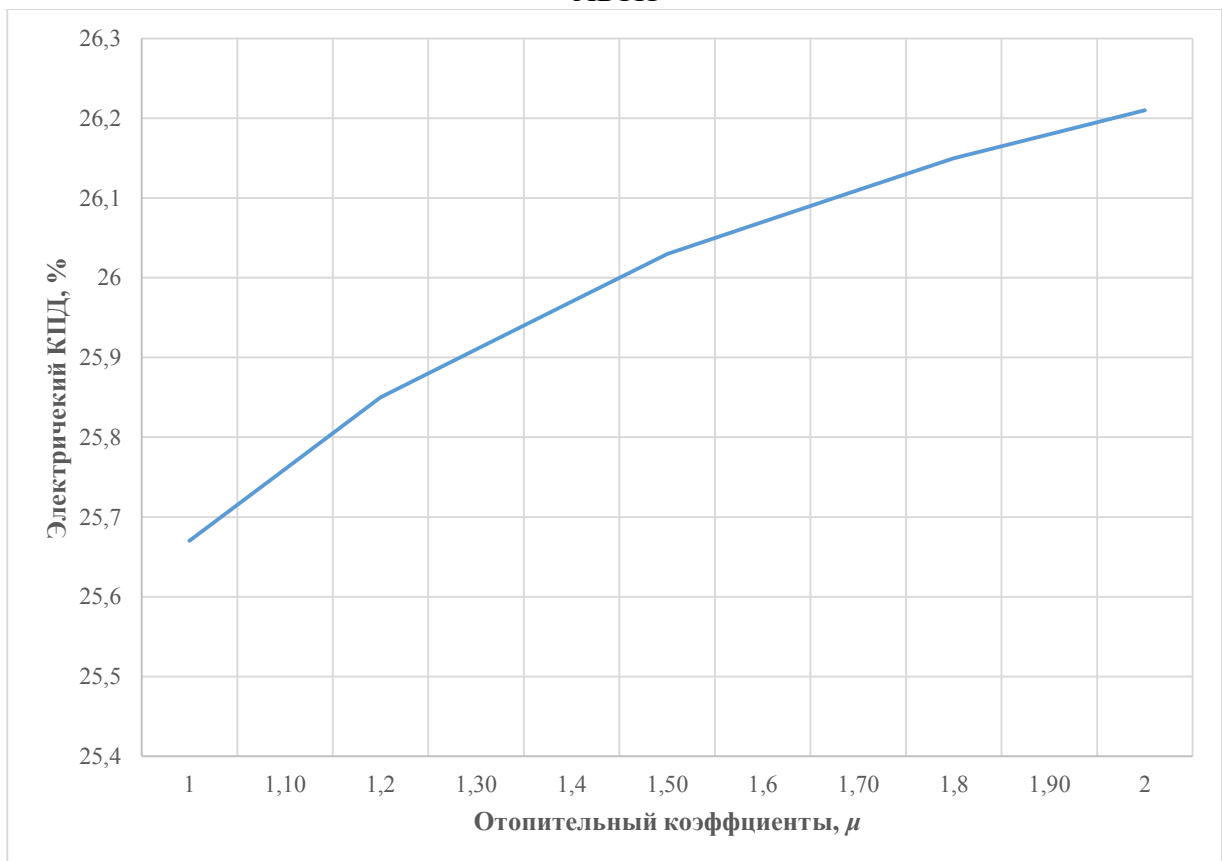


Рисунок 3 - Зависимость электрического КПД ТЭЦ от отопительного коэффициента АБТН

Заключение

АБТН на ТЭЦ снижает затраты топлива и, главное, финансовые затраты на отопление и горячую технологическую воду.

. Использование АБТН в схемах ТЭЦ снижает генерацию электроэнергии на ТЭЦ за счёт исключения ее выработки на потоке пара в конденсатор, что, кроме всего прочего, облегчает покрытие графика электропотребления в части прохождения минимумов нагрузки. [2]

Так установка АБТН целесообразна для утилизации энергии тепловых ВЭР.

Литература

1. Охлопкова О.А. Тепловая электростанция: Учебное пособие. / О.А. Охлопкова. – М.: «МАРХИ», 2019 – 70 с.
2. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности / В. Н. Романюк [и др.] // Энергия и менеджмент. - 2013. - № 1 . - С. 14-19.

УДК 621.181.25

**УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ РУП «БРЕСТЭНЕРГО»
INSTALLATION OF ELECTRIC BOILERS IN HEAT SUPPLY SYSTEMS
FOR BY THE EXAMPLE OF RUE «BRESTENERGO»**

В.С. Матерн

Научный руководитель – М.И. Позднякова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pozdneykova@bntu.by

V. Matern

Supervisor – M. Pozdnyakova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *сделан литературный обзор котельной с установкой электрокотлов в рамках программы модернизации. В статье показан принцип работы такого котла, а также его преимущества и недостатки.*

Abstract: *A literature review of a boiler plant with the installation of electric boilers as part of a modernization program has been made. The article shows the operation principles of such boiler and its advantages and disadvantages.*

Ключевые слова: *котельная установка, потери теплоты, модернизация, электрокотел.*

Keywords: *boiler plant, heat loss, modernization, electric boiler.*

Введение

В 21 веке люди всё чаще сталкиваются с экологическими проблемами, связанными со сжиганием топливных продуктов. Функционирование топливно-энергетического комплекса приводит к следующим основным экологическим проблемам:

- выбросам парниковых газов;
- загрязнению воздуха частицами пыли, твердыми и жидкими отходами;
- тепловому загрязнению окружающей среды.

Для примера рассмотрим РУП «Брестэнерго», в состав которого входят: 7 электростанций с установленной электрической мощностью 1159 МВт, в том числе 3 ГЭС 0,38 МВт; 3 крупных котельных, на которых установлены котлоагрегаты с суммарной мощностью более 900 Гкал/час, суммарная тепловая мощность 2564,47 Гкал/час.

Основная часть

На данный момент брестские котельные проходят модернизацию – замену устаревшего оборудования на новое. Котлоагрегаты, которые работают на котельных и ТЭЦ были установлены в 1958 г. и 1973 г. В 2020 году была выполнена установка электрокотлов: Восточной районной котельной в г. Брест; Южной районной котельной в г. Брест; Западной мини-ТЭЦ в г.Пинск; Березовской ГРЭС в г. Белоозерск. Были установлены электрокотлы Zeta ZVP 2840 мощностью 40 МВт, изготовленных шведской компанией Zander & Ingeström. Котлы предназначены для потребления избытка электрической

мощности в энергосистеме в период ночного провала нагрузок, который возникнет уже после ввода в эксплуатацию первого энергоблока Белорусской АЭС. Особенностью эксплуатации водогрейных котлов ZVP-2840 является соблюдение жестких требований к качеству нагреваемой в них воды и поддержание требуемой электропроводности в пределах 80 мкСм, так как этот показатель напрямую влияет на их теплопроизводительность. Далее речь пойдет именно об этом оборудовании.

Общее понятие о котельных

Котельная обычно представляет собой промышленное здание, в котором имеются:

- устройства для хранения некоторого запаса топлива, механизмы для его подготовки к сжиганию и подачи в топку;
- оборудование для очистки, хранения, подогрева и перекачки воды для питания котлоагрегата-теплообменников, водоочистки, деаэраторов, баков, питательных, сетевых и других насосов при установке паровых и водогрейных котлоагрегатов;
- различные вспомогательные машины и устройства, предназначенные для обеспечения длительной и надежной работы котельных агрегатов и в том числе приборов, позволяющих контролировать ход процессов в котлоагрегате и вспомогательном оборудовании.

Кроме указанного, вне здания котельной обычно располагаются:

- устройства для разгрузки и перемещения твердого топлива по складу, а также его сортировки, дробления и подачи в емкости котельной;
- устройства для приемки, разгрузки и подачи жидкого топлива по емкостям, аппаратам для подогрева, фильтрации и транспорта в котельную [4].

Таким образом, в котельной установке необходимо подать некоторое количество топлива и окислителя (воздуха); обеспечить сжигание топлива и отдачу теплоты от продуктов сгорания топлива рабочему телу и удаление продуктов сгорания топлива; подать рабочее тело – воду, сжатую до необходимого давления, нагреть эту воду до требуемой температуры или превратить ее в пар, отделить влагу из пара, а иногда и перегреть пар, обеспечив надежную работу всех элементов установки [2].

Потери при сжигании топлива

При анализе распределения теплоты в котле, получаемой при сжигании топлива, выделяют полезно используемую теплоту, пошедшую на образование пара или нагрев воды, и потери теплоты.

Потери теплоты с уходящими дымовыми газами являются наиболее крупными. Они зависят главным образом от температуры и объема газов. Температура отходящих газов заметно увеличивается при загрязнении поверхностей нагрева за счет ухудшения теплообмена. Объем газов возрастает за счет избыточного воздуха, подаваемого в топку, и за счет присосов по газовоздушному тракту котлоагрегата.

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания возникает в результате неполного окисления горючих элементов при недостаточной

подаче воздуха в топку, из-за плохого перемешивания топлива с воздухом, низкой температуры в топке, малого времени нахождения топлива в топке [5].

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания обусловлена провалом частиц топлива через отверстия колосников, уносом мелких частиц с газами и недожогом в удаляемом шлаке. Незначительная часть теплоты теряется через наружное ограждение котла (обмуровку и тепловую изоляцию) и с горячим шлаком, удаляемым из котла [3].

Продуктами полного сгорания топлива является двуокись углерода CO_2 , сернистый газ SO_2 и водяные пары H_2O . Кроме того, компонентами продуктов сгорания топлива являются азот N_2 , содержащийся в топливе и атмосферном воздухе, и избыточный кислород O_2 , который содержится в продуктах сгорания топлива, потому что процесс горения протекает не идеально и связан с необходимостью подачи большего, чем теоретически необходимо, количества воздуха [1].

Работа электродного котла

Электродный водогрейный (электродкотел) является котлом проточного типа. В качестве теплоносителя используется химически подготовленная вода. В рабочем состоянии внутренний объем котла полностью заполнен водой.

В котле при прохождении электрического тока через воду между электродами вода нагревается, за счет её электрического сопротивления. Количество электрической энергии, преобразуемой в тепловую в единицу времени зависит от площади поверхности нулевых фазовых электродов через которую может проходить электрический ток. Для осуществления управления производительностью котла регулирующие заслонки, из изоляционного материала, размещенные между фазовыми электродами и электродами нулевой точки на подвижной корзине, перемещаясь изменяют рабочую площадь электродов тем самым изменяя мощность. Котел спроектирован так, что максимальная производительность достигается, когда регулирующие экраны находятся в крайне нижнем положении (при этом электроды полностью открыты), а температура воды на выходе из котла составляет $115\text{ }^\circ\text{C}$. При подъеме управляющих экранов в крайнее верхнее положение (при этом фазовые электроды полностью закрыты) течение электрического тока между электродами, а, следовательно, и нагрев воды практически прекращаются.

Регулирование производительности котла можно осуществлять и за счет изменения кондуктивности воды. Если производительность становится слишком высокой, часть воды необходимо слить в дренаж, чтобы уменьшить кондуктивность (токопроводность). Если производительность слишком низка, необходимо произвести добавление в воду химических веществ увеличивающих кондуктивность (токопроводность). Добавление осуществляется дозирующим оборудованием. При условии комплектации котла соответствующим оборудованием процессы слива и дозирования производятся системой автоматического управления (САУ). Схема электродного водогрейного котла представлена на рисунке 1.

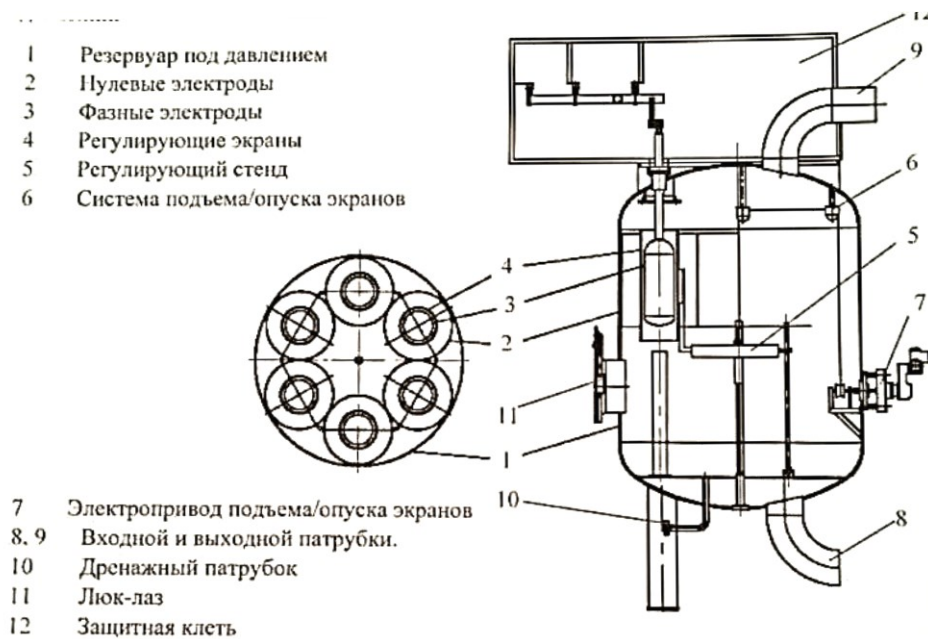


Рисунок 1 - Основные части электродного водогрейного котла

Заключение

По сравнению с котлами на других видах топлива, электродкотлы бесшумны, компактны и дешевы. Они не требуют специально отведенного места и оборудования для хранения топлива. Подключение электродкотлов намного проще. Электродные котлы проще в эксплуатации, не создают вредных выбросов и не нуждаются в постоянной чистке, обслуживании и регулярной закупке топлива. Так как котел не производит дымовые газы то и в установке дымовой трубы нет необходимости. Однако у него есть зависимость от стабильного наличия электричества и высокие требования к качеству и надежности электрической проводки. Также высокие требования предъявляют к очистке воды и её химической обработке. И не стоит забывать о высокой стоимости электроэнергии.

Литература

1. Роддатис, К. Ф. Котельные установки : учебн. пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов / К. Ф. Роддатис. – Москва: Энергия, 1977. – 432 с.
2. Бузиков, Е. Ф. Производственные и отопительные котельные / Е. Ф. Бузиков, Э. Я. Берзиньш, К. Ф. Роддатис. – Изд. 2-е, перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.
3. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : учебник для вузов / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев –Изд. 3-е, перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
4. Деев, Л. В. Котельные установки и их обслуживание : практ. пособие для ПТУ / Л. В. Деев, Н. А. Балахничев. – М. : Высшая школа, 1990. – 239 с.
5. Павлов, И. И. Котельные установки и тепловые сети : учебник для техникумов / И. И. Павлов, М. Н. Федоров. – Изд. 2-е, перераб. и доп.– М. : Стройиздат, 1977. – 301 с.

УДК 621.311.238

**ПОВЫШЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГТУ И ПГУ
INCREASING THE POWER GENERATION OF GTUS AND CCGTS**

Т. А. Сиваков, Н. С. Покровский

Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

yarmolchik@bntu.by

T. Sivakov, N. Pokrovsky

Supervisor – Yu. Yarmolchik, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье идет речь о повышении выработки электроэнергии ГТУ и ПГУ.*

***Abstract:** the article deals with the increase in electricity generation of GTUs and CCGTs.*

***Ключевые слова:** ГТУ, ПГУ, КПД, впрыск, электроэнергия.*

***Keywords:** GTU, CCGT, efficiency, injection, electricity.*

Введение

В данной работе рассмотрены способы повышения выработки электроэнергии путем впрыска воды в воздух перед компрессором, а также путем впрыска водяного пара в газовый поток в сочетании с уже известными методами повышения эффективности.

Основная часть

«Работы по изучению эффективности впрыска в компрессор ГТУ начаты еще в 60-е годы. Впервые был сделан термодинамический анализ эффекта впрыска воды на входе в компрессор, проведены испытания компрессоров с впрыском воды в полупромышленных и промышленных (в НПО «Тулачермет») условиях. В опытах для впрыска использовали дистиллированную воду» [1].

Внедрение данного способа сдерживается из-за опасений, что проточная часть компрессора будет подвергаться воздействию эрозии капельной влагой, которая исчезает в зоне, где температура сжимаемого воздуха превышает температуру насыщения водяного пара при давлении в данной зоне.

В результате термодинамического анализа эффекта влажного сжатия, было выяснено, что при сухом сжатии на привод компрессора расходуется до 67% мощности турбины, тогда как при влажном сжатии с впрыском до 8% влаги от массы циклового воздуха расходуется 30-35% мощности турбины, полезная мощность турбины увеличивается практически в 2 раза [1].

Другим способом увеличения выработки мощности ГТУ является впрыск пара в газоздушный тракт, получаемого в котле-утилизаторе. Значения энтальпии парогазовой смеси значительно больше чем у пара и газа, используемых в качестве рабочих тел отдельно в газовых и паровых турбинах.

Атмосферный воздух сжимается компрессором и подается в камеру сгорания, в которой происходит сгорание природного газа. Обессоленная вода под давлением, превышающим давление в газовом потоке на 25 – 30%, пройдя через поверхности нагрева котла утилизатора, поступает в виде слабо перегретого пара в камеру сгорания. В результате смешения газа и пара в камере сгорания объем рабочего тела увеличивается при неизменной мощности воздушного компрессора, что приводит к значительному повышению полезной мощности турбины. Для повышения температуры впрыскиваемого пара до начальной температуры газов приходится увеличивать количество сжигаемого в камере сгорания топлива, что компенсируется ростом мощности газовой турбины. Таким образом, в ГТУ с впрыском пара повышается не только мощность, но и КПД установки. Увеличение на 1% пароводяного рабочего тела в газовой турбине за счет подачи пара, генерируемого в котле-утилизаторе, повышает электрический КПД установки на 2 – 3% при одновременном увеличении мощности на 6 – 7% [2].

Однако, при значительной доле впрыскиваемого пара запас по помпажу компрессора снижается до предельно малых значений. Экспериментально установлена возможность нормальной работы камеры сгорания с добавкой пара не более 7 – 10% от расхода воздуха. В то же время энергоресурс отработанных в турбине газов позволяет вырабатывать в котле-утилизаторе современных ГТУ более 20 – 25% пара относительно расхода воздуха. Поэтому часть пара подается непосредственно в зону горения камеры сгорания, а другая часть – впрыскивается в газоздушный тракт перед газовой турбиной. Часть пара может использоваться для охлаждения сопловых лопаток первых ступеней газовой турбины [2].

Нельзя не отметить, что впрыск пара в камеру сгорания негативно сказывается на температуре в зоне горения топлива. Это снижает полноту сгорания топлива, что увеличивает образование окиси углерода СО в дымовых газах. Снижается устойчивость процесса горения и увеличивается вероятность вибрационного горения топлива. Проявление последнего может привести к разрушению элементов камеры сгорания.

Рассмотрим схему (рисунок 1) где реализованы следующие методы повышения эффективности: ступенчатое сжатие воздуха с промежуточным охлаждением; регенерационный подогрев воздуха; ступенчатое расширение с промежуточным подводом тепла как в последовательной, так и в параллельной камерах сгорания; перерасширение продуктов сгорания и впрыск водяного пара из котлов-утилизаторов в газовый поток.

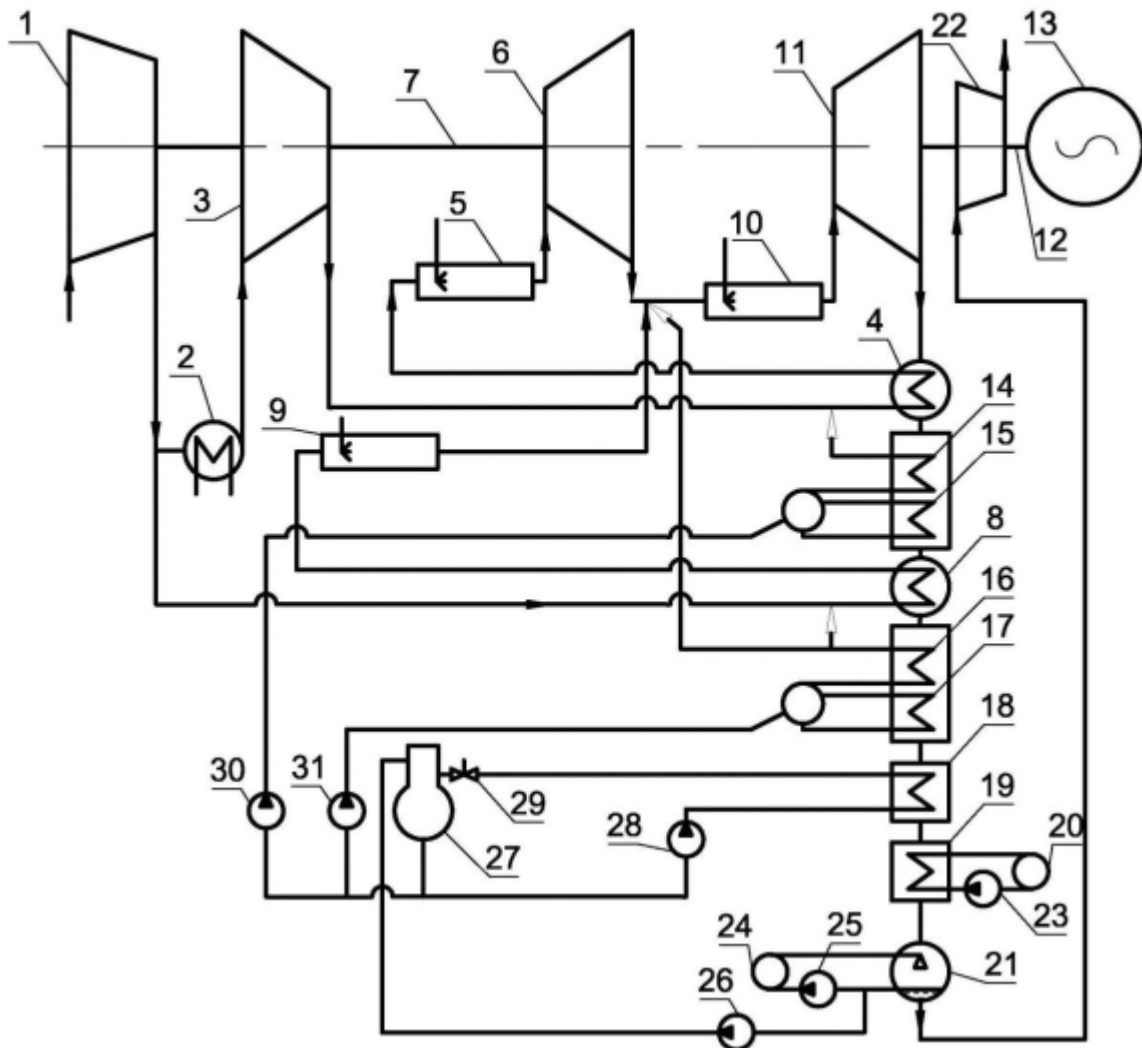


Рисунок 1 - Обобщенная тепловая схема ГТУ и ПГУ смешения

1 – компрессор низкого давления (КНД), 2 – охладитель воздуха (ОВ), 3 – компрессор высокого давления (КВД), 4 – регенератор высокого давления (РВД), 5 – камера сгорания №1 (КС1), 6 – турбина высокого давления (ТВД), 7 – вал ТВД, 8 – регенератор низкого давления (РНД), 9 – камера сгорания №2 (КС2), 10 – камера сгорания №3 (КС3), 11 – турбина низкого давления (ТНД), 12 – вал ТНД, 13 – электрогенератор, 14 – пароперегреватель №1 (ПП1), 15 – паровой котелутилизатор №1 (ПКУ1), 16 – пароперегреватель №2, 17 – паровой котелутилизатор №2 (ПКУ2), 18 – экономайзер подпиточной воды (ЭПВ), 19 – водогрейный котел-утилизатор (ВКУ), 20 – тепловой потребитель, 21 – контактный газоохладитель (ГО), 22 – компрессор газовый, 23 – сетевой электронасос, 24 – аппарат воздушного охлаждения, 25 – циркуляционный электронасос, 26 – конденсатный электронасос, 27 – деаэратор перегретой воды, 28 – подпиточный электронасос, 29 – редукционный клапан, 30 – питательный электронасос №1, 31 – питательный электронасос №2.

ПГУ смешения, выполненная по обобщенной схеме, работает следующим образом. Атмосферный воздух поступает в компрессор низкого давления 1, где повышается его давление. Затем он разделяется на два потока. Первый из них, пройдя воздухоохладитель 2, направляется в компрессор высокого давления 3. После чего поток воздуха смешивается с потоком пара из пароперегревателя парового котла-утилизатора 14. Далее паровоздушная смесь поступает в регенератор высокого давления 4, который представляет

собой теплообменный аппарат поверхностного типа. Подогретая паровоздушная смесь подается в основную камеру сгорания 5, в которой сжигается газообразное топливо. И основной камеры сгорания 5 продукты сгорания попадают в турбину высокого давления 6, являющуюся приводом для компрессоров низкого и высокого давлений 1, 3. Второй поток сжатого воздуха после компрессора низкого давления 1 смешивается с потоком пара из пароперегревателя парового котла-утилизатора 16. Далее паровоздушная смесь поступает в регенератор низкого давления 8, который представляет собой теплообменный аппарат поверхностного типа. В регенератор низкого давления 8 после парового котла-утилизатора 15 также направляются отработавшие газы, которые отдают часть своего тепла паровоздушной смеси. Подогретая паровоздушная смесь направляется в параллельную камеру сгорания 9, в которой сжигается газообразное топливо. Продукты сгорания из параллельной камеры сгорания 9 смешиваются с продуктами сгорания из турбины высокого давления 6, куда подается еще один поток пара из пароперегревателя парового котла-утилизатора 16 и поступают в последовательную камеру сгорания 10, в которой сжигается газообразное топливо. Откуда продукты сгорания направляются в турбину низкого давления 11, которая является приводом для электрогенератора 13 и газового компрессора 22. Выхлопные газы, поступающие из турбины низкого давления 11, проходят регенератор высокого давления 4, где подогревают паровоздушную смесь перед основной камерой сгорания 5. Из регенератора высокого давления 4 выхлопные газы поступают последовательно в пароперегреватель парового котла-утилизатора 14 и в сам котел-утилизатор 15, где отдают тепло пару в пароперегревателе и его котловой воде. Выхлопные газы, поступающие из парового котла-утилизатора 15, проходят регенератор низкого давления 8, где подогревают паровоздушную смесь перед параллельной камерой сгорания 9. Из регенератора низкого давления 8 выхлопные газы поступают последовательно в пароперегреватель парового котла-утилизатора 16 и в сам котел-утилизатор 17, где отдают тепло пару в пароперегревателе и его котловой воде. Выхлопные газы из парового котла-утилизатора 17 проходят экономайзер подпиточной воды 18, где отдают тепло подпиточной воде. Из экономайзера подпиточной воды 18 выхлопные газы поступают в водогрейный котел-утилизатор 19, подогревая сетевую воду, которая сетевым электронасосом 23 направляется к тепловому потребителю 20. Из водогрейного котла-утилизатора 19 выхлопные газы проходят контактный газоохладитель 21, где паровая составляющая потока конденсируется и смешивается с охлаждающей водой, которая циркуляционным электронасосом 25 подается в аппарат воздушного охлаждения 24, для понижения ее температуры. Из контактного газоохладителя 21 выхлопные газы направляются в атмосферу с помощью газового компрессора 22, который также поддерживает в утилизационной части установки разрежение. Часть потока охлаждающей воды, смешанной с конденсатом из контактного газоохладителя 21, конденсатным насосом 26 направляется в деаэрактор перегретой воды 27. В него также с помощью

подпиточного насоса 28 через экономайзер перегретой воды 18 подается поток перегретой воды, дозируемый редукционным клапаном 29. Деаэрированная вода из деаэратора перегретой воды 27 питательными электронасосами 30 и 31 подается в паровые котлы-утилизаторы 15 и 17 соответственно [2].

В результате проведения термодинамического анализа было установлено, что применение ступенчатого подвода теплоты в дополнительно установленной параллельной камере сгорания в схеме ПГУ с двухступенчатым сжатием воздуха и впрыском сухого насыщенного пара в регенераторы высокого и низкого давлений позволяет значительно увеличить полезную мощность установки до 56,76 МВт при эффективном КПД порядка 42% [2].

Заключение

Данные способы позволяют значительно увеличить выработку электроэнергии ГТУ и ПГУ, однако существуют пределы, в которых они проявляют свою эффективность. Для впрыска воды в атмосферный воздух перед компрессором пределом является 8 % от расхода воздуха, а для впрыска пара в газоздушный тракт – 7-10 % от расхода воздуха.

Литература

1. Способ повышения КПД парогазовой энергоустановки: пат №2334112 Российская Федерация, МПК F01K 23/02, F02C 6/00 / В.Н. Кириленко; заявитель – В.Н. Кириленко; заявл. 10.07.2006; опубл. 20.09.2008 // Официальный бюл. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2008. – № 26. – С. 9.
2. Шапошников В.В. Повышение эффективности ГТУ и ПГУ путем совершенствования тепловых схем и оптимизации параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / В.В. Шапошников – Краснодар, 2015 – 178 с.

УДК 621.182

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ
BASIC APPROACHES TO THE RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL HEATING BOILERS

Е.В. Буча.

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
bobichsas@mail.ru

E. Bucha

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация – в работе рассмотрен вопрос реконструкции производственно-отопительной котельной.

Abstract: the paper considers the issue of reconstruction of the production and heating boiler house.

Ключевые слова – реконструкция, производственно-отопительная котельная, задачи.

Keywords: reconstruction, production and heating boiler house, tasks.

Введение

Реконструкция котельных представляет собой комплекс мер, направленных на усовершенствование работы теплооборудования. В одних случаях достаточно очистки и ремонта существующей техники, в других – необходима полная замена оборудования на более современные комплексы [1].

Основная часть

Оборудование котельной имеет конкретный срок износа. На сегодняшний день работает огромное количество котельных, многие из которых были построены 30- 40 лет назад. Притом, что расчетный срок эксплуатации их оборудования составляет 20-25 лет. Устаревшее оснащение не отвечает современным требованиям, становится причиной частых поломок, приводит к увеличению расходов на ремонт и содержание котельных, что в свою очередь способствует повышению тарифов на тепловую энергию. Для того, чтобы повысить энергоэффективность и избежать ненужных затрат на ремонт и обслуживание, необходимо провести реконструкцию котельной.

Реконструкция котельных – это полная или частичная замена изношенного котельного оборудования на новое, техническое совершенствование теплового источника, оптимизация работы системы в целях повышения эффективности работы установки, снижения эксплуатационных затрат и приведения котельной в полное соответствие современным требованиям.

Деньги, вложенные в реконструкцию котельной вернуться в виде экономии через несколько лет, обычно 2-3 года. Обычно, подобные работы проводятся на базе существующих стационарных котельных, оборудование

которых изношено, физически и морально устарело. Поэтому рекомендуется проводить реконструкцию котельной при высокой степени износа котельного оборудования, нарушении температурного графика подачи тепла, а также высокой себестоимости выработки тепла [2].

Для проведения правильной и эффективной реконструкции котельной необходимы следующие мероприятия:

- тщательный анализ системы теплоснабжения;
- расчет экономической целесообразности реконструкции;
- формирование стратегий по решению поставленной задачи;
- выбор основного и вспомогательного оборудования;
- проектирование котельной;
- строительно-монтажные работы;
- пуско-наладочные работы.

Реконструкция котельной позволяет решить следующие задачи:

- снижение расходов топлива, что способствует уменьшению себестоимости тепловой энергии;
- повышение производительности оборудования;
- сокращение затрат на содержание котельной; - полная автоматизация оборудования;
- повышение качества теплоснабжения;
- повышение безопасности в процессе эксплуатации;
- уменьшение объема вредных выбросов в атмосферу [2].

Заключение

При выполнении реконструкции могут быть достигнуты следующие цели:

- увеличение КПД за счет внедрения инновационных энергосберегающих комплексов.
- увеличение тепловой мощности.
- оптимизация расхода топлива.
- снижение расходов электроэнергии.
- минимизация эксплуатационных расходов и расходов на обслуживание.

Литература

1. Реконструкция котельных : [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kes.by/raboty-i-uslugi/rekonstrukcija-kotelnyh/> – Дата доступа: 01.03.2022.

2. Реконструкция районной котельной №1 г. Учалы республики Башкортостан: [Электронный ресурс]] – Режим доступа: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/25287/2018_479_karimovair.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Реконструкция%20котельных%20%20это%20полная,%20в%20полное%20соответствие%20современным%20требованиям – Дата доступа: 01.03.2022.

УДК 620.97

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛАХ EFFICIENT USE OF LOCAL FUELS IN HOT WATER BOILERS

Д.А. Войтович

Научный руководитель – Л.И. Качар

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

D. Voitovich

Scientific supervisor – L. Kachar

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *повышение эффективности использования МВТ.***Abstract:** *improving the efficiency of the use of local fuel.***Ключевые слова:** *топливо, котёл, МВТ, влагосодержание, сушка, зола.***Keywords:** *fuel, boiler, local fuel, moisture content, drying, ash.*

Введение

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 является приоритетным направлением энергетической политики страны. 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, щепу, но для более эффективного использования древесных отходов необходимо правильно подготавливать подобные виды топлива к использованию в котлоагрегатах.

Основная часть

К местным видам топлива в Республике Беларусь относят:

Дрова. Обладают сравнительно небольшой теплопроизводительностью (удельная теплота сгорания 10,2МДж/кг), повышенной влажностью и лёгким весом. Перевозить их на большое расстояние невыгодно. Дрова удобны тем, что они содержат мало золы (1-2%), легко загораются и дают длинное пламя.

Торф - это ценный природный биологический материал. Это самое молодое из всех видов топлива отложение, которое образовалось естественным образом: разложением отмерших частей деревьев, кустарников, трав. Торф в качестве топлива используется благодаря его составу. Сюда входят большое содержание углерода (50-60%), малое содержание серы, вредные негорючие остатки и примеси. Недостатки: более низкая, чем у угля энергетическая калорийность и трудности сжигания из-за высокого содержания влаги (до 65%)

Древесный уголь - твёрдый, пористый, высокоуглеродистый продукт (84% углерода), образующийся при нагревании древесины без доступа кислорода. Теплота сгорания, в среднем, 31 МДж/кг.

Каменный уголь. Теплотворная способность достигает 7000 ккал/кг. Каменный уголь относится к наименее экологичным видам топлива, так как при его сжигании в атмосферу выбрасывается большое количество вредных выбросов.

Рост цен на традиционные энергоносители, такие как газ и мазут, заставляет многие предприятия коммунальной энергетики реконструировать действующие или строить новые котельные для использования местных видов возобновляемого топлива.

В Советском Союзе топки для сжигания древесных отходов и фрезерного торфа были разработаны в довоенные и первые послевоенные годы. В топках Шершнева и Макарьева впервые был применен метод рециркуляции топлива и продуктов сгорания в топочной камере, что позволило отказаться от тщательного и равномерного помола топлива перед сжиганием. Однако эти топки имели громоздкую конструкцию и могли быть установлены только под котлами с относительно большой производительностью.

Вопросы экономической эффективности котлов, работающих на биомассе, также, как и вопросы экономически эффективной заготовки и хранения топлива, на том этапе развития котельной техники были вторичными. Но эти вопросы становятся в наши дни определяющими, в связи с такими серьезными недостатками большинства видов биомассы, как низкая насыпная плотность и высокая влажность.

Характерной особенностью древесных отходов является их высокая гигроскопичность, которая определяющим образом влияет на теплотворную способность отходов и эффективность их использования как топлива. На рисунке 1 представлено влияние относительного влагосодержания на теплотворную способность отходов различных пород древесины. Из графика следует, что при увеличении влажности отходов уменьшение низшей теплотворной способности топлива становится все более существенным.

С учетом такой зависимости теплотворной способности древесины и древесных отходов от влажности может быть предложено два варианта использования их как топлива. В первом варианте возможно прямое сжигание древесных отходов высокой влажности. Котлы, в которых сжигается высоковлажное топливо, оборудуются наклонно-переталкивающей решеткой и сложной системой подачи первичного воздуха, обеспечивающей необходимую подсушку топлива перед сжиганием. Из вышеизложенного видно, что данный вариант использования древесных отходов требует значительного усложнения конструкции котла, увеличение мощности системы топливоподачи, что неизбежно ведет к увеличению стоимости котельной установки в целом.

Другой вариант использования влажных древесных отходов предполагает строительство для них промежуточного склада, где та же щепа за 6-8 недель в результате естественных процессов, протекающих в бурте щепы, подсушивается до влажности 25-35%. Причем скорость просушки исключает процесс гниения, а невысокая температура, образующаяся во влажном бурте

(50-55 °С), исключает возможность самовозгорания. На рисунке 2 представлен внешний вид таких топливных складов

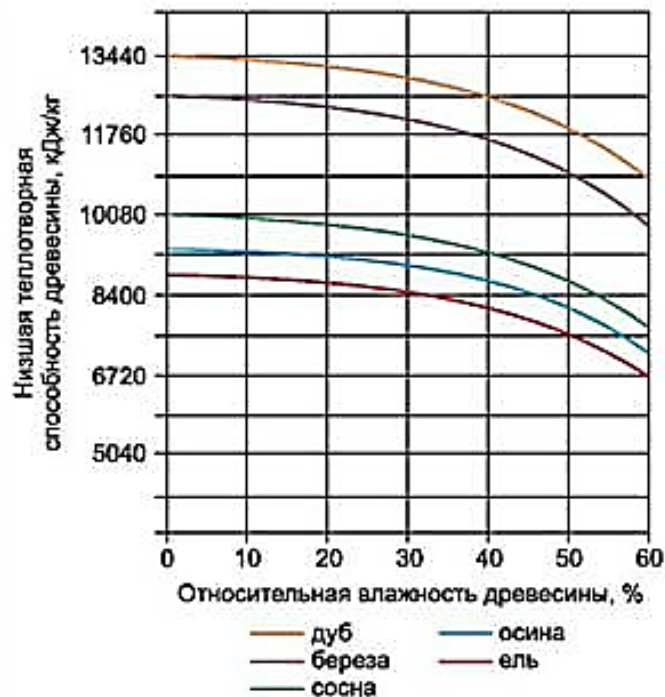


Рисунок 1 - Влияние относительного влагосодержания на теплотворную способность древесных отходов из разных пород древесины.

Склад представляет собой навес со стенами, которые немного не доходят до крыши, давая выход влаге, выделяющейся при сушке древесных отходов.



Рисунок 2 - Топливный склад МВТ

Для подачи к котлам древесных отходов выпускают механизированные топливные склады. Склад должен располагаться в непосредственной близости

от энергетической установки, иметь проем для въезда погрузчика либо транспортной тележки. Используется система топливоподачи на основе суставчатой фрезы, рисунок 3.



Рисунок 3 - Фреза для подачи щепы, опилок и гранул.

Шнековая система доставки топлива состоит из многоколенчатой фрезы, редуктора с червячной передачей, верхнего защитного диска и открытой части шнекового канала. Редуктор и вал фрезы прикрываются специальным защитным диском для предохранения от ударов и равномерного распределения нагрузки от давления столба биомассы. Фреза при вращении равномерно подгребает материал к открытой части шнекового канала. Далее биомасса при помощи шнека, изготовленного из нержавеющей стали, продвигается на участок закрытого канала, непосредственно в помещение котельной. Диаметр фрезы рассчитывается в зависимости от размеров бункера и может достигать 7 м.

Такая фреза может быть установлена для каждого котла в котельной. Выход из строя фрезы у какого-либо из котлов в котельной не останавливает работу котельной в целом, т.е. надежность системы теплоснабжения довольно высока. Система топливоподачи может быть пригодна при сжигании древесной щепы, опилок, стружки, лузги подсолнечника, проса, риса, а также пеллет, изготовленных из этих сельскохозяйственных отходов, и других видов биотоплива.

Обычно считается, что биомасса содержит небольшое количество золы (в сравнении с углем), причем эта зола имеет высокую температуру плавления (за исключением золы соломы) и представляет собой мелкодисперсный порошок. Поэтому котлы, работающие в системах отопления оборудуются, как правило, колосниковой решеткой. Через щели этой решетки зола

проваливается в золовой бункер, откуда периодически удаляется вручную или с помощью шнекового транспортера.

Заключение

Современная технологическая цепочка от заготовки биомассы до ее эффективного сжигания предполагает минимальное использование ручного труда и максимально эффективное использование теплогенерирующего оборудования. Однако исключение любого звена из этой цепочки, например, исключение стадии подсушки заготовленной щепы на промежуточном складе, приводит к резкому ухудшению экономических показателей, к тому же производительность котлов может снизиться на 20-25%.

Безусловно, создание такой технологической цепочки требует больших капитальных вложений, однако повышение эффективности использования МВТ в условиях того, что самих котельных в ЖКХ, работающих на местных видах топлива, более 70 процентов, безусловно приведет к экономии ТЭР.

Литература

1. Местные виды топлива Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studwood.ru/1775907/matematika_himiya_fizika/mestnye_vidy_topliva_respubliki_bielarus – Дата доступа: 28.02.2021.
2. Местные виды топлива [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://extxe.com/11850/mestnye-vidy-topliva/> – Дата доступа: 28.02.2021.
3. Уже более 70 процентов котельных системы ЖКХ работает на местных видах топлива [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/topim-za-svoe-kotelnie.html> – Дата доступа: 28.02.2021.
4. Топливо высокой влажности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/stat748.html> – Дата доступа: 28.02.2021.

УДК 621.182

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. МЕТОДЫ ИХ
РЕШЕНИЯ**
ENVIROMENTAL PROBLEMS OF ENERGY. SOLUTION METHODS

В.М. Терехович, М.В. Лесь

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

V. Terekhovich, M. Les

Scientific adviser – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Методы уменьшения негативного влияния энергетики на экологию.*

Abstract: *Methods to reduce the negative impact of energy on the environment.*

Ключевые слова: *Рост потребления энергии, влияние на окружающую среду, возобновляемые источники энергии.*

Keywords: *Growth in energy consumption, environmental impact, renewable energy sources.*

Введение

Использование энергии считается неотъемлемым условием существования населения земли. Присутствие пригодной для употребления энергии всякий раз было необходимо для помощи в решении надобностей человека, повышение продолжительности и совершенствования критерий человеческой жизни. Первый прыжок в подъеме потребления энергии случился, в тот момент, когда человек изучил добычу огня и использовал его с целью получения еды и подогрева собственных домов. Следующий значительный шаг выпал на создание колеса, изобретением всевозможных орудий труда, изучением кузнечного изготовления. В последние 200 лет, и увеличилось в 30 раз достигнуто 13.7 Гигатонн условного топлива в год.

Основная часть

Энергетические и экологические проблемы тесно связаны между собой, поскольку практически невозможно производить, транспортировать или потреблять энергию без существенного воздействия на окружающую среду. Экологические проблемы, непосредственно связанные с производством и потреблением энергии, включают загрязнение воздуха, изменение климата, загрязнение воды, тепловое загрязнение и удаление твердых отходов. Выбросы загрязнителей воздуха в результате сжигания ископаемого топлива являются основной причиной загрязнения воздуха в городах. Сжигание ископаемого топлива также является основным источником выбросов парниковых газов они же создают на поверхности земли одеяло, препятствующее выходу коротких солнечных лучей ночью. Таким образом, энергетический кризис способствует повышению температуры на Земле, способствуя глобальному потеплению. Различные проблемы загрязнения воды

связаны с использованием энергии. Одна проблема - разливы нефти. Во всех операциях по обращению с нефтью существует конечная вероятность разлива нефти либо на землю, либо в водоем. Добыча угля также может загрязнять воду. Изменения потока подземных вод, вызванные добычей полезных ископаемых, часто приводят к контакту незагрязненных вод с определенными минеральными материалами, которые выщелачиваются из почвы и образуют кислотный шахтный дренаж. Твердые отходы также являются побочным продуктом некоторых форм использования энергии. Добыча угля требует удаления большого количества земли, а также угля.

Большая часть индустриальной эпохи была создана с использованием ископаемого топлива, но есть также известные технологии, использующие другие виды возобновляемых источников энергии, такие как пар, солнце и ветер. Основная проблема заключается не столько в том, что у нас закончатся газ или нефть, сколько в том, что использование угля будет продолжать загрязнять атмосферу и уничтожать другие природные ресурсы в процессе добычи угля, который необходимо заменить как источник энергии. Это непросто, поскольку многие ведущие отрасли промышленности используют уголь, а не газ или нефть, в качестве основного источника энергии для производства.

Возобновляемая энергия будет необходимым источником для производства электроэнергии в ближайшем будущем, т.к. мы можем использовать эти ресурсы вновь и вновь для производства полезной энергии. Энергетические ресурсы обычно классифицируются как ископаемые, возобновляемые и ядерные. Всевозможные возобновляемые источники энергии, такие как гидроэнергетика, ветер, солнечная энергия, биомасса, энергия океана, биотопливо, геотермальная энергия и т.д., обеспечивают 15–20% всей мировой энергии. Мир превратится в глобальную деревню из-за роста надобности в энергии из-за стремительного роста населения, что приводит к использованию ископаемого топлива, такого как уголь, газ и нефть, для удовлетворения потребности в энергии, что делает неустойчивые ситуации и множество проблем. Такие как истощение запасов ископаемого топлива, экологические и географические конфликты, парниковый эффект, глобальное потепление и колебания цен на топливо.

Благодаря экологичности и меньшего выброса газов из возобновляемых источников энергии она считается стабильной энергией; также поддерживается для общества по всем измерениям, таким как экономическое, социальное и экологическое. Возобновляемые источники энергии могут обеспечить мировой спрос на энергию, защитить окружающую среду и обеспечить энергетическую безопасность. Наряду с выдающимися достоинствами этих ресурсов существуют и некоторые недостатки, такие как колебания производительности из-за сезонных изменений, что характерно для ветряных и гидроэлектростанций; следовательно, необходим особый дизайн и рассмотрение, которые выполняются аппаратным и программным обеспечением благодаря совершенствованию компьютерных технологий.

Возобновляемые источники энергии будут лучшим вариантом для минимизации загрязнения, повышения экономики, энергетической безопасности и возможностей трудоустройства; кроме того, бедность сократится, потому что в основном бедняки полагаются на природные ресурсы. Считается, что после 2050 г. 50 % мирового энергоснабжения будет производиться с использованием возобновляемых источников энергии; количество возобновляемых источников энергии в 140 раз превышает мировое годовое потребление энергии. Возобновляемые источники энергии как «двигатель рабочих мест для Германии», общее количество рабочих мест увеличилось на 55% с 2004 года, сообщается в публикации Министерства окружающей среды (BMU). Во всем мире около трех миллиардов человек используют твердое топливо, в основном ископаемое, что вызывает проблемы со здоровьем и такие заболевания, как пневмония, хронические респираторные заболевания и рак легких.

Таким образом есть действия, которые вы можете предпринять, чтобы уменьшить воздействие вашего энергопотребления на окружающую среду[^]

Сокращение потерь энергии с помощью энергоэффективности

Переход на более чистые источники энергии

Экономия энергии. Уровень воздействия прогресса на экономию энергии возможно показать на примере паровых машин. Как известно, КПД паровых машин 100 лет назад составлял 3-5%, а сейчас достигает 40%. Развитие мировой экономики спустя энергетического кризиса 70 годов вдобавок показало, что на этом пути у человечества имеются внушительные резервы. Использование ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий гарантировало веское сокращение потребления топлива и материалов в развитых странах. Проще говоря энергоэффективность заключается в том, чтобы потреблять меньше энергии для выполнения той же работы, избегая при этом высоких счетов за электроэнергию и ненужного засорения окружающей среды. Многочисленные продукты, дома, коммерческие здания и промышленные объекты используют намного больше энергии, чем необходимо. К примеру, энергосберегающие лампочки используют на 70–90 % меньше энергии, чем лампы накаливания, чтобы проделывать ту же работу: освещать комнату.

Заключение

Решить проблему может замена традиционных лампочек на КЛЛ и светодиоды. Они потребляют меньше электроэнергии и служат дольше. Если миллионы людей по всему миру будут использовать светодиоды и компактные люминесцентные лампы в жилых и коммерческих целях, спрос на энергию может снизиться, и энергетический кризис можно будет предотвратить. Так же может помочь развитие альтернативных видов энергетики, в особенности опирающийся на использовании возобновляемых источников. Хотя пути реализации данного направления все еще не очевидны. Пока возобновимые источники дают не более 20 % общемирового использования энергии. Значимый вклад в эти 20% приносят использование биомассы и гидроэнергетика.

Литература

1. Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm> – Дата доступа: 28.03.2022.
2. Энергетика и экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/11klassekologiceskieproblemy/urok-3-energetika-i-ekologia> – Дата доступа: 28.03.2022.

УДК 620.97

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ОБОРУДОВАНИЯ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА
RECONSTRUCTION OF THE BOILER HOUSE WITH THE USE OF
EQUIPMENT FOR LOCAL FUEL**

О.Г. Щесняк

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

migutski@bntu.by

O.Shchesniak

Supervisor – I. Migutski, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: данная работа включает в себя описание котельной в г. Червень и обоснование реконструкции данного объекта.

Abstract: this work includes a description of the boiler house in Cherven and the justification for the reconstruction of this object.

Ключевые слова: котельная, щепя, реконструкция, котел, тепловая мощность.

Keywords: boiler house, wood chips, reconstruction, boiler, heat output.

Введение

Реконструируемая котельная расположена в Минской области г. Червень по ул. Флегонтова. 42.

В настоящее время теплоснабжение г. Червеня осуществляется от существующих котельных «Групповая», «Больница», «Центральная». Котельные находятся на балансе КУП «Червенское ЖКХ». Категория котельных «Групповая» и «Центральная» по надежности отпуски тепла потребителям - вторая. Категория котельной «Больница» - первая. Резервным источником потребителей тепла центральной районной больницы является котельная «Групповая». Существующая система теплоснабжения, закрытая: четырехтрубная от котельной «Больница»; двухтрубная от котельных «Групповая» и «Центральная».

Основная часть

Котельные приготавливают сетевую воду расчетными параметрами 95-70°C. Приготовление воды на нужды ГВС температурой 55°C для потребителей центральной районной больницы осуществляется в котельной «Больница». Для потребителей котельной «Групповая» — в существующих ИТП. Приготовление горячей воды для потребителей котельной «Центральная» не предусмотрено.

Котельная «Центральная» работает в отопительный период. Основное теплогенерирующее оборудование котельной: котлы ДЕ-10/14 ГМ (2шт). Установленная тепловая мощность — 10,32 Гкал/ч. Температурный график теплоносителя — 95/70°C. Основное топливо – природный газ. Демонтаж котельной «Центральная» предусматривается 2 очередью строительства при

переподключении нагрузок на новую проектируемую блочно–модульную котельную.

Котельная «Групповая» работает постоянно. Основное теплогенерирующее оборудование котельной: котлы КВ–ТС–1 (5шт). Установленная тепловая мощность — 4,3 Гкал/ч. Температурный график теплоносителя — 95/70 °С. Основное топливо – природный газ.

Котельная «Больница» работает постоянно. Основное теплогенерирующее оборудование котельной: котлы Факел Г (5шт). Установленная тепловая мощность — 4,3 Гкал/ч. Температурный график теплоносителя — 95/70 °С. Основное топливо – природный газ.

Категория котельной «Групповая» по надежности отпуска тепла потребителям — вторая, оборудование котельной выработало свой ресурс и после реализации проекта будут демонтирована.

Котельная «Больница» будет переведена в резерв для покрытия нагрузок потребителей первой категории в случаях выхода из строя котла наибольшей мощности (4,3 Гкал/ч) в проектируемой котельной.

Для строительства новой котельной проектом предусмотрен демонтаж сооружений системы мазутоснабжения, демонтаж существующих опорных конструкций надземных трубопроводов.

На территории котельной «Групповая» осуществить строительство проектируемого навеса хранения дополнительного объема щепы (с размерами в плане 42x18 м $V = 2529$ м³). Снос существующего здания котельной «Групповая» и существующей дымовой трубы и другого оборудования предусмотрен после ввода в эксплуатацию новых сооружений.

Топливом проектируемой котельной принято: основной режим — МВт (щепы); пиковый режим — природный газ. В соответствии с заданием на проектирование оборудование и здание котельной «Групповая» демонтируется. Котельная «Больница» после реализации проекта будет переведена в резерв.

Проектом предусматривается установка двух водогрейных котлов на местных видах топлива (щепе) производства «Enerstena» (Литва) единичной тепловой мощностью 5 МВт каждый и установка одного водогрейного котла тепловой мощностью 2МВт, расходный склад топлива объемом 100 м³, навеса для хранения запаса щепы объемом 2529 м³. Также для пикового режима котельной предусматривается установка двух водогрейных газовых котла тепловой мощностью 3 МВт каждый. Режим работы котлов – круглогодичный.

Заключение

Применение в проекте котлов позволит использовать отходы лесозаготовки (щепы) для производства тепла на отопление и горячее водоснабжение с целью повышения эффективности, уменьшения эксплуатационных расходов, повышения уровня надежности и безопасности работы всех систем теплоснабжения предприятия.

Литература

1. Котел ДЕ-10-14 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://www.biek.ru/de-10-14_gmo/. – Дата доступа: 02.03.2022.
2. Enerstena [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.enerstena.It/ru/> – Дата доступа: 02.03.2022.

УДК 620.97

**БИОЭНЕРГЕТИКА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
BIOENERGY IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Д. А. Бабинец, А. В. Чешун

Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

D. Babinets, A. Cheshyn

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье речь идёт о биоэнергетике в Республике Беларусь и перспективах ее развития.

Abstract: The article deals with bioenergy in the Republic of Belarus and the prospects for its development.

Ключевые слова: биогаз, энергоэффективность, отходы

Keywords: biogas, energy efficiency, waste

Введение

Биоэнергетика – это перспективное направление энергетической отрасли, получение энергии из топлива биологического происхождения. Топливо-энергетические комплексы большинства стран мира демонстрируют высокую степень диверсификации топливо-энергетических ресурсов, а также их общую динамику увеличения потребления. Темп потребления топлива в мире постоянно растет, при этом значительно увеличивается доля использования природного газа при производстве электроэнергии. Так как рост цен на газ неизбежен, обеспечение энергетической безопасности требует разработки новых технологий на основе фундаментальных и прикладных исследований и больших затрат на их реализацию.

Основная часть

Энергообеспечение и энергоэффективность имеет стратегическое значение, ведь Беларусь - страна, импортирующая сырьевые и энергетические ресурсы, расходующая их на производство единицы продукции в 2–3 раза больше, чем экономически развитые государства. Переход от энергоемкого производства к наукоемкому ресурсосберегающему и экологически чистому производству должен обеспечиваться прежде всего высоким интеллектуальным ресурсом страны.

Одно из актуальных направлений реализации государственной политики в области энергообеспечения и энергоэффективности является использование биогаза в электротехнике и теплоэнергетике.

Биогаз – это газ, состоящий примерно из 50–70 % метана и 50–30 % углекислого газа. Он вырабатывается в процессе брожения из биоотходов и может использоваться как обычный природный газ для технологических целей, обогрева, выработки электроэнергии. Его можно накапливать, перекачивать, использовать для заправки автомобиля или продавать соседним странам. Для

производства биогаза используют органические отходы птицеферм, свиноферм, зерновую и меласную послеспиртовую барду, пивную дробину, свекольный жом, отходы рыбного и забойного цеха, траву, бытовые отходы, отходы молокозаводов, отходы производства биодизеля, отходы от производства соков, водоросли, отходы производства крахмала и патоки, отходы переработки картофеля.

Для Беларуси значительное использование собственных энергетических ресурсов актуально как никогда. Опыт многих стран показывает, что даже при отсутствии больших собственных запасов нефти и газа экономика государства может развиваться эффективно.

Среди промышленно развитых стран ведущее место в производстве и использовании биогаза по относительным показателям принадлежит Дании, Германии. Энергия, полученная из биогаза, принадлежит к возобновляемой, поскольку происходит из органического возобновляемого субстрата. Ограниченное количество энергоносителей на Земле и рост потребности в альтернативных источниках придает еще большее значение производству биогаза на биогазовых установках.

Перспективы использования биомассы у нашей страны велики. Республика Беларусь обладает значительным потенциалом использования биоресурсов в энергетических целях и при этом может сэкономить огромные средства, необходимые для закупки нефти и газа. На землях, подверженных ветровой и водной эрозии, непригодных для использования в сельскохозяйственных целях, можно использовать для высадки быстрорастущих культур, которые могут дать биомассу. Это помогло бы укрепить почву, сохранить плодородие и получить качественную биомассу. Значительные площади могут быть использованы для посева быстрорастущих культур, в том числе масличных в качестве сырья для производства топлива. Сжигание биомассы – очень благоприятное направление с точки зрения выполнения обязательств по Киотскому протоколу, так как по международной классификации выбросы от сжигания древесины и иной биомассы не являются парниковыми. Поэтому Беларусь сможет получить с помощью этих механизмов дополнительные средства для решения сложных экологических задач.

В каждом районе республики есть животноводческие и птицеводческие комплексы, отходы которых могут быть использованы в качестве биотоплива, попутно производя экологически чистые удобрения. Получение органоминеральных удобрений при переработке в биогазовых установках отходов скота и птицы, выращиваемых сельскохозяйственными предприятиями, позволило бы ежегодно замещать 63% годового потребления азотных и фосфорных, и 73 % калийных удобрений.

При этом биогазовые установки на животноводческих и птицеводческих комплексах могут покрывать до 50 % потребности этих комплексов в электроэнергии. В масштабах республики из животноводческих ферм, комплексов и птицефабрик ежегодно в потенциале можно получать по биогазовой технологии около 2,5 млрд м³ биогаза и вырабатывать на его

основе с использованием высокоэффективных когенерационных установок около 5 млн МВт · ч электрической и 8,5 млн Гкал тепловой энергии. С учетом замещения невозобновляемых источников энергии это способствовало бы ежегодной экономии около 2,9 млн т у. т.

При ежегодном увеличении цены на газ срок окупаемости установки составит 3–4 года.

В Республике Беларусь построено три импортных биогазовых комплекса, в СГЦ «Западный» Брестского района, на племптицезаводе «Белорусский» Минского района и на Гомельской птицефабрике. Зарубежные инвесторы заинтересованы в финансировании строительства в Беларуси биогазовых установок. В частности, одна из немецких фирм готова ежегодно вкладывать в создание биогазовых комплексов в Беларуси от 30 до 35 млн евро, за счет которых можно построить 8–9 таких комплексов. В то же время имеющийся в стране научно- конструкторский и производственный потенциал позволяет спроектировать, разработать и освоить производство части оборудования и комплектующих для биогазовых комплексов. Научно-практический центр механизации сельского хозяйства Национальной академии наук Беларуси утвержден головной организацией разработки технологий, проектирования и научно-технического сопровождения внедрения биогазовых комплексов в стране. С этой целью на экспериментальной базе Зазерье научно-практического центра предусмотрено строительство опытного биогазового комплекса с использованием оборудования и комплектующих, разработанных белорусскими учеными. Импортозамещающий эффект от использования белорусских комплектующих может составить в 2025 году – 65 млн евро.

Рентабельность и конкурентоспособность биогазовых технологий состоит в том, что они, являясь энергетическими, играют также роль комплексных природоохранных мероприятий: улучшают экологическую обстановку, восстанавливают плодородие почвы за счет внесения высококачественных обеззараженных органоминеральных удобрений и включают в энергобаланс биогаз как возобновляемый источник энергии.

Заключение

Таким образом, рациональный подход к развитию биоэнергетики в Беларуси может реально обеспечить выработку электро- и теплоэнергии, используемую в нуждах сельского хозяйства с приемлемым сроком окупаемости. По мере роста цен на энергоносители и электроэнергию эффективность внедрения биогазовых установок будет возрастать и приведет к дальнейшему повышению доли биоэнергии в энергетическом балансе страны.

Литература

1. Биоэнергетика в Беларуси: потенциал и перспективы развития [Электронный ресурс]/ Биоэнергетика в Беларуси: потенциал и перспективы развития . -Режим доступа: <http://innosfera.by/images/temp/1-8.19.pdf?ysclid=12dlkqa7u9> – Дата доступа: 24.04.2022.

УДК 621.181.25

УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОКОТЛОВ НА МИНСКОЙ ТЭЦ-3
INSTALLATION OF ELECTRIC BOILERS AT MINSK CHPP-3

В.И.Савицкая

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

V. Savitskaya

prokopenya@bntu.by

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: внедрение электрических котлов на Минской ТЭЦ-3.

Abstract: introduction of electric boilers at Minsk CHPP-3.

Ключевые слова: электрокотёл, энергосистема, тепловая мощность, эффективность установки.

Keywords: electric boiler, power system, thermal power, installation efficiency.

Введение

Для возможности регулирования мощности энергосистемы после ввода Белорусской АЭС в энергосистеме Республики Беларусь выполняется установка водогрейных электрокотлов, в том числе и на филиале «Минская ТЭЦ-3» РУП «Минскэнерго». Установка водогрейных электрокотлов с целью отпуска тепла в период глубокой разгрузки турбин после ввода Белорусской АЭС», проектом предусматривается установка на Минской ТЭЦ-3 двух электрокотлов Parat IEN мощностью по 50 МВт (43 Гкал/ч) каждый. Суммарная тепловая мощность электрокотельного оборудования составит 100 МВт.

Основная часть

Цель реализации проекта состоит в обеспечении максимальной загрузки Белорусской АЭС в период спада потребления электрической энергии. С этой целью генерирующее оборудование Минской ТЭЦ-3 в периоды ночного минимума электрической нагрузки разгружается до величины, определяемой необходимостью покрытия тепловых нагрузок потребителей. При установке электрокотлов, в данный период, часть тепловой нагрузки от ПВК или с отборов турбин ТЭЦ передается на вновь устанавливаемое оборудование. В результате снижается потребление органического топлива на ТЭЦ и снижается отпуск электрической энергии от станции на величину, потребляемую электрокотлами с учетом снижения теплофикационной выработки, связанной с разгрузкой отборов турбин. Ввод в эксплуатацию электрокотлов на Минской ТЭЦ-3 позволит избежать необходимости останова энергоблоков и обеспечит дополнительную выработку электроэнергии на них. В результате реализации проекта расход топлива снизится на пуски-остановы энергоблоков и увеличится на обеспечение дополнительной выработки электроэнергии. Вырабатываемая электроэнергия пойдет на обеспечение

выработки тепловой энергии на электродкотлах, таким образом, отпуск электрической энергии потребителям не изменится, а эффект будет обеспечиваться.

Использование электродкотлов на ТЭЦ предусматривается по следующей схеме - в ночные часы (примерно с 23-00 до 6-00) происходит разгрузка отопительных отборов турбоагрегатов на величину, равную тепловой мощности установленных электродкотлов. При этом кроме снижения выработки электроэнергии на тепловом потреблении при разгрузке отборов, снижается выдача электрической мощности в энергосистему на величину электрической мощности, расходуемой на электродкотлы.

Основными элементами электродкотельной установки являются:

- система замкнутого контура КВЭ (котел водогрейный электродный);
- система подпитки и заполнения замкнутого контура КВЭ;
- система дозирования химреагента;
- система азота;
- система дренажей;
- система сетевой воды.

Система замкнутого контура КВЭ включает в себя:

- котел водогрейный электродный;
- насосы замкнутого контура;
- подогреватель сетевой воды;
- трубопроводы, запорная и регулирующая арматура;
- средства КИПиА.

Принципиальная схема системы замкнутого контура приведена на рисунке 1.

Котел водогрейный электродный предназначен для подогрева среды замкнутого контура с последующей передачей тепла сетевой воде (наружному контуру) посредством подогревателя сетевой воды.

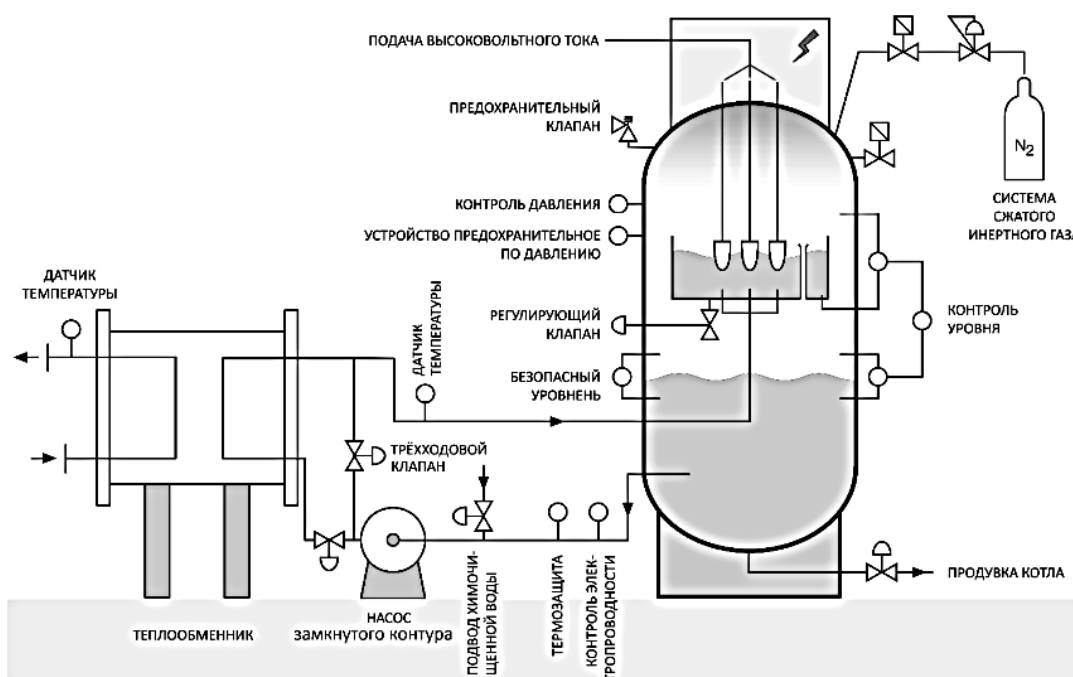


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы замкнутого контура

КВЭ имеет следующие основные технические характеристики:

Таблица 1 – Основные технические характеристики электродкотла

| Наименование параметра | Размерность параметра | Значение параметра |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Максимальная мощность | МВт | 50 |
| Электрическое напряжение питания | кВ | 10±10% |
| Частота тока | Гц | 50±0,4 |
| Диапазон регулирования мощности | % | 2 - 100 |
| Расчетное давление | МПа (бар) | 1 (10) |
| Рабочее давление | МПа (бар) | 0,8 (8) |
| Испытательное давление | МПа (бар) | 1,57 (15,7) |
| Расчетная максимальная температура | °С | 184,1 |
| Уставка отключения по температуре | °С | 160 |
| Рабочая температура после котла | °С | 140 |
| Рабочая температура перед котлом | °С | 90 |
| Объем котла | м ³ | 30 |
| Сухой вес | т | 16 |
| Номинальный расход теплоносителя | м ³ /ч | 860 |
| Режим работы | – | Непрерывный |

Заключение

Применительно к Минской ТЭЦ-3, при мощности устанавливаемых электродкотлов 100 МВт, разгрузка отопительных отборов турбоагрегатов на 86 Гкал/ч не вызовет сложностей в отопительный и межотопительный периоды, поскольку тепловые нагрузки в сетевой воде позволяют работать по тепловому графику с нагрузкой энергетических котлов выше технического минимума.

Показателем эффективности установки электродкотлов на Минской ТЭЦ-3 будет являться их влияние на общесистемные показатели эффективности при обеспечении оптимальных условий интеграции АЭС в баланс энергосистемы. Наряду с общесистемными показателями будет определяться эффективность использования электродкотлов для Минской ТЭЦ-3.

Литература

1. Минская ТЭЦ-3 [Электронный ресурс]/ Минская ТЭЦ-3. -Режим доступа: <https://web.minskenergo.by/filialy/minskaya-tets-3/>. – Дата доступа: 02.03.2022.
2. Parat IEN [Электронный ресурс]/ Parat IEN. – Режим доступа: <https://www.parat.no/ru/products/parat-ieh-wysokonapi%C4%99ciowy-bojler-elektrodowy/>. – Дата доступа: 02.03.2022.

УДК 62-621.2

**СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РК «СТЕПЯНКА» ФИЛИАЛА
«МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ» РУП «МИНСКЭНЕРГО»
GAS SUPPLY SYSTEM OF THE RB «STEPYANKA» OF THE BRANCH
«MINSK HEAT NETWORKS» RUE «MINSKENERGO»**

П.А. Перехвал

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

prokopenya@bntu.by

P. Perekhval

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Районная котельная «Степянка» введена в эксплуатацию в 1968 году, находится на балансе 4 сетевого района Минских тепловых сетей РУП «Минскэнерго».

Abstract: The district boiler «Stepyanka» was put into operation in 1968, it is on the balance sheet of the 4th network district of the Minsk thermal networks of RUE «Minskenergo».

Ключевые слова: Районная котельная «Степянка», газоснабжение, энергетическое хозяйство.

Keywords: District boiler "Stepyanka", gas supply, energy facilities.

Введение

Основными потребителями тепловой энергии являются: родильный дом Минской области, жилой дом ЖЭС-22, ОАО «Белсчеттехника», инженерный корпус колледжа связи, общежитие колледжа связи, общежитие, ТЦ «Валео-центр», ОВД «Миноблисполкома», УО «БГПУ им.М.Танка», Институт природопользования, ЗАО «Белтяжмаш».

Основная часть

В качестве основного вида топлива в котельной используется природный газ. Проект газоснабжения выполнен в соответствии с СНБ 4.03.01-98 «Газоснабжение».

Газорегуляторный пункт (ГРП) служит для снижения давления газа и поддержания его на заданном уровне в газопроводах котельной независимо от расхода газа. ГРП расположено в отдельно стоящем здании. Ввод газа в ГРП осуществляется трубопроводом диаметром 100 мм.

В ГРП установлено следующее оборудование:

- фильтр (ФГ-100) служит для очистки газа от механических примесей;
- предохранительно-запорный клапан ПЗКВ-100 служит для прекращения подачи газа в котельную в случае повышения или понижения давления газа за регулятором;
- регулятор РДУК-2-100 служит для снижения давления газа и поддержания его автоматически постоянным независимо от

изменения давления (входного) или расхода газа на выходе после регулятора;

- пилот установлен вместе с регулятором и служит для подачи команд регулятору в случае изменения давления газа на выходе из ГРП и поддержания его в заданном уровне;
- предохранительно-сбросной клапан КПС-50 служит для сброса газа в атмосферу в случае повышения давления газа за регулятором.

Пропускная способность РДУК-2-100 от 0 до 10 000 м³ газа при давлении газа перед ГРП от 2 кгс/см² до 12 кгс/см².

В соответствии с проектом контролируются температура, расход и давление газа. Контролируемые параметры выводятся на преобразователь Исток-ТМ измерительной системы ИСТОК-ГАЗ-01. Вся информация о расходе газа и его параметрах передается на центральный диспетчерский пункт УП «Мингаз».

В таблице 1 и на рисунке 1 приведены сведения по расходу газа на РК «Степянка» за 2012-2016 гг.

На рисунке 6.2 приведена схема газопроводов РК «Степянка».

Таблица 1 – Расход природного газа на РК «Степянка» за 2012-2016 гг., тыс. м³

| | 2012 год | 2013 год | 2014 год | 2015 год | 2016 год |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| январь | 322,70 | 388,01 | 375,93 | 299,57 | 386,81 |
| февраль | 366,70 | 276,45 | 252,36 | 264,69 | 258,78 |
| март | 244,70 | 340,26 | 212,71 | 222,79 | 253,88 |
| апрель | 75,97 | 125,67 | 101,55 | 135,84 | 29,63 |
| май | 0 | 0 | 0 | 0 | 32,25 |
| июнь | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,52 |
| июль | 1,28 | 0 | 0 | 7,19 | 0 |
| август | 0 | 0 | 0 | 10,50 | 4,57 |
| сентябрь | 0 | 0 | 0 | 6,52 | 0 |
| октябрь | 106,36 | 147,43 | 131,59 | 170,67 | 175,06 |
| ноябрь | 227,83 | 227,11 | 250,54 | 233,44 | 287,78 |
| декабрь | 362,90 | 278,55 | 310,00 | 273,09 | 307,16 |
| ИТОГО | 1708,43 | 1783,47 | 1634,67 | 1624,28 | 1738,44 |

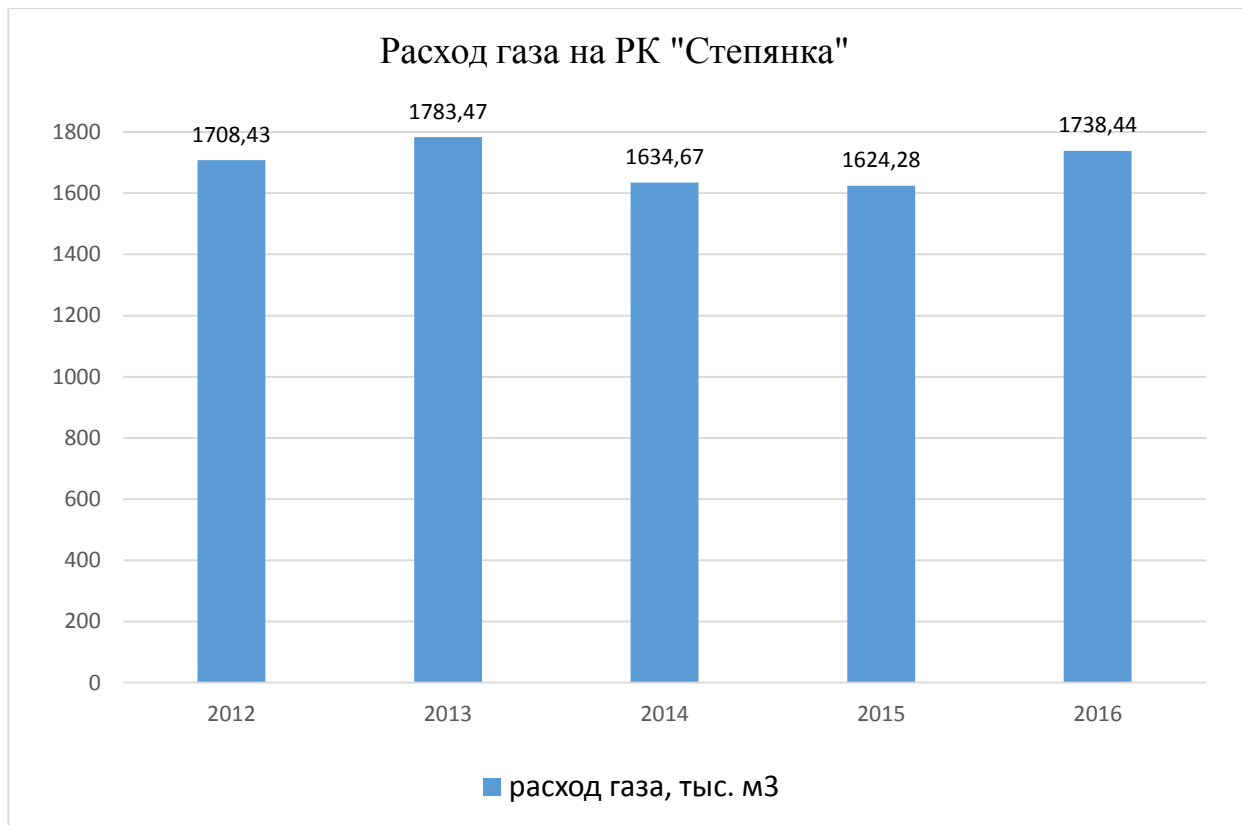


Рисунок 1 - Диаграмма расхода газа на РК «Степянка» за 2012-2016 гг.

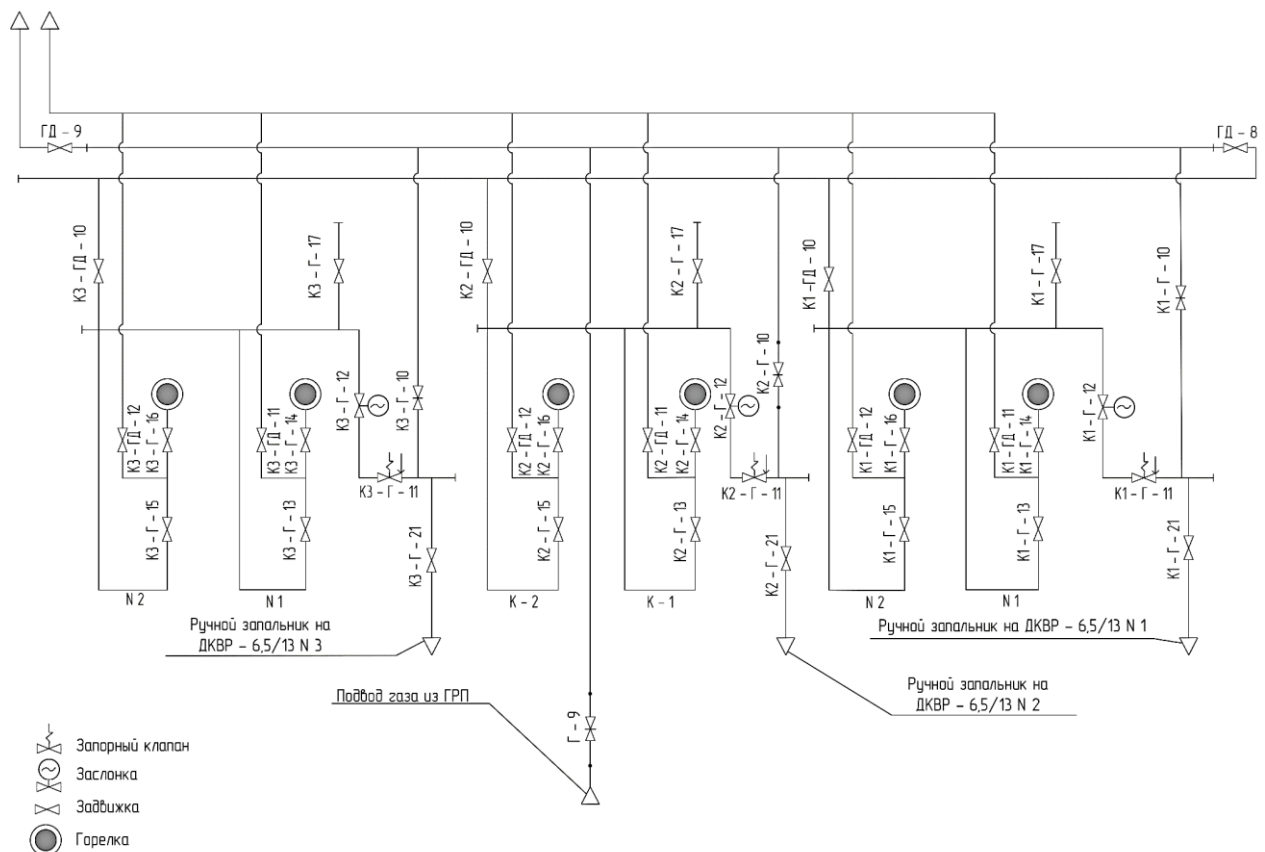


Рисунок 2 - Схема газопроводов РК «Степянка»

Заключение

Схемы газопроводов в пределах котлов, в настоящее время, имеют ряд отступлений в части оснащения необходимой арматурой, защитами и

блокировками от ныне действующих норм и правил, регламентирующих данные вопросы в системе энергетики.

Литература

1. РУП «Минскэнерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.minskenergo.by/>. Дата доступа: 08.03.2022.
2. Минскэнерго [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE>. Дата доступа: 08.03.2022

УДК 621.577

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ТЭЦ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUEL USE AT THE CHP IN THE CONDITIONS OF OPERATION OF THE BELARUSIAN NPP

И.В. Василевский, Я.С. Яцухно

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
bobich@bntu.by

I. Vasilevsky, Ya. Yatsukhno

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Утилизация низкотемпературных тепловых потоков в настоящее время является для Беларуси перспективной задачей, решение которой при должном подходе может обеспечить снижение импорта природного газа. Данная тема и рассматривается в научной работе.

Abstract: Utilization of low-temperature heat flows is currently a promising task for Belarus, the solution of which, with the proper approach, can ensure a reduction in natural gas imports. This topic is considered in the scientific work.

Ключевые слова: аккумуляторы, утилизация, ТЭЦ, АБТН, экономичность энергетики.

Keywords: batteries, recycling, CHP, ABTN, energy efficiency.

Введение

Доля использования природного газа на энергоустановках в Республике Беларусь, к которым относятся паротурбинные ТЭЦ и мини-ТЭЦ, преобладает в производстве преобразованных энергетических потоков и составляет 43%, (данная величина получается сложением доли ТЭЦ – 35,5% и доли ТЭЦ, мини-ТЭЦ, ГТУ, ГПА предприятий – 7,5%), что представлено на рисунке 1.

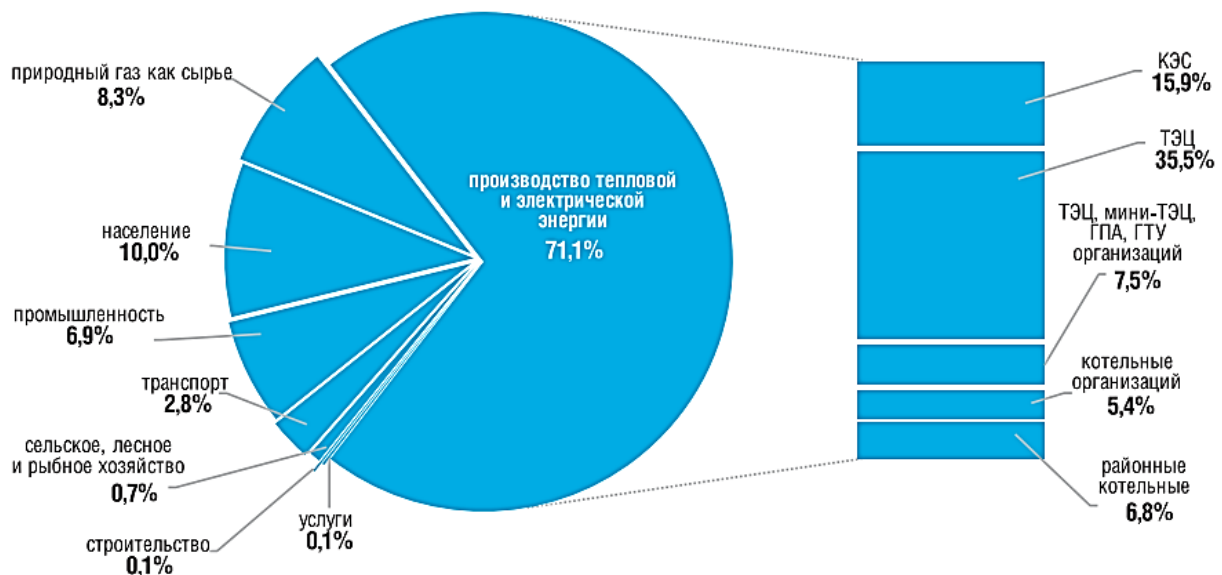


Рисунок 1 – Структура потребления природного газа (за 2017 год)

Основная часть

На сегодняшний день в энергосистеме РБ проявляется тенденция ввода парогазовых конденсационных установок с удельным расходом топлива (УРТ) на выработку электроэнергии около 220 г/(кВт·ч), что соизмеримо со значением УРТ паротурбинных ТЭЦ республики. Приведенный факт в совокупности с постоянно меняющейся ситуацией на рынке энергоресурсов обострил вопрос повышения эффективности работы паротурбинных ТЭЦ и обусловил необходимость повышения их эффективности с помощью наименее затратных проектов. К таким решениям, что вполне очевидно, предъявляется требование по сохранению их актуальности в случае дальнейшего перевода ТЭЦ на парогазовую технологию. Сюда же можно отнести такие нововведения как интеграция в состав ТЭЦ тепловых аккумуляторов и перевод турбогенераторов на работу с ухудшенным вакуумом [2].

Однако эти методы по тем или иным причинам не всегда приемлемы. Альтернативой для перехода на ухудшенный вакуум является применение абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН), которое не требует каких-либо изменений в конструкции турбоустановки.

Приведем возможные варианты применения АБТН в схеме ТЭЦ. В тепловой схеме турбогенератора существуют несколько тепловых потоков, рассеиваемых в окружающей среде. На примере турбогенератора ПТ-60 таковыми являются: потоки охлаждения циркуляционной воды мощностью 7,3 МВт, потоки систем охлаждения генератора и масла общей мощностью 0,47 МВт. Вышеперечисленные тепловые потоки, имеющие суммарную мощность 7,8 МВт, направляются в АБТН с циркуляционной водой, где происходит ее охлаждение на 4°С, что представлена на схеме (рисунок 2).

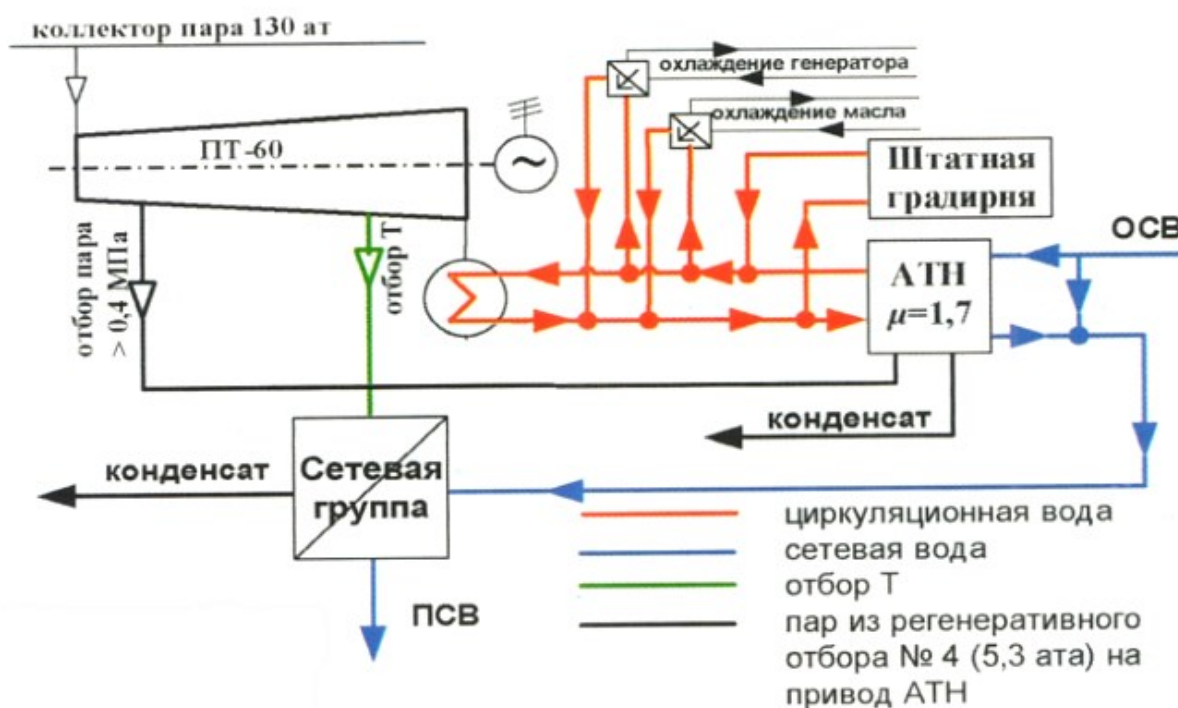


Рисунок 2 – Принципиальная схема интеграции АБТН в тепловую схему ТЭЦ

В качестве привода АБТН потребляет теплоту процесса конденсации пара, потребность в которой определяется отопительным коэффициентом АБТН. В данном случае, ее величина составляет 40,2 ГДж/ч (9,6 Гкал/ч). Поток тепловой энергии мощностью 18,9 МВт передается сетевой воде, нагревая ее на 10,2 °С. В результате рассматриваемого использования АБТН при постоянной тепловой нагрузке ТЭЦ, генерация электроэнергии перераспределяется между источниками системы, и в конечном итоге на ТЭЦ происходит уменьшение генерации на величину 4,7 МВт·ч. Условный расход топлива 0,42 кг/кВт·ч. С учетом указанного уменьшения мощности потока генерации электроэнергии при сохранении отпускаемой тепловой энергии снижение годового расхода топлива ТЭЦ достигает 11,9 тыс. т у.т., а годовая системная экономия топлива – до 5,5 тыс. т у.т.

Для сопряжения АБТН с турбогенератором ПТ-60 можно использовать один чиллер большего типоразмера либо 2 меньшего. Для привода АБТН используется теплота различных теплоносителей: дымовые газы, влажный пар, вода, а также природный газ, сжигаемый в камере сгорания АБТН. В приведенном примере это водяной пар давлением не ниже 0,4 МПа.

Расположение АБТН допустимо как в контейнерном варианте, так и в здании. В любом случае требуется, чтобы температура в помещении не опускалась ниже 5 °С. Безусловно, необходим персональный подход исходя из комплекса условий конкретной площадки: гидравлических, компоновочных и прочих.

Экономическая оценка

Учитывая стоимость строительно-монтажных работ и вспомогательного оборудования, для реализации рассматриваемого выше варианта требуется порядка 3 млн. USD. Для ТЭЦ, работающей при числе часов работы турбогенератора 7,5 тыс. в год, срок возврата инвестиций и другие показатели определяются снижением потребления природного газа на 11,9 тыс. т у.т. при постоянной тепловой нагрузке и снижении мощности генерации электроэнергии на 4,7 МВт. Себестоимость электроэнергии на ТЭЦ и средневзвешенный тариф соответственно равны 51,4 и 88,5 USD/(МВт·ч).

При стоимости природного газа 244 USD за т.у.т. годовой экономический эффект непосредственно для ТЭЦ обеспечивает срок возврата инвестиций 2,3 года, динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% составляет 2,8 года, а внутренняя норма рентабельности - 42% [3].

Системная годовая экономия топлива в результате реализации проекта может составить 5,5 тыс. т у.т., при неизменном потреблении тепловой энергии и электроэнергии. Экономический годовой эффект от системного снижения потребления природного газа оценивается в 1,3 млн USD. Простой срок окупаемости составляет 2,7 года, динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% составляет 4,3 года, внутренняя норма рентабельности - 35%.

Заключение

Утилизация низкотемпературных тепловых потоков в настоящее время является для Беларуси перспективной задачей, решение которой при должном

подходе может обеспечить снижение импорта природного газа на величину до 3 млн т у.т. в год, т.е. до 12%.

Одним из возможных вариантов этой задачи является блокирование рассеяния энергии в тепловых схемах ТЭЦ, что достигается интеграцией в них АБТН. При этом имеют место высокие технико-экономические показатели, обеспечивающие инвестиционную привлекательность проекта.

Литература

1. Романюк В.Н., Бобич А. А., Коломыцкая Н.А., Муслина Д.Б., Романюк А. В. Эффективное обеспечение графика нагрузок энергосистемы // Энергия и Менеджмент. — 2012. — № 1. — С. 13-20.
2. Малашенко, М.П. Диверсификация возможных решений обеспечения надежной работы энергосистемы в условиях ввода в строй Белорусской АЭС / М.П. Малашенко, А.А. Сенюков, В.Н. Романюк, А.А. Бобич // Энергоэффективность. – 2018. – № 5. – С. 8–14.
3. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности / В.Н. Романюк [и др.] // Энергия и Менеджмент. - 2013. - № 1.

УДК 621.181.25

**АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС
БЕЛАРУСИ НА ЭЛЕКТРОКОТЛЫ
ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF REPLACING BELARUSIAN
THERMAL POWER PLANT EQUIPMENT WITH ELECTRIC BOILERS**

М. С. Карака

Научный руководитель – И.Л. Иокова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
irina.iokova@gmail.ru

M. Karaka

Supervisor – I. Iokova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: краткое описание технологического процесса работы тепловых электростанций Республики Беларусь, анализ имеющегося оборудования, оценка перспективы установки электродкотлов и использования возможностей БелАЭС.

Abstract: a brief description of the technological process of operation of thermal power plants of the Republic of Belarus, an analysis of the available equipment, an assessment of the prospects for installing electric boilers and using the capabilities of the Belarusian NPP.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, электродкотлы, альтернативные источники энергии.

Keywords: thermal power station, electric boilers, alternative energy sources.

Введение

Режимы работы электростанций, их маневренность (диапазон регулирования нагрузок, время пуска, мобильность) и экономичность определяются графиками электрических нагрузок и областями их работы. ТЭС при выработке электроэнергии только на отпускаемом тепле имеют низкую маневренность и используются для покрытия базовых нагрузок, как и АЭС [1]. Для выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы возможно применение электродкотлов и баков-аккумуляторов теплоты на энергоисточниках. В настоящее время, когда прирост потребления электроэнергии в стране ниже запланированного, возникает проблема эффективной режимной интеграции АЭС в баланс энергосистемы в части прохождения ночных провалов нагрузок [2].

Основная часть

Котлы, работающие от электрической энергии для производства пара или горячей воды, делятся на два основных типа: блоки сопротивления, в которых электрический ток протекает через резисторы, погруженные в воду внутри защитной трубы; электродные блоки, в которых два электрода погружены в воду, через которую протекает электрический ток, имеющий собственное сопротивление. В этом случае контроль проводимости воды является одним из основных факторов к хорошей и безопасной работе установки. Блоки

сопротивления обычно предназначены для небольших систем, как с горячей водой при низкой температуре, так и с паром при низком давлении. Электродные котлы можно разделить на две группы в зависимости от напряжения: низковольтные, работающие на 600 В и ниже, с максимальной мощностью несколько мегаватт, и средневольтные, работающие на 10–20 кВ, с максимальной мощностью 50 МВт. Обе группы доступны с погружными электродами, где выходная мощность регулируется перемещением изолирующих экранов или регулировкой уровня погружения электродов. Для группы среднего напряжения доступны устройства с распыляющими электродами, выходная мощность которых регулируется путем изменения количества воды, распыляемой на электроды. Многие преимущества, такие как отсутствие выбросов, минимальные требования к пространству, простота обслуживания и относительно низкая стоимость, могут способствовать привлекательности этих котлов, но стоимость электроэнергии остается основным фактором, определяющим выбор [3].

Использование высокоэффективных технологий также растет в результате повышения осведомленности общественности об экологических проблемах. Кроме того, в течение прогнозируемого периода попытки правительств многих стран сократить выбросы углерода и растущие экологические проблемы, вероятно, будут способствовать расширению рынка электрических котлов.

Электрические котлы имеют КПД примерно до 98% и минимальный уровень шума. К тому же такие котлы потребляют меньше электроэнергии. Кроме того, у производителей есть возможность инвестировать в исследования и разработки, предлагать продукты, которые являются экологически безопасными, энергоэффективными, поскольку потребители теперь меняют свои вкусы и предпочтения в сторону продуктов, которые сокращают выбросы.

Однако ожидается, что высокая стоимость современных электрических котлов и высокие затраты на техническое обслуживание и ремонт будут препятствовать росту рынка электрических котлов в течение прогнозируемого периода.

Как в водогрейных, так и в паровых электродных котлах используется электродный принцип нагрева, который обеспечивает простоту конструкции и регулирования мощности, достаточно высокие надежность, срок службы и энергетические показатели. Промышленность выпускает электродные водогрейные котлы типа КЭВ, КЭВЗ и улучшенные модификации. Они используются в системе горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. Номинальные значения температуры воды в котлах на выходе 95°C, на входе 70°C, максимально допустимая температура на выходе 130°C. Паровые электродные котлы более универсальны, могут использоваться не только для обеспечения паром технологического процесса, но и для горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. В электрических паровых котлах используется только электродный принцип нагрева. Как и водогрейные, они могут быть низковольтными и высоковольтными. Разница состоит лишь в том,

что в паровых котлах нормальным режимом является кипение воды и рассчитаны они на более высокое давление.

Рассмотрим причины замены газомазутного оборудования на электрическое для промышленных предприятий Республики Беларусь. Повышенная гибкость тепловых электростанций на базе электродров приведет к снижению выбросов CO₂ и снижению потребления топлива. На примере расчетов, проведенных в Дании в 2021 году сравним расчеты электростанций с введением электроустановок и без них. Ежегодные выбросы CO₂ с более гибкими ТЭС будут на 28 миллионов тонн ниже в 2025 году и на 39 миллионов тонн ниже в 2030 году, что примерно сопоставимо по масштабам с общими годовыми выбросами CO₂ [4]. Основными причинами таких сокращений является снижение производства тепла и электроэнергии на основе ископаемых топлив и использование возобновляемых источников энергии.

Впоследствии, примерно в 2010 году, появился новый рынок для электродных котлов: регулирование сетей, справляющихся с растущей долей прерывистой ветрогенерации. Первые запросы поступили от датских муниципальных ТЭЦ, которым датский сетевой регулятор требовал установить тепловые накопители, чтобы помочь предотвратить потенциальную нестабильность сети, возникающую из-за значительной мощности ветра в сети.

В Дании электродный котел PARAT Halvorsen использовался преимущественно для регулирования первичной сети. В этом приложении вся мощность котла используется для отрицательного регулирования сети. Это означает, что когда в сети слишком много энергии, котел автоматически включается, достигая полной тепловой мощности за 30 секунд, помогая стабилизировать частоту сети. Электродный котел с минимальным количеством трубопроводов и отсутствием нагревательных поверхностей особенно подходит для такого быстрого наращивания мощности.

В других странах, в частности в Германии, сформировался рынок электродных котлов с отрицательным вторичным регулированием, то есть поглощением энергии из сети, но в течение более длительных периодов времени.

Другой рынок - это ТЭЦ, которые сталкиваются с ситуацией, когда поставка тепла для централизованного теплоснабжения приносит больший доход, чем продажа электроэнергии. Они могут использовать электродный котел для преобразования своей энергии в тепло вместо того, чтобы поставлять дешевую электроэнергию в сеть.

Электродный котел также может использоваться для регулирования внутренней нагрузки на многоагрегатных ТЭЦ при запуске или остановке агрегата, позволяя поддерживать нагрузку на поршневые двигатели или газовые турбины на оптимальном уровне.

Некоторые пользователи, кроме того, считают, что электродный котел может стать важной частью плана резервного копирования в случае сбоя в подаче газа или других частях инфраструктуры. В таких обстоятельствах

электродный котел может обеспечивать централизованное теплоснабжение или подачу пара критически важным клиентам. Электродный котел может достичь полной нагрузки в холодных условиях за 5-10 минут, что выгодно для резервного котла.

В Норвегии пользователи используют электродный котел, потому что электричество конкурирует с нефтью и газом в качестве источника тепла. Использование электроэнергии также улучшает экологические показатели.

Традиционный котел, работающий на огне, нуждается в камере сгорания и секции трубы для передачи тепла от пламени к воде. Это приводит к большому, тяжелому и дорогостоящему строительству. В электродном котле тепло вырабатывается непосредственно в компактном объеме воды между электродами.

Электродный котел использует среднее напряжение в диапазоне 6-24 кВ. В отличие от обычного низковольтного нагревателя, ему не нужен низковольтный трансформатор, поэтому можно избежать затрат, связанных с кабелями и низковольтным распределительным устройством.

Технология электродного котла хорошо зарекомендовала себя и хорошо изучена, опираясь на многолетний опыт. Используемая широко в настоящее время высоконадежная электродная система была разработана PARAT Halvorsen в 1993 году в сотрудничестве с Университетом Тронхейма. Ранее использовавшиеся электроды, как правило, изнашивались из-за больших потоков тока, и их приходилось часто заменять. Основываясь на практических экспериментах и компьютерном моделировании, была разработана концепция симметричного параэлектрода. Потоки тока были снижены до уровня, при котором электроды больше не испытывали чрезмерного износа.

В ответ на рост возобновляемых источников энергии, которые становятся важной частью производства электроэнергии, электродный котел постоянно развивается. Версия 24 кВ была разработана в 2015 году и в настоящее время успешно эксплуатируется. Система управления котлом также была улучшена, и время отклика сократилось, чтобы котел мог выполнять сложную задачу первичного регулирования. Диапазон мощности электродных котлов PARAT составляет 5-60 МВт.

С вводом Белорусской АЭС наиболее удобным и простым, но и затратным является вариант использования электродных котлов. Они позволят обеспечить баланс электропотребления и генерации электроэнергии в нормальных режимах работы энергосистемы, используя в часы ночных провалов электропотребления избытки производства электроэнергии в системе теплоснабжения. При возникновении аварийных ситуаций могут потребоваться резервные источники электроэнергии на Лукомльской ГРЭС (0,15 ГВт), Новополоцкой ТЭЦ (0,1 ГВт), Березовской ГРЭС (0,25 ГВт) и Минской ТЭЦ-5 (0,3 ГВт) [5].

Заключение

Установку электродных котлов следует рассматривать как оптимальный вариант использования теплофикационных турбоагрегатов в переменном режиме со снижением потребляемой электрической мощности ночью,

поскольку обеспечивают максимальное снижение её выдачи в энергосистему при меньшей разгрузке самого турбоагрегата.

В энергетическом же отношении, установка электрокотлов приведет к повышению удельных расходов топлива на производство электроэнергии, что можно считать допустимым за полученную при этом дополнительную гибкую мощность с сохранением работы теплофикационных турбоагрегатов с меньшей фактической разгрузкой. Выбор структуры генерирующих мощностей должен включать в себя учет режима их использования. Тогда можно выбрать технически приемлемую структуру с возможностью их разгрузки в ночное время суток для преодоления минимальной нагрузки в ночные часы, как в отопительный, так и неотопительный периоды года. Помимо базовых генерирующих мощностей, основную роль в которых будет играть АЭС и действующие мощности, структуру формируют парогазовые и газотурбинные установки, используемые в базовом (более 5000 час/год), полупиковом (от 2000 до 5000 час/год) и пиковом (менее 2000 час/год) режимах, а также гидро- и ветроэнергоустановки [6].

Литература

1. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: учебное пособие / Н. Н. Галашов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010.-90 с.
2. Дмитриев Г.М., Падалко Л.П. / Выбор оптимальной структуры генерирующих мощностей в Белорусской энергосистеме // Энергетика и ТЭК. 2012. № 9/10 (114/115).-13 с.
3. Energy Conversion and Management / Giovanni Petrecca. - Springer International Publishing Switzerland, 2014. -350 с.
4. Danish Energy Agency. System integration of wind power by use of the DH/ CHP systems in north-east China – contributing to efficiently incorporating wind power into the system; July 2015.
5. Романюк В.Н., Бобич А.А. К вопросу о диверсификации вариантов регулирования мощности генерации Белорусской энергосистемы. 05.03.2022 г. Интернет-ресурс <http://www.broad-ctx.by/>.
6. Регулирование частоты в энергосистеме после ввода БелАЭС с применением электрокотлов и аккумуляторов теплоты на примере Гродненской ТЭЦ-2 / Н. Б. Карницкий, П. Н. Коробец (БНТУ, Минск).

УДК 628.16.067.3

СОРБЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ SORPTION FILTERS

К.Н. Кубраков, С.В. Войтова, Р.А. Тиунчик
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

K. Kubrakov, S. Voitava, R. Tiunchik
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье затрагивается тема о сорбционных фильтрах, а также изложены их преимущества и недостатки.*

***Abstract:** the article touches upon the topic of sorption filters, as well as their advantages and disadvantages*

***Ключевые слова:** сорбционные фильтры, достоинства, недостатки.*

***Keywords:** sorption filters, advantages, disadvantages.*

Введение

Сорбция – это поглощение примесей из используемых газов или жидкостей твердыми телами, которые называются сорбентами. В процессе очистки жидкость или газ пропускают через сосуд с сорбентом, то есть сорбционный фильтр, который по сути является губкой, впитывающей в себя примеси. Одним из самых распространенных сорбентов является активированный уголь. Уголь с наибольшим количеством микропор даст максимально возможный результат при сорбционной очистке и очистке в целом. Современные сорбенты могут быть эффективны в любой воде, даже с очень маленькой концентрацией вредных примесей. Сорбционная очистка актуальна на последних стадиях очистки воды для удаления самых малых и нежелательных концентраций примесей. Метод получил широкую популярность благодаря низким материальным затратам.

Основная часть

Системы, включающие в себя фильтр с фильтрующей средой из активированного угля, благополучно используются для удаления из воды органических соединений, хлора и его производных. Сорбция примесей на плоскости фильтрующей среды улучшает органолептические показатели.

В реальное время создана большая численность разных сорбентов. Физиологические и химические качества отличаются в зависимости от сырья. Это многообразие позволяет просто выбрать определенный сорбент, максимально соответствующий поставленной задаче.

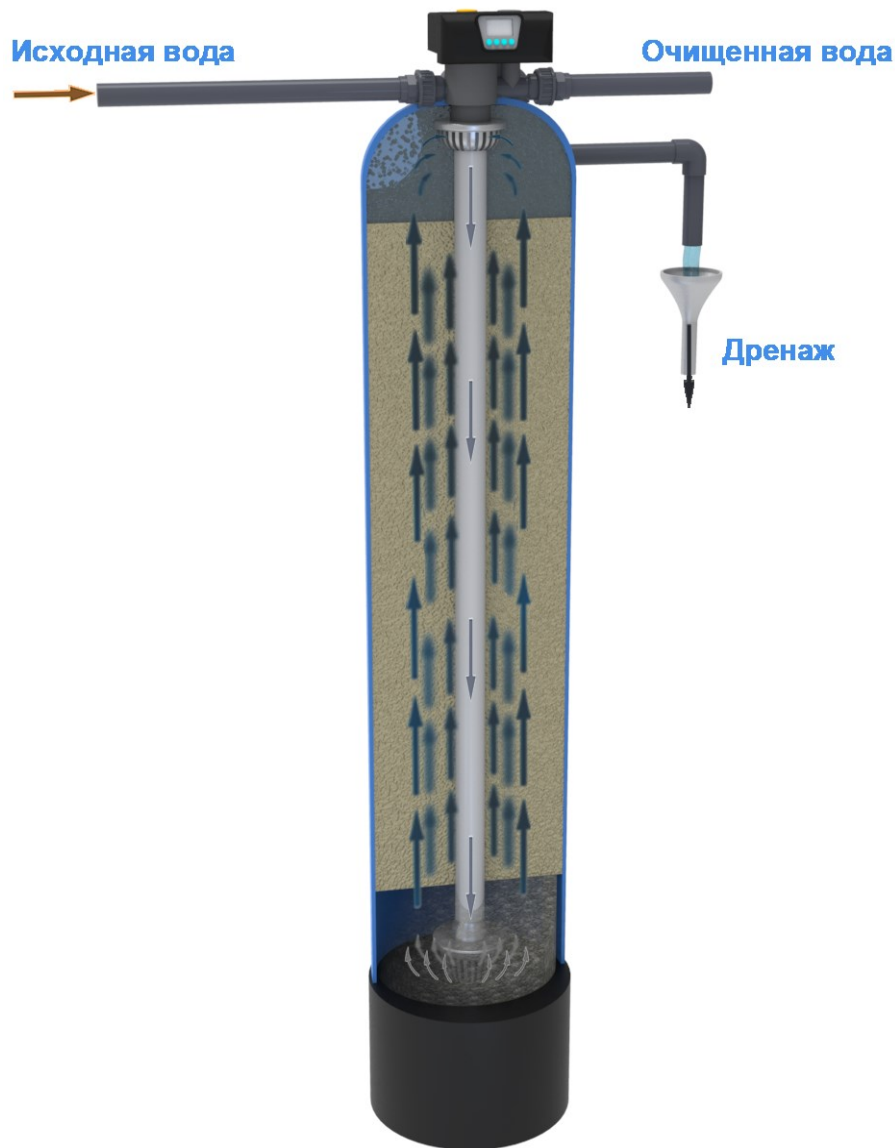


Рисунок 1 - Сорбционный фильтр

При использовании такого типа фильтров обязательно присутствие ступени подготовительной очистки воды, которая считается важным этапом для бесперебойной и действенной работы сорбционного фильтра. Данная ступень предназначена для удаления из воды взвешенных веществ и нефтепродуктов. В процессе эксплуатации производительность и эффективность фильтра постепенно ухудшаются (рисунок 2 (а)). Промывка фильтрующей среды частично возобновляет фильтр до рабочего состояния (рисунок 2 (б)). Для промывки используется обратный поток воды. Накопившиеся загрязнения смываются и сбрасываются в дренаж фильтра. К главным характеристикам промывки относятся: температура потока воды, интенсивность и продолжительность процесса.

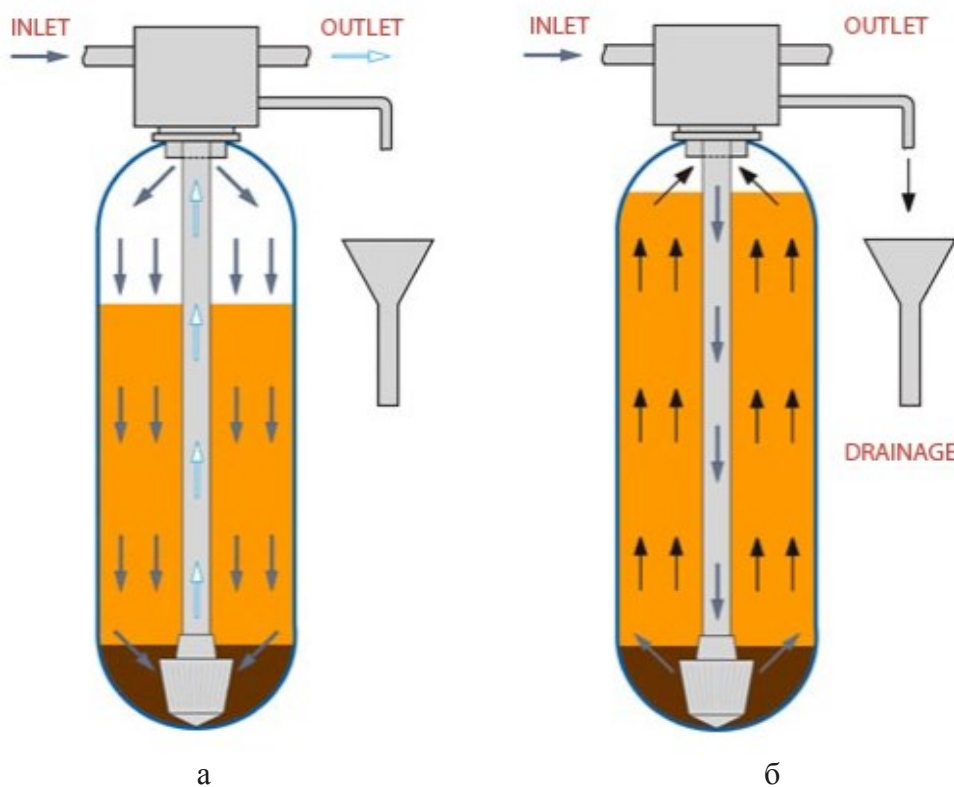


Рисунок 2 - Режим фильтрации (а), режим промывки (б)

К преимуществам сорбционных фильтров можно отнести: простоту и надежность оборудования, возможность организации выборочной регенерации сорбента без сброса фильтра, отсутствие вторичного загрязнения сорбента, невысокую стоимость активированных углей и большой диапазон мощностей оборудования. Но, также у данного типа фильтров есть ряд недостатков, к которым относятся: большие размеры, наличие вторичных стоков, которые требуют очистки, затраты на регенерацию и замену сорбента.

На практике угольные фильтры применяются во многих отраслях для очистки дождевых и технологических сточных вод, водоподготовки на водозаборных станциях, осветления и очистки жидкостей в пищевой и фармацевтической промышленности. Так же сорбционные фильтры широко применяются для очистки хозяйственно-бытовых вод и доочистки проточных и природных вод.

Для использования подобного рода фильтров важно правильно выбрать сорбент. Окончательный выбор должен быть сделан после завершения пробной фильтрации с использованием различных фильтрующих материалов. Оптимальный вариант угольного наполнителя можно выбрать, исходя из следующих рекомендаций: по размеру частиц фильтрующего материала для сорбционной очистки широко используются гранулированные (0,18-7 мм) или порошкообразные угли, удельная площадь которых должна быть наибольшей. Удельная площадь активированных углей лучших марок составляет 1800 – 2200 м²/г. Также важным параметром выбора является влажность, которая определяет удобство работ, связанных с загрузкой и транспортировкой угля (пылением) и пожарную безопасность.

Заключение

Таким образом, сорбционные фильтры являются неплохой альтернативой для очистки воды благодаря низкой цене, простоте и надежности. Крайне важно при выборе сорбционных фильтров учитывать физико-химические свойства фильтрующих материалов, размеры частиц, влажность. Системы, включающие в себя фильтр с фильтрующей средой из активированного угля, благополучно используются для удаления из воды органических соединений, хлора и его производных. Сорбция примесей на плоскости фильтрующей среды улучшает органолептические показатели воды.

Литература

1. Сорбционные фильтры [Электронный ресурс]/Сорбционные фильтры -Режимдоступа:http://prom-water.ru/en/catalog/industrial_water_treatment_systems/sorption_carbon_filters_for_water_treatment/ Дата доступа: 09.04.2022.

УДК 621.184.62

МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ОАО «КАМВОЛЬ» ENERGY SAVING MEASURES AT JSC "KAMVOL"

В.М. Рыктер

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
prokopenya@bntu.by

V. Rykter

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: использование тепловой энергии выпара деаэратора на нужды подогрева питательной воды.

Abstract: the use of thermal energy of the deaerator vapor for the needs of heating feed water.

Ключевые слова: деаэратор, питательная вода, экономия тепловой энергии, экономический эффект.

Keywords: deaerator, feed water, heat energy saving, economic effect.

Введение

Деаэратор мини-ТЭЦ на ОАО «Камволь» не оснащен охладителем выпара. Охладитель выпара предназначен для утилизации тепловой энергии паров деаэратора в целях повышения эффективности работы котельной в целом. Тепловую энергию от выпара возможно использовать для подогрева питательной воды, которая поступает в деаэратор с температурой 5...12 °С.

Пар на предприятии используется только на технологические нужды. Согласно проведенного расчета паро-конденсатного баланса, годовая выработка пара предприятием составила 18157 т за 2020 год.

Основная часть

Экономия тепловой энергии от использования охладителя выпара определяется как:

$$Q_{к.в.} = D_{вып} (h_{вып} - c_p t_{вып}) \cdot 10^{-3}, \text{ Гкал}, \quad (1)$$

где $D_{вып}$ – расход выпара из деаэратора, т;

$h_{вып}$ – энтальпия выпара, ккал/кг;

c_p – удельная изобарная теплоемкость воды, ккал/(кг·°С);

$t_{вып}$ – температура конденсата выпара, °С.

Расход выпара деаэратора для современных термических деаэраторов составляет порядка 1% от их паропроизводительности:

$$D_{вып} = 1\% D_{п}, \text{ т}. \quad (2)$$

Экономия условного топлива за счет снижения потребления газа составит:

$$\Delta B_{тэ} = b_{тэ} Q_{к.в.}, \text{ т у. т}. \quad (3)$$

где $b_{тэ}$ - удельный расход условного топлива на выработку одной Гкал тепловой энергии котельной, кг у.т./Гкал.

Кроме того, одновременно со снижением потребления газа, снижается расход и электроэнергии на выработку тепловой энергии.

Экономия электрической энергии составит:

$$\Delta W_{к.в} = w_{тэ} Q_{к.в} \cdot 10^{-3}, \text{ тыс. кВт*ч}, \quad (4)$$

где $w_{тэ}$ – удельный расход электроэнергии на выработку 1 Гкал тепловой энергии на котельной.

Тогда экономия условного топлива за счет снижения потребления электрической энергии в котельной составляет:

$$\Delta B_{эз} = \Delta W_{к.в} b_{эз} \left(1 + \frac{k_{пот}}{100} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ т у.т.}, \quad (5)$$

где $b_{эз}^{зам}$ (г у.т./кВт*ч) - удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от Лукомльской ГРЭС;

$k_{пот}^э$ (%) - потери электроэнергии в электрических сетях ГПО «Белэнерго».

Таким образом, суммарная экономия условного топлива от внедрения мероприятия составит:

$$\Delta B = \Delta B_{тэ} + \Delta B_{эз}. \quad (6)$$

В денежном эквиваленте эффект составит (при стоимости 1 т у.т. – 210\$, по курсу НБРБ 1\$ = 2,63 бел. руб.):

$$\Delta \text{Э} = \Delta B \cdot C \cdot 10^{-3}, \text{ тыс. руб.}, \quad (7)$$

где C – стоимость 1 т у.т., руб.

Срок окупаемости внедрения мероприятия определяется формулой:

$$C_{ок} = \frac{K}{\Delta \text{Э}}, \text{ лет}, \quad (8)$$

где K - капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.

Определение укрупненных капиталовложений согласно методическим рекомендациям по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий:

- стоимость оборудования определяется согласно договорным ценам (на основании тендера);
- стоимость проектных работ – до 10% от стоимости строительно-монтажных работ;
- стоимость строительно-монтажных работ – 25-30% от стоимости оборудования;
- стоимость пуско-наладочных работ – 3-5% от стоимости оборудования.

Таблица 1 – Суммарные капиталозатраты на реализацию предложенного мероприятия.

| Стоимость, тыс. руб. | | | | |
|----------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|-------|
| Оборудование | Проектные работы | Строительно-монтажные работы | Пуско-наладочные работы | Итого |
| 8,7 | 0,3 | 2,6 | 0,4 | 12,0 |

Исходные данные и результаты расчетов экономического эффекта при реализации мероприятия представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные и результаты расчетов экономического эффекта при реализации мероприятия.

| Параметр | Размерность | Значение |
|--|--------------|----------|
| Годовая выработка пара | т | 18157 |
| Энтальпия выпара | ккал/кг | 641,1 |
| Удельная изобарная теплоемкость воды | ккал/(кг·°С) | 1 |
| Температура конденсата выпара | °С | 50 |
| Расход выпара деаэратора | т | 181,6 |
| Экономия тепловой энергии от использования охладителя выпара, в пределах до | Гкал | 107,3 |
| Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии на котельной | кг у.т./Гкал | 155,6 |
| Экономия условного топлива за счет снижения потребления газа, в пределах до | т у.т. | 16,7 |
| Удельный расход электроэнергии на выработку 1 Гкал тепловой энергии на котельной | г у.т./кВт*ч | 17,58 |
| Экономия электрической энергии, в пределах до | тыс. кВт*ч | 1,9 |
| Экономия условного топлива за счет снижения потребления электрической энергии, в пределах до | т у.т. | 0,6 |
| Экономический эффект, в пределах до | т у.т. | 17,3 |
| | тыс. руб. | 9,6 |
| Срок окупаемости | лет | 1,3 |

Заключение

Установка охладителя выпара позволит полезно использовать теплоту, которая ранее выбрасывалась в атмосферу.

Таким образом, экономический эффект от внедрения данного мероприятия составит в пределах до 17,3 т у.т. Срок окупаемости составит 1,3 года.

Литература

1. Всё для котлов [Электронный ресурс]/ Деаэраторы атмосферные. - Режим доступа: <https://dlyakotlov.ru/catalog/kotelnoe-oborudovanie/deaeratory-atmosfernye>. – Дата доступа: 02.03.2022.

УДК 628.1: 621.311

МЕТОД АЭРАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ
AERATION METHOD OF WATER TREATMENT

М.А.Заруба, М.В.Рынкевич

Научный руководитель – В.А.Романко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

tes@bntu.by

M.Zaruba, M.Rynkevich

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье затрагивается тема аэрации воды в отрасли энергетики. В статье изложен принцип действия, а также достоинства и недостатки.

Annotation: The article deals with topic of water aeration in the power industry. The article outlines the principle of operation, as well as the advantages and disadvantages.

Ключевые слова: водоподготовка, насыщение кислородом, качество, химический состав.

Keywords: water treatment, oxygeration, quality, chemical composition.

Введение

Вода является общераспространенным материалом, применяемым практически во всех отраслях промышленности. Она является рабочим телом для выработки тепловой энергии (парогенератор), которая превращается в механическую (турбина), и далее преобразуется в электрическую энергию (электрогенератор).

Наиглавнейшим условием эффективности передачи тепловой энергии и последующего её превращения в механическую энергию является чистота контактирующих с водой и паром плоскостей металла. Излишние наслоения на поверхности металла влекут за собой не только осложнение теплопередачи, инициируя перерасход сжигаемого топлива, но и повышение сопротивления, а следовательно - увеличение давления в турбине.

Для того, чтобы добиться требуемого качества воды для тех или иных работ её необходимо подвергнуть особой физико-химической обработке. После выполнения всех возможных мер по очистке воду можно использовать для следующих целей:

- в качестве сырья для получения пара;
- для конденсации отработавшего в паровых турбинах пара;
- в качестве теплоносителя;
- для охлаждения всевозможных аппаратов и агрегатов.

Подбор способов обработки вод зависит от состава начальной пробы этих вод, типа электростанции, параметров ключевого оборудования и так далее.

Основная часть

Одной из самых результативных технологий избавления воды от мелкодисперсных веществ, в частности железа, является аэрация. В ходе предоставленного метода вода обогащается воздухом, что приводит к удалению таких вредоносных веществ и соединений, как сероводород, железо, марганец, и благодаря этому химический состав воды изменяется (улучшение вкуса, запаха, прозрачности и цвета).

Аэрация в наиболее встречаемых случаях протекает при разбрызгивании воды, либо ее проводят пропусканием воздуха через воду.

На данный момент существует несколько видов аэрации: биологическая; химическая; механическая.

Биологическая аэрация – это естественный процесс, при котором 90% кислорода, присутствующего в открытых водоемах, формируется живущими в них фитопланктонами. Коренной задачей этого метода является активизация их роста и размножения. Чтобы ускорить рост количества фитопланктонов применяются минеральные удобрения. Когда вышеупомянутых планктонов становится слишком много, водоем заселяют белым амуром или толстолобиком – рыбами, питающимися этими планктонами.

Химическая аэрация происходит при растворении в воде реагентов (марганцовокислый калий, активный хлор, перекись водорода или кальция, озон и другие), которые в процессе реакции с ней выделяют кислород. Очень важно придерживаться пропорций, в ином случае все может привести к необратимым последствиям (экологическим проблемам).

Механическая аэрация заключается в использовании системы фильтров. Работа таких аппаратов заключается в следующем: сначала, благодаря аэрации, вода обогащается кислородом, затем движется в отдельный бак, где происходит окисление нежелательных химических элементов. С помощью окисления добивается переход состояния лишних компонентов из растворимого в нерастворимое (преобразуются в твердые частицы) и впоследствии они задерживаются в фильтрующих установках. В конце цикла выходит очищенная вода, а твердые остатки удаляются из фильтра при его очистке.

Примечательно, что достоинства аэрации преимущественно доминируют над недостатками. Ключевыми являются:

- отсутствие серьезных финансовых затрат – для стабильного функционирования системы необходима лишь регулярная замена фильтров и непрерывное электропитание;
- безопасность для человека и окружающей среды (при соблюдении всех правил);
- автономность – не нуждается в нахождении под постоянным контролем;
- быстрота работы – можно очищать сразу большое количество материала.

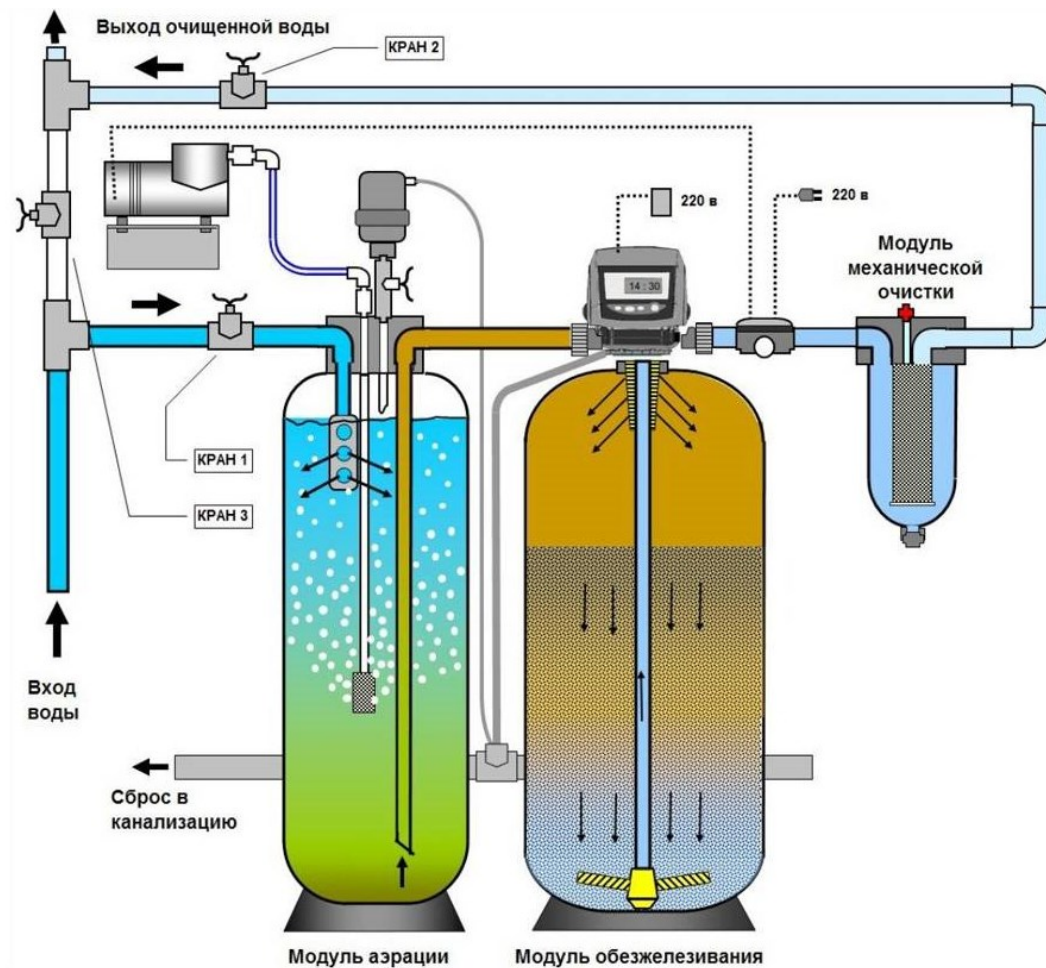


Рисунок 1 – Схема очищающей установки с использованием аэрации

Заключение

Благодаря ряду достоинств системы аэрации, прогрессивное оборудование для такого вида очистки воды сегодня можно встретить не только на промышленных производствах, но также в подсобных хозяйствах и на территориях частных домов.

Существует много всевозможных способов обезжелезивания воды, однако все же очистка аэрацией считается преимущественно эффективным, безвредным и дешевым способом.

Литература

1. Водоподготовка для предприятий энергетики [Электронный ресурс] / Водоподготовка для предприятий энергетики. –Режим доступа: <http://kme.bntu.by/images/doc/Vodopodgotovka%20dlja%20predpriyatij%20jenergetiki%202015.pdf>.–Дата доступа 07.04.2022.
2. Аэрация воды [Электронный ресурс] / Аэрация воды. –Режим доступа: https://vagner-ural.ru/o_kompanii/stati-po-vodoochistke/aeraciya-vody/.–Дата доступа 07.04.2022.
3. Водоподготовка для энергетики [Электронный ресурс] / Водоподготовка для энергетики. –Режим доступа: <https://natoke.ru/articles/184-cto-takoe-rekuperacija-tormozhenija-v-elektromobile/>.–Дата доступа 07.04.2022.

УДК 658.264

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО РАЙОНА ГОРОДА ЖОДИНО
HEATING OF A RESIDENTIAL AREA OF ZHODYNO**

Д.В. Худенко

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

D. Khudenko

Supervisor – I. Migutsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В энергетике используется более 50 % всех видов энергоресурсов, в том числе до 65 % вырабатываемой электроэнергии. Соответственно большой роли энергетике в промышленном производстве современные промышленные предприятия имеют сложные и многообразные технологические систем, состоящие из комплексов установок и устройств, предназначенных для сжигания топлива и производства, распределения и потребления электроэнергии, теплоты, сжатого воздуха, газа, кислорода.

Abstract: More than 50% of all energy resources are used, including up to 65% of the electricity generated. Correspondingly large role of energy in industrial production modern industrial enterprises have complex and diversified technological systems, consisting of sets of installations and devices designed for fuel combustion and production, distribution and consumption of electricity, heat, compressed air, gas, dioxide.

Ключевые слова: энергетическое хозяйство, энергоснабжение, предприятие, энергетические ресурсы. .

Keywords: energy economy, energy supply, enterprise, energy resources.

Введение

Централизованное теплоснабжение базируется на использовании крупных районных котельных РК, характеризующихся значительно большими КПД, чем мелкие отопительные установки. Теплофикация, т.е. централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии, является высшей формой централизованного теплоснабжения. Она позволяет сократить расход топлива на 20-25%. Кроме экономии топлива централизация теплоснабжения имеет большое социальное значение, способствуя повышению производительности труда, вытесняя малоквалифицированные профессии, улучшая условия труда и повышая культуру производства.

Основная часть

Описание системы теплоснабжение

Централизованные системы теплоснабжения обеспечивают потребителей теплом низкого и среднего потенциала (до 3500), на выработку которого затрачивается около 25% всего добываемого в стране топлива.

Тепло, как известно, является одним из видов энергии, поэтому при решении основных вопросов энергосбережения отдельных объектов и территориальных районов теплоснабжения должно рассматриваться совместно с другими энергообеспечивающими системами – электроснабжением и газоснабжением.

Вода как теплоноситель имеет ряд преимуществ перед паром; некоторые из этих преимуществ приобретают особо важное значение при отпуске тепла от ТЭЦ. К последним относится возможность транспортирования воды на большие расстояния без существенной потери её энергетического потенциала, то есть её температуры. Энергетический потенциал пара – его давление – уменьшается при транспортировании более значительно. Таким образом, в водяных системах давление пара в отборах турбин может быть очень низким (0,06-0,2 МПа), тогда как в паровых системах оно должно составлять до 1-1,5 МПа. Повышение же давления пара в отборах турбин приводит к увеличению расхода топлива на ТЭЦ и уменьшению выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Водогрейная котельная предназначена для выработки горячей воды, используемых для технологических потребителей и нужд теплоснабжения.

Современная установка представляет собой комплекс основного и вспомогательного оборудования. Выбор технологической схемы и размещения оборудования зависят от назначения установки, вида сжигаемого топлива, мощности и типа установленных парогенераторов и других факторов.

Природный газ по газопроводу поступает на территорию предприятия и направляется в газорегуляторную установку (ГРУ), которая предназначена для снижения давления газа и поддержания его на постоянном уровне перед газовыми горелками независимо от расхода. Обычно в ГРУ располагают контрольно-измерительные приборы для определения давления газа, его температуры и расхода. Из ГРУ газ по цеховому газопроводу поступает к горелкам парогенераторов. [1]

Определение тепловых потоков потребителей

Теплопотребление – это использование теплоты для разнообразных коммунально-бытовых и производственных целей. Все потребители теплоты делятся на две группы:

Сезонные – используют теплоту не круглый год;

Круглогодичные – используют теплоту в течении всего года;

Для сезонного теплового потребления характерны следующие особенности:

в течении года тепловые нагрузки изменяются в зависимости от температуры наружного воздуха. Годовые расходы тепла имеют значительные колебания.

Изменение тепловой нагрузки на отопление в течении суток незначительны.

Расходы тепловой энергии для вентиляции по часам суток могут отличаться большим разнообразием в зависимости от смены режимов работы.

Для круглогодичных потребителей расход теплоты зависит:
от технологии производства;
от вида выпускаемой продукции;
от режима предприятия.

Заключение

Теплоснабжение жилого района является крупным и энергозатратным производством, включающим огромное многообразие энергетического оборудования, которое модернизируют и совершенствуют для бесперебойной и эффективной.

Литература

1. Смирнов, Н.А. Теплоснабжение жилого района: методические указания к курсовой работе по дисциплине "Теплотехнические процессы и установки" / Н.А. Смирнов, - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. - 58 с

УДК 62-622

**РАЗРАБОТКИ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
ВОДОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
DEVELOPMENTS OF THE WORLD'S LEADING COUNTRIES ON THE
USE OF HYDROGEN IN VARIOUS INDUSTRIES**

А.С. Шенец

Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

A. Shenets

Supervisor – V. Romanyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены наиболее интересные разработки с использованием водорода в качестве источника энергии. Описаны принципы развития водородной энергетики в некоторых сферах промышленности.*

***Abstract:** This article discusses the most interesting developments using hydrogen as an energy source. The principles of the development of hydrogen energy in some industries are described.*

***Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, «Водородная долина», топливо, энергетическая отрасль.*

***Keywords:** hydrogen, hydrogen energy, "Hydrogen valley", fuel, energy industry.*

Введение

Водород, является чистым топливом, которое при сжигании в топливном элементе производит только воду. Водород можно производить из различных внутренних ресурсов, таких как природный газ, атомная энергия, биомасса и возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия и ветер. Эти качества делают его привлекательным вариантом топлива для транспорта и производства электроэнергии. Его можно использовать в автомобилях, в домах, в портативных источниках питания и во многих других областях.

Водород является энергоносителем, который можно использовать для хранения, перемещения и доставки энергии, произведенной из других источников.

Основная часть

Авиалайнеры на водородных двигателях:

Компания Airbus (Франция) представила три концепции первого в мире коммерческого авиалайнера с нулевым уровнем выбросов углекислого газа, который могут ввести в эксплуатацию в 2035 году. Как и планировалось, они должны работать на водородном топливе. Каждая концепция рассматривает различные технологические траектории и аэродинамические конфигурации для достижения "чистого нуля" (отсутствие выбросов парниковых газов).

Это следующие концепции:

Концепция самолета с турбовентиляторным двигателем (рисунок 1), который вмещает 120-200 пассажиров и имеет дальностью полета более 3700 километров, способен осуществлять своё движение в трансконтинентальных направлениях. Оснащен модифицированным газотурбинным двигателем, работающем на водороде, а не на реактивном топливе. Жидкий водород будет храниться и распространяться через резервуары, расположенные за задней герметичной рамой;



Рисунок 1 - Самолёт с турбовентиляторным двигателем

Концепция самолета с турбовинтовым двигателем, вместимостью до 100 пассажиров, который также оснащен газотурбинным двигателем, модифицированным водородом. Устройство данного самолета позволяет преодолевать расстояние более 1800 километров, что делает его великолепнейшим вариантом для осуществления перевозок на короткие расстояния;

Концепция фюзеляжа в сочетании с крылом, вместимостью до 200 пассажиров и дальностью полета более 3700 километров. Конструкция имеет достаточно широкий корпус, что предоставляет множество возможностей для хранения и распределения водорода.

Переход на водород в качестве основного источника энергии для данных концептуальных самолетов потребует радикальных действий со стороны всей авиационной экосистемы. Совместно с поддержкой правительственных органов и отраслевых партнеров можно решить эту задачу посредством расширения применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и

водорода для обеспечения стабильного будущего авиационной сферы промышленности.

Мобильная водородная заправочная станция:

Одной из проблем, связанных с развитием водородного транспорта, является неразвитость инфраструктуры. Немецкая компания Wystrach, производитель установок для хранения и транспортировки газов, представила на рынке мобильную водородную заправочную станцию WyRefueler (рисунок 2). Это переносная система, которая собирается /разбирается в течение дня. Её устройство позволяет размещать её практически в любом месте.



Рисунок 2 - Мобильная водородная заправочная станция

Данная водородная заправочная станция состоит из двух частей: контейнера-цистерны и контейнера-заправочной станции, которые могут транспортироваться независимо друг от друга. На предприятии установлена заправочная станция, которая включает водородный компрессор, автоматизированную систему управления, буферный бак емкостью 88 кг, 500 бар с возможностью автоматического контроля давления на необходимый период. Контейнер-цистерна, содержащий 313 кг водорода, сжатого при давлении 300 бар, необходимо либо заполнить водородом, либо заменить другим при его освобождении.

Создатели данной установки предлагают идею для заправки водородом при давлении 350 бар, что не подходит для легковых автомобилей, но используется для тяжелых транспортных средств (автобусов, поездов, грузовиков, строительной техники). Достоинством является то, что система была удачно протестирована в Нидерландах.

«Водородная долина» в Нидерландах:

Две провинции Нидерландов – Гронинген и Дренте – общими силами планируют создать "Водородную долину" (рисунок 3) на своих территориях.

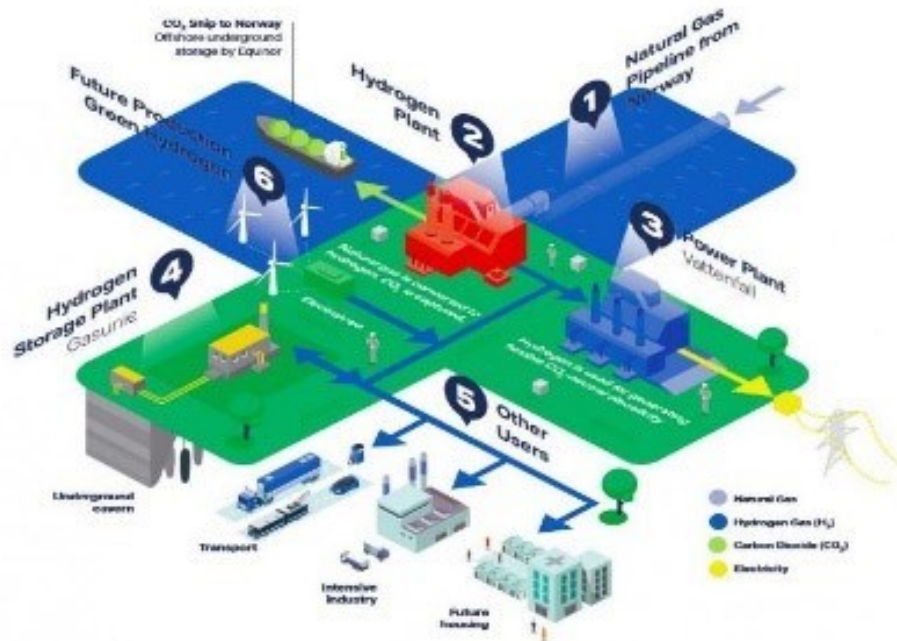


Рисунок 3 - «Водородная долина»

Создан план развития водородной энергетики до 2030 года общей стоимостью 2,8 миллиарда евро, который будет ориентирован на использовании "голубого" водорода, добываемого из воды при помощи возобновляемых источников энергии. "Зеленый" водород планируется получать традиционным способом – путем преобразования природного газа. Углекислый газ, образующийся в процессе, должен закачиваться под землю для устранения выбросов парниковых газов. Такие технологические процессы уже протестированы в производстве на небольших установках и все еще довольно-таки дорогие. Авторы плана пытаются снизить затраты на производство и транспортировку водорода за счет эффекта масштаба.

План включает в себя 33 определенных проекта, в том числе строительство подземного хранилища водорода в соляных пещерах в Зюйдвендинге, создание сети водородных заправочных станций, добавление водорода и синтез-газа в уже существующие газопроводы и т.д. В проектах примут участие такие компании как Shell, Nuon, Engie, BioMCN (производитель биометанола), Gasunie (оператор сети газопроводов) и др. Предприятие готово взять на себя часть расходов, рассчитывая, что остальные средства поступят из бюджетов Нидерландов и Европейского Союза.

Мощность установок электролиза воды планируется увеличить для начала до 1 МВт, а затем до 1 ГВт. К тому же, планируется разработать и построить "водородные" ветряные турбины со встроенными электролизаторами. Электростанцию в Эмсхейвене, мощностью 1,32 ГВт, планируется частично перевести с природного газа на водород. В последующем подземное хранилище водорода станет огромным аккумулятором энергии.

Первая водородная газотурбинная электростанция в Японии:

В июне 2020 года газотурбинная электростанция (рисунок 4) завода Mizue, мощностью 80 МВт, начала работать на новом для себя виде топлива –

водороде – на нефтеперерабатывающем заводе Тао в Японии. Компании Chiyoda, Mitsubishi, Mitsui и Nippon Yusen начали проект еще в 2015 году.



Рисунок 4 - Водородная газотурбинная электростанция

Они создали совместное исследовательское подразделение ANEAD (Ассоциация передовых водородных энергетических цепочек для развития технологий), которое построило завод по гидрогенизации в Брунее и завод по дегидрированию в Японии.

Тем не менее, в этом проекте водород образуется путем паровой конверсии метана, поставляемого в Бруней танкерами в жидкой форме. После этого его связывают с толуолом для получения метилциклогексана, который при нормальной температуре и атмосферном давлении представляет собой жидкость, которую можно хранить и транспортировать в резервуарах. Метилциклогексан доставляется в Токийский залив, где он подвергается дегидрированию на нефтеперерабатывающем заводе Тао Oils keihin. Далее водород смешивается с газообразными продуктами переработки нефти и поступает в газовые турбины теплоэлектростанции «Мидзуэ», которая расположена непосредственно на территории нефтеперерабатывающего завода. Толуол возвращается в Бруней для повторного использования. Проект финансируется японской государственной организацией NEDO (Организация по развитию новой энергетики и промышленных технологий, «Новая энергетика и промышленное и технологическое развитие»). Ассоциация ANEAD планирует поставлять 350 тысяч тонн водорода ежегодно в Японию и использовать в качестве топлива для гигаваттной электростанции к 2030 году.

Все основные производители энергетических газовых турбин – Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ge Power, Siemens Energy и Ansaldo Energia – в настоящее время разрабатывают свои модели, способные работать на чистом водороде в двух режимах: как при постоянной нагрузке, так и при пиковом потреблении. Скорее всего, что это объединенный ответ электроэнергетики на ужесточение требований к уровням выбросов в атмосферу. В то же время водород претендует на роль важнейшего катализатора европейской энергетической трансформации, известной как "энергетический переход" [1].

Заключение

Технологии конечного использования водородной энергии, в отличие от традиционных технологий, еще не созрели. Однако они предлагают потенциально значительные преимущества с точки зрения низкого или нулевого уровня выбросов и гибкости в отношении источников топлива. Поскольку это незрелые технологии, их стоимость высока, а надежность и долговечность еще не доказаны.

В долгосрочной перспективе водородная энергия, вероятно, будет использоваться во многих повседневных ситуациях, и водородные энергетические технологии заменят многие традиционные технологии. Экономика таких водородных технологий будет улучшаться по мере их широкого использования, а добавленная стоимость низкого уровня загрязнения должна еще больше повысить ценность таких систем [2].

В связи с использованием водорода в качестве источника энергии, вскоре энергетическая отрасль перестанет существовать в том виде, в каком мы ее сейчас знаем. Например, дома будут оснащены автономными генераторами на водородном топливе. Не понадобятся не только гидроэлектростанции, атомные электростанции, но и все сети, передающие электроэнергию. Хотя в то же время водород вырабатывается именно за счет потребления значительного количества электроэнергии.

Литература

1. Водородная энергетика [Электронный ресурс]/ водородная энергетика. - Режим доступа: <https://energy.hse.ru/hydroenergy>. – Дата доступа: 29.03.2022.

Водородная энергетика [Электронный ресурс]/ водородная энергетика. - Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrogen-energy>. – Дата доступа: 29.03.2022.

УДК 658.264

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА 17 БНТУ

HYBRID HEATING SYSTEM EDUCATIONAL BUILDING 17 BNTU

А.В. Кулыгин

Научный руководитель – Е.О. Иванчиков
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

А. Kulyhin

Supervisor – E. Ivanchikov

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Гибридная система теплоснабжения учебного корпуса 17 БНТУ

Abstract: Hybrid heat supply system of the educational building 17 BNTU.

Ключевые слова: Гибридная система, теплоснабжение, БНТУ.

Keywords: Hybrid system, heat supply, BNTU.

Введение

Гибридные (поливалетные) системы теплоснабжения (ПСТ) представляют собой несколько разнородных источников тепла, объединенных в комплекс, например котельные установки (КУ), возобновляемые источники (ВИ), использующие вторичные энергоресурсы (ВЭР) и т.д.

Основная часть

Рассмотрим пример гибридной системы теплоснабжения на ПСТ с использованием солнечной энергии. Различают активную и пассивную технологии. Пассивная - создание специальных конструкций и ограждений, для максимального улавливания солнечного излучения, защиты от перегрева в тёплое время года.

Активная - в технических системах со специальным оборудованием, для приёма солнечного излучения, далее преобразования в тепло, его аккумулярование и передачу потребителям.

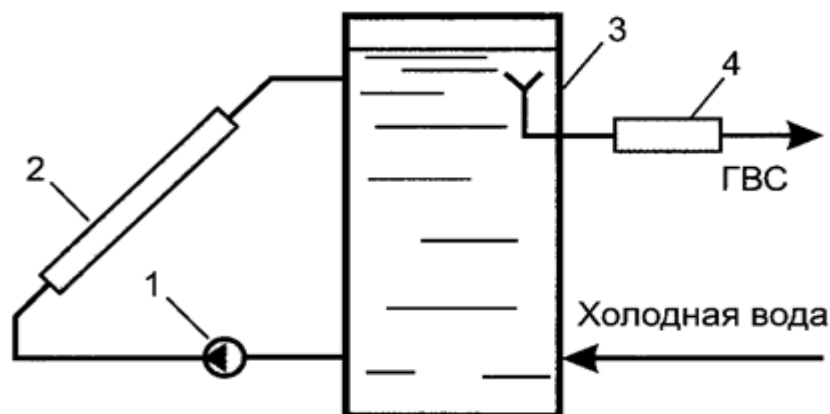


Рисунок 1 - Одноконтурная установка горячего солнечного водоснабжения

1 – циркуляционный насос; 2 – солнечный коллектор; 3 – бак-аккумулятор; 4 – догреватель

Выбирая наиболее эффективный вариант, необходимо учесть потребительские качества, затраты на получение энергии отдельными подсистемами ПСТ. Главное преимущество ПСТ - более низкие значения температуры теплоносителя в подающей и обратной магистрали тепловой сети (70/50, 60/40 и др.).

ССТ по роду нагрузки бывают: горячего водоснабжения, отопления. По экономическим соображениям подбираются из расчёта замещения 30-50% годового потребления, работают как сезонно, так и круглогодично. Такие системы могут быть индивидуальными и централизованными. Выполняются по одноконтурной схеме.

Заключение

С развитием науки и техники, появилась возможность использовать альтернативные источники теплоснабжения, применять гибридные системы теплоснабжения. Использование новых технологий в данной сфере позволит не только оптимальнее использовать существующие ресурсы, извлечь экономическую выгоду, но и поспособствовать дальнейшему прогрессу в данной сфере.

Литература

1. Московский государственный университет путей сообщения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.mgups.ru/>. Дата доступа: 03.03.2022.
2. Aqua-therm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_616. Дата доступа: 03.03.2022.

УДК 628.54

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В
РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**
**THE RELEVANCE OF THE PROBLEM OF WASTE PROCESSING IN
THE REPUBLIC OF BELARUS**

И. Ю. Пронтишев,

Научный руководитель – И. Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

prokopenya@bntu.by

I. Prontishev

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: мероприятия, проводимые по переработке и использованию отходов;

Abstract: activities carried out for the processing and use of waste;

Ключевые слова: RDF, BMP, ТКО;

Keywords: RDF, SMR, MSW

Введение

RDF (refuse derived fuel) — это вид топлива, который, пройдя через стадию сортировки, можно сжигать для получения энергии.

BMP (вторичные материальные ресурсы) — это материалы и разного рода изделия, которые после первичного использования еще представляется возможность использовать повторно, например, в производстве, после различных химико-термических махинаций.

ТКО (твердые коммунальные отходы) — это отходы, которые появляются в процессе жизнедеятельности человека, а также товары, которые утратили свои потребительские свойства в процессе их использования

Основная часть

Острота проблемы отходов связана с глобальными масштабами их образования. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [1] видно из диаграммы, что массовый объем отходов ежегодно увеличивается, что не удивительно, ведь численность населения Республики Беларусь так же возрастает.

В настоящее время в странах ЕС Директивой по отходам законодательно утверждена следующая иерархия методов обращения с отходами:

Предотвращение образования

Повторное использование

Рециклинг(переработка)

Энергетическое использование

Окончательное удаление (хранение, захоронение)

На рисунке 1 показана иерархия обращения с ТКО в Республике Беларусь относительно структуры европейской системы.



Рисунок 1 - Иерархия обращения с ТКО в Республике Беларусь

Образовавшиеся отходы используются согласно следующим методам:

Переработка(рециклинг) – происходит сортировка: отбраковка негорючей части отходов из общей массы отходов для вторичного использования (ВМР).

Компостирование – использование органической части ТКО после её биологической обработки (разложения органических субстанций) при помощи различных микроорганизмов.

Сжигание – используют горючие отходы для получения тепловой и(или) электрической энергии

Заключение

На сегодняшний день отходы, образующиеся в г. Минске и подлежащие захоронению, поступают на полигон ТКО «Тростенецкий». С учетом закрытия полигонов «Северный» и «Прудиче» увеличился объем поступающих отходов на полигон «Тростенецкий» более чем в два раза, что привело к сокращению его сроков эксплуатации.

Поэтому постройка различных видов заводов по взаимодействию с отходами будут иметь особое место в социально-энергетическом аспекте жизни населения Республики Беларуси. Следует отметить, что в нынешних тенденциях очень ценятся проекты взаимодействующие с отходами с целью его использования — зеленая энергетика(условно). Так же эта отрасль энергетики быстро развивается.

Литература

1. П- Образование отходов [Электронный ресурс]/ П- Образование отходов. -Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-1-obrazovanie-othodov/>. – Дата доступа: 17.03.2022

2. Тихно, В. Д. Альтернативное топливо, получаемое на мусоросортировочных заводах / В. Д. Тихно ; науч. рук. И. В. Колосова // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс] : материалы 76-й

научно-технической конференции студентов и аспирантов : секция "Электроснабжение" / сост. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 145-147 /. – Дата доступа: 17.03.2022

3. Фиалковская, Н. Б. Проблемы утилизации бытовых отходов в Республике Беларусь и пути их решения / Н. Б. Фиалковская ; науч. рук. Е. А. Гудим // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сборник научных трудов : по результатам ежегодной Международной научно-практической конференции / ред. колл.: Ф. А. Романюк [и др.]. – Минск : БНТУ, 2014. – С. 79 – 82 /. – Дата доступа: 17.03.2022

УДК 621.43

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ
КОТЕЛЬНОЙ С ПОВЫШЕНИЕМ ЕЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
MODERNIZATION OF THE PRODUCTION AND HEATING BOILER
HOUSE BY INCREASE HER ENERGY EFFICIENCY**

К.А. Мордас

Научный руководитель – И.А. Скицунова, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
irina.skitsunova@gmail.com

K. Mordas

Supervisor – I. Skitsunova, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: способы повышения энергоэффективности котельной.

Abstract: ways to improve energy efficiency for boiler house.

Ключевые слова: газопоршневая установка, тепловые сети, топливо, энергия.

Keywords: gas installation, heating network, fuel, energy.

Введение

На протяжении последних лет отмечается значительное увеличение необходимости в энергетических ресурсах, что несет за собой нужду рассмотрения улучшения энергоэффективности уже работающих котельных. Самыми значащими способами получения высокой степени результативности является комплексный подход к решению конструктивных, технологических, технико-экономических и экологических проблем.

Основная часть

Для достижения роста энергоэффективности чаще всего используют детандер генераторных агрегатов, конденсационный экономайзер, газопоршневую установку на территории котельной или вакуумную деаэрационную установку взамен атмосферных.

Одним из самых актуальных методов увеличения энергоэффективности котельной является такой подход, как установка газопоршневых установок (ГПУ), который в последующем помогает решить важнейшую проблему энергетики – сложность подключения к централизованным сетям. В системах централизованного теплоснабжения источник теплоты находится на большом расстоянии от теплоприемника потребителя, в следствии чего образуется необходимость в тепловых сетях, что несет за собой дополнительные финансовые затраты на прокладку самих сетей, которые будут окупаться продолжительный период времени. Именно поэтому предлагается установка ГПУ, ведь в этом случае уже достигается минимизация затрат, связанных с подключением к централизованным сетям, так как саму установку можно разместить в любом помещении в уже имеющемся здании.

Что касается затрат, связанных с эксплуатацией, то ГПУ работают на дешевых видах топлива – это газ и их смеси. В режиме работы эти установки

легко и быстро регулируются. А также ввиду своих технических характеристик, она легко производится в крайний срок, при этом надежность остается высокой. Следует отметить и такое важное достоинство, как экологичность: ГПУ не влияет на здоровье людей, живущих и работающих рядом с ним, и на окружающую среду в целом.

Значимость разным способов генерации тепловой и электрической энергии выросла с заметным ростом тарифов. Некоторым средним и крупным предприятиям стало выгоднее вырабатывать собственную электроэнергию. Ввиду близкого расположения источника и потребителя тепловой энергии, она не успевает терять свои свойства. Чем мощнее установка, тем меньше времени понадобится на окупаемость ГПУ.

Заключение

Следует отметить, что действительно внедрение ГТУ с целью производства электрической энергии и дешевой тепловой энергии считается одним из самых эффективных методов по снижению затрат, так как не нужно подключение к централизованным сетям, а значит нет высокого тарифа на тепло и электроэнергию.

Литература

1. Байков И.Р. /Оптимизация размещения энергетических объектов по критерию минимальных потерь энергии. Проблемы энергетики. /- 27 с. Минск, 2020.

УДК 62-68

**РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ ОАО «БЕЛШИНА»
DEVELOPMENT OF ENERGY SUPPLY THROUGH THE USE OF LOW-
TEMPERATURE SECONDARY ENERGY RESOURCES ON THE
EXAMPLE OF ОАО BELSHINA (BELSHINA, JSC)**

А.А. Судак

Научный руководитель – В.Н. Романюк, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

rvn_bntu@mail.ru

A.Sudak

Supervisor – V. Romanyuk, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье описано исследование цеха вулканизации и подготовительный цеха ОАО «БЕЛШИНА». Рассмотрено мероприятие по рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.*

***Abstract:** This article describes the study of the vulcanization shop and the preparatory shop of JSC "BELSHINA". An event on the rational use of fuel and energy resources was considered.*

***Ключевые слова:** вторичные энергетические ресурсы, энергоснабжение, утилизация, вулканизация, автоклав, абсорбционный тепловой насос.*

***Keywords:** secondary energy resources, energy supply, recycling, vulcanization, autoclave, absorption heat pump.*

Введение

Одним из мероприятий по рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов является утилизация побочных энергопотоков промышленных предприятий. Наибольший для нас интерес представляют низкотемпературные тепловые побочные потоки (до 50 °С), которые составляют значительную долю по объёму выбросов промышленных предприятий и районов. Данное проектное решение будет рассматриваться на примере завода сверхкрупногабаритных шин (СКГШ), который является производственной единицей ОАО «Белшина», однако, стоит отметить, что объектом использования побочных низкотемпературных потоков может служить и любое другое машиностроительное предприятие либо металлургический завод.

Основная часть

Теплоэнергоснабжение завода СКГШ производится от Бобруйской ТЭЦ-2. Пар от ТЭЦ подается в цех пароводоснабжения, где приготавливается перегретая вода для цеха вулканизации. Полученная вода поступает в автоклав, где происходит вулканизация автопокрышек. После процесса вулканизации на выходе мы имеем низкопотенциальный источник тепловой энергии. Для утилизации низкотемпературных выбросов применяется

абсорбционный тепловой насос (АБТН). Тепловым насосом является устройство непрерывного действия, получающее энергию в форме теплоты и в форме работы, которая затем передаётся окружению в форме теплоты, при этом температура теплоприёмника выше температуры окружающей среды. Трансформация теплоты позволяет с помощью теплонасосных установок позволять вовлекать в хозяйственный оборот значительные количества неиспользуемых вторичных энергоресурсов.

После процесса вулканизации покрышек в автоклав подаётся охлаждающая вода для снижения температуры прессформ. Затем эта вода поступает в ёмкость, где смешивается с деаэрированной водой и с температурой 100 °С при помощи насоса поступает в теплообменник. В теплообменнике нагретая вода отдаёт свою теплоту 60 °С воде после АБТН и уже с температурой 65 °С поступает в тепловой насос. В АБТН она охлаждается до 30 °С и через градирню, где есть возможность ещё больше снизить её температуру, она подаётся вновь на охлаждение автоклава. Нагретая вода после теплообменника поступает на устанавливаемые калориферы, где она нагревает воздух с температуры минус 20 °С. Если есть необходимость устанавливаемые калориферы работают совместно с существующими калориферами и лишь догревают воздух. После того как вода отдала свою теплоту воздуху, она с температурой 45 °С поступает в АБТН, где нагревается до 60 °С и цикл повторяется.

Для привода АБТН используется выпар давлением 0,25 Мпа из существующего расширителя. Конденсат на выходе из теплового насоса с температурой 95 °С поступает в деаэратор, после чего направляется в ёмкость, в которой смешивается с нагретой водой после автоклава и цикл повторяется.

Заключение

Целью данного проекта является в утилизация низкотемпературных потоков нагретой вулканизаторами воды и в применении её на распарочных камерах путём нагрева сырья. Данное решение позволяет сэкономить значительное количество пара, подаваемого с процесса вулканизации на калорифер для подогрева воздуха. Использование в энергетике тепловых насосов позволяет эффективно утилизировать первичные энергетические ресурсы (ПЭР). Данные технологии на сегодняшнем уровне обеспечивают уже не менее 40% снижения расхода топлива и финансов на получение сетевой и технологической горячей воды. Эффективность применения технологии трансформации теплоты определяется соотношением классического набора факторов: стоимости оборудования, затрат на его эксплуатацию, стоимости энергетических ресурсов, тарифов на электрическую и тепловую энергию, коэффициента использования установленной мощности. Основным же условием является наличие соответствующего побочного энергоресурса требуемого объёма и качества.

Литература

1. Романюк, В.Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли: учеб. пособие / В. Н.

Романюк, В.Н. Радкевич, Я.Н. Ковалёв; под ред. Я.Н. Ковалева. — Минск: УП «Технопринт», 2001. — 291 с.

2. Трубаев, П. А. Тепловые насосы: учеб. пособие / П. А. Трубаев, Б. М. Гришко. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. — 142 с.

3. Хрусталёв, Б. М. К вопросу развития энергообеспечения промышленных теплотехнологий и систем теплоснабжения в Беларуси. Взгляд в ближайшее будущее и обозримую перспективу / Б. М. Хрусталёв, В. Н. Романюк, В. А. Седнин и др. // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. — 2014. — № 6. — С. 31–47.

УДК 62-68

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ
КОТЕЛЬНОЙ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**
**MODERNIZATION OF THE PRODUCTION AND HEATING BOILER
HOUSE BY INSTALLING HEAT RECOVERY EQUIPMENT**

П.А. Куценко

Научный руководитель – И.А. Скицунова, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Республика Беларусь
irina.skitsunova@gmail.com

P. Kutsenko

Supervisor – I. Skitsunova, Assistant

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: преимущества использования абсорбционного теплового насоса

Abstract: advantages of using an absorption heat pump

Ключевые слова: теплота, насос, котельная, экономия, топливо

Keywords: heat, pump, boiler house, economy, fuel

Введение

Одним из приоритетных направлений развития мирового сообщества является решение проблем охраны окружающей среды и недопущения ухудшения экологической обстановки, поэтому вопросы рационального и экономного потребления и использования природных ресурсов, а также ресурсоэнергосбережения являются значимыми и важными для дальнейшего развития современной экономик государств

Основная часть

Абсорбционный тепловой насос АБТН предоставляет возможность применения бездонной энергии тепла, имеющегося в окружающем воздухе, земле, воде, но и с бережностью относится к окружающей среде. Установка реализует движение тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии к потребителю, у которого температура выше [1].

Такие насосы позволяют нагреть воду для горячего водоснабжения до 55°C. Греющий пар (вода) служит источником энергии, его температура выше 110°C, а также низкопотенциальной уже использованной теплоты от разных источников с температурой не ниже 10°C [1].

К преимуществам АБТН следует отнести: небольшую степень использования электрической энергии, высокий уровень безопасности при работе, минимизация издержек по эксплуатации, малое использование пространства, легкообслуживание.

Когда применяется АБТН, тогда получается максимально сэкономить энергоресурсы, в следствие чего меньше времени понадобится на окупаемость оборудования.

Несходство обычного теплового насоса от абсорбционного в том, что второй применяет тепловую энергию, сокращая расход электроэнергии и затраты на эксплуатацию – минимальные.

Необходимый источник тепловой энергии часто находится в «свободном» доступе в тепловой установке, а теплота передаётся в систему централизованного теплоснабжения, потребляемая в абсорбционном тепловом насосе.

Хладагент в абсорбционных насосах - вода, что почти не влияет на окружающую среду.

Технология уже подтвердила своё применение для систем централизованного отопления: около 100 000 коммерческих установок по всей территории[2].

Сбережение органического топлива через тепловые насосы получается из-за полезного применения выбросов низкопотенциальной теплоты на котельной.

Заключение

Подлежащий распределению полученный при применении теплового насоса совокупный экономический эффект в основном определяется объемом достигаемой экономии топлива по отношению к наиболее реальному альтернативному варианту и напрямую зависит от цены сэкономленного топлива.

Литература

1. Специальное оборудование: комплект оборудования для повышения эффективности работы котельной [Электронный ресурс]/ Абсорбционный тепловой насос -Режим доступа: <https://gskb.by/specialnoe-oborudovanie/specialnoe-oborudovanie-komplekt-oborudovaniya-dlya-povysheniya-effektivnosti-raboty-kotelnoj/>. – Дата доступа: 04.03.2022
2. Абсорбционный тепловой насос. АБТН и телоснабжение [Электронный ресурс]/ Абсорбционный тепловой насос -Режим доступа: <https://1-engineer.ru/teplosnabzhenie-s-abtn/>. – Дата доступа: 04.03.2022

УДК 621.43

**МОДЕРНИЗАЦИЯ РАЙОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ С УСТАНОВКОЙ
ГАЗОПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА
MODERNIZATION OF A REGIONAL BOILER WITH THE
INSTALLATION OF A GAS PISTON UNIT**

Е.Ю. Адинцова

Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажёр
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
yanchuk@bntu.by

K. Adintsova

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

***Аннотация:** Развитие комбинированной выработки электрической энергии является одним из основных путей повышения тепловой и экологической эффективности электроэнергетического производства как в нашей республике, так и за рубежом. С 2008 года котельная по адресу ул. Скорины 48 из статуса котельной, приобретает статус мини-ТЭЦ с установлением КГУ серии Quanto C770SPE. Вырабатываемая электроэнергия идет на покрытие собственных нагрузок котельной и может быть выдана в энергосистему. Когенерационная установка позволяет повысить надежность теплоснабжения и электроснабжения от существующей котельной.*

***Abstract:** Development of combined generation of electric energy is one of the main ways to increase the thermal and ecological efficiency of electric power production both in our republic and abroad. Since 2008, the boiler house at Skorina Str. 48 from the status of boiler house, acquires the status of mini-TEC with the installation of the KSU series Quanto C770SPE. The generated electricity is used to cover the own loads of the boiler room and can be supplied to the power system. The cogeneration plant makes it possible to increase the reliability of heat supply and power supply from the existing boiler house.*

***Ключевые слова:** мини-ТЭЦ, котельная, КГУ.*

***Keywords:** mini-TEC, boiler house, KSU.*

Введение

Развитие комбинированной выработки электрической энергии является одним из основных путей повышения тепловой и экологической эффективности электроэнергетического производства как в нашей республике, так и за рубежом. В настоящее время, несмотря на преобладание в энергосистеме теплофикационных мощностей (более 50 %), эффективным становится применение небольших по мощности теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Использование мини-электростанций в ряде случаев экономически выгоднее, чем производство энергии на крупных ТЭЦ. Несмотря на то, что применение малых теплофикационных мощностей уходит своими корнями в

50-е гг. прошлого столетия, имеется ряд новых аспектов, которые следует учитывать на современном этапе развития теплоэнергетики. [2].

Основная часть

Сегодня значительно увеличилось количество типов энергогенерирующих установок, используемых в энергетике и промышленности. Наряду с паротурбинными установками все шире применяются двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные и комбинированные установки. Современное оборудование для малых ТЭЦ представляет собой достаточно сложные, но в то же время надежные комплексы, оснащенные современной аппаратурой контроля и автоматического управления.

С 2008 года котельная по адресу ул. Скорины 48 из статуса котельной, приобретает статус мини-ТЭЦ с установлением КГУ серии Quanto C770SPE. Вырабатываемая электроэнергия идет на покрытие собственных нагрузок котельной и может быть выдана в энергосистему. Когенерационная установка позволяет повысить надежность теплоснабжения и электроснабжения от существующей котельной.

Когенерационные установки TEDOM серии Quanto являются агрегатами сердней и высшей мощности (от 190 кВт), на базе промышленных газовых двигателей всемирно известных марок.

Технические характеристики КГУ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики КГУ

| Исполнение когенерационной установки | Стандарт | Единица измерения |
|--------------------------------------|----------|---------------------|
| Номинальная электрическая мощность | 785 | кВт |
| Максимальная тепловая мощность | 1010 | кВт |
| Потребляемая мощность топлива | 2068 | кВт |
| К.П.Д. электрический | 38,0 | % |
| К.П.Д. тепловой | 48,9 | % |
| К.П.Д. общий (использование топлива) | 86,9 | % |
| Расход газа при 100% мощности | 219 | м ³ /час |
| Расход газа при 75% мощности | 171 | м ³ /час |
| Расход газа при 50% мощности | 123 | м ³ /час |

В проекте предусмотрена блочная конструкция когенерационной установки Quanto C770SPE. Она содержит агрегат двигатель-генератор, комплектное теплотехническое оборудование установки, включая глушитель выхлопа и звукоизоляционный кожух. Электрический распределитель представляет отдельностоящий шкаф.

Особенностью данных агрегатов является возможность эффективного использования установок сравнительно малой мощности 100...500 кВт (максимальная мощность агрегатов до 25 МВт), что позволяет использовать их для котельных малой и средней производительности. Этот тип установок отличается наиболее высокой удельной выработкой электроэнергии на базе

теплового потребления. По удельным капитальным затратам газопоршневые установки дороже ПТУ. Диапазон регулирования этих агрегатов без значительного снижения КПД составляет обычно 70...100 %, поэтому целесообразно их использование для покрытия базовых теплофикационных нагрузок. Преимуществом является возможность их работы на газе низкого давления, что позволяет использовать существующие системы газоснабжения котельных, могут эффективно применяться при расширении котельных малой и средней мощности для покрытия возросших потребностей в тепловой энергии и собственных нужд котельной в электроэнергии, а также выработки электроэнергии во внешнюю электросеть. Остановимся более подробно на возможности использования газопоршневых установок в системах теплоснабжения коммунального сектора. Такие установки, как показала практика их применения на объектах в разных странах мира являются высокоэффективными и надежными источниками энергии. [2]

Заключение

Таким образом, с установлением КГУ Quanto C770SPE мини-ТЭЦ повышает надежность электроснабжения и снижает транспортные электрические потери, выравнивает график загрузки энергетических установок на электростанциях. Так же переход к когенерационной выработке энергии позволяет работать в пиковом режиме, имеет круглогодичную тепловую нагрузку горячего водоснабжения населения, промышленных и общественных зданий, а также сезонную нагрузку отопления.

Литература

1. ГП «Минсккоммунтеплосеть» [Электронный ресурс]/ ГП «Минсккоммунтеплосеть».-Режим доступа: <https://mkts.by>. – Дата доступа: 08.03.2022.
2. ГП «Минсккоммунтеплосеть» [Электронный ресурс]/ ГП «Минсккоммунтеплосеть».-Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 09.09.2021.

УДК 620.97

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ
КОТЕЛЬНОЙ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ГЛУБОКОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**
**MODERNIZATION OF INDUSTRIAL HEATING BOILER HOUSE WITH
UTILIZATION OF HEAT OF DEEP COOLING OF FLUE GASES**

Д.В. Марусич

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
bobichsas@mail.by

D. Marusich

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация** – в работе рассмотрены варианты модернизации производственно-отопительной котельной с утилизацией теплоты глубокого охлаждения дымовых газов.*

***Abstract:** the paper considers options for the modernization of a production and heating boiler house with the utilization of the heat of deep cooling of flue gases.*

***Ключевые слова** – модернизация, дымовые газы, производственно-отопительная котельная, утилизация.*

***Keywords:** modernization, flue gases, production and heating boiler house, recycling.*

Введение

В настоящее время температуру уходящих дымовых газов за котлом принимают не ниже 120-130°C по двум причинам: для исключения конденсации водяных паров на боровых, газоходах и дымовых трубах и для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа. При этом теплоту уходящих газов и скрытую теплоту парообразования водяных паров можно полезно использовать[1].

Основная часть

Глубокая утилизация тепла подразумевает снижение температуры дымовых газов ниже точки росы водяных паров с их последующей конденсацией. При этом утилизируется значительная часть скрытой теплоты конденсации, а конденсат после дополнительной обработки может быть использован для восполнения потерь воды в энергетическом цикле или теплосети. Осушение дымовых газов снижает точку росы остаточных водяных паров и предотвращает выпадение влаги в дымовой трубе, что приводит к снижению затрат на ее ремонт и продлению срока службы[2].

Утилизировать теплоту дымовых газов можно с помощью применения АБТН, в конденсатном теплообменнике, в газовом подогревателе и их комбинированием.

Утилизация тепла в газовом подогревателе:

Обычная технологическая схема электростанции предусматривает нагрев конденсата в газовом подогревателе (часть хвостовых поверхностей котла, экономайзера) на отходящих из котла дымовых газах[3].

После конденсатора насосами (иногда через блочную обессоливающую установку – далее БОУ) конденсат направляется в газовый подогреватель, после которого поступает в деаэратор. При нормативном качестве конденсата БОУ байпасируют. Для исключения конденсации водяных паров из уходящих газов на последних трубах газового подогревателя температура конденсата перед ним поддерживается не ниже 60 С посредством рециркуляции на вход в него подогретого конденсата[3].

Для дополнительного снижения температуры уходящих газов в линию рециркуляции конденсата нередко включают водо-водяной теплообменник, охлаждаемый подпиточной водой теплосети. Подогрев сетевой воды осуществляется конденсатом из газового подогревателя[3].

Система глубокой утилизации с конденсационным теплообменником применяется для утилизации тепла продуктов сгорания и использования скрытой теплоты парообразования на нагрев теплоносителя, что экономит топливо и так же обеспечивает более долгую службу дымовой трубе[3].

Абсорбционный тепловой насос — устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного неестественного перехода тепловой энергии требуется на привод АБТН затратить тепловую энергию.

В качестве утилизируемого потока можно использовать теплоту дымовых газов, передаваемую потоку охлаждающей воды в конденсатном теплообменнике, которая в свою очередь уходит в АБТН. Дымовые газы охлаждаются до температуры точки росы, т.е. из дымовых газов конденсируются водяные пары. Это способствует использованию скрытой теплоты парообразования.

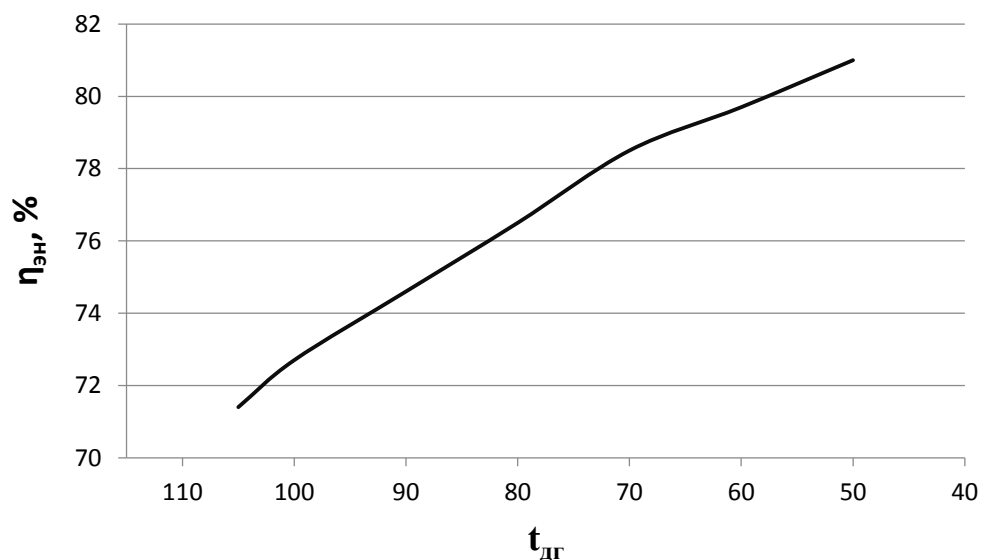


Рисунок 1 - Зависимость энергетического КПД котельной от температуры дымовых газов после ТО

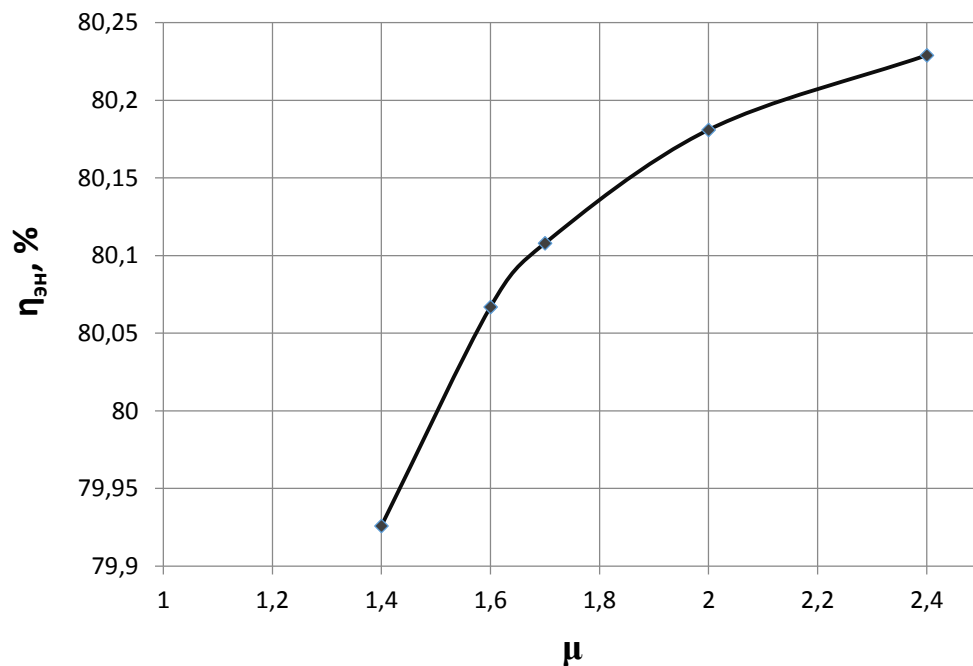


Рисунок 2 - Зависимость энергетического КПД котельной от отопительного коэффициента

Заключение

Можно сделать выводы, что, помимо энергосбережения, при глубокой утилизации продуктов сгорания на производственно-отопительной котельной достигаются следующие результаты:

- снижение эмиссии токсичных окислов CO и NO_x, обеспечение экологической чистоты процесса;
- получение дополнительной, избыточной воды и исключение тем самым потребности в подпиточной воде котла;
- конденсация водяных паров продуктов сгорания локализуется в одном месте – в конденсационном теплообменнике. Не считая незначительного брызгоуноса после каплеуловителя, исключается выпадение конденсата в последующем газовом тракте и связанные с этим разрушение газоходов от коррозионного воздействия влаги, образование наледи в тракте и особенно в дымовой трубе.

Литература

1. Метод глубокой утилизации тепла дымовых газов: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=3> – Дата доступа: 01.03.2022.
2. Повышение эффективности глубокой утилизации тепла дымовых газов ТЭС на природном газе: [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://portal.tpu.ru/portal/pls/portal/!app_ds.ds_view_bknd.download_doc?fileid=4454 – Дата доступа: 01.03.2022.
3. Оценка эффективности глубокой утилизации тепла продуктов сгорания котлов электростанций : [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6365 – Дата доступа: 01.03.2022.

УДК 621.177

РАСШИРИТЕЛЬ-СЕПАРАТОР В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЧАСТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**EXPANSION-SEPARATOR IN THE COOLING SYSTEM OF THE LOW-PRESSURE PART OF A STEAM HEATING PLANT**

Бегункович Т. В. Севостьян А. П.

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

T. Begunkovich A. Sevostjan
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: применение расширителя-сепаратора в СО ЧНД

Abstract: the use of an expander-separator in the LPP

Ключевые слова: расширитель-сепаратор, пар, поток воды, расширение среды

Keywords: expander-separator, steam, water flow, medium expansion

Введение

Расширитель-сепаратор (РС) является одним из ключевых элементов новых СО ЧНД ТПТУ. Он предназначен для получения охлаждающего пара заданного качества. Пар должен быть близким к насыщению и не иметь крупнодисперсной влаги. Подобрать готовые технические решения по конструктивному исполнению РС не представлялось возможным, что потребовало проведения специальных исследований.

Основная часть

Основным требованием при разработке РС было определено качество пара за ним и, прежде всего, отсутствие в нем капельной влаги. Исходя из этого в конструкцию РС заложены следующие технические решения (рис. 1).

Стендовые испытания расширителя – сепаратора/

Новые технические решения по схеме охлаждения ЧНД потребовали соответствующего подхода к ее отработке. Она включала как теоретические, так и натурные исследования. Последние выполнялись в два этапа. На первом – исследовалась схема приготовления охлаждающего пара и сам принцип его применения в условиях максимально приближенных к реальным без подключения схемы охлаждения к турбине (стендовые испытания), на втором – отработанные на стенде технические решения проверялись на натурной турбине. Схема натурального стенда приведена на рис.1.

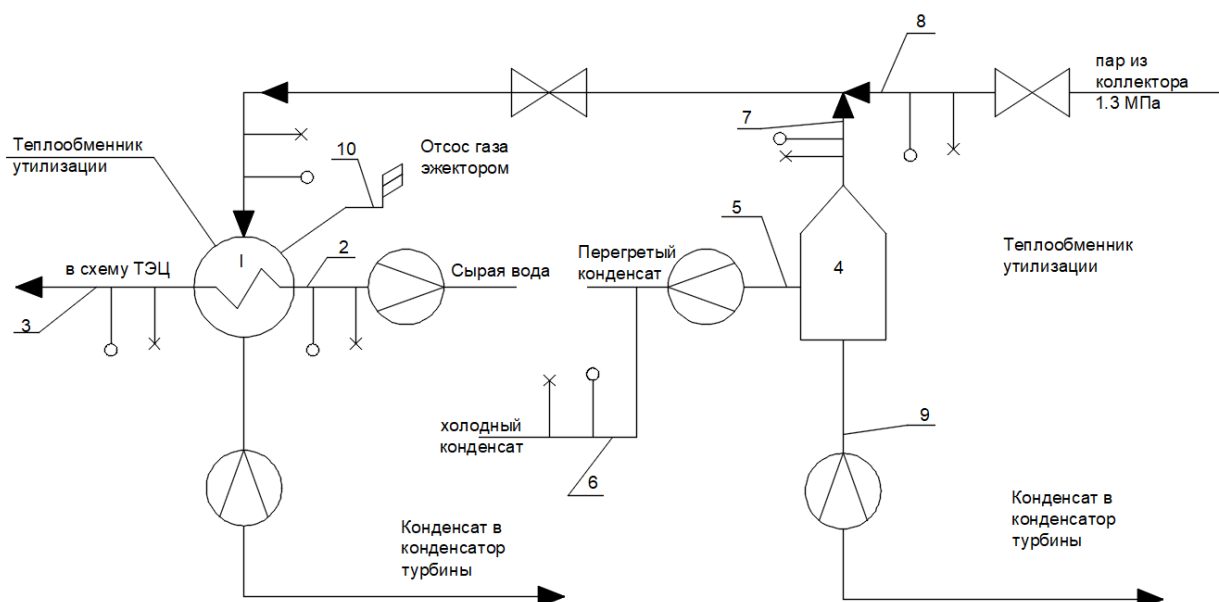


Рисунок 1 - Схема натурального испытательного стенда для отработки СО ЧНД

Стенд включал теплообменник 1 утилизации охлаждающего пара, в качестве которого использовался сальниковый подогреватель типа БО-90 обвязанный трубопроводом 2 подвода и трубопроводом 3 отвода охлаждающей вода, а также трубопроводом 10 отсоса неконденсирующихся газов из теплообменника 1 в конденсатор турбоустановки ПТ-60-130/22. Для использования теплоты генерируемого охлаждающего пара в теплообменник 1 подавалась сырая вода. Основным элементом схемы является расширитель – сепаратор (РС) 4 с трубопроводом 5 подвода перегретого конденсата, трубопроводом 6 подмешивания холодного конденсата, трубопроводом 7 отвода охлаждающего пара из РС 4 в теплообменник 1. В трубопровод 7 подключен трубопровод 8 подмешивания перегретого пара давлением 1.29МПа и температурой 280⁰С. Охлажденный конденсат РС отводится трубопроводом 9 в схему турбоустановки. Схема предусматривает изменение всех возможных параметров в широком диапазоне, что позволило моделировать ее работу в составе натурной турбоустановки. Моделирование нагрева охлаждающего пара в ЧНД осуществлялось подмешиванием к нему перегретого пара подаваемого по трубопроводу 8. Отвод охлажденного конденсата из РС осуществлялся самотеком в конденсаторосборник конденсатора турбины, для чего РС был установлен с учетом естественного подпора – 2м. трубопровод 9 отвода конденсата из РС в конденсатор турбины рассчитывался на минимальное давление в РС на уровне 6кПа и 100%-ый расход конденсата, что гарантирует нормальную работы схемы на всех возможных режимах. То есть в реальных условиях давление в РС выше этого уровня и это упрощает отвод конденсата в конденсатор. Схема комплектовалась необходимыми измерительными устройствами (см.рис. 2.9). Дополнительно на трубопроводе охлаждающего пара были врезаны три пары стекол визуализации, позволяющие вести наблюдение за качеством пара, кроме того была предусмотрена возможность определения влажности получаемого пара наиболее надежным балансовым методом. Испытания

схемы выполнялись в соответствии с программой и инструкций по ее эксплуатации.

Заключение

Данный расширитель сепаратор достаточно экономичен и лёгок в эксплуатации, но из-за возможности появления неорганизованной крупнодисперсной влаги его работа при высокой влажности пара подаваемого в паропуск неэффективна и может привести к нарушению процесса сепарирования.

Литература

1. Оценка разгона эрозионно опасной капельной влаги в осевом зазоре на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1985. - № 7.- С.37-42.
2. Балабанович В.К., Чиж В.А. Разработка технологических предложений по обеспечению надежности работы последних ступеней турбины Т-250-240 с малыми пропусками пара в конденсатор./ Научн. Отчет БГПА, Мн.: 1992, с. 68.
3. Калафати Д.Д. Применение турбин с противодавлением как перспективное направление повышения эффективности малых и средних ТЭЦ. Теплоэнергетика, 1992, № 10, с. 55-60.

УДК 004.94

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS CFX ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ С УЧЕТОМ
ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ТЕПЛООБМЕНА, МЕЖФАЗНЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ, ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И ГОРЕНИЯ
APPLICATION OF THE ANSYS CFX SOFTWARE MODULE TO
SIMULATE THE FLOW OF LIQUIDS AND GASES WITH TURBULENCE,
HEAT TRANSFER, INTERFACE INTERACTIONS, CHEMICAL
REACTIONS, AND COMBUSTION INCLUDED**

А. Н. Жданович В. В. Воропай Ф. Д. Башура
Научный руководитель – В. И. Лазакович, преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

A. Zhdanovich V. Voropay F. Bashura
Supervisor – V. Lazakovich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: краткое описание построение потоков в программе ANSYS CFX.

Abstract: a brief description of building streams in the ANSYS CFX program

Ключевые слова: турбомашиностроения., межфазных взаимодействий, газовые и гидротурбины.

Keywords: turbomachinery., interfacial interactions, gas and hydraulic turbines

Введение

Ansyes CFX – это высокопроизводительное приложение для решения и постановки задач гидрогазодинамики. Хороший инструмент для улучшения процесса разработки и технологической подготовки в области динамики жидкостей и газов.

Основная часть

ANSYS CFX совмещает в себе новейшую технологию с современным интерфейсом и адаптивным построением, что делает это приложение доступным как для создателей приложения, владеющих базовыми инженерными навыками, так и для высококвалифицированных специалистов в области гидродинамики. CFX позволяет подробно изучить оборудование и процессы внутри потока, повысить эффективность установки, повысить срок службы и оптимизировать устройство.

Создатели приложения в первую очередь позиционируют ANSYS CFX как программу для газо- и гидродинамических расчетов и выводов в сфере турбомашиностроения. Поэтому основные новшества относятся к моделированию вращающихся машин. Нацеленность на одну область расчетов позволило получить более оптимальный функционал, который обеспечивает хорошую точность расчетов за короткое время.

Ansys CFX применяется в турбомашиностроении для моделирования процессов, происходящих в насосах, вентиляторах, компрессорах, газовых и паровых турбинах, в том числе при взаимодействии ротора и статора.

Надежность и точность расчетов предоставляют большой выбор физических моделей. Удобный графический интерфейс определяет возможность параметризации и автоматизации процесса моделирования.

Турбулентные потоки часто встречаются в жизни и, вместе с этим, являются наиболее сложной формой движения жидкостей и газов изображено на рисунке 1. Турбулентность представляет собой чрезвычайно сложный процесс для исследования, поскольку является системой с огромным числом степеней свободы и обычно характеризуется широкополосным набором различных компонентов движения и внутренних сил, среди которых существенную функцию выполняют мелкомасштабные и высокочастотные компоненты.

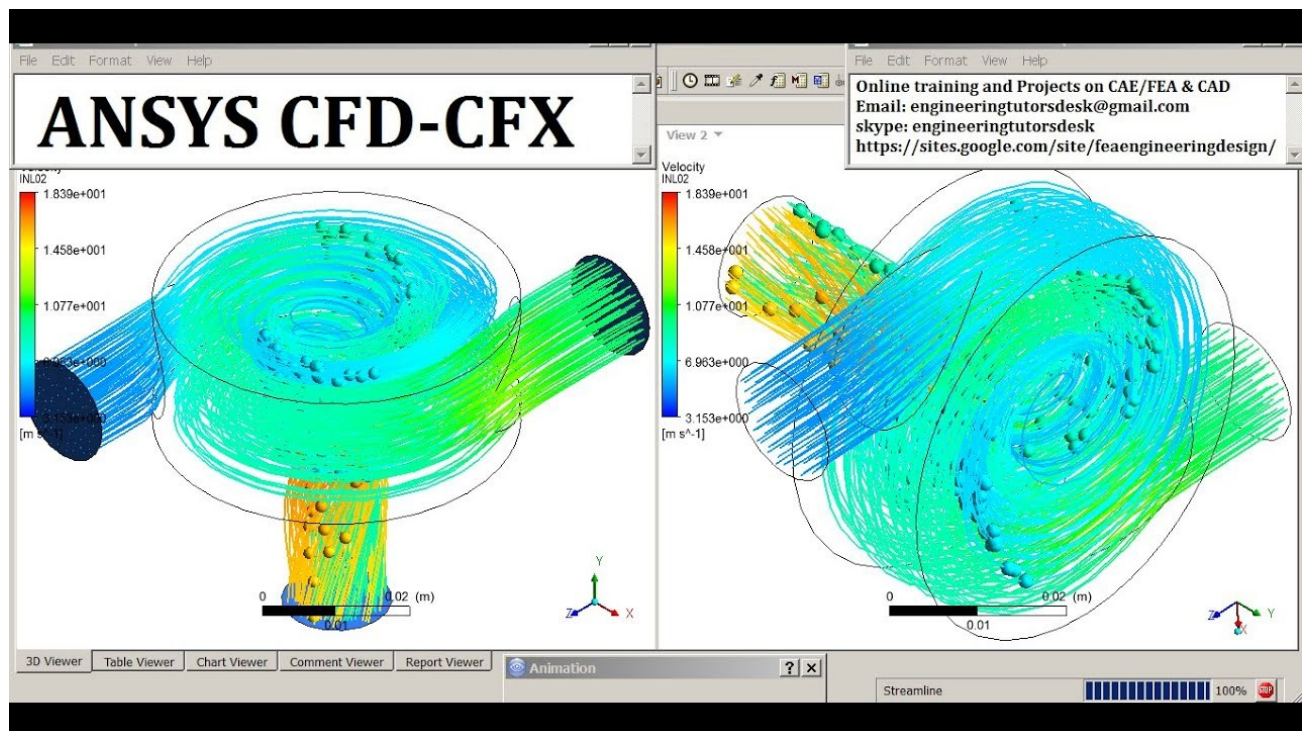


Рисунок 1 - Смешение 2-ух потоков

В последнее время основные усилия разработчиков связаны с развитием новых подходов моделирования таких сложных физических явлений, как фазовые переходы. В первую очередь это относится к фазовым переходам первого рода — процессам конденсации и испарения (кипения), плавления и затвердевания, сублимации. Перечень реальных моделей постоянно расширяется и дополняется, например, в версии 15 появилась способность моделирования кипения в фазе переохлаждения, когда температура жидкости в большей части изучаемого объема ниже температуры насыщения, но температура стенки и текучей окружающей среды достаточно высоки для фазового перехода.

Химические реакции являются важнейшей частью работы биологических и технических систем. Большинство химических процессов в силу особенностей агрегатного состояния протекает в жидких или газообразных средах показано на рисунке 2.

Помимо этого, существует детерминируемый класс химических реакций, которые происходят внутри фигур, а также на границе раздела твердых тел и жидких/газообразных веществ.

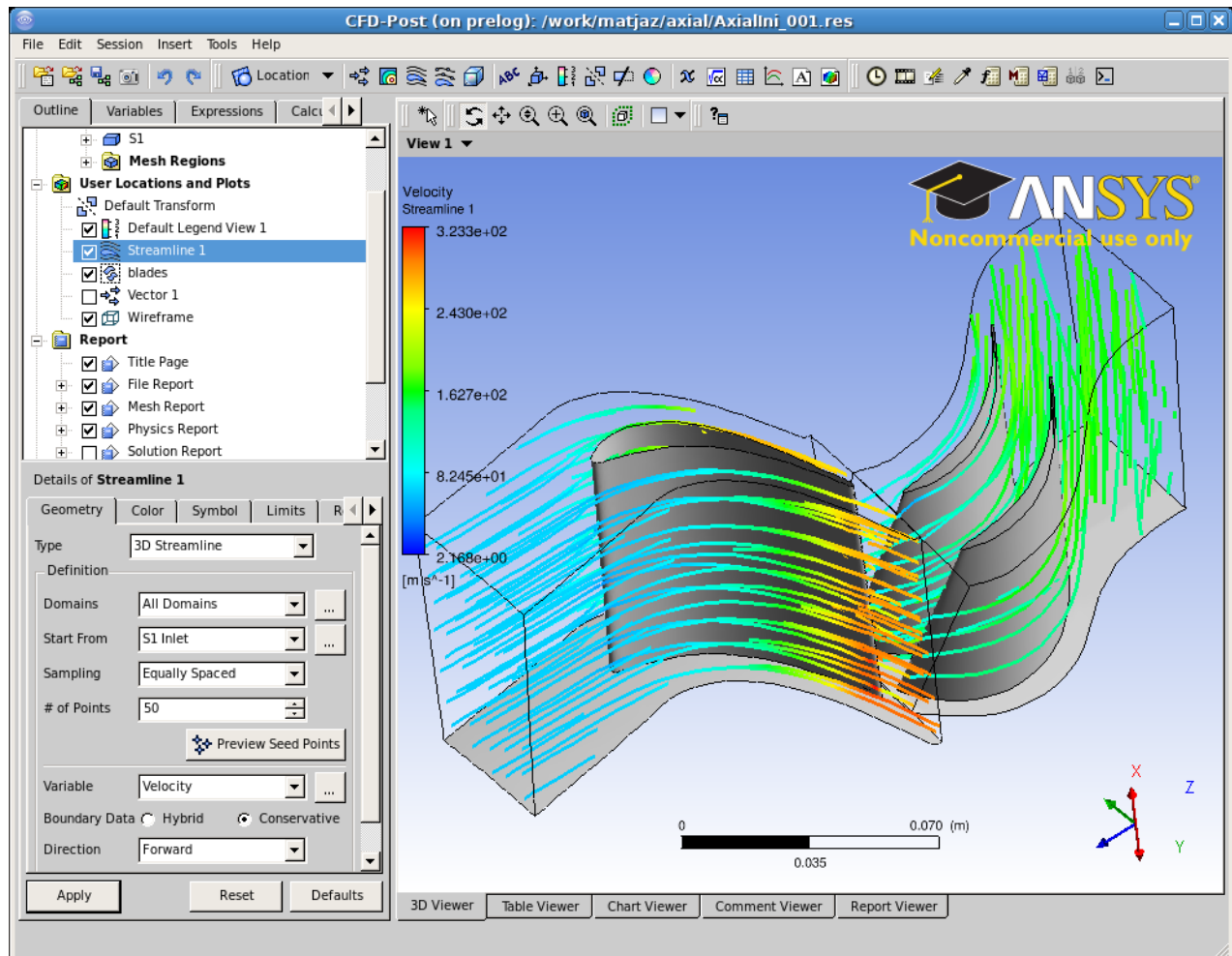


Рисунок 1.2 – Построение потока в Ansys CFX

Заключение

Моделирование в Ansys CFX происходит методом конечных элементов и состоит из 5 этапов:

Geometry - Мы выбираем геометрическое тело по которому будет идти поток.

Mash - Наше тело разбивается на определённое количество конечных элементов.

Setup - Задаём нагрузки для проведения расчёта.

Solution - Проведение расчёта.

Result - Можем провести анализ системы потока, внести корректировки для улучшения исходной установки.

Литература

1. ДЗЗ КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ANSYS : [учебное пособие] / М. А. Денисов Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014 - 77 с.
2. Department of Applied Mechanics Division of Fluid Dynamics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden 2013 Master's thesis 2013:11

УДК 004.94

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS ENERGICO ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК, ГОРЕЛЫХ КОТЛОВ И
МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**
**APPLICATION OF THE ANSYS ENERGICO SOFTWARE MODULE FOR
SIMULATION OF COMBUSTION PROCESSES IN COMBUSTION
CHAMBERS OF GAS TURBINE INSTALLATIONS, GORENJE BOILERS
AND INCINERATORS**

Р.В. Чернюк, В.В. Панцырев, К.Г. Кислый
Научный руководитель – В.И. Лазакович
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

R. Chernyuk, V. Pantsyrev, K. Kisly
Supervisor – V. Lazakovich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** краткое описание программного модуля Ansys Energico для моделирования процессов горения в камерах сгорания газотурбинных установок, горелых котлов и мусоросжигательных печей.*

***Abstract:** a brief description of the Ansys Energico software module for modeling combustion processes in the combustion chambers of gas turbine units, burnt boilers and incinerators.*

***Ключевые слова:** программный модуль, моделирование*

***Keywords:** software module, modeling*

Введение

ANSYS Energico даёт возможность с лёгкостью связать подробные кинетические механизмы горения с вычислительной гидродинамикой (CFD) для точного моделирования процессов горения. Данная программа позволяет воспользоваться преимуществами применения полного механизма реакций горения без ущерба разрешения сложной динамики жидкости. Energico позволяет повысить скорость разработки систем сжигания топлива, при применении подробных кинетических механизмов, используя минимальное количество экспериментальных данных, необходимых для проверки конструкции системы.

Основная часть

В нашем инженерном деле необходим не только расчёт происходящих процессов, но и моделирование этих же процессов. На сегодняшний день есть множество программ которые позволяют это сделать: коммерческие пакеты CHEMKIN и Cosilab, а также свободное ПО Cantera. Для наших задач лучше всего подходит модуль Ansys Energico.

Energico является связующим звеном между трехмерным газодинамическим расчетом и 0D/1D реакторной моделью Chemkin-Pro. Energico позволяет рассмотреть подробнее зоны в которых идут реакции,

полученные в результате CFD-расчета, и строить по ним сети. После проведения моделирования процесса данные автоматически моделируются в 3D проекции, что позволяет увидеть трехмерную картину течения.

Так же одной ключевой особенностью Ansys Energico является прогнозирование вредных выбросов. В наше время уменьшение вредных выбросов является одной из важнейших задач в мире. С помощью этой особенности мы можем рассчитать выбросы на наименее экологичных механизмах предприятий таких как: мусоросжигательные печи, горелки котельных и печей и т.д.

Следует так же отметить такую особенность как оценка влияния условий эксплуатации на производительность систем сжигания топлива. Это поможет увидеть как влияют перепады температур, химический состав топлива, скорость потоков и т.п. На состояние установки, на ее производительность и КПД цикла.

В составе ANSYS есть библиотека химических механизмов для сложных углеводородных топлив таких, как дизель, бензин, биотопливо и керосин. Каждый из детальных механизмов содержит в себе десятки тысяч химических реакций. Детальный механизм еще может быть использован при моделировании задачи с закрытым гомогенным реактором, но расчет поточного реактора уже не сможет быть проведен за адекватное время. Поэтому требуется редуцирование механизма, для исключения из него ненужных для выбранных условий уравнений таким образом, чтобы результаты, полученные путем редуцирования, не отличались от тех, что были получены на полном детальном механизме. Программа Reaction Workbench вобрала в себе лучшие методики вычислительной химии для проведения редуцирования таких сложных механизмов.

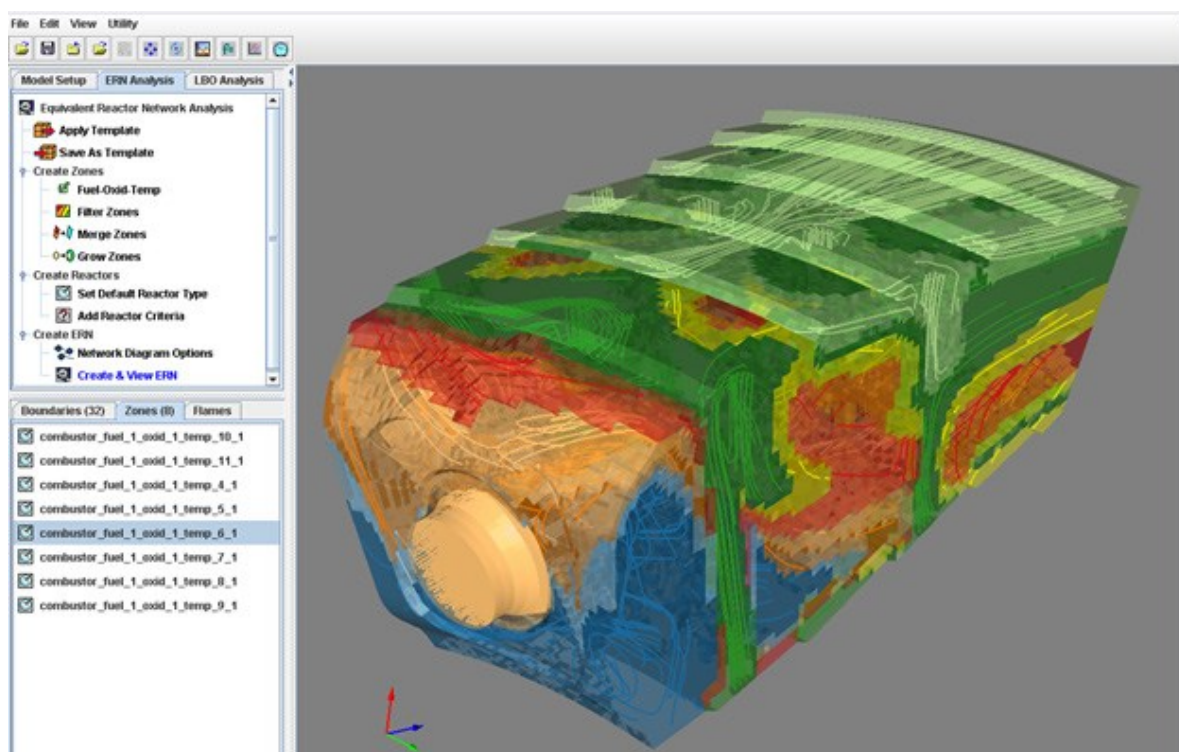


Рисунок 1- Моделирование процессов в Ansys Energico

Заключение

Использование такого модуля как Ansys Energico несет за собой будущее в инженерной деятельности. Этот модуль облегчает расчеты и помогает увидеть, как ведут себя процессы горения в различных установках. Можно наблюдать слабые стороны какого-либо механизма и на этапе конструирования их убрать. Этот модуль довольно узконаправлен и предназначен для таких механизмов как: мусоросжигательные печи, горелки котельных и печей, камеры сгорания газовых турбин.

Литература

1. AnsysClud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cae-club.ru/publications/detalnaya-himiya-v-ansys>. – Дата доступа: 04.05.2022.
2. История компании «Ansys» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ansys.com/company-information/the-ansys-story>. – Дата доступа: 04.05.2022.
3. CAE EXPERT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cae-expert.ru/product/ansys-energico>. – Дата доступа: 04.05.2022.

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ГЕНЕРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ
ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING GENERATIVE DESIGN
TECHNOLOGY IN THE ENERGY SECTOR**

А. В. Казейка

Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

pte@bntu.by

A. Kazeika

Supervisor – V. Lazakovich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье описано целесообразность применения технологии генеративного проектирования. Рассмотрены этапы проектирования, а также преимущества и недостатки. Проанализированы прогнозы на применение генеративного проектирования в будущем.

Abstract: This article describes the feasibility of using generative design technology. The stages of design, as well as advantages and disadvantages are considered. The forecasts for the use of generative design in the future are analyzed.

Ключевые слова: генеративное проектирование, САПР, программное обеспечение, нейросетевые технологии.

Keywords: generative design, CAD, software, neural network technologies.

Введение

Промышленное строительство, несмотря на максимально возможное использование типовых проектов, в каждом случае индивидуально в силу специфики местных условий. Это определяет необходимость тщательной разработки технической документации на строительство и, прежде всего, проекта каждой установки. [4]

В настоящее время технологии автоматизированного проектирования (САПР) развили и модернизировали свои возможности. Генеративный дизайн, как один из доступных методов автоматизированного проектирования, позволяет проектировщикам решать задачи в короткие сроки, наглядно показывать заказчику варианты дизайна и устранять всевозможные инженерно-технические угрозы проектным решениям. Этот подход может быть дополнительно развит за счет внедрения технологий нейронных сетей. Поэтому изучение возможности внедрения нейросетевой технологии в генеративное проектирование как способа обязательной интеллектуализации процесса генерации объектов важно и требует размышлений. Технологии генеративного проектирования только появляются, когда они переходят от параметрических к нейросетевого.

Основная часть

Что такое генеративное проектирование?

Генеративное проектирование — это итеративный метод проектирования новых продуктов с использованием функциональных возможностей

программного обеспечения САПР. Эти функции автоматически генерируют большое количество вариантов дизайна на основе конкретных входных данных. Входные данные создают ограничения и требования, в рамках которых должен работать проект. Также он позволяет рассчитать оптимальную кубатуру здания с точки зрения комфорта, экономичности, экологичности и других критериев. [1]

По сути, генеративное проектирование используется для предоставления специалистам возможности исследовать, оптимизировать и быстро принимать обоснованные решения по сложным вопросам проектирования. Программное обеспечение для генеративного проектирования — это помощник, который создает, тестирует и оценивает варианты.

На сегодняшний день компания Autodesk предлагает нам новую функцию, с помощью которой получает широкое применение генеративное проектирование во всех промышленных отраслях.

Генеративное проектирование в Autodesk Revit — функция, которая теперь доступна в коллекции AEC Collection с Revit 2021. Теперь можно быстро создавать альтернативные дизайны на основе общих целей, ограничений и входных данных, сосредоточившись на поиске лучшего и наиболее эффективного варианта, с большим выбором осуществимые варианты перед вами варианты.

Генеративное проектирование обеспечивает более интегрированный рабочий процесс человека и компьютера. Этот рабочий процесс включает следующие этапы:

Генерация вариантов. Варианты дизайна создаются или генерируются системой с использованием алгоритмов и параметров, заданных проектировщиком. Анкета по проблеме дизайна должна быть исчерпывающей, а ответы — максимально точными, чтобы создать наиболее подходящий дизайн. Этот шаг чрезвычайно важен для процесса генеративного проектирования, потому что программа не будет учитывать цели, которые мы не описываем при создании моделей.

Анализ. Проекты, созданные на предыдущем этапе, измеряются или анализируются на предмет того, насколько хорошо они достигают целей, определенных дизайнером. Когда дело доходит до данных для создания модели, мы определяем, как требования проекта, так и ограничения. Недостаточно определенные данные дадут нам много нерелевантных решений в дополнение к релевантным.

Ранжирование. По результатам анализа варианты конструкции упорядочиваются или ранжируются.

Развитие. Расставление приоритета вариантов дизайна, чтобы знать, в каком направлении следует совершенствовать или развивать дизайн. Как только модель готова, сгенерированные итерации проверяются на соответствие изначально определенным параметрам оценки. Поэтому рекомендуется сначала добавить, как можно больше параметров оценки. Сгенерированные проекты будут намного ближе

к нашим реальным ожиданиям, и будет легче выбрать лучший среди них.

Исследование. На этапе исследования модели мы сужаем наши сгенерированные варианты дизайна, чтобы отфильтровать неидеальные решения. Программное обеспечение сортирует итерации, чтобы выбрать наиболее подходящие и создать на их основе новые проекты.

Интеграция. После выбора предпочтительного варианта дизайна архитектор использует или интегрирует этот дизайн в проект или общую проектную работу. С помощью того же программного обеспечения дизайнер вручную дорабатывает лучшие варианты. Окончательный проект должен соответствовать всем заранее определенным критериям, после чего мы можем получить одобрение заказчика для завершения процесса проектирования. [2]

Хотя генеративное проектирование все еще не так распространено, многие популярные программы САПР уже добавили эту функцию.

Давайте рассмотрим различные методы, доступные для создания деталей.

Литье — это способ создания довольно сложных форм из цельного куска без какой-либо сварки.

Аддитивное производство обычно относится к процессам 3D-печати. Эти методы строят деталь слой за слоем и обеспечивают исключительную гибкость при проектировании детали. Это делает процесс выбора наиболее подходящим для производства деталей, созданных с использованием генеративного проектирования.

Литье под давлением — отличный способ массового производства пластиковых деталей. Производство выполняется быстро, и достигается высокая степень унификации деталей.

В применении генеративного проектирования можно выделить ряд преимуществ, а также ряд недостатков.

Преимущества включают в себя: экономию времени, повышение креативности, консолидацию деталей, снижение веса, снижение перерасхода средств и потерь, а также устранение недостатков конструкции.

Недостатки: раннее развитие, высококвалифицированный труд, слишком много вариантов, боязнь человеческого труда, высокая начальная стоимость.

Ранее описывалась наиболее популярное программное обеспечение Revit, входящее в Autodesk AEC Collection. Но кроме него существуют другие программы, такие как: Siemens NX, Creo PTC. Выбор использования программы зависит от навыков квалифицированного инженера, удобства работы программы, а также, наиболее значимый критерий, область использования инструментов и функций.

Заключение

Технология генеративного дизайна — это сочетание невероятной силы искусственного интеллекта, машинного обучения и дизайнерского таланта. С появлением высокой вычислительной мощности и расширенных

возможностей сценариев эта технология выходит за рамки своих первоначальных ограничений, предоставляя нам удивительные проекты. [3]

Генеративный дизайн – это двигатель, который поддерживает нашу способность концептуализировать революционные продукты.

Сгенерированные продукты способны следовать всем требованиям и ограничениям, чтобы предоставить нам действительно инновационные модели САПР, которые идеально подходят для наших нужд.

Потенциал генеративного дизайна обещает слишком много инновационных преимуществ, чтобы существующие методы разработки продуктов сохранялись бесконечно.

Новые парадигмы в ближайшие годы окажут глубокое влияние на то, как будут разрабатываться, производиться и обслуживаться будущие продукты: многим людям придется изменить свои методы работы, чтобы идти в ногу со временем.

Литература

1. Вконтакте [Электронный ресурс]/ Генеративное проектирование. - Режим доступа: https://vk.com/@repetitor_us-generativnoe-proektirovanie. – Дата доступа: 27.04.2022.
2. CSD [Электронный ресурс]/ Генеративное проектирование в архитектурно-строительных проектах. – Режим доступа: <https://csd.ru/campaigns/generative-design/>. Дата доступа: 27.04.2022.
3. Студопедия [Электронный ресурс]/ Организация и стадии проектирования в энергетике. – Режим доступа: https://studopedia.ru/4_62012_organizatsiya-i-stadii-proektirovaniya-v-energetike.html. – Дата доступа: 27.04.2022.
4. CAD/CAM/CAE [Электронный ресурс]/ Влияние генеративного проектирования на разработку изделий. – Режим доступа: <http://www.cadcamcae.lv/N124/44-49.pdf>. Дата доступа: 27.04.2022.

УДК 621.182

**РАБОТА С ОБЛАКОМ ТОЧЕК ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ
МОДЕЛИ КОТЕЛЬНОЙ
WORKING WITH A POINT CLOUD WHEN CREATING A DIGITAL
MODEL OF A BOILER ROOM**

А. П. Каменко

Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

A. Kamenko

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

Аннотация: краткое описание работы с облаком точек, а также с 3D-моделями и их использование на всех этапах проектирования котельной с возможным применением технологий 3D-печати.

Abstract: a brief description of working with a point cloud, as well as with 3D models and their use at all stages of boiler room design with the possible use of 3D printing technologies.

Ключевые слова: теплоэнергетика, котельные, облако точек, 3D-модели, 3D-печать.

Keywords: thermal power engineering, boiler rooms, point cloud, 3D models, 3D printing.

Введение

Облако точек или трехмерная визуализация, является отправной точкой при создании точной трехмерной модели реального мира. Облака точек создаются путем сканирования физических объектов, таких как внутренние или наружные элементы производственных зданий или, как в нашем случае, котельных.

В зависимости от метода, используемого для захвата облака, и задействованных датчиков каждая точка может также включать данные о цвете или даже информацию об интенсивности, которая отражает силу отраженного лазерного импульса, сгенерировавшего точку [1].

Трехмерные модели, основанные на данных облака точек, используются во всем большем числе отраслей для визуализации, планирования и настройки. Данные могут трансформироваться, благодаря чему повышается точность информации, доступной всем, от архитекторов до руководителей.

Основная часть

Съемка облака точек фактически является обратной стороной цифрового 3D-моделирования. Инженеры используют лазерные сканеры для точного цифрового захвата физического пространства и объектов. Эта информация может быть использована, к примеру, либо для формирования основы котельной, либо для сверки уже построенного объекта с имеющимися

планами. Оба варианта дают гибкость и ценную информацию, которая необходима для процесса проектирования.

Если говорить про подходы и способы захвата облака точек, то в настоящее время выделяют захват с помощью лазерных сканеров и фотограмметрию.

Лазерный сканер — это система геодезического класса, которая включает в себя ряд различных датчиков и технологий. Наиболее важным из них является лидар, который использует лазерные импульсы инфракрасного спектра для измерения расстояний. Эти лазерные сканеры могут излучать до 100 000 импульсов в секунду, что дает невероятно детальное представление о картографируемой области [2]. Большинство лазерных сканеров также включают в себя RGB-камеру для добавления цвета в облако точек и блок инерциальных измерений (IMU), который является профессиональным родственником акселерометра в наших смартфонах. Также стоит отметить, что лазерный сканер дает более точные данные, в сравнении с фотограмметрией.

Фотограмметрия — это скорее методология, чем конкретный тип инструмента. Для захвата облака точек с помощью фотограмметрии, необходимо использовать камеры, чтобы просканировать пространство со всех сторон, а затем обработать полученные изображения с помощью специального программного обеспечения для реконструкции пространства в 3D [3].

После того, как облако точек создано с помощью лидара или фотограмметрии, оно проходит через процесс преобразования в сетку и превращение в 3D-модель.

Облака точек и лазерные сканеры не являются новыми технологиями, они существуют в коммерческих формах еще с 1990-х годов. Меняется сама технология обработки. Самым медленным этапом создания облака точек всегда была «регистрация». Это процесс объединения множества сканов, необходимых для получения изображения сцены или объекта. Традиционное программное обеспечение для регистрации требует значительной ручной проверки, что увеличивает временные затраты.

Также стоит отметить, что использование облаков точек влияют на коммуникацию на всех этапах расчетов, проектирования и строительства котельной. 3D-модели позволяют командам, работающим над любым процессом проектирования, легко сотрудничать. Там, где используется центральная база данных или облачная технология, изменения в один файл могут беспрепятственно вноситься несколькими людьми [4].

Сначала облако точек используется для создания основ цифровой модели. Затем его можно использовать для отслеживания прогресса и обновления моделей на основе разработок. Это позволяет не только контролировать качество, но и расширять возможности коммуникации посредством быстрого распространения самой последней информации об объекте.

Одним из самых важных преимуществ, которые дает облако точек при проектировании котельной, является возможность охвата большего

количества экспериментальных концепций. Возможность поместить модель в физические симуляторы и экспериментировать с новым материалом до начала строительства, позволяет разрабатывать принципиально новые конструкции и продукты с меньшими затратами и рисками. Возможность сканировать выходные данные для перекрестных проверок и контроля качества обеспечивает комфортное принятие незначительных допусков на ошибки и предоставляет инженерам большую свободу. Это также повышает уверенность в использовании готовых материалов при последующем строительстве.

К конечному продукту, то есть к котельной, можно применять метод «построить и проверить», используя лазерные сканеры для наблюдения за каждым этапом проекта, чтобы обеспечить соответствие планированию. Эти разработки призваны произвести революцию в строительстве и напрямую зависят от развития технологии облака точек. Однако многие процессы проектирования сильно зависят от точности и итерационных возможностей 3D-моделей и самих облаков точек.

Одной из областей, где облака точек особенно помогают инженерам расширить границы традиционных процессов, является 3D-печать.

Трехмерные модели необходимы для управления процессом 3D-печатного производства. Облака точек можно использовать для создания этих моделей при воспроизведении существующих объектов. Сканы существующих продуктов также могут быть использованы для создания базовой схемы для дальнейшего изменения. Для тестовых и исследовательских целей можно легко изготовить 3D-модели для любого количества продуктов с использованием технологии облака точек.

Можно печатать, к примеру, составные части теплопровода – фланцы, переходы, отводы с помощью SLM и DMLS принтеров, которые используются для печати объектов из металла со сложной геометрией и высокими прочностными характеристиками [5].

Заключение

Технология создания и обработки облаков точек становится дешевле и проще в использовании. В сочетании со способностью современных технологий обрабатывать и хранить больше данных, чем когда-либо прежде, облака точек становятся доступными для большего числа пользователей.

Облака точек позволяют использовать цифровые модели в полной мере. Вместо того чтобы оставаться теоретической платформой для проектирования, облака точек можно использовать для создания 3D-модели на основе существующих физических объектов и проводить перекрестную сверку с проектом. 3D-модели сами по себе являются мощной технологией проектирования, которая упрощает совместную работу и итерационные процессы.

Облака точек позволяют инженерам рассчитывать на то, что они создают, и обеспечивают невероятно низкий уровень допуска ошибок в производстве. Ведь результат можно отсканировать и сравнить с чертежами в мельчайших деталях. Создание нестандартных конструкций становится проще благодаря

возможности начать с 3D-сканирования, на основе которого можно построить модель.

Сочетание этой технологии с 3D-печатью делает возможным серийное производство изделий по индивидуальному заказу. Начальные затраты на создание основы для запуска производства становятся все более доступными.

Литература

1. Autodesk [Электронный ресурс] / Работа с облаками точек. – Режим доступа: <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/RUS/AutoCAD-Core/files/GUID-C0C610D0-9784-4E87-A857-F17F1F7FEEBE-htm.html>. – Дата доступа: 04.05.2022.
2. TOPS [Электронный ресурс] / What is point cloud modeling? – Режим доступа: <https://www.takeoffpros.com/2020/07/14/what-is-point-cloud-modeling/>. – Дата доступа: 04.05.2022.
3. NavVis [Электронный ресурс] / Все что вам нужно знать об облаках точек. – Режим доступа: <https://www.navvis.com/blog/everything-you-need-to-know-about-point-clouds-navvis>. – Дата доступа: 04.05.2022.
4. Elysium [Электронный ресурс] / Explore the Infinite Possibilities of Point Cloud Data – Режим доступа: <https://www.elysium-global.com/en/news/explore-the-infinite-possibilities-of-your-point-cloud-data/>. – Дата доступа: 04.05.2022.
5. Inovatech [Электронный ресурс] / Принцип печати по технологии SLM. – Режим доступа: <https://inovatech.by/uslugi/3d-pechat-metallom-slm/>. – Дата доступа: 04.05.2022.

УДК 621.165

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ANSYS TURBOGRID ДЛЯ
ГЕНЕРАЦИИ СЕТОК ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ
APPLICATION OF THE ANSYS TURBOGRID SOFTWARE MODULE TO
GENERATE GRIDS OF FAN BLADE CROWNS**

А. А. Егоров

Научный руководитель – В.И. Лазакович, преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
arseniyarsen1946@gmail.ru

A. Egorov

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

Аннотация: краткое описание принципа работы в программном комплексе Ansys TurboGrid, обзор возможностей данной программы, оценка перспективы использования программного модуля TurboGrid в промышленности.

Abstract: a brief description of the principle of operation in the Ansys TurboGrid software package, an overview of the capabilities of this program, an assessment of the prospects for using the TurboGrid software module in industry.

Ключевые слова: программный модуль, вентиляторы, генерация сеток.

Keywords: software module, fans, grid generation.

Введение

Лопаточные машины можно встретить в различных областях промышленности. Эти устройства стали развиваться в ускоренном темпе еще в середине прошлого столетия. Этому способствовало открытие новых видов АЭС и ТЭС, строительство крупных предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности и т.д. Ускоренные темпы развития энергетики и химической промышленности объясняют увеличение потребности на производство надежных и мощных лопаточных агрегатов с повышенным КПД. Для этого проводят исследования лопаточных агрегатов на всех этапах их создания. Особенное внимание уделяют исследованиям в момент проектирования вентилятора или турбины, т.к. любая ошибка, допущенная в этом этапе, приводит к большой трате денежных средств во время доводки создаваемой машины. С целью решения этой задачи были созданы и используются специализированные программные комплексы, такие, например, как ANSYS TurboGrid (США) или NUMECA AutoBlade (Бельгия) и др. Более подробно остановимся на программе Ansys TurboGrid.

Основная часть

Различают три базовых типа лопаточных агрегатов: радиальный, диагональный и осевой. Лопаточная машина, в свою очередь, обычно включает в себя несколько функциональных узлов: статора, ротора и корпуса. Лопатки ротора могут быть представлены как в виде консольной конструкции, так и в виде различных вариантов закрытой конструкции. Эффективность

работы всей установки в основном зависит от эффективности работы лопаточной машины, а также от ее основных параметров.

Традиционно в программный комплекс ANSYS CFX входят специализированные модули для проектирования лопаточных машин различных типов. В данный момент эта линейка состоит из следующих продуктов: BladeModeler — модуль для создания геометрии, TurboGrid — модуль для создания гексаэдрической сетки и ANSYS CFX Turbo PrePost — специальный режим работы пре- и постпроцессора CFX.

Программа *TurboGrid* используется чаще всего в качестве генератора сеток конечных элементов в программном комплексе *Ansys CFX*, а также для решения задач на исследование течений рабочего тела в конструктивных элементах лопаточных машин различных типов (например, в вентиляторах). С помощью программы можно легко и быстро создавать качественные расчетные модели для исследования течения в вентиляторах с помощью CFD-программ в автоматизированном режиме. *TurboGrid* имеет возможности строить геометрию исследуемой области, накладывать на созданную исследуемую область конечноэлементную сетку высокого качества как в автоматическом, так и полуавтоматическом режимах. Используемые при этом алгоритмы имеют высокую скорость обработки данных. Так, например, при создании сетки с числом ячеек равным одному миллиону весь процесс происходит на современных электронно-вычислительных машинах всего за несколько минут. В программе реализована возможность анализа качества сетки.

Геометрия лопатки импортируется в ANSYS *TurboGrid* из модуля проектирования лопатки *ANSYS BladeModeler*, после чего происходит применение сеточной топологии к свойствам данной лопатки вентилятора. (Рис.1). На сегодняшний день, благодаря встроенным сеточным топологиям, существует возможность создать оптимальную сеточную модель с минимальным участием проектировщика. Сеточная топология имеет способность автоматически адаптироваться для различных видов конструкции, что определяет создание точной сеточной модели. При необходимости пользователь может самостоятельно, «вручную», изменить параметры шаблона сетки и сохранить его, чтобы использовать в дальнейшем. Модуль *TurboGrid* включает в себя большое количество различных сеточных шаблонов, унифицированных для лопаточных венцов, и полностью автоматизирует построение сетки. Кроме того, возможно увеличить производительность *TurboGrid* при оценке большого числа вариантов лопаток, за счет использования скриптов в фоновом режиме.

Для более комфортной работы и значительного ускорения рабочего процесса существуют дополнительные функции. Например, построение сетки вторичного канала (междисковое пространство, уплотнения лабиринтные и т.д.) теперь также возможно в пространстве *TurboGrid*. С целью точной передачи сложной геометрической формы лопатки существует возможность импорта геометрии в CAD формате

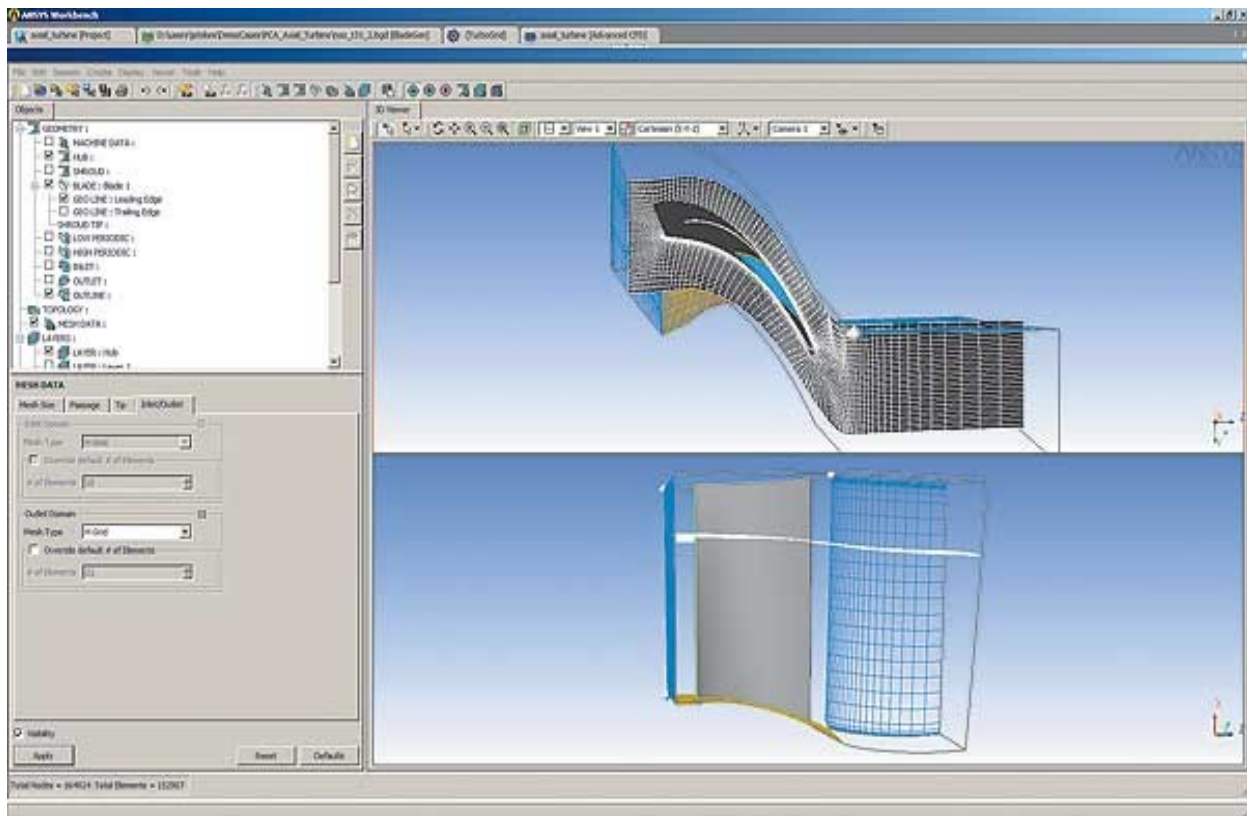


Рисунок 1 - Построение сетки лопаточных венцов вентиляторов в TurboGrid

Заключение

Благодаря программному модулю ANSYS TurboGrid можно легко и быстро построить сетку лопаточных венцов вентиляторов. Не менее важным качеством, которым обладает TurboGrid, является высокая точность построенных сеток, что для исследования лопаточных агрегатов крайне необходимо. При освоении данной программы у рядового пользователя особых сложностей не возникает, а востребованность на высокоточные модели агрегатов растет с каждым днем.

Исходя из вышеперечисленного, можно сказать, что данная программа – отличный выбор для создания моделей вентиляторов, насосов, турбин, и последующего их исследования с целью создания высокотехнологического оборудования для предприятий.

Литература

1. Моделирование проточной части и расчет потока в каскаде осевого компрессора с учетом трехмерной структуры течения газа и наличия радиальных зазоров / О.В. БАТУРИН, Д.А. КОЛМАКОВА – Саратов, Издательство СГАУ, 2011; 119 с.
2. Плыкин М. / Проектирование лопаточных машин. Часть 1 // 03.05.2022 г.
3. Интернет-ресурс <https://www.ansysadvantage.ru/blade-design/>. ANSYS, INC. ANSYS TurboGrid Tutorials; January 2015 // 03.05.2022 г.
4. Автоматизация создания объемной модели пера лопатки в ANSYS TurboGrid на базе традиционного представления его геометрии / И. Б. Дмитриева, Л. С. Шаблей – Саратов, Издательство СГАУ, 2011

УДК 621.548

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В
БЕЛАРУСИ**
**MODERN PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN
BELARUS**

П.А. Брилёв, М.С. Войлоков

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

P. Brilev, M. Voylokov

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация: Современные проблемы ветроэнергетики в РБ.**Abstrakt: Modern problems of wind power in Belarus*

Ключевые слова: ВЭУ- ветроэнергетические установки,
ветроэнергетика

Key words: WPP - wind power plants, wind power

Введение

В связи с развитием в отношении Республики Беларусь негативного имиджа, увеличение санкций и рекомендаций для западных компаний не вести торговлю с РБ, следует сделать вывод, что положение ветроэнергетики Беларуси стремительно теряет свои шансы не только на развитие, но и поддержание функциональной работоспособности.

С 01.01.2014 по 01.07.2020 суммарная установленная электрическая мощность установок возобновляемых источников энергии увеличилась с 88 МВт до 418 МВт из которых 109,1 МВт (26%) отводятся на ветроэлектростанции.

Основная часть

Для разбора основных проблем ветроэнергетики в Республике Беларусь следует выделить несколько основных текущих проблем в этой сфере, а именно:

Лопасты. Лопасты для современных ветроэнергетических установок(ВЭУ) начинают свои размеры от 50 метров и имеют строго выверенную аэродинамическую форму, что влечет за собой крупные логистические сложности по их транспортировке к месту их установки. Другая крупная проблема — это материалы из которых изготавливают лопасти, если алюминий можно переплавить, для лопастей из углепластика и стекловолокна строить специальные «могильники», то лопасти из быстрорастущей бальзы не представляется возможным к никаким нормальным методам утилизации, из-за специальной обработки этого дерева. И это не беря в расчёт тот факт, то ЕС не допустит продажу этого нам, как самый крупный производитель и дистрибьютер.

Ветер. На территории Республики Беларусь нету стабильно сильного ветра, который бы мог поддерживать максимально эффективную работу ВЭУ. По результатам проведенных в ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» исследований установлено, что на перспективных для развития ветроэнергетики территориях при средних годовых скоростях ветра на высоте расположения анеморумбометра (10 м) 3,5-4,0 м/с на высоте 100 м они возрастают до 6,0-6,8 м/с, что является минимальным рабочим показателем для ВЭУ, но не максимально эффективным 10-15 м/с.

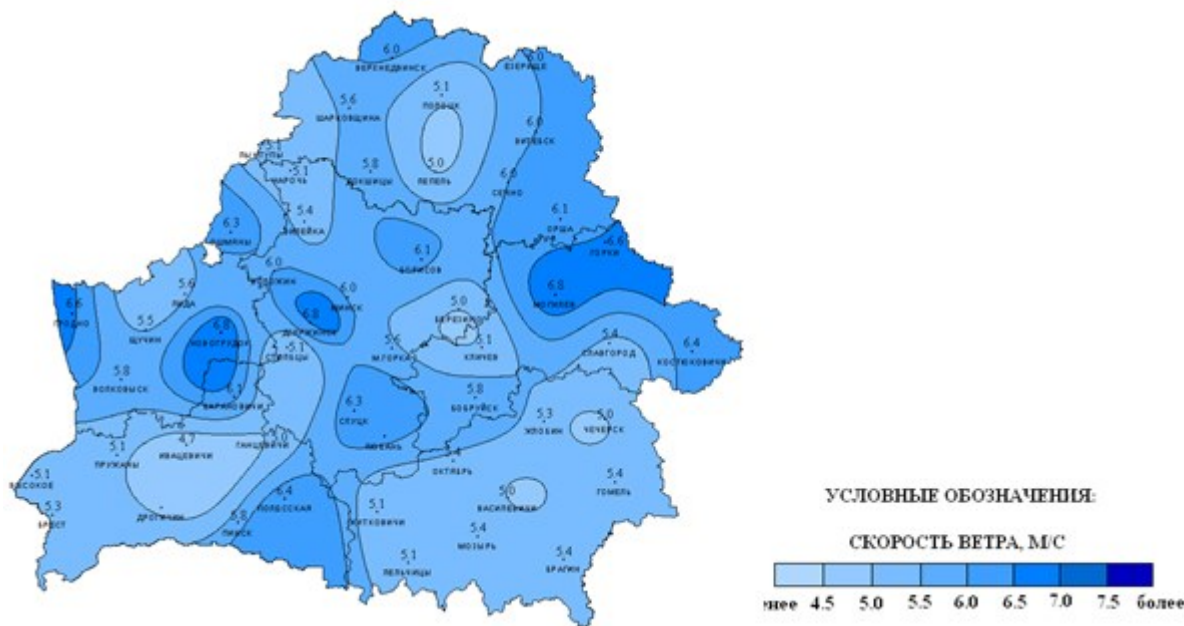


Рисунок 1 - Распределение расчетной средней годовой скорости ветра на высоте 100 м от поверхности земли.

Деньги. Республика Беларусь имеет большое количество крупных электроэнергетических установок, к которым в скором времени подключится БелАЭС, что приведет к энергетическому излишку, который мы можем производить. Благодаря этим станциям мы имеем тот факт, что стоимость энергии, производимая ими, ниже, чем у ВЭУ.

Масло. Из-за крупных механических соединений и их постоянной притирки, ветряки потребляют в больших объёмах смазывающие материалы, которые нет возможности легально приобрести из-за введённых санкций. К сожалению качественная альтернатива западному маслу отсутствует на нашем рынке.

География. Так как территория Республики имеет хорошо развитую транспортную сеть и множество жилых районов, доставлять электроэнергию конечному потребителю не составит труда, однако из-за карты ветров (см. пункт 2), большого количества жилых районов и охраняемых территорий тяжело найти подходящий район для строительства ВЭУ. Не стоит забывать, что ВЭУ во время работы производит гул, который негативно сказывается как на

физическом, так и на психологическом здоровье находящихся рядом с ними.

Радиопомехи. Крупные ВЭУ по своей конструкции, а в особенности с алюминиевыми лопастями, производят крупные радиопомехи в сети. Для устранения этой проблемы вокруг территории ВЭУ будет необходимо установить ретрансляторы, что скажется не только на стартовой стоимости проекта, но и увеличит расходы на поддержание работоспособности ВЭУ и комфорте граждан.

Площадь. Несмотря на кажущуюся небольшую площадь основания установки, по стандартам и технике безопасности они должны занимать большую площадь, для безопасности, ремонта, и для увеличения качества работы установки. Однако стоит обратить, что в некоторых странах землю под ВЭУ отдают под сельхоз нужды с выращиванием низко стелящихся культур (например, клубника, тыква, приправы).

Заключение

Несомненно, у ветроэнергетики множество плюсов, но беря в расчёт текущие положение дел в экономическом и политическом поле, продолжение работы в плане развития ветроэнергетики на данный момент не является перспективным занятием, так как наши текущие мощности с большим запасом перекрывают наши потребности. В связи с чем мы можем сделать вывод, что на данный момент для наиболее перспективного направления развития возобновляемых источников электроэнергии на территории Республики Беларусь подходят геотермальные, биогазовые и солнечные электростанции.

Литература

1. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: https://www.windpower.by/files/files/RUS_DREI_Belarus.pdf. – Дата доступа: 05.05.2022.
2. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/> – Дата доступа: 07.05.2022.
3. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/printv/ru/news-ru/view/bolshe-vetra-bolshe-vozmozhnostej-vo-vsem-mire-segodnja-otmechajut-den-vetra-3785/> – Дата доступа: 07.05.2022.
4. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <https://energoeffekt.gov.by/>– Дата доступа: 07.05.2022.