

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ



**Материалы 77 – й
научно – технической
конференции студентов
и аспирантов
(Апрель 2021г.)**

Часть 1

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Электронный учебный материал

Минск 2021

УДК 621.311
ББК 31 я 43
А 43

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 77 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2021 г.). Часть 1 «Теплоэнергетика и теплотехника».

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>
Регистрационный № ЭИ БНТУ/ЭФ _____

© Жуковская Т.Е. редак., комп. дизайн.
© БНТУ ЭФ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА	7
Р.В. Адамчук, И.С. Евсиевич	7
Научные руководители – А.Л. Буров, старший преподаватель, А.А. Павловская, старший преподаватель	7
АНАЛИЗ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ И ЗАТРАТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ.....	12
М.А. Ерёменко, Ю.А. Чешун.....	12
Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор	12
АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА	17
В.М. Колос, Е.Ю. Соловьева	17
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент	17
ВАРИАНТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ СВЕТЛОГОРСКОЙ ТЭЦ.....	21
Р.И. Осташков, Г.В. Алимов, А.Г. Гулякевич, П.Е. Сосковец.....	21
Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент	21
ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ПОТЕРИ В ТУРБИНЕ	25
К.С. Иванова, Е.А. Колесень.....	25
Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор	25
ЗАЩИТА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ	30
В.В. Ключев, В.В. Якимцова, Д.В. Пляхина.....	30
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель	30
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБИН С БАЙПАСНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПАРА НА ПГУ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЧАСТОТЫ	34
А.Д. Белозёрова, А.Д. Яковенко, П.А. Болбас	34
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель.....	34
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВОГО РЕЖИМА ЦИЛИНДРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТУРБИНЫ Т-250/300-240	40
Я.П. Адинцова, А.А. Стрежик	40
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент	40
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТУПЕНЕЙ ЧНД ТУРБИНЫ В МЕСТАХ ОТБОРА ПАРА.....	43
М.А. Ерёменко, К.С. Иванова	43
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель.....	43
НЕЙТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ОБНАРУЖЕНИЕ НЕЙТРОНОВ.....	50
А.В. Лесун, В.В. Якимцова	50
Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель, С.И. Ракевич, старший преподаватель	50
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН НА ТЭС	54
Д.А. Миронюк, М.А. Лебедев.....	54
Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель, В.А. Романко, старший преподаватель	54
ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ	60
Е.А. Савенко, С.Е. Маркевич, А.Д. Яковенко, П.А. Болбас.....	60
Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент	60

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНО-БАРБОТАЖНОГО ДЕАЭРАТОРА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ	64
Е.А. САВЕНКО, Д.А. ХЛОПКОВА	64
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Е.В. ПРОНКЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	64
ПРИНЦИП РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОГО КОТЛА.....	68
Р.В. АДАМЧУК., А.В. ЛЕСУН.....	68
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – С.И. РАКЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	68
РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС	72
А.Ю. СМЫК.....	72
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – С.А. КАЧАН, К.Т.Н., ДОЦЕНТ	72
РЕНОВАЦИЯ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	77
В.Ю. МИХАЛЧЁНОК, В.М. КОЛОС, В.И. САВИНИЧ.....	77
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – С.А. КАЧАН, К.Т.Н., ДОЦЕНТ	77
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГТУ И ПГУ	82
Е.И СМЫКАЛ, М.В. ШЕПЕЛЕВ	82
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	82
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	88
А.А. ШКУРКО, А.Д. КАСАТОВ	88
НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ – А.А. ПАВЛОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ, И.А. НЕКАЛО, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ-СТАЖЁР	88
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ	93
Н.С. МЫСЛИВЕЦ, М.П. КУЗЬМИЧ, К.И. ПЕНЬКОВСКИЙ	93
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – А.А. БОБИЧ, ДОЦЕНТ	93
СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ФИЛИАЛА НПС «ТУРОВ».....	96
МАРУСИЧ Д.В.	96
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И.Н. ПРОКОПЕНЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	96
МЕТОДИКА РАСЧЁТА РАСШИРИТЕЛЯ – СЕПАРАТОРА	99
А.Ю. АПАНАСЕВИЧ, В.А. ВИРКО.....	99
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – З.Б. АЙДАРОВА, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	99
ВАРИАНТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ.....	103
М.С. КАРАКА	103
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В.В. ЯНЧУК, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ-СТАЖЁР	103
ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОНВЕКТОРОВ	106
П.А. КУЦЕНКО, К.А. МОРДАС.....	106
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.П. ЯРМОЛЬЧИК, К.Т.Н., ДОЦЕНТ	106
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	109
П.А. КУЦЕНКО, К.А. МОРДАС.....	109
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И.В. ШКЛЯР, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	109
МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ.....	112
Н.С. ПОКРОВСКИЙ.....	112
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И.В. ШКЛЯР, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	112

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ.....	114
Т. А. Сиваков.....	114
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И. В. Шкляр, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	114
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИРЕ.....	116
В.С. МАТЕРН, Е.А. СЫРИЦА	116
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.С. ЗЕЛЕНИНА, АССИСТЕНТ	116
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЬНЫХ РАДИАТОРОВ.....	120
Судак А.А., Санько А.Н.....	120
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.П. ЯРМОЛЬЧИК, К.Т.Н., ДОЦЕНТ	120
СУШКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	123
Марусич Д.В., Рапута А.В.	123
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	123
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ.....	125
В. В. ЕФИМЕНКО, А. А. СОТНИКОВА	125
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т. А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	125
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	129
Лось А.В., Козинцов Н.Д., Щекало А.Г.	129
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	129
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ.....	132
П.А. Брилёв.....	132
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	132
ДОРОЖНАЯ КАРТА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ.....	136
А.А. СТЕЛЬМАХ	136
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	136
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	138
Буча Е.В., Якубицкий В.А.	138
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	138
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИКИ.....	141
И ТЕХНОЛОГИЙ, ПРЕДПОЛАГАЮЩИХ ПРОЦЕСС КОГЕНЕРАЦИИ И ТРИГЕНЕРАЦИИ	141
А.В. ЧЕШУН, Д.С. САВИЧ	141
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	141
РАСШИРИТЕЛЬ-СЕПАРАТОР В СО ЧНД ТПУ	145
Бегункович Т. В. Севостьян А. П.	145
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – З.Б. АЙДАРОВА, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	145
ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА И СПОСОБА ПОДАЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СО ЧНД	148
Дудинец А. С., Пашкевич И. Д.	148
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – З.Б. АЙДАРОВА, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	148
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ	152
Е.А. ШЕПКО, К.А. ВОЙТИК.....	152
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПЕТРОВСКАЯ Т.А.....	152

ВОДОРОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА	155
В.А. БОРБОВСКИЙ.....	155
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Т.А. ПЕТРОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	155
УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	158
Я.С. ЯЦУХНО	158
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И.Е МИГУЦКИЙ, К.Т.Н., ДОЦЕНТ	158
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ	
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ	162
Е.А. ШЕПКО, К.А. ВОЙТИК.....	162
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ПЕТРОВСКАЯ Т.А.	162

УДК 621.039

**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

**ANALYSIS OF APPROACHES TO ENSURE THE SAFETY OF THE CORE OF A
NUCLEAR REACTOR**

Р.В. Адамчук, И.С. Евсиевич

Научные руководители – А.Л. Буров, старший преподаватель,

А.А. Павловская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

burov@bntu.by, a.pawlowskaya@bntu.by

R. Adamchuk, I. Evsievich

Supervisors – A. Burov, Senior Lecturer, N. Paulouskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены проблемы безопасности на АЭС мира и связанные с ними аварии, системы безопасности ядерных реакторов на АЭС.*

***Abstract:** This article deals with the safety problems at nuclear power plants in the world and related accidents, as well as the safety systems of nuclear reactors at nuclear power plants.*

***Ключевые слова:** безопасность, реактор, авария, последствия, энергоблок.*

***Keywords:** safety, reactor, accident, consequences, power unit.*

Введение

В начале 1970-х годов были сделаны некоторые допущения о возможных аварийных последовательностях. Это породило жанр драматической фантастики (например, Китайский синдром) в общественном сознании, а также консервативный подход в проектировании, включая структуры контроля в самой отрасли. Также были оформлены правила лицензирования ядерных объектов как на стадии проектирования, так и на стадиях ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Только в конце 1970-х годов подробные анализы и крупномасштабное тестирование, последовавшие за расплавлением активной зоны на энергоблоке АЭС Три Майл-Айленд, показали, что худшая авария на атомной электростанции или случаи с ядерным топливом не могут нести серьезный вред для населения. Промышленность, исследовательские организации и контролирующие органы по-прежнему работают, чтобы свести к минимуму вероятность аварии с расплавлением активной зоны, но теперь ясно, что не нужно бояться возможного нанесения вреда здоровью населения только потому, что произошло расплавление активной зоны реактора на АЭС. Авария на АЭС Фукусима показала, что в результате расплавления топлива на трех энергоблоках никогда не было смертельных исходов и никто не получил серьезного облучения, в то время как более двухсот человек продолжали работать, чтобы уменьшить и ликвидировать последствий аварии [3].

Основная часть

Испытания и анализы, проходящие десятилетиям дали понять, что выбросы радиоактивности при плавлении топлива меньше, чем предполагалось изначально, и что большая часть выброшенных радиоактивных материалов остаётся внутри сооружений АЭС. Таким образом, даже если гермооболочка, окружающая все радиоактивное оборудование современных атомных электростанций, будет разрушен, как это было, по крайней мере, на одном из энергоблоков АЭС Фукусима, то он по-прежнему остается эффективным при предотвращении утечки большей дозы радиоактивности в окружающую среду.

Даже спустя несколько месяцев после аварии в Три Майл-Айленд (ТМІ) в 1979 году предполагалось, что плавления активной зоны не было, так как не было никаких признаков серьезного радиоактивного выброса даже внутри гермооболочки. Оказалось, что на самом деле около половины активной зоны было расплавлено. До 2011 года это оставалось единственным случаем плавления активной зоны в водо-водяных реакторах, соответствующем критериям безопасности NRC, и последствия аварии сохранялись в том виде, в каком они были законсервированы после аварии, без радиационного ущерба для населения и персонала АЭС.

В Фукусиме в 2011 году (конструкция реактора отличалась от АЭС Три Майл Айленд, и представляла собой водо-водяной реактор кипящего типа BWR) активные зоны трех ядерных реакторов, по-видимому, в значительной степени расплавились в первые два-три дня, но на подтверждение этого потребовалось около десяти недель. На данный момент неизвестно, какая доля активных зон расплавилась и находится на дне корпуса ядерного реактора, хотя, несомненно, в начале аварии был значительный выброс радионуклидов в атмосферу, а затем в охлаждающую воду.

После Чернобыльской катастрофы произошло около десяти инцидентов с плавлением активной зоны или ядерного топлива – большем случае в военных или экспериментальных реакторах. Ни одна из них не приводила к какой-либо опасности за границами предприятия, хотя в одном случае произошёл значительный выброс излучения из-за горения топлива в горячем графите (так же как и в Чернобыле, но в меньшем масштабе). В данном контексте следует учитывать аварию в Фукусиме, так как топливо сильно повреждено, и произошли значительные выбросы радиации за пределами площадки.

Новые международные стандарты и нормы, введенные для АЭС, требуют, чтобы последствия аварий, связанных с плавлением активной зоны реактора ограничили территорией, данной АЭС.

Основная проблема безопасности – выброс радиоактивного материала, который невозможно контролировать, это привести к определенным последствиям, например, загрязнению и дальнейшему радиационному воздействию за пределами АЭС. Ранние предположения заключались в том, что это было бы вероятным в случае крупной потери аварии охлаждения (ЛОСА), в результате которой плавится активная зона реактора. Опыт аварии на ТМІ доказывает другое, при аварии на АЭС Фукусима был реализован именно этот

сценарий. Разумеется, этот вопрос был серьезно рассмотрен на примере трех реакторов атомной электростанции Fukushima Daiichi в Японии в марте 2011 года. Охлаждение было потеряно практически через час после остановки, и не было возможности на быстрое его восстановление, чтобы предотвратить серьезное повреждение топлива. Реакторы, созданные в 1971-75 годах, были выведены из эксплуатации. Четвертый энергоблок, топливо из которого было выгружено в бассейн выдержки ядерного топлива, также был выведен из эксплуатации из-за повреждения зданий и сооружений от взрыва водорода.

Основополагающим принципом работы АЭС во всем мире является то, что оператор несет ответственность за его безопасную эксплуатацию. Национальный регулирующий орган не несет непосредственную ответственность за обеспечение безопасной эксплуатации АЭС, а обеспечивает надзорные функции. Вторая важная задача национального регулирующего органа заключается в защите людей и окружающей среды.

Проектная сертификация реакторов также является обязанностью национальных регуляторов. Между ними существует международное сотрудничество в разной степени, и существует ряд наборов кодов и стандартов, связанных с качеством и безопасностью.

С созданием новых реакторных установок на международной основе с 1990-х годов как промышленность, так и регулирующие органы стремятся к большей стандартизации проектирования, а также к гармонизации регулирования.

Уже давно доказано, что аварии на ядерных реакторах маловероятны, но стоимость ликвидации данных последствий очень большая. Многие люди считают такие риски нецелесообразными. Но, учитывая физику и химию ядра, а так же современное оборудование реакторов, можно сделать вывод, что последствия аварии будут менее серьезными, по сравнению с авариями на других объектах.

Отмечается: «Авиационная промышленность, медицинская промышленность, коммерческая атомная энергетика, ВМС США, Министерство энергетики и его подрядчики и другие высокоэффективные, технологически сложные организации приняли принципы работы человека, концепций и практик, чтобы сознательно уменьшить человеческие ошибки и усилить контроль, чтобы уменьшить несчастные случаи и события». «Около 80 процентов всех событий связано с человеческими ошибками. В некоторых отраслях это число приближается к 90 процентам [2]. Примерно 20 процентов событий связаны с отказами оборудования. Если 80 процентов человеческих ошибок рассмотреть подробнее, то видно, что большинство ошибок, связанных с аварийными событиями, вытекают из скрытых организационных просчетов (совершенными людьми в прошлом, но не учтенными в регламенте эксплуатации), тогда как только около 30 процентов вызваны действиями отдельных работников с оборудованием и системами непосредственно на объекте эксплуатации. Очевидно, что сосредоточение усилий на сокращении человеческих ошибок уменьшит вероятность аварийных событий». После аварии на АЭС Фукусима основное внимание регулирующих органов и

эксплуатирующих организаций в мире было направлено на устранение организационных недостатков, которые увеличивают вероятность ошибки эксплуатирующего персонала.

Чтобы обеспечить безопасность АЭС мира используется подход «защита в глубину» с несколькими системами безопасности, которые дополняют природные особенности активной зоны реактора. Ключевыми аспектами такого подхода:

- проектирование и строительство высокого качества;
- использование оборудования, предотвращающего возникновение проблем, связанных с эксплуатационными нарушениями или человеческим фактором;
- мониторинг и постоянное тестирование для обнаружения неисправностей оборудования или недочетов в подготовке оператора;
- избыточные и разнообразные системы для контроля повреждения топлива и предотвращения значительных радиоактивных выбросов;
- обеспечение ограничения последствий серьезного повреждения топлива.

Все эти принципы можно соединить: «Предотвращение, мониторинг и действия» (для смягчения последствий отказов).

Положения безопасности включают ряд барьеров между активной зоной ядерного реактора и окружающей средой, имеют несколько систем безопасности, каждая из которых включает в себя резервирование и предназначена для исключения ошибок оператора и неисправности оборудования самой системы. На системы безопасности затрачивается четверть капитальных затрат современных реакторов.

В качестве барьеров безопасности реакторной установки используется топливо в форме твердых керамических (UO_2) таблеток, продукты радиоактивного деления остаются внутри этих таблеток. Урановые таблетки упаковывают в герметичные трубки из циркониевого сплава для образования топливных стержней. Они заключены внутри корпуса реактора под давлением со стенками толщиной до 30 см. Также имеются связанные с ним трубопроводы для первичного водяного охлаждения. Все это, заключено внутри прочной железобетонной защитной конструкции со стенками толщиной не менее метра. Это три барьера вокруг топлива, которые сами по себе стабильны до очень высоких температур.

Контроль над барьерами производится на постоянной основе, параллельно осуществляя контроль над топливной оболочкой при помощи количественного измерения радиоактивности в охлаждающей воде, а также над системой охлаждения при помощи скорости утечки воды из I контура и давлением внутри герметичной оболочки.

В современных ядерных реакторах имеются три основные функции безопасности:

- контроль реактивности;
- охлаждение топлива;
- сдерживание радиоактивных веществ.

Безопасность ядерных реакторов прямо пропорциональна их физическим свойствам, а именно отрицательному температурному коэффициенту (ОТК) реактивности и отрицательному пустотному коэффициенту (ОПК) реактивности. ОТК предназначен для контроля уровней мощности в новых конструкциях ядерных реакторов. Его физическое значение в обратной пропорциональности увеличения температуры за пределами оптимального уровня к реактивности. ОПК же имеет значение прямой зависимости образований в охлаждающей воде вроде пара и уменьшения эффекта замедления, и, как следствие, уменьшению количества делящихся нейтронов и гашению реакции.

Для удаления избыточного тепла и сдерживания продуктов радиоактивного деления в границах I контура используется резервная система охлаждения активной зоны (ECCS).

Системы безопасности реактора делятся на активные и пассивные. Инженерная система называется активной, если она подачи электрической или механической энергии для выполнения этими системами функций безопасности, пассивной – при автоматическом срабатывании системы, к примеру, предохранительные клапанов. Оба типа систем безопасности требуют резервирования.

Проектирование и оснащение реактора, его систем безопасности зависит только от физических явлений, а именно:

- конвекция;
- гравитация;
- устойчивость к высоким температурам.

АЭС проектируются с дополнительной системой безопасности, основывающейся на полной остановке станции в случае землетрясения. В новых конструкциях практикуется замена пассивных систем и присущих им функций на активные. В основе такого проекта лежит плавление активной зоны вкпе с выбросом радиации в атмосферу в случае чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Атомная электрическая станция – объект повышенной опасности, основной упор при строительстве АЭС идет на безопасное использование. Все АЭС оборудованы многими современными системами безопасности, поэтому шанс аварии очень мал, но в случае аварии эти системы позволяют минимизировать последствия.

Литература

1. Samuel J. Walker. Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective : [англ.]. – Berkeley : University of California Press, 2004. – 317 p. – ISBN 0-520-23940-7.
2. Авария на АЭС «Фукусима-дайити». Доклад Генерального директора МАГАТЭ Юкия Аmano. Издание GC(59)/14, Вена, Австрия, 2015. – 278 с.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций" (НП-001-15). Зарегистрировано в Минюсте России 2 февраля 2016 г. N 40939.

УДК 621.18
**АНАЛИЗ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ И ЗАТРАТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ**
**ANALYSIS OF THE ENERGY AND COST SAVINGS CAUSED BY
USING CONDENSING BOILERS**

М.А. Ерёменко, Ю.А. Чешун

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes_bntu@tut.by

М. Yaromenka, Y. Chashun

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

Аннотация: конденсационные котлы уже несколько лет используются для отопления помещений и бытового водоснабжения во многих странах, и в настоящее время их потенциал для использования оценивается как с технической, так и с экономической точки зрения. Эта технология оказалась рентабельной для регионов, где есть природный газ, со сроками окупаемости от 3 до 5 лет. Критическими факторами, влияющими на экономию конденсационных котлов, оказались коэффициент теплопотерь жилища, применяемые теплоносители, стоимость оборудования, цены на энергию и, что не менее важно, часы работы система обогрева.

Annotation: condensing boilers have been in use for space and domestic water heating in many countries for some years now, and in the present work their potential for using them is evaluated from both the technical and economic viewpoints. The technology proved to be cost effective for the areas of where natural gas is available, with payback periods ranging between 3 and 5 years. Critical factors affecting the economy of condensing boilers proved to be the total heat loss coefficient of the dwelling, the heating media applied, the cost of equipment, the energy prices and last but not least the hours of operation of the heating system. These may vary if the use of the boiler is combined with other systems such as solar water heating or a heat pump, and the latter system may offer a flexible alternative which can produce optimum running costs depending on the demand and the price of gas and electricity applying at the time.

Ключевые слова: конденсационный котел; экономия энергии; жилища; система обогрева; рентабельность.

Keywords: condensing boiler; energy savings; dwellings; heating system; cost-effectiveness.

Введение

Конденсационные котлы – это водонагреватели, работающие на газе или масле. Они достигают высокой эффективности (обычно более 90% при более высокой теплотворной способности), конденсируя водяной пар в выхлопных газах и таким образом используя его скрытую теплоту парообразования,

которая в противном случае была бы потеряна. Конденсат этого пара выходит из системы через дренаж.

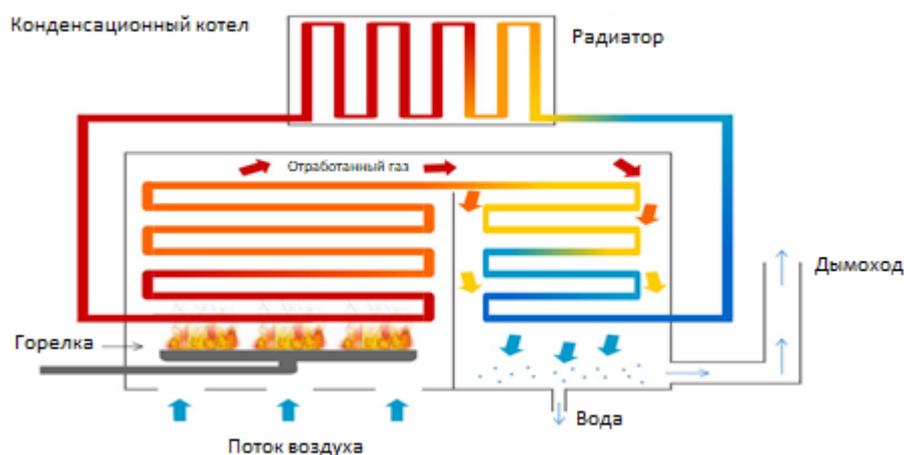


Рисунок 1 – Схема конденсационного котла

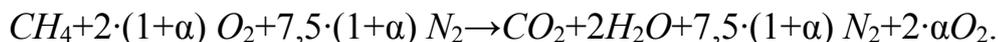
Основная часть

При использовании скрытой теплоты в продуктах сгорания КПД конденсационных котлов может иметь примерно на 10% выше, чем КПД обычных высокоэффективных котлов на верхнем конце своего цикла нагрузки, но даже когда они не работают в конденсационном режиме, все еще имеются некоторые преимущества за счет большей площади теплообмена [1]. Хотя он предназначен для сжигания различных видов топлива, таких как нефть, попутный и природный газы, последний является наиболее интересным из-за более высокого содержания паров в дымовых газах (более высокая точка конденсации дымовых газов, которую легче всего достичь конденсацией и увеличить потенциал рекуперации энергии). Энергетические преимущества очевидны, если учесть, что, например, для природного газа более 10% его высшей теплотворной способности выделяется в виде скрытого тепла, которое в противном случае теряется. Помимо необходимости нейтрализации и утилизации конденсата, конденсационные котлы не вносят никаких сложностей или особых требований в установку. Поскольку их стоимость на 30-50% выше, чем у обычных котлов, выбор конденсационного котла вместо обычного котла является экономическим вопросом. Более высокая их стоимость обусловлена большей площадью теплообмена и необходимостью сбора конденсата. Отказ от специального материала, необходимого для противодействия кислоте конденсату, и более сложные требования к регулированию, чтобы поддерживать коэффициент избытка воздуха и более объективно учитывать различные погодные условия. Дополнительная возможность мгновенного производства горячей воды в системе горячего водоснабжения еще больше увеличивает годовую экономию топлива по сравнению с обычным комбинированным котлом.

Оценка производительности котла включает две задачи:

1. расчет эффективности котла для различных нагрузок в пределах его номинального рабочего диапазона для различных температур теплоносителя (воды);
2. определение КПД теплоносителя при минимальных нагрузках.

Эффективность котла была оценена путем основанным на реакции горения и изменении нагрузки и рабочих температур теплоносителя в зависимости от температуры окружающей среды. Реакция горения имеет следующий вид:



Температура обратной воды зависит от температуры окружающей среды и выбранной кривой компенсации для работы котла. Для конденсационного котла целесообразно использовать изогнутые линии, которые лучше подходят для излучающих сред. Для обычного устройства можно применять линейную компенсацию. Температура возвратной воды влияет на температуру дымовых газов, которая фактически определяет эффективность сжигания.

Для конденсационного котла полученные кривые производительности показаны на рисунке 2. Как и ожидалось, эффективность немного увеличивается с уменьшением нагрузки (из-за уменьшения массового расхода дымовых газов), но, что более важно, с понижением температуры возвратной воды (снижается температура уходящих дымовых газов).

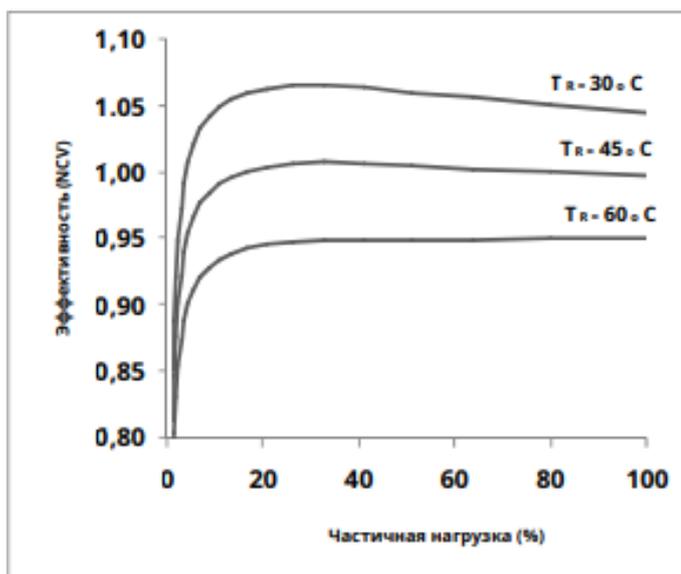


Рисунок 2 – Изменение КПД конденсационного котла в зависимости от нагрузки и температуры окружающей среды

Для обычного котла мы обнаружили, что эффективность увеличивается с уменьшением температуры обратного потока, как показано на рисунке 3, где две линии соответствуют максимальному тепловому потоку (верхняя линия) и минимальному тепловому потоку (нижняя линия). Тем не менее фактором, который ее в конечном итоге определяет общую эффективность, является мощность котла, и её уменьшение приводит к увеличению избытка воздуха и незначительному снижению эффективности, как показано пунктирной линией на том же рисунке. Следовательно, котел сохраняет довольно стабильную

эффективность без существенного повышения экономичности от понижения температуры. Например, при максимальном расходе газа снижение температуры дымовых газов со 100 до 60 °С повысит эффективность с 93 до 96%, снижение расхода при той же температуре на 10% снизит эффективность до 86%, а комбинированный эффект в конечном итоге приведет к небольшому снижению эффективности до 90% (пунктирная линия на рисунке 3).

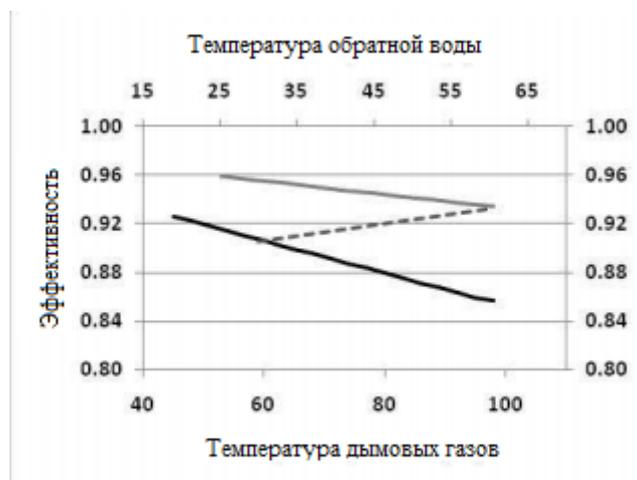


Рисунок 3 – Изменение КПД обычного котла в зависимости от температуры дымовых газов и воды в обратном трубопроводе для максимального, минимального и переменного расхода газа

Когда котел работает циклически, КПД определяется с включением всех потерь, а именно с дымовыми газами (явное и скрытое тепло), через дымоход (потери на вентиляцию) и через корпус (поверхностные потери). В горелках с принудительной циркуляцией воздуха при отключении котла (и вентилятора) временно останавливаются любые потери тяги через дымоход. Более того, в современных котлах потери через корпус очень низкие, что влияет на КПД при очень низких нагрузках, когда конденсационные котлы уже имеют высокий КПД из-за конденсации. Основываясь на периодичности работы горелки, можно проанализировать различные потери в котлах и отметить, что линейная зависимость между нагрузкой и потребляемой энергией является хорошим приближением для бытовых агрегатов. Эта линейная зависимость, а также модель установившегося состояния оказались адекватными для расчетов обычных котлов с вариациями в прогнозе энергопотребления ниже 3%.

Следует ожидать, чем менее утеплено жилище, тем выгоднее становится конденсационный котел. Поскольку есть большие возможности для экономии, быстрая окупаемость делает конденсационные котлы в этих случаях конкурентоспособными.

Заключение

Конденсационные котлы имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными низкотемпературными котлами, такими как их большая площадь теплообмена, более высокий КПД во всем рабочем диапазоне и столь же эффективное ГВС. Несмотря на это перспективы выхода конденсационных котлов на рынок не столь оптимистичны. К сожалению, конденсационные

котлы продаются либо по высокой закупочной стоимости, либо по очень высокой цене по сравнению с обычными низкотемпературными котлами, поэтому срок их окупаемости более значительный. Перспективной альтернативой представляется гибридная система, включающая газовый котел с тепловым насосом, но в этом случае нет необходимости применять конденсационный котел. Несмотря на это, установка конденсационного котла может быть очень важной и экономичной мерой для неизолированных жилищ, где есть большие возможности для экономии топлива. Эта мера может быть первоочередной, потому что любое обновление, которое может быть предпринято впоследствии, не отменяет преимуществ конденсационного котла.

Литература

1. Harris D.J. A guide to energy management in buildings. Spon Press: London. – 2012.
2. Weiss M, Dittmar L, Junginger M, Patel M, Blok K. Market diffusion, technological learning, and cost-benefit dynamics of condensing gas boilers in the Netherlands. Energy Policy 2009.
3. ANALYSIS OF THE ENERGY AND COST SAVINGS CAUSED BY USING CONDENSING BOILERS FOR HEATING DWELLINGS IN GREECE [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.researchgate.net/publication/276926502>. – Дата доступа: 01.04.2021.

УДК 620.98

**АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА
ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE HEAT PUMP**

В.М. Колос, Е.Ю. Соловьева

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

г. Минск, Республика Беларусь

leo07@tut.by

V. Kolos, E. Solovyeva

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

***Аннотация:** спрос на экологические решения для отопления зданий растет. Это вызвано как глобальным потеплением, так и неопределенностью цен на электроэнергию. Теплонасосные системы используют для своей работы электроэнергию, причем часть этой электроэнергии поступает из возобновляемых источников. Это делает их как эффективными для решения известных экологических проблем, связанных с прямыми и косвенными выбросами углекислого газа в атмосферу, так и эффективными для отопления и охлаждения. Более того, они удовлетворяют ожидания потребителей как по качеству, так и по экономической эффективности.*

***Abstract:** demand for environmental solutions for building heating is growing up. It is caused by both global warming and uncertainty about electrical energy prices. Heat pump systems use electricity for their work, and some of this electricity comes from renewable sources. This makes them both effective for well-known environmental issues related to direct and indirect emissions of carbon dioxide in the atmosphere, and efficient for heating and cooling. The heat pump satisfy both consumers' expectations of both quality and cost effectiveness.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, температура, энергия, топливо, отопление.*

***Keywords:** heat pump, temperature, energy, fuel, heating.*

Введение

Увеличение стоимости углеводородного топлива заставляет задумываться об альтернативных источниках энергии. В данной статье приведен принцип работы теплового насоса и анализ его экономичности.

Основная часть

Работа тепловых насосов основана на процессе выделения тепла из грунта, (имеющего температуру около плюс 8°C).

Общая схема работы теплового насоса представлена на рисунке 1:

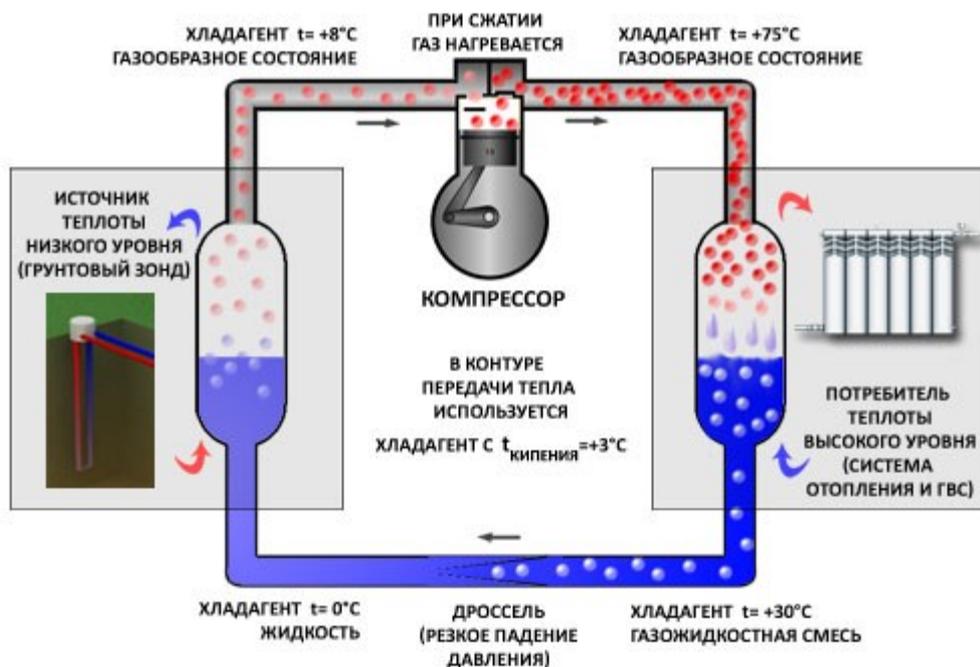


Рисунок 1 – Принцип работы теплового насоса

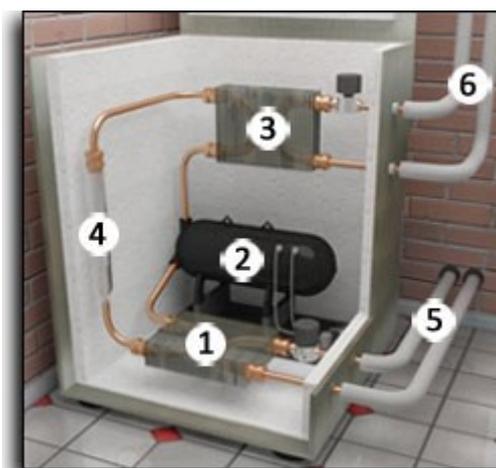


Рисунок 2 – Основные составляющие теплового насоса

Основные составляющие теплового насоса:

1. Теплообменник передачи тепла земли внутреннему контуру;
2. Компрессор;
3. Теплообменник передачи тепла внутреннего контура системе отопления;
4. Дроссельное устройство для понижения давления;
5. Рассольный контур и земляной зонд;
6. Контур отопления и ГВС.

Для работы теплового насоса необходим источник электроэнергии для питания компрессора (2). Сравним стоимость работы системы отопления установленной мощностью 10 кВт. Для сравнения выбираем следующие системы отопления:

- тепловой насос;
- котел на магистральном газе;
- котел на жидком топливе (дизельное топливо);

- электрокотел;
- центральное отопление;
- котел на сжиженном газе.

В расчете использовалось:

- стоимость электроэнергии – 0.21 руб./кВт*час;
- стоимость магистрального газа – 0.137 руб./ м³;
- стоимость дизельного топлива – 1.9 руб./л.;
- стоимость Гкал тепла – 21.2 руб.;
- стоимость сжиженного газа – 2.188 руб./л.;
- коэффициент преобразования теплового насоса – 4 (теплый пол);
- данные о времени стояния температур указываются на основании метеорологических данных для определенного района.

Далее приведена таблица основных расчетов:

Таблица 1 – Расчет стоимости отопления

Температура окружающей среды. °С	°С	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	За весь период
Продолжительность стояния температур	час	115	230	413	841	1410	1028	1203	5240
Тепловая нагрузка	кВт	10	9	7,8	6,7	5,6	4,5	3,4	47
Стоимость отопления									
Тепловой насос	тыс. руб.	0.06	0.11	0.17	0.3	0.42	0.24	0.21	1.51
Магистральный газ	тыс. руб.	0.02	0.035	0.054	0.094	0.13	0.077	0.067	0.48
Топливный котел	тыс. руб.	0.24	0.43	0.68	1.183	1.65	0.963	0.85	6
Электрическое отопление	тыс. руб.	0.24	0.43	0.68	1.19	1.664	0.97	0.85	6.04
Центральное отопление	тыс. руб.	0.023	0.041	0.064	0.113	0.158	0.092	0.081	0.573
Сжиженный газ	тыс. руб.	0.43	7.7	1.21	2.11	2.95	1.72	1.51	10.7

На основании данных расчета таблицы 1 самым оптимальным является использование котла на магистральном газе (0,48 тыс. руб.), потом идет центральное отопление (0.573 тыс. руб.), тепловой насос (1.51 тыс. руб.). Самые дорогие варианты: использование топливного котла (6 тыс. руб.), сжиженного газа (10.7 тыс. руб.) и электрического отопления (6.04 тыс. руб.).

Заключение

1. Использование магистрального газа является самым дешевым из всех предложенных вариантов. Однако не стоит забывать и о минусах:

- опасность использования магистрального газа;
- не во всех районах страны есть соответствующие коммуникации.

2. Центральное отопление наиболее распространенный вариант системы отопления в нашей стране.

3. Эксплуатационные затраты у теплового насоса самые высокие из рассматриваемых систем теплоснабжения, в первую очередь это обусловлено контуром циркуляции фреона.

4. Использование теплового насоса оправдывает себя только в районах удаленных от ТЭЦ и котельных, а также от газопроводов и является альтернативным источником получения тепловой энергии.

5. В данном расчете не рассматривался вариант систем отопления за счет возобновляемых источников (торф, дрова, отходы деревообработки, пеллеты, отходы лесхозов) из-за различия в стоимости на них.

Литература

1) Experimental study of heat pump type air-water for heating system performance [Электронный ресурс] / Experimental study of heat pump type air-water for heating system performance. – Режим доступа: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/38/e3sconf_te-re-rd18_01007.pdf. – Дата доступа: 10.04.2021.

2) Тепловой насос [Электронный ресурс] / тепловой насос. – Режим доступа: <https://smekni.com/a/193156/teplovoy-nasos/>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 621.18-182.2

**ВАРИАНТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ
СВЕТЛОГОРСКОЙ ТЭЦ
OPTIONS FOR RECONSTRUCTION OF THE FIRST STAGE OF
SVETLOGORSK CHPP**

Р.И. Осташков, Г.В. Алимов, А.Г. Гулякевич, П.Е. Сосковец
Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

R. Ostashkov, G. Alimov, A. Guliakevich, P. Soskovets
Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассматриваются варианты реконструкции первой очереди Светлогорской ТЭЦ.*

***Abstract:** The article considers options for reconstruction of the first stage of Svetlogorsk CHP.*

***Ключевые слова:** Светлогорская ТЭЦ, турбина, котлоагрегат, исчерпывание ресурса, реконструкция, повышение эксплуатационной надежности.*

***Key words:** Svetlogorsk CHPP, turbine, boiler unit, resource exhaustion, reconstruction, increase of operational reliability.*

Введение

Энергетика определяет уровень социально-экономического развития государства, поскольку его удельная энерговооруженность и экономика имеют сильную зависимость, отмеченную впервые П.Л. Капицей. В этой связи удельная энерговооруженность страны непосредственно предопределяет ее уровень и темпы развития в современном мире. Вместе с тем, развитие энергетики определяется спросом на ее продукцию и в этом контексте энергетика должна отвечать требованиям потребителей, для чего необходимо совершенствовать технологию и структуру генерирующих мощностей. Из этого следует, что энергетическое оборудование должно соответствовать всем современным требованиям. Этого можно добиться проводя реконструкцию и модернизацию на энергетических объектах.

Основная часть

Первая очередь Светлогорской ТЭЦ (Василевичской ГРЭС) вводилась в эксплуатацию в два этапа. В 1958 году были пущены: паровая турбина К-50 (Р-15-90/10 после реконструкции) ст. №1 и два энергетических котлоагрегата ПК-14-2. В 1960 были введены в строй паровые турбины К-50 ст. №2, №3, №4 (ТР-16-10 ст. №3 и Т-14/25-10 ст. №4 после реконструкции. Турбоагрегат №2 демонтирован). В последующие годы были проведены работы по переводу всех котлов станции на сжигание газа и мазута, а также реконструкции турбоагрегатов №1, №2, №3, №4 первой очереди [1].

В настоящее время, из-за необходимости вывода из строя оборудования, отработавшего свой ресурс, на Светлогорской ТЭЦ рассматриваются планы реконструкции первой очереди с целью повышения эксплуатационной надежности и маневренности теплоэлектроцентрали.

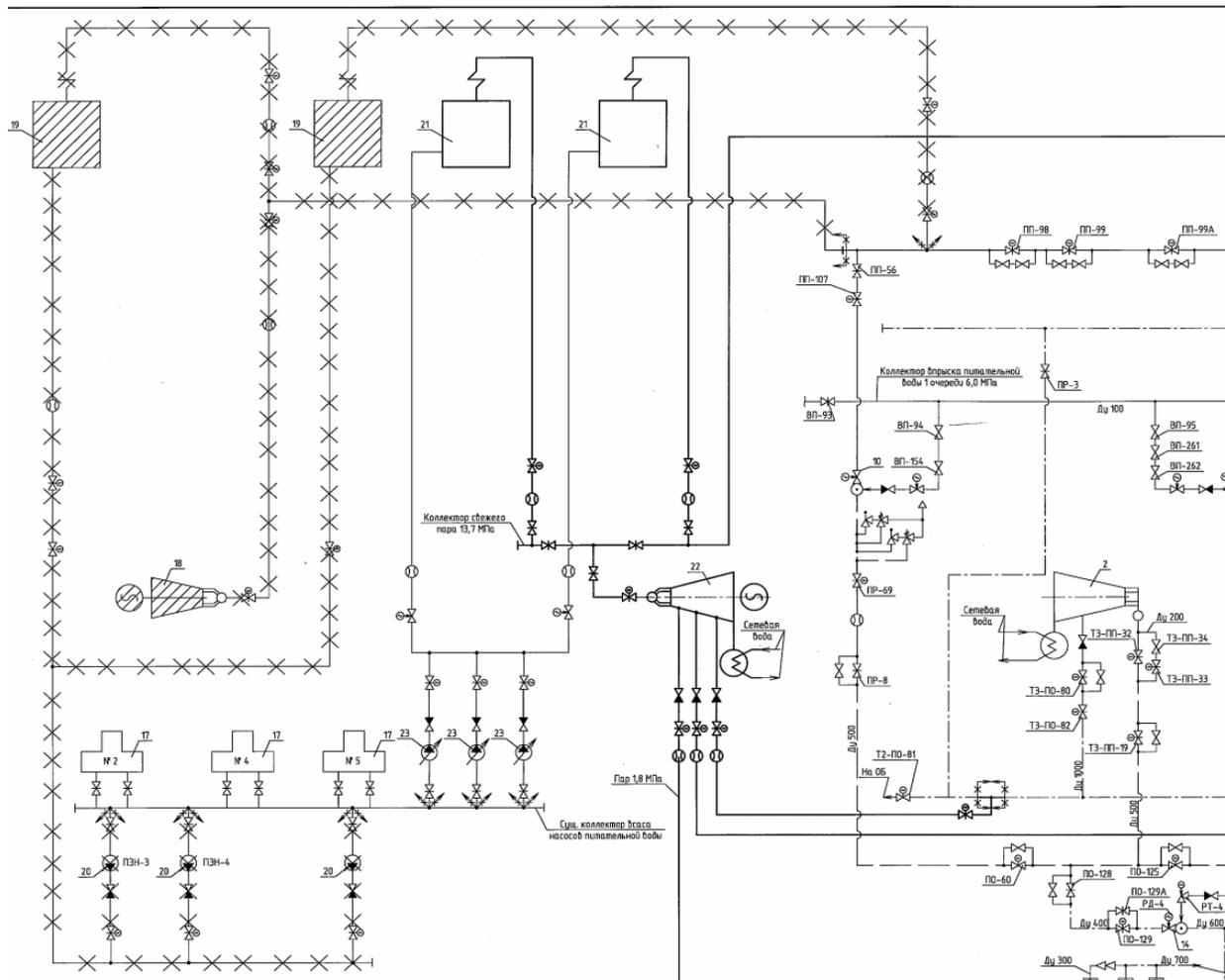


Рисунок 1 – тепловая схема проекта реконструкции по первому варианту. Оборудование, которое будет демонтировано обозначено штриховкой [2]

По первому варианту предусматривается установка двух паровых котлов производительностью по 100 т/ч пара каждый с параметрами пара 14,0 МПа/560 °С (Е-100-140 со вспомогательным оборудованием), которые устанавливаются на места демонтированных котлоагрегатов №4 и №5 станции, паровой турбины типа ПР-20-130/18/10/1,2 со вспомогательным оборудованием (в том числе подогревателей питательной воды (ПНД, ПВД), которая должна ставиться на место турбоагрегата №2, трех питательных насосов (два основных, один резервный) производительностью 110 м³/ч. Паровая турбина Р-15-90/10 ст. №1 и два энергетических котла ПК-14-2 со всем вспомогательным оборудованием демонтируются. Основным топливом для работы котлов остается природный и попутный газ, резервное – топочный мазут [1].

По проекту свежий пар с параметрами 14,0 МПа и 560 °С от устанавливаемых котлов Е-100-140 поступает на устанавливаемую паровую турбину

ПР-20-130/18/10/1,2 ст. № 7. Пар производственных отборов 1,8 МПа и 1,0 МПа турбины ст. № 7 поступает в соответствующие существующие коллекторы пара на производство. Пар отбора 0,12 МПа турбины ст. № 7 поступает в существующий коллектор пара 0,12 МПа отборов существующих турбин. Предусматривается сохранение оборотной системы охлаждения оборудования [3]. Но в связи с малыми расходами, требующимися для охлаждения оборудования, по данному варианту предусматривается дополнительная установка в существующей циркуляционной насосной станции двух (один рабочий, один резервный) насосов с $Q = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H = 25 \text{ м}$ [1].

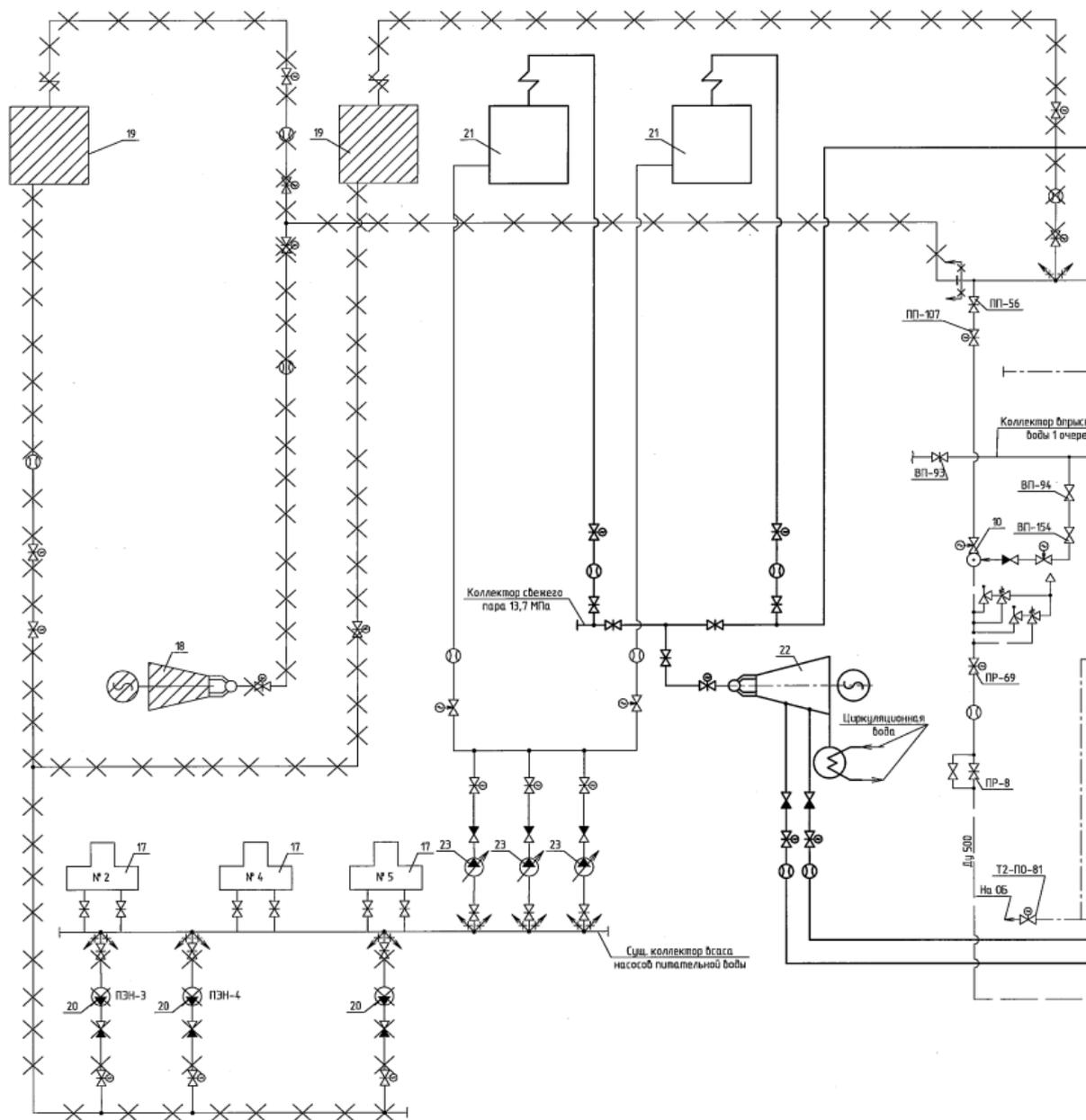


Рисунок 2 – тепловая схема проекта реконструкции по второму варианту. Оборудование, которое будет демонтировано обозначено штриховкой [2]

Второй вариант реконструкции схож с первым и отличается только предлагаемым комплектом оборудования. По второму варианту планируется к установке два паровых котла производительностью по 75 т/ч пара каждый с параметрами пара 14,0 МПа и 560°С (Е-75-140), со вспомогательным оборудованием (дымососы, вентиляторы, дымосос рециркуляции, расширители непрерывной и периодической продувки, калориферы), которые устанавливаются на места демонтированных котлоагрегатов №4 и №5 станции, паровая турбина), которая устанавливается на месте турбоагрегата № 2, типа ПТ-25-130/10/1,2 со вспомогательным оборудованием (в том числе подогревателями питательной воды – ПНД, ПВД), трех питательных насосов (два рабочих и один резервный) производительностью 90 м³/ч [1].

По плану проекта свежий пар с параметрами 14,0 МПа и 560°С от устанавливаемых котлов Е-75-140 поступает на устанавливаемую паровую конденсационную турбину. Пар производственного отбора 1,0 МПа турбины ст. № 7 поступает в существующие коллекторы пара 1,0 МПа на производство. Пар отбора 0,12 МПа турбины ПТ-25-130/10/1,2 поступает в существующий коллектор пара 0,12 МПа отборов существующих турбин [2].

Остальные изменения полностью схожи с реконструкцией по первому варианту.

Заключение

Исходя из тех данных, которые были рассмотрены по двум проектам модернизации первой очереди Светлогорской ТЭЦ, следует, что наиболее подходящим является первый вариант. Установка турбины ПР-20-130/18/10/1,2 будет полностью соответствовать условиям работы ТЭЦ и позволит максимально эффективно повысить эксплуатационную надежность и маневренность теплоэлектроцентрали [3].

Литература

1. Реконструкция оборудования 1-ой очереди книга 1. Обоснование инвестиций. Светлогорская ТЭЦ; утв. РУП «Гомельэнерго» 01.01.2020. – Минск: БЭРН. Филиал РУП «Гомельэнерго» Светлогорская ТЭЦ. – 117 листов.
2. Реконструкция оборудования 1-ой очереди книга 2. Графические материалы. Светлогорская ТЭЦ; утв. РУП «Гомельэнерго» 01.01.2020. – Минск: БЭРН. Филиал РУП «Гомельэнерго» Светлогорская ТЭЦ. – 30 листов.
3. Реконструкция оборудования 1-ой очереди книга 4. Эффективность инвестиций. Светлогорская ТЭЦ; утв. РУП «Гомельэнерго» 01.01.2020. – Минск: БЭРН. Филиал РУП «Гомельэнерго» Светлогорская ТЭЦ. – 21 лист.

УДК 621.165

ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ПОТЕРИ В ТУРБИНЕ
VENTILATION LOSSES IN THE TURBINE

К.С. Иванова, Е.А. Колесень

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes_bntu@tut.by

K. Ivanova, A. Kolesen

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

Аннотация: В статье проводится анализ влияния вентиляционных потерь в ступенях паровых турбин на их надежность и экономичность, а именно рассмотрены физические процессы. Возникают же вентиляционные потери за счет вращения лопаток к среде, заполненной паром. С этим можно столкнуться в любой части турбины, но наиболее распространена она в ЧНД.

Abstract: The article analyzes the influence of ventilation losses in the stages of steam turbines on their reliability and efficiency, namely, the physical processes are considered. Ventilation losses arise due to the rotation of the blades towards the medium filled with steam. This can be encountered in any part of the turbine, but it is most common in LPH.

Ключевые слова: турбина, вентиляционные потери, режим, процессы, пар.

Keywords: turbine, ventilation losses, mode, processes, steam.

Введение

Как известно, вентиляционные процессы могут возникать не только в ЧНД, но и в других частях паровых турбин. В данной статье рассмотрены особенности физических процессов, возникающих в ЧВД турбин с промежуточным перегревом пара. К классу таких турбин ТЭС Республики Беларусь следует отнести турбоагрегаты Т-250/300-240 (Минская ТЭЦ-4), К-300-240 (Лукомльская ГРЭС), Т-180-130 (Гомельская ТЭЦ-2).

Основная часть

Рассмотрим термодинамический аспект данной проблемы. Известно, что внутренний к.п.д. турбинной ступени изменяется в зависимости от объемного пропуска пара, определяемого соотношением $\varphi = Cax/U$.

При постоянной скорости вращения U коэффициент расхода практически зависит только от Cax .

При переходе от нормальных условий работы ступени к значениям φ , при которых наступает нулевая мощность ступени, а затем и ее потребление, возникают вентиляционные процессы, приводящие к дополнительному нагреву среды и переносу теплоты на рабочие лопатки и сопловые камеры [1, 2]. Очевидно, что при наличии вентиляции истечение пара нерасчетное и при $U = \text{const}$ возникает торможение. В итоге при $\varphi = 0,225$ $C_1 = C_2$, $W_1 = W_2$ [1]

достигается предел, за которым мощность ступенью не вырабатывается, а потребляется.

Авторы [2] приводят упрощенную формулу для определения мощности вентиляции

$$P_v = c D_m^4 h n^3 \rho, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где D_m и h - средний диаметр и высота рабочей лопатки, n - число оборотов;

ρ - плотность пара;

c - константа вентиляции, которая может быть определена только экспериментально.

Достаточно простая зависимость для расчета вентиляционных потерь получена Эфросом Е.И. [4]. Согласно его исследованиям в чисто вентиляционных режимах потребляемая ступенями ЧНД мощность оказывается практически пропорциональной давлению в конденсаторе $N^{\text{ЧНД}} \approx -c' \cdot \rho_k$. Величина c' для ЧНД турбины Т-180/210-130 составила 132 кВт/кПа, соответственно, для ЧНД турбины ПТ-135/165-130/15 ее значение равно 149,4 кВт/кПа. Как видно, главная трудность - это экспериментальное определение коэффициента c' . Им же установлено, что с повышением противодействия вместе с увеличением вентиляционных потерь возрастает массовый расход охлажденного пара, подсасываемого в ступени из выхлопного патрубка, что обеспечивает соответствующий отвод диссипативной энергии и способствует самоохлаждению последних ступеней.

Существует возможность аналитического определения c , в данной статье это функция вентиляции f . Плотность пара ρ с достаточной точностью можно принять пропорциональной давлению [3]. Если в вентиляционном процессе участвуют несколько ступеней, результирующая мощность вентиляции соответствует сумме N_v отдельных ступеней, причем вентиляционный процесс начинается в последнем ряду, продвигаясь с уменьшением пропуска в первом ряду лопаток.

Конечная температура пара возрастает с изменением режима истечения от нормального до вентиляционного. Тогда мощность определяется соотношением $N = \bar{D} \cdot \Delta h$. При заданных состоянии острого пара и противодействии относительный пропуск пара \bar{D} можно определять в зависимости от температуры на входе в ступень.

В том случае, когда потребление пара турбиной не совпадает с выработкой пара котлом (переходный режим), необходимо перегретый пар котла через обводной дроссельный клапан низкого давления сбрасывать в конденсатор. При этом режиме процессы истечения в турбине определяются противодействием в ЧВД и отличаются от расчетного режима. Давление в холодном промперегреве растет, и при сбросе больших объемов пара возрастает и вентиляция ЧНД. Таким образом вентиляционные процессы взаимосвязаны с работой ЧВД.

В энергоблоках без обводных систем при нестационарных режимах (сброс нагрузки, отключение турбины) также возможно повышение давления сверх

номинального, и длительность протекания вентиляционных процессов определяется аккумулярующей способностью промпрегревателя.

Для турбин с промежуточным перегревом и обводной системой возможна ситуация минимального пропуска пара через ЧСД/ЧНД турбин в зависимости от работы ЧВД. Для нормальной работы расход пара должен быть больше минимального, чтобы не допустить перегрева проточной части. Незначительный кольцевой рост температуры сбросного пара на холостом ходу наблюдается при работе на постоянном давлении. При переходе с полной нагрузки на холостой ход температура не сильно повышается. Кольцевой рост температуры обусловлен сильным дроссельным эффектом в стопорном клапане свежего пара. Снижение температуры пара (эффект Томсона-Жюли) при дросселировании соответствует значению около 100°C .

Наибольшее повышение температуры выходящего пара характерно при переходе энергоблоков на скользящем давлении с минимальной нагрузки котла на холостой ход. Рост температуры пара при этом после ЧВД турбины К-600 составляет 140°C в сравнении с нормальным пропуском пара (с 330 до 470°C).

Конструкция лопаток и напряжения, возникающие в штатных и нестационарных состояниях, определяют безопасность и долговечность работы турбин при определенных расходах пара. Конструкция турбинных ступеней с ромбовидной формой хвостовика и молоткообразным основанием предполагает их предварительное напряжение, создаваемое при изготовлении. Сопловые и рабочие лопатки в прикорневой зоне рассчитаны при этом на эластичное скручивание. Тело лопатки при изготовлении закручивается так, что в вершинной части достигается равносильное напряжение за счет подрезки. Это возможно благодаря переносу соответствующей части массы металла с основания в вершинную часть. Такое преднапряжение предполагает не только стабильный режим течения при воздействии центробежных сил и разности температур, но и нерасчетное изменение температуры, при котором преднапряжение возрастает. При этом предотвращаются ослабления крепежа в лопатках и недопустимые динамические усилия.

Чтобы обеспечить технологическую безопасность по условиям нагрева металла, необходимо ограничить температурные изменения в течение всего периода работы турбины. Так как с увеличением габаритов лопаточного аппарата (d, L) в ходе вентиляционных процессов тепловой поток больше, чем количество теплоты, на которое рассчитаны отдельные части (детали) турбинной ступени (имеется в виду непропорциональность нагрева лопаток при росте d и L при относительной консервативности корневого теплоотвода). Поэтому в деталях больших турбин напряжения значительно выше, чем в маломощных турбинах.

При наличии вентиляции возникают дополнительно сдвиговые усилия. При равенстве температур $t_{\Delta v} = t_E$ растягивающие усилия в радиальном и тангенциальном направлении определяют напряжение в области вершины и корня лопаток, накладываясь на преднапряжение при изготовлении. Разница температур вершины и корня составляет значительную величину. Результирующая сила $F_{\Delta v} \gg F_E$.

При возникновении вентиляции в ходе останова в ЧВД турбины мощностью 600 МВт из-за распределения отдельных характеристик появляются относительно медленное падение давления и быстрый рост температуры мягкого пара в течение останова. Из-за перехода постоянных преднапряжений лопаточного аппарата в область деформационных напряжений возникает поломка лопаток в вершинной части. В отдельных ступенях могут возникнуть трещины, с течением времени прогрессирующие и приводящие к обрыву лопаток. Подобные физические процессы происходят и при возникновении вентиляции в других частях турбин.

Аварии с незначительными последствиями характеризуются обрывом лопатки, не влекущим за собой повреждений лопаточного аппарата последующих ступеней. Аварии с тяжелыми последствиями характеризуются расширенной зоной повреждений, когда обрыв лопатки вызывает лавинообразное разрушение элементов других ступеней турбины.

Заключение

Из вышесказанного можно заметить, что режимы работы паровых турбин с минимальными вентиляционными пропусками пара в конденсатор влияют не только на их экономичность, но и надежность.

Следует обратить внимание на тот факт, что термонапряжения, возникающие в металле выхлопного патрубка при этих температурах пара, не являются опасными. Так, допустимая температура металла выхлопного патрубка турбин с конденсатором равна 600°C, для противодавленческих турбин – 260–270°C в зависимости от параметров пара на производство. Важнейшей же особенностью является то, что вышеуказанные температуры являются опосредованными показателями надежности работы проточной части и других элементов турбин. При предельных разогревах патрубка возникают: ухудшение вибросостояния валопровода, предельные величины относительного укорочения ротора, сверхнормативные нагревы опорной части подшипника, рост вибрационной составляющей знакопеременных термонапряжений в металле рабочих лопаток и т.п.

Таким образом, снижение потерь теплоты в конденсаторе теплофикационной турбины за счет уменьшения вентиляционного расхода зависит от сохранения надежности деталей и узлов ЧНД турбины. Возникает проблема их охлаждения, в особенности, последних лопаток.

Литература

1. Karnitzri N. Ventilationsverluste im Niederdruckteil von Dampfturbinen. XXX. Kraftwerkstechnisches Kolloquium. - Turbomaschinen für Kraftwerke. Entwicklungsprobleme, Auslegung, Konstruktion und Betriebserfahrungen. PD7, Dresden, 26-28 Okt. 1988 / Technische Universität Dresden. – Dresden, 1998. – 3 s.
2. Zur Ventilation der HD-Beschaufelung von ZÜ-Dampfturbinen / D.Bergmann, G.Stannowski, J.Havemann // Brennstof-Wärme-Kraft. – 1994. – Bd. 46. – № 1-2. – S. 40-44.
3. Неуймин В.М., Карницкий Н.Б. Оценка вентиляционных потерь мощности в паровых турбинах // Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1995. – № 5-6. – С. 80-85.

4. Эфрос Е.И. Экономичность и надежность мощных теплофикационных турбин и пути их повышения: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.14.01 /Всерос. теплотехн. ин-т. – Мн., 1998. – 40 с.

УДК 621.311

**ЗАЩИТА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ
PROTECTION OF AIR HEATERS FROM FREEZING**

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

V. Kluev, V. Yakimtsova, D. Pliakhina
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются воздухонагреватели и их классификация по принципу работы, а также защита воздухонагревателей от замерзания на примере их частного случая - калорифера. Защита воздухонагревателей крайне важна, так как функционирование его в штатном режиме сильно влияет на работоспособность и экономичность всей системы теплоэнергообеспечения. В статье изучаются применения ряда важных инженерных решений, позволяющих защитить калориферы не только от эффекта замерзания, но и продлить срок службы арматуры в тяжелых температурных условиях в зависимости от их теплоносителя, конструктивных особенностей и места расположения. Приводится принципиальная схема автоматизации системы с описанием.*

***Abstract:** This article discusses air heaters and their classification according to the principle of operation, as well as the protection of air heaters from freezing by the example of their special case – a calorifer. The protection of air heaters is extremely important, since its normal operation greatly affects the performance and efficiency of the entire heating supply system. The article studies the application of a number of important engineering solutions that allow protecting calorifers not only from the freezing effect, but also extending the service life of fittings in severe temperature conditions, depending on their coolant, design features and location. A schematic diagram of the automation of the system with a description is given.*

***Ключевые слова:** защита, воздухонагреватели, замерзание, температура, калорифер.*

***Keywords:** protection, air heaters, freezing, temperature, calorifer.*

Введение

Воздухонагреватели – оборудование, предназначенное для повышения температуры входящего воздуха за счет прохождения его возле теплоносителя. Существует несколько типов воздухоподогревателей по принципу передачи теплоты и конструкции теплопередающих элементов. Первый тип – рекуперативный. Передача теплоты в таком подогревателе осуществляется за счет теплопроводности разделительной стенки и излучения теплоты от газов к воздуху, осуществляемое через разделительную стенку теплообменника. Второй тип – регенеративные. В этом случае используется теплообменное

вещество. Теплота передается последовательно от газа к теплообменному веществу, а потом к холодному воздуху. В качестве вещества используют различные жидкости и металлы с высоким коэффициентом теплопроводности.

Основная часть

Эффект замерзания – эффект, проявляемый при низких температурах входящего воздуха, приводящий к деградации качеств материалов воздухонагревателей, а также способен стать катализатором аварий и полной неисправности системы. Несмотря на редкость данного эффекта, появление его вполне вероятно в наших широтах в связи с годовым изменением температурного режима. В зимний период, в связи с отрицательной температурой входящего воздуха происходит переохлаждение патрубков приводя к неприятным последствиям. Наиболее часто переохлаждению, а в последствии замерзанию подвергаются калориферы, применяющиеся для поддержания тепловых режимов зданий путем подачи нагретого воздуха. Причиной их уязвимости является сравнительно небольшой теплообмен, обусловленный малыми объемами теплоносителя или их невысокой температурой (например, как в рекуператорах, где теплоносителем является воздух комнатной температуры).

В качестве защиты от переохлаждения применяются следующие методы. Рассматривая калориферы на воде или пару мы можем обнаружить эффект замерзания при понижении температуры входящего воздуха.

Температуры воздуха при замерзании субъективны и зависят от множества факторов, а именно:

1. Температурный режим объекта;
2. Температура теплоносителя;
3. Конструкции теплообменника;
4. Скорости течения сред;

При поддержании температурного режима постоянным, причины низких скоростей движения воды по трубкам воздухоподогревателей:

1) Применение калориферов с одним ходом для водяного теплоносителя;

2) Применение регулирования количества теплоты, передаваемой калориферами за счет установки регулирующего расход клапана на линии возврата.

3) Клапан на обратной линии регулирует температуру воздуха, подаваемого в помещение. Если существует явный переизбыток поступления теплоты, то клапан может уменьшить течение теплоносителя до критически малых величин.

Избежать нежелательного замерзания воды возможно следующим образом:

1) В случае использования воды в качестве теплоносителя, следует применять только многоходовые калориферы;

2) Не допускать снижения скорости течения воды в трубках ниже 0,12 м/с;

3) Не пренебрегать качеством регулирования передачи теплоты и использовать смесительный насос для проведения регулирования.

Эффективным способом борьбы с замерзанием является регулирование обводным клапаном. При выборе калорифера следует обратить внимание на отсутствие или наличие обводного клапана в данной модели. Если модель оснащена обводным клапаном, то это должна находиться в приоритете при выборе и в случае отсутствия иных различий предпочтительна для установки.

При использовании в качестве теплообменника воды, следует внимательно отнестись к ее качеству. Теплообменник следует оборудовать фильтрами, которые предотвратят загрязнение патрубков. Так же своевременное обслуживание и прочистка патрубков калорифера не менее одного раза в два года положительно повлияет на устойчивость калорифера к замерзанию.

Основными причинами замерзания паровых калориферов являются: Низкая производительность калорифера или ошибки в проектировании и реализации отвода сконденсированной жидкости, резкие изменения характеристик пара, неисправности арматуры.

При низких температурах скопившийся конденсат не отводится и замерзает. Для уменьшения риска эффекта замерзания калориферов данного типа стоит уделить внимание конденсатоотводящим системам. Размещая их не рекомендуется превышать расстояние в 300мм в низ от патрубков воздухонагревателей на которых образуется конденсат. Не мало важным фактором является метод удаления конденсата. Удалять конденсат в конденсаторные баки рекомендуется самотеком.

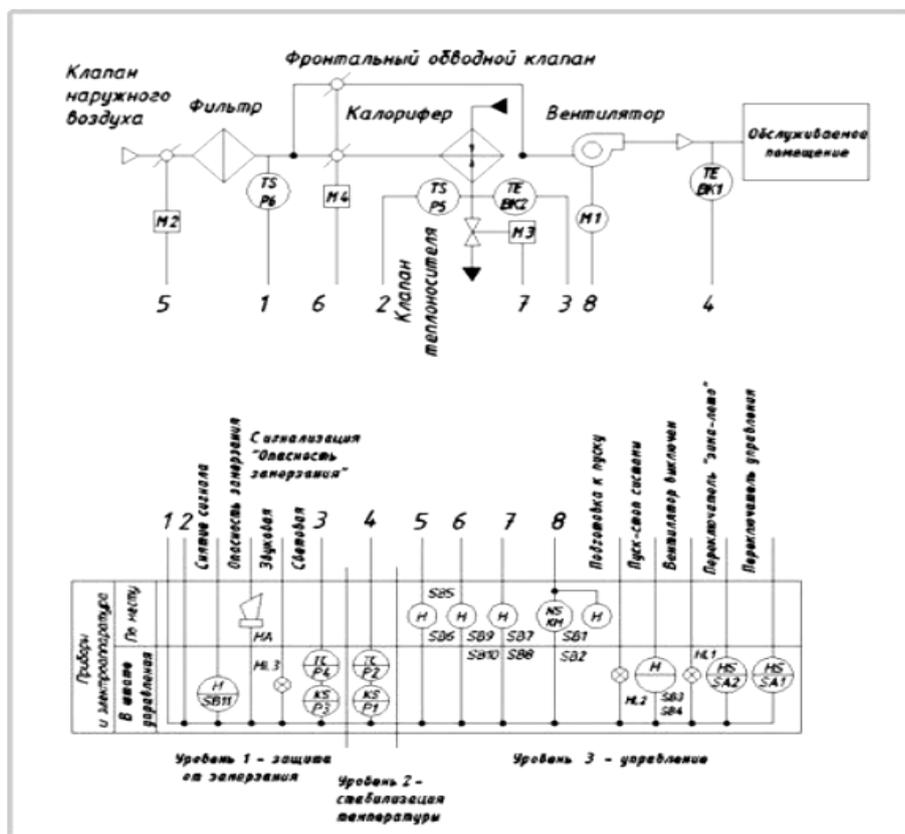


Рисунок 1 – Фронтальный обводной клапан

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод: для уменьшения риска эффекта замерзания калориферов стоит уделить внимание конденсатоотводящим системам, размещая их на расстоянии не более 300 мм вниз от патрубков воздухоподогревателей, на которых образуется конденсат.

Литература

1. Расчет кожухотрубчатого двухходового воздухоподогревателя парового котла [Электронный ресурс] / Расчет кожухотрубчатого двухходового воздухоподогревателя парового котла. – Режим доступа: <https://www.bestreferat.ru/referat-146707.html>. – Дата доступа: 25.03.2021.
2. Автоматизация систем теплоснабжения [Электронный ресурс] / Автоматизация систем теплоснабжения. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/31824/Avtomatizaciya_sistem_teplosnabzheniya.pdf?sequence=1&isAllowed=y. – Дата доступа: 25.03.2021.
3. Условие работы воздухоподогревателей [Электронный ресурс] / Условие работы воздухоподогревателей. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/preduprezhdenie-avarij-parovyh-kotlov/usloviya-raboty-vozduhopodogrevatelej/>. – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 621.165.76-146.1
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБИН С БАЙПАСНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ
ПАРА НА ПГУ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЧАСТОТЫ
USING THE TURBINES WITH BYPASS STEAM DISTRIBUTION AT
CCGT FOR PRIMARY FREQUENCY CONTROL

А.Д. Белозёрова, А.Д. Яковенко, П.А. Болбас
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

A. Beloziorova, A. Jakovenko, P. Bolbas
Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье рассматривается использование паровой турбины с байпасным распределением пара на конденсационной турбине, работающей совместно с парогенератором-утилизатором двух давлений для участия в нормированном первичном частотном регулировании. Предполагается, что газовые турбины работают при частичной нагрузке во время участия энергоблока в регулировании частоты и мощности. Следовательно, паровая турбина также работает при частичной нагрузке с закрытым перепускным регулирующим клапаном. Можно увеличить мощность газовой турбины и перегрузку паровой турбины при одновременном снижении частоты за счет увеличения расхода пара в камеру между второй и третьей ступенями паровой турбины.

Abstract: The article deals with the use of a steam turbine with bypass steam distribution on a condensing turbine working together with a steam generator-utilizer of two pressures to participate in the normalized primary frequency control. It is assumed that initially the gas turbines operate at partial load during the participation of the power unit in the frequency and power control. Consequently, the steam turbine also operates at partial load with the bypass control valve closed. It is possible to increase the power of the gas turbine and the overload of the steam turbine while reducing the frequency by increasing the steam flow into the chamber between the second and third stages of the steam turbine.

Ключевые слова: Турбины, байпас, частота, расход, ПГУ, ТЭЦ.

Keywords: Turbines, bypass, frequency, flow rate, CCGT, CHPP.

Введение

Частота электрического тока является одним из показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы. В соответствии с действующими нормативами, частота должна находиться в пределах $50,0 \pm 0,2$ Гц.

Существует три связанных типа частотного регулирования: первичное, вторичное и третичное. Первичное регулирование состоит в том, что силовая установка реагирует на отклонения частоты в энергосистеме (превышающие

0,002 Гц) пропорциональным изменением активной мощности. Вторичное регулирование – это процесс изменения активной мощности электростанций (специально выделенных для этой цели) с целью компенсации несбалансированной мощности, устранения перегрузки транзитных линий электропередачи, восстановления частоты и внешних энергетических потоков и (как следствие) восстановления резервов мощности, израсходованных при первичном регулировании. Третичное регулирование относится к изменению мощности специально выделенных третичных электростанций для восстановления вторичного резерва и оптимального распределения нагрузки между блоками энергосистемы.

Основная часть

Высокая эффективность и хорошая маневренность делают парогазовые установки незаменимыми для участия в устранении несбалансированной мощности и для частотного регулирования. На рисунке 1, исходя из требований к парогазовым установкам и газотурбинным установкам, показаны допустимые области изменения первичной мощности с падением и подъемом частоты в энергосистеме.

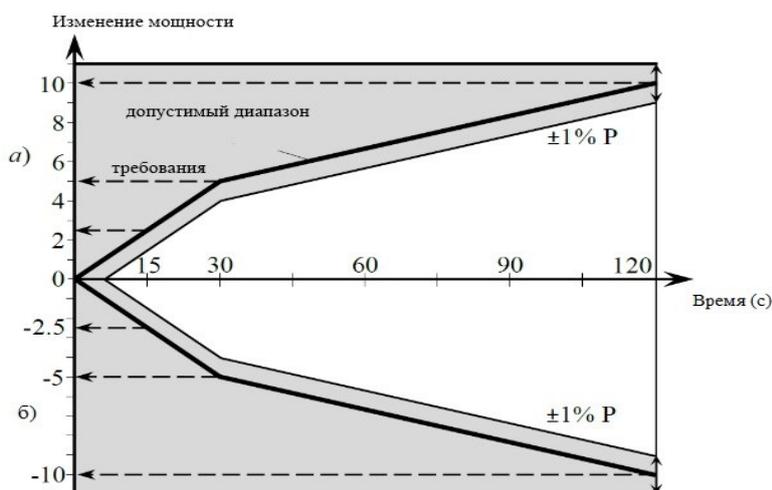


Рисунок 1 – Допустимый диапазон изменения первичной мощности ПГУ (ГТ) при уменьшении (а) и увеличении (б) частоты

Характеристики парогазовых установок при переменных нагрузках во многом определяются характеристиками газовой турбины. Важным преимуществом газовой турбины является ее высокая маневренность и широкий диапазон нагрузок. Силовые газовые турбины работают в любых режимах – от холостого хода до полной нагрузки. На практике их рабочий диапазон в парогазовой установке определяется экономическими и экологическими соображениями и возможными ограничениями парового контура. Зависимости параметров газовой турбины V94.2 (в составе ПТУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга) от нагрузки при близких к расчетным внешним условиям (стандартные условия ИСО 2314: температура 15°C, абсолютное давление 0,1013 МПа, относительная влажность 60%) приведены на рисунке 2 [1, 2].

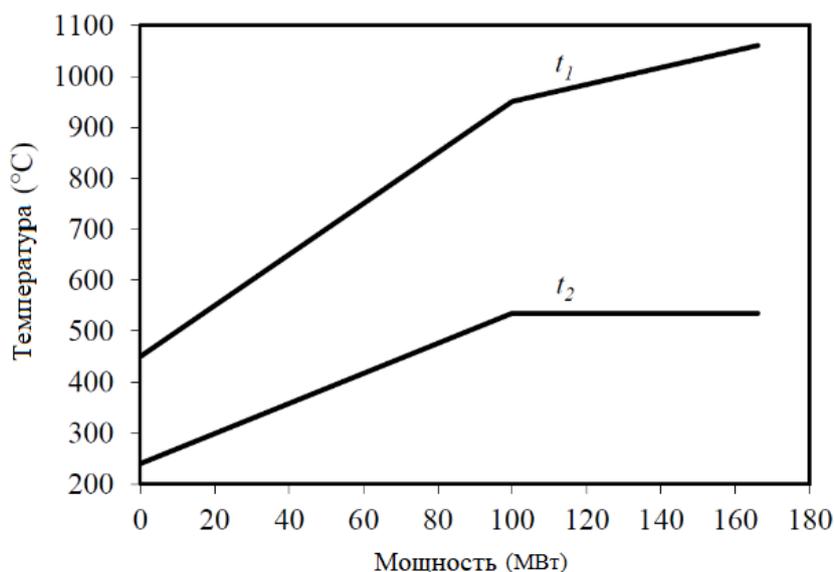


Рисунок 2 – Температура газа перед (t_1) и за (t_2) газовой турбиной V94,2 при переменной нагрузке [1, 2]

Важной характеристикой маневренности для участия в регулировании частоты энергосистемы парогазовой установки в пределах регулируемого диапазона нагрузок является скорость изменения нагрузки. Во избежание задержки реакции паровой трубы при изменении частоты в энергосистеме возможно частичное открытие регулирующего клапана паровой турбины и, как следствие, дросселирование свежего пара при нормальной работе, а при изменении частоты – открытие или закрытие этого клапана.

Однако этот способ имеет недостаток в снижении КПД паровой турбины при нормальных условиях эксплуатации из-за потерь от дросселирования в регулирующих клапанах. Способ участия в регулировании актуален для электростанций, где при проектировании и выборе основного оборудования учитывается, что при максимальной мощности газовой турбины парогенератор-утилизатор должен обеспечивать паропроизводительность, покрывающую максимальную нагрузку паровой турбины. Из вышеперечисленного следует, что для использования на ПГУ целесообразно рассматривать применение турбин с байпасным распределением пара. На рисунке 3 показана схема паровой турбины с байпасным распределением пара.

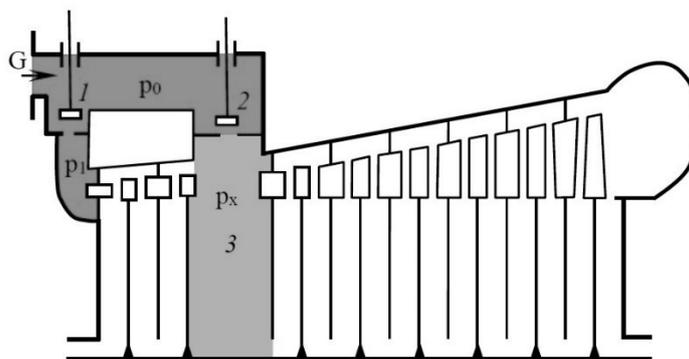


Рисунок 3 – Схема паровой турбины с байпасным распределением пара: 1 – главный регулирующий клапан; 2 – байпасный регулирующий клапан; 3 – камера смешения

К первой ступени водяной пар подводится через клапан 1, который работает как дроссель до тех пор, пока давление перед ступенью не станет равным давлению. Затем клапан 2 начинает открываться. Часть пара обходит первую группу ступеней через этот клапан и направляется непосредственно в турбину. Дуга эллипса ab делит общий проход пара на два потока и строится путем расчета относительного расхода пара G_1/G_0 через первую группу ступеней при различном общем расходе пара через турбину, рисунок 4 [3].

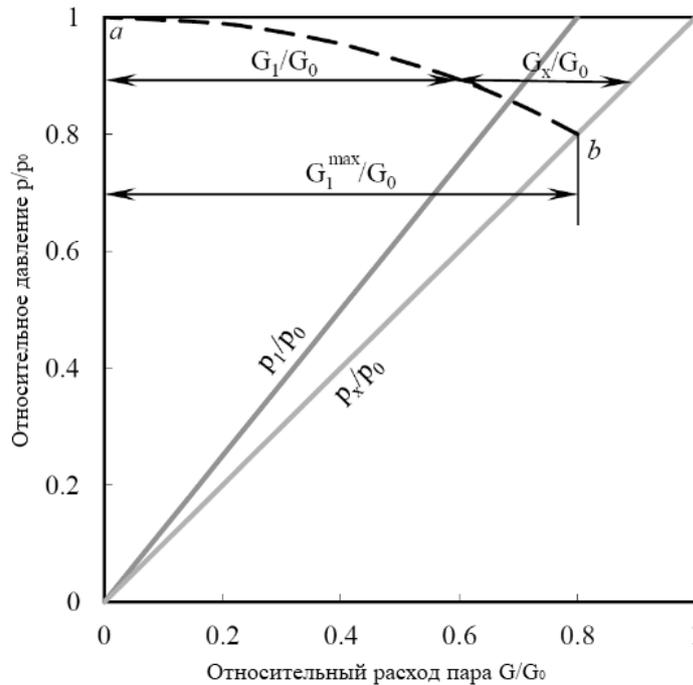


Рисунок 4 – Распределение пара при байпасном распределении пара (открытие байпасного клапана при $0,8 G_1/G_0$)

В процессе расчетов, проведенных Саратовским научным центром Российской академии наук, получены следующие результаты. На рисунке 5 показано, что при открытии перепускного клапана мощность изменяется почти так же линейно, как и до его открытия.

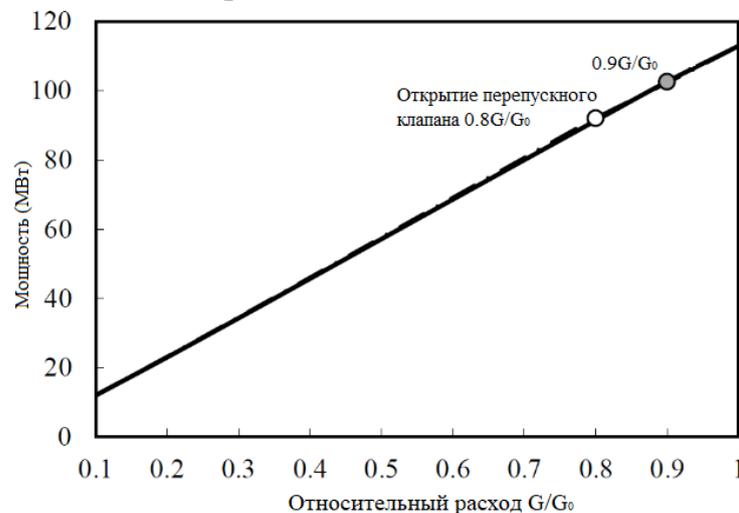


Рисунок 5 – Зависимость изменения мощности турбины от относительного расхода пара через турбину

На рисунке 6 показана зависимость изменения среднего коэффициента полезного действия турбины от расхода пара для трех вариантов распределения пара. Наблюдается незначительное снижение коэффициента полезного действия турбины из-за потерь от дросселирования пара в перепускном клапане при открытии перепускного клапана. На рисунке 6 показано, что работа паровой турбины с байпасным парораспределением при частичной нагрузке в режиме ожидания происходит с большей эффективностью, чем при дросселировании пара в регулирующем клапане паровой турбины без байпасного парораспределения. КПД турбины с байпасным распределением пара выше на 1,4% по сравнению с турбиной без байпасного распределения пара, если регулирующий клапан открыт на 0,8 G/G_0 . КПД турбины с байпасным распределением пара выше на 0,48%, если байпасный клапан включен при нагрузке 90 %. КПД турбин с байпасным парораспределением ниже на 0,5%, чем у турбин без байпасного парораспределения при 100% нагрузке.

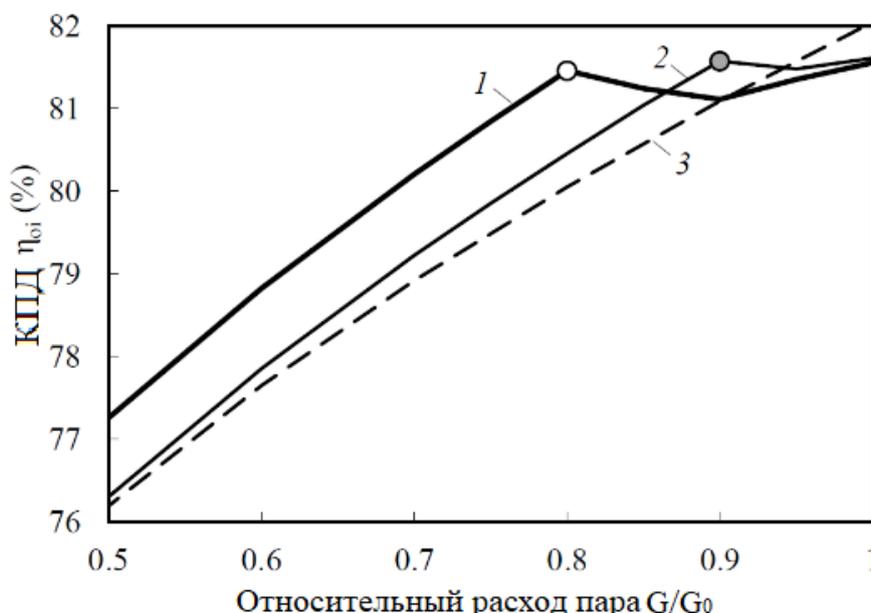


Рисунок 6 – Зависимость средневзвешенного относительного внутреннего КПД от относительного расхода пара через турбину: 1, 2 – байпасное парораспределение с открытием байпасного клапана при 0,8 и 0,9 G/G_0 соответственно; 3 – без байпасного парораспределения

Заклучение

Работа паровой турбины с байпасным распределением пара при частичной нагрузке происходит с более высоким КПД, чем при дросселировании пара в регулирующем клапане паровой турбины без байпасного распределения пара. Кроме того, изменение мощности паровой турбины с байпасным распределением пара обеспечивает большее ускорение по сравнению с работой в режиме скользящего давления.

Имеющееся увеличение мощности паровой турбины с байпасным парораспределением в составе ПГУ-325 составляет 1,35 МВт при нагрузке 80% и 0,52 МВт при нагрузке 90% в режиме ожидания с участием в первичном

частотном регулировании (при прочих равных условиях для паровой турбины на базе турбины К-110-6.5).

Литература

1. Тепловые характеристики газотурбинных установок V94.2, работающих на парогазовой установке ПГУ-450Т Северо-Западной когенерационной станции Санкт-Петербурга / С. В. Малахов, Г. Г. Ольховский, В. П. Трушечкин, В. Н. Хомченко. – Москва. Энергетические технологии и машиностроение, 2015. – 8 с.
2. Ольховский, Г. Г. Тепловые испытания мощных энергетических газовых турбин / Г. Г. Ольховский. – Москва: Издательство Фолиум, 1992. – 234 с.
3. Костюк, А.Г. Турбины тепловых и атомных электростанций / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин. – Москва: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.

УДК 621.165

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВОГО РЕЖИМА ЦИЛИНДРА НИЗКОГО
ДАВЛЕНИЯ ТУРБИНЫ Т-250/300-240
STUDY OF STARTING MODE OF LOW PRESSURE CYLINDER
OF T-250/300-240 TURBINE**

Я.П. Адинцова, А.А. Стрежик

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

kachah@bntu.by

Y. Adzintsova, A. Strezhik

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

Аннотация: Рассмотрены результаты исследований температурного состояния цилиндра низкого давления теплофикационной турбины типа Т-250/300-240 ПО ТМЗ на пусковых режимах. Показано значительное влияние на поля распределения и уровни температур величины вакуума в конденсаторе. Подтверждено, что при обеспечении давления в конденсаторе на этапе повышения частоты вращения ротора и на холостом ходу на уровне 5 – 7 кПа температурное состояние проточной части низкого давления не вызывает опасений.

Abstract: The results of investigations of the temperature state of the low-pressure cylinder of a cogeneration steam turbine of type T-250/300-240 PO TMZ at start-up modes are considered. A significant influence on the temperature distribution fields of the vacuum level in the condenser is shown. The normal temperature state of the low pressure flow path during the increasing of the rotor speed and at idle at the pressure level in the condenser of 5-7 kPa is confirmed.

Ключевые слова: цилиндр низкого давления, теплофикационная паровая турбина, температурное состояние, вакуум в конденсаторе.

Keywords: low pressure cylinder, cogeneration steam turbine, temperature condition, condenser vacuum.

Введение

Надежность работы современных теплофикационных турбин большой мощности в значительной степени зависит от надежности работы цилиндров низкого давления (ЦНД), имеющих роторы с насадными дисками больших размеров и длинные рабочие лопатки последних ступеней со стеллитовыми накладками. В [1, 2] выполнен комплекс исследований температурного состояния ЦНД самой мощной теплофикационной турбины типа Т-250/300-240 ПО ТМЗ на малорасходных режимах.

Основная часть

Для выполнения комплексной программы исследований ЦНД испытуемой турбины был оснащен развитой системой экспериментального контроля, включавшей в себя свыше 200 термомпар. Производилось измерение

температуры пара в нескольких сечениях по направлению движения пара от паровпуска ЦНД до конденсатора, а также температуры металла направляющих лопаток последней ступени, влагуоулавливающих колец предпоследней и последней ступеней обоих потоков ЦНД. Для изучения воздействия обратных потоков пара из конденсатора на тепловое состояние ЦНД и глубины их проникновения в проточную часть были установлены термометрические зонды за рабочими лопатками последних ступеней. В одном из потоков ЦНД дополнительно были смонтированы термометрические зонды в выхлопном патрубке на горизонтальном разъеме ЦНД и срезе выходного патрубка над трубным пучком конденсатора.

Использование описанной экспериментальной системы измерений позволило получить данные о распределении температур в проточной части ЦНД турбины Т-250/300-240 при различных режимах эксплуатации, но в [1] приводятся результаты исследования только для пускового режима.

Характерной особенностью пусковых режимов является пониженный вакуум в конденсаторе турбины на этапе ее разворота практически до номинальной частоты вращения ротора. Вращение ротора ЦНД в относительно плотном паре сопровождается существенным выделением теплоты вследствие потерь на трение и вентиляцию, что приводит к разогреву элементов проточной части цилиндра. В [1] даны экспериментальные данные по распределению и уровню температур в ЦНД на различных этапах пускового режима.

Подготовка к пуску (подготавливается к включению вспомогательное оборудование). На турбине начинается набор вакуума и подается пар на концевые уплотнения цилиндров, в том числе и ЦНД, из общестационарного коллектора давлением 1,3 Мпа при температуре пара в коллекторе 200 – 220°С. Продолжительная подача на концевые уплотнения ЦНД уплотняющего пара такой температуры приводит к разогреву проточной части цилиндра. При длительной подаче уплотняющего пара увеличивается относительное удлинение ротора низкого давления (РНД). В ряде случаев, особенно при задержке пуска, оно может превысить максимально допустимое (+6,0 мм) значение. Анализ пусков турбины показал, что относительное удлинение РНД иногда достигало +7,5 мм и более. Пуск турбины с таким относительным удлинением РНД может привести к ускоренному износу осевых уплотнений в ЦНД и снижению его экономичности. Это следует иметь в виду при разработке эксплуатационных инструкций по пуску теплофикационных турбин указанного типа.

Разворот и начальный прогрев турбины (до открытия отсечных клапанов ЦСД-1). Согласно инструкции после толчка ротора, прослушивания турбины на пониженной частоте вращения (500 об/мин) и последующего выхода на 800 об/мин такой режим выдерживается в течение 90 мин при пуске турбины из холодного состояния для прогрева ротора среднего давления (РСД).

Открытие отсечных клапанов ЦСД-1 и повышение частоты вращения ротора турбины вызвало незначительное изменение температур во всех обследуемых сечениях ЦНД. Наибольший их рост отмечался при повышении частоты вращения до номинальной. К началу этого этапа давление в

конденсаторе составляло около 20 кПа, а при выходе на холостой ход – около 15 кПа (время увеличения частоты вращения с 800 до 3000 об/мин не превышало 35 мин).

Из результатов измерений следует, что в выхлопном патрубке на холостом ходу в отдельных зонах каналов формируются обширные области обратных течений, поднимающих капельную влагу из переходного патрубка конденсатора. Особенно это характерно для задних каналов левой части (по ходу пара) выхлопного патрубка. Результаты по температурным полям в выхлопном патрубке ЦНД с более низкими температурами в его левой части необходимо учитывать при разработке схем размещения форсунок для подачи конденсата в систему охлаждения выхлопных патрубков с целью уменьшения количества выносимой из конденсатора эрозионно опасной влаги и, следовательно, эрозионных повреждений лопаточного аппарата последних ступеней ЦНД.

Уменьшение давления в конденсаторе турбины на холостом ходу. После выхода на холостой ход был включен в работу водоструйный эжектор. Это позволило в течение 10 мин снизить давление в конденсаторе с 15 до 5 кПа, что существенно повлияло на распределение температур по длине проточной части ЦНД; уменьшились температуры в измеряемых сечениях. Включение генератора в сеть с переходом ЦНД из режима потребления мощности в режим ее выработки сопровождалось снижением температур по всей длине проточной части.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили значительное влияние на поля распределения и уровни температур в проточной части ЦНД турбины Т-250/300-240 величины вакуума в конденсаторе [1, 2]. При этом при обеспечении давления в конденсаторе на этапе повышения частоты вращения ротора и на холостом ходу на уровне 5 – 7 кПа температурное состояние ЦНД не вызывает опасений [1, 2].

Литература

1. Куличихин, В.В. Исследование переменных режимов работы цилиндра низкого давления турбины Т-250/300-240 / В.В. Куличихин, В.В. Кудрявый, Б.В. Ломакин // Вестник МЭИ. Теплоэнергетика. Сводный том 1. – МЭИ, 1997. – С. 163 – 166.
2. Куличихин, В.В. Исследование переменных режимов работы ЦНД турбины типа Т-250/300-240 / В.В. Куличихин, В.В. Кудрявый, Б.В. Ломакин // Вестник МЭИ. 1994. – № 1. – С. 13 – 16.

УДК 621.165

**МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТУПЕНЕЙ ЧНД ТУРБИНЫ
В МЕСТАХ ОТБОРА ПАРА
STEAM TURBINE STAGE MODERNISATION IN FRONT
OF THE EXTRACTION POINT**

М.А. Ерёменко, К.С. Иванова

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

M. Yaromenka, K. Ivanova

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

***Аннотация:** в статье представлена модернизация ступени паровой турбины, расположенной перед местом отбора турбины. Модернизированная конструкция предназначена для лучшего управления потоком пара в этой области. В представленной конструкции используется специальное кольцо для отбора потока пара непосредственно в теплообменник. Проведенные эксперименты и численный анализ подтвердили измеримые эксплуатационные и экономические преимущества внедренной модернизации. До сих пор он успешно применялся в ряде турбин, работающих на западных электростанциях, но его использование может быть легко распространено, без необходимости дальнейшей модификации и без потери преимуществ.*

***Abstract:** the paper presents modernization of the steam turbine stage situated in front of the turbine extraction point. The modernized design is intended to better control the steam flow in this area. In the presented design a special ring is used to drive the steam leakage flow directly to the heat exchanger. The performed experiments and numerical analyses confirmed measurable exploitation and efficiency advantages of the introduced modernization. So far, it has been successfully applied in a number of turbines working in inland power plants, but its use can be easily extended, without need for further modification and without advantage loss.*

***Ключевые слова:** ступени турбины, утечки, место отбора, проточная часть турбины*

***Keywords:** turbine stages, leakages, extraction point, axial flow turbine.*

Введение

За многие годы эксплуатации паровых турбин, часть низкого давления подвержена множеству повреждений, а также большому количеству потерь на всем пути прохода пара через ЧНД. В данной работе приведен метод борьбы с этим процессом разработанный нашим западными коллегами.

Основная часть

По эксплуатационным соображениям в конструкции паровой турбины необходимо сохранить некоторые зазоры над лопатками ротора. Верхушка

потока утечки пара через зазоры имеет более высокую энергию и различное направление, по сравнению с основным потоком, являющимся источником потерь в этой части турбинного канала, вследствие образования вихревых зон, интенсивных процессов перемешивания и блокировка потока к регенеративным теплообменникам. Эти диссипативные процессы особенно интенсивны в последних ступенях ЧНД турбин, где скорость потока пара, выходящего из зазоров над незащищенными лопатками ротора, является околосвуковой. Этот эффект впервые наблюдался в экспериментальных исследованиях, проведенных на турбинах мощностью 200 МВт со ступенью Баумана

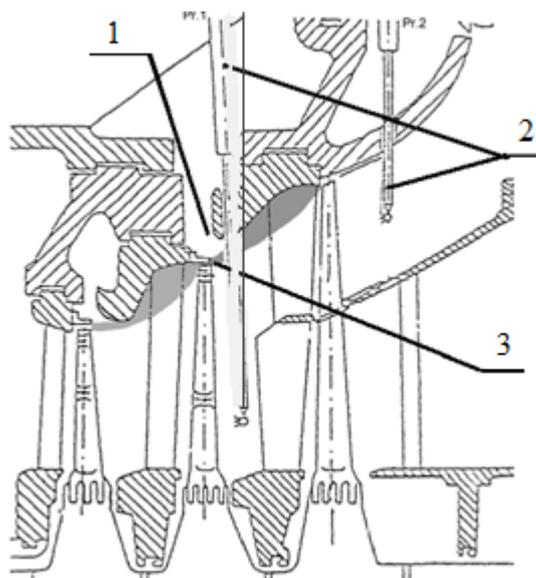


Рисунок 1 – Теплоизмерительное оборудование в ЧНД турбины мощностью 200 МВт со ступенью Баумана, 1-место отбора;2-пробоотборник;3-утечки

Запись температуры, давления, скорости стало возможным благодаря пластинчатым зондам, вставленным в проточную часть. По результатам, записанным на ступенях турбины до модернизации, была предложена, запатентована и практически применена новая, более эффективная конструкция ступени паровой турбины перед точкой регенеративного отбора [4, 5]. Авторы данной конструкции являются Андрей Гардзилевич и Станислав Марцинковский.

Идея новой конструкции показана на рисунке 2. Она заключается в установке кольца правильной формы в зоне зазора между вершинами лопастей ротора, без кожуха для направления потока утечки в камеру отбора. Как правило, преимущество наличия кольца заключается в устранении зоны завихрения в потоке, поскольку кольцо удаляет так называемую аэродинамическую завесу, создаваемую околосвуковым потоком пара в области зазора, см. рисунок 2.

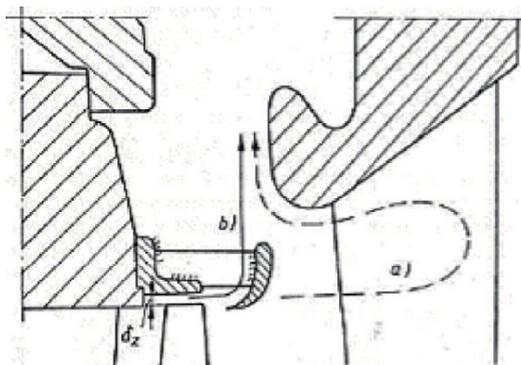


Рисунок 2 – Новая конструкция перед точкой извлечения

При установке кольца пропускная способность паровой ступени, расположенной за точкой отбора, значительно увеличивается за счет:

1. устранение смешивания пара утечки с основным потоком и направление пара утечки непосредственно в камеру отбора;
2. в результате использования высокоэнергетического потока утечки в экстракционной камере, возникает более высокая тепловая нагрузка первого (обычно недогретого) теплообменника для регенерации. Важно отметить, что массовый расход потока утечки эквивалентен расходу пара отбора.

Поскольку кольцо работает как сепаратор вторичных капель влаги, находящихся в потоке пара через эту часть турбины, из потока удаляется жидкая фаза.

В турбинах, где применялось это решение, результирующие выгоды оценивались как равные 400-800 кВт в зависимости от условий эксплуатации. За 2008-2015 годы новое решение было применено в семнадцати турбинах мощностью 200 МВт на следующих станциях Elcho power plant 220.00 МВт, Poznan Karolin power plant 275.00 МВт, Siekierki power plant 538.00 МВт, Wydgoszcz II power plant 227.00 МВт (Польша). Никаких эксплуатационных проблем не наблюдалось, см. рисунок 3.



Рисунок 3 – Вид кольца внутри проточной части турбины

Этап модернизации ЧНД турбины 225 МВт

По результатам изучения работы колец в ряде старых турбин мощностью 200 МВт было принято решение установить эти кольца также в ЧНД новых

турбин мощностью 225 МВт, модернизированных в Польше в 2008 году, в зоне диффузора между двумя последними ступенями. Одним из основных мотивов такого решения явились интенсивные повреждения концевых участков передней кромки лопатки ротора в ступенях, расположенных непосредственно за диффузором, которые наблюдались при осмотре этой части турбины, см. рисунок 4. Предполагалось, что эти повреждения в основном вызваны достаточно большими каплями влаги, переносимыми потоком пара, которые не распадались в зоне скопления. Дополнительные несерьезные повреждения, замеченные в оставшейся части передних кромок. Судя по всему, были вызваны более мелкими каплями, разбрызгиваемыми потоком утечки. Наибольшую угрозу для работы турбины представляли эрозионные дефекты, расположенные в зоне лопатки за пределами зоны упрочнения. Капли воды, которые достигали этой области, были очень кислыми ($pH < 5$) и являлись возможным источником опасных трещин в зоне эрозии.



Рисунок 4 – Характер повреждений передней кромки, наблюдаемых в системе лопаток ротора последней ступени турбины мощностью 225 МВт

Чтобы устранить эти неблагоприятные явления, было принято решение модернизировать турбину мощностью 225 МВт, а именно, установить кольцо в проточную часть ЧНД. Конструкция кольца была разработана в результате анализа экспериментальных данных, записанных в реальной паровой турбине компании Alstom. Принципиальная схема размещения измерительных щупов, установленных в этой турбине, приведена на рисунке 5. Как и в более старых конструкциях, проведенные измерения выявили наличие струйного потока, выходящего из концов незащищенных лопаток ротора в предпоследней ступени. Эта струя затем вмешивалась в структуру потока, блокируя поступление пара в регенеративную систему. Наличие и действие этого струйного потока и засорения перед кольцевой установкой подтверждались также отложениями солей, наблюдавшимися на поверхностях лопаток статора последней ступени в проверенных реальных турбинах.

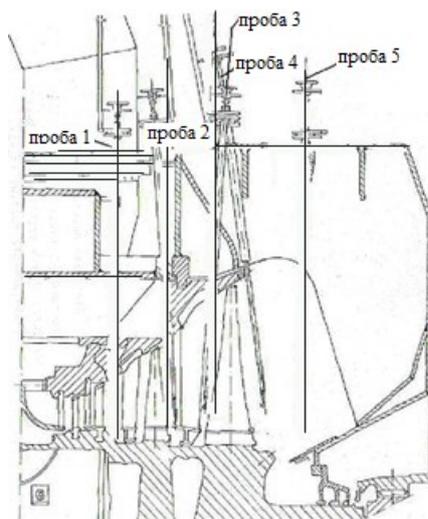


Рисунок 5 – Размещение измерительных зондов в нижней части турбины мощностью 225 МВт

Результаты экспериментальных измерений потока через эту часть турбины были сопоставлены с результатами, полученными при численных расчетах методами-CFD (Вычислительная гидродинамика). Область расчета включала две последние ступени ЧНД турбины и межступенчатый диффузор с расположенной между ними точкой отбора. Были подготовлены два варианта геометрии турбины, которые отличались наличием или отсутствием кольца. Расчеты проводились с использованием модели течения сжимаемой и вязкой жидкости, дополненной двумерной моделью турбулентности $k-\omega$.

Термодинамическое состояние пара моделировалось уравнениями, справедливыми для идеального газа. Термодинамические константы, определенные для условий, соответствующих потоку влажного пара, были равны: $R = 437,5$ Дж/кг и $k = 1,13$.

Расчеты расхода через межступенчатый диффузор позволили определить изменение давления в камере отбора, которое было вызвано направлением в нее высокоэнергетического потока утечки из точки отбора. Эта энергия потока утечки может быть использована в регенеративном теплообменнике.

Полученные результаты исследований показали, что применение кольца способствует устранению эффектов завихрения, смешивания и течения. Также по полученным данным было уточнено место расположения кольца для получения наиболее оптимальной картины течения потока, например, когда кольцо располагалось слишком высоко, оно не устраняло закупорку, а делило поток на две части. Оно также не отделяло капли воды, собирающиеся за предпоследней ступенью. С другой стороны, когда кольцо было слишком низко, оно увеличивало зону завихрения в аэродинамическом следе в потоке и неблагоприятно снижало давление в камере отбора. Когда кольцо было слишком коротким, оно быстро останавливало поток утечки на ограничительной стенке, что было источником потерь энергии и возможной эрозии захвата статора. А когда оно было слишком длинным, то нежелательно усиливало завихрения в камере отбора.

Численный анализ подтвердил повышение эффективности после модернизации. В этом случае эффективность последней ступени увеличилась примерно на 1%, при условии, что КПД на остальных ступенях не изменились. Такое повышение КПД произошло в основном за счет более равномерного распределения скоростей на входе в лопаточную систему статора последней ступени после модернизации. Эти выигрыши могут показаться незначительными, но, если учесть, что номинальная мощность последних ступеней в двух частях низкого давления турбины превышает 20 МВт, то это является достаточно существенным повышением эффективности.

Полученные результаты, относящиеся как к изменению КПД, так и к изменению давления в камере отбора, были использованы для расчета выигрыша от применяемой модернизации, исходя из баланса теплового цикла всей турбины. Принятая модернизация была тщательно проанализирована в силовом и динамическом аспектах. Конструкция кольца получилась безопасной и надежной. Выполненные расчеты учитывали различные условия эксплуатации, в том числе пуски и остановки.

Технология изготовления и сборки была тщательно разработана с учетом специфических условий эксплуатации паровой турбины. Кольцо, установленное в турбине, показано на рисунке 6. Визуальные осмотры, проведенные после двух лет эксплуатации турбины с установленными кольцами, не выявили увеличения величины эрозионного износа рабочих лопаток последней ступени.

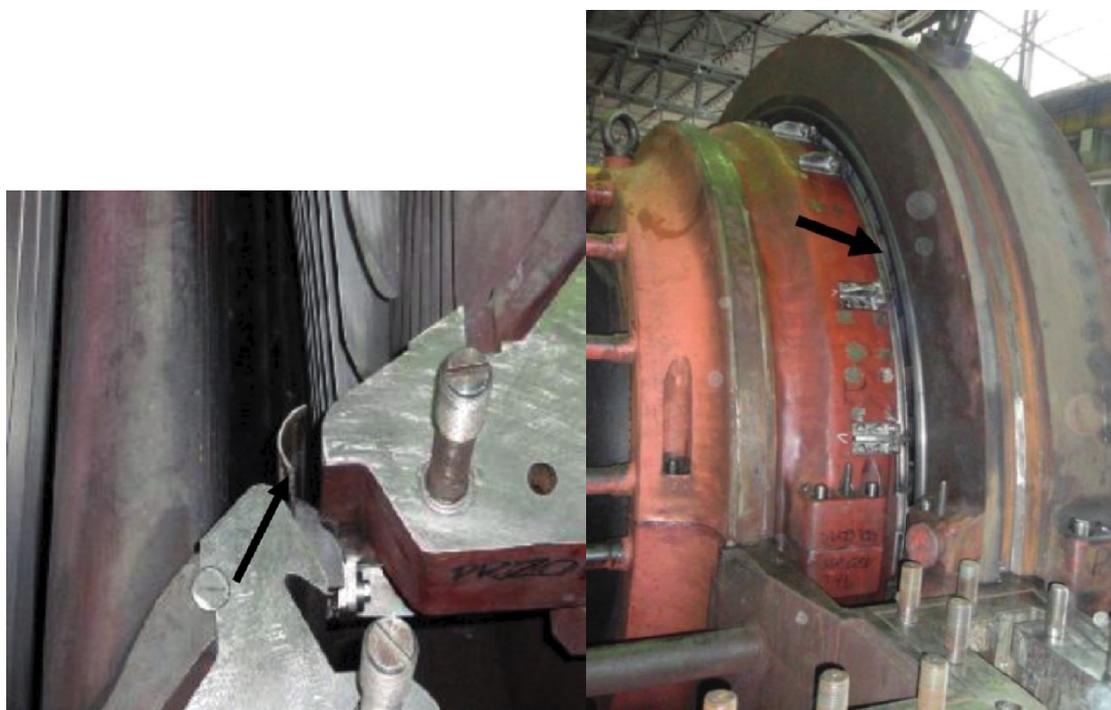


Рисунок 6 – Фотографии кольца, установленного на захватах статора в турбине мощностью 225 МВт

Заключение

1. Модернизация ступени перед точкой отбора в ЧНД, позволит получить прирост мощности, который будет превышать 400 кВт, что позволит снизить

удельную теплоемкость на 10-15 кДж/кВт·ч. Данный результат может быть получен при более высокой нагрузке на теплообменник и повышении эффективности потока на последней ступени.

2. Кольцо в диффузоре между двумя последними ступенями исключает выделение капель воды в этой части, так как кольцо работает как эжектор, и устраняет утечку пара. Это уменьшает повреждения последних кромок лопаток статора последней ступени.

3. Новая конструкция по результатам оценки более безопасна в эксплуатации и легка в сборке. Кольца должны быть точно закреплены в турбине относительно статора, учитывая не только допуски на обработку, но также относительные перемещения подвижных и неподвижных частей турбины во время пусков и остановов турбины.

4. Окончательное подтверждение полученного эффекта основывается на более точных термодинамических измерениях и более предметном исследовании поверхностей лопаток ротора ЧНД для оценки степени снижения воздействия эрозийных процессов.

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, pp. 349-358.

2. Gardzilewicz A, 1995 Analysis of Regenerative Extractions of Turbine Based on Thermal Measurements in Power Plants, VDI Berichte 1186, 1995 Erlangen, pp. 427-443, 8.

3. Шиманяк М. Гардзилечик А. Пащенко Н.В. Нагорный И.Ю. Анализ структуры парового потока в области отбора цилиндра низкого давления паровой турбины мощностью 225 МВт с модернизированной проточной частью, 2016.

4. Gardzilewicz A and Marcinkowski S, 1997 Stage of steam Turbine, Patent No 160-805, Warsaw, Poland (in Polish).

5. 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), pp. 73-78, (in Polish).

УДК 621.311

**НЕЙТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ОБНАРУЖЕНИЕ
НЕЙТРОНОВ
NEUTRON CONVERTER – NEUTRON DETECTION**

А.В. Лесун, В.В. Якимцова

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

С.И. Ракевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, rakevich95@tut.by

A. Lesun, V. Yakimtsova

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, S. Rakevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются нейтронный преобразователь и обнаружение нейтронов. Так же в статье описаны методы обнаружения нейтронов, типы взаимодействия нейтронов с веществом. Вдобавок приводится пример прибора для нахождения нейтронов.*

***Abstract:** This article discusses the neutron converter and neutron search. The article also describes methods for detecting neutrons, the types of interaction of neutrons with matter. In addition, an example of an instrument for searching for neutrons is given.*

***Ключевые слова:** преобразователь, нейтроны, обнаружение, детекторы, ионизация.*

***Keywords:** converter, neutrons, finding, detectors, ionization.*

Введение

Нейтроны имеют массу, но без электрического заряда. Из-за этого они не могут напрямую создавать ионизацию в детекторе, и поэтому не могут быть напрямую обнаружены. Это означает, что нейтронные детекторы должны полагаться на процесс преобразования, когда нейтрон инцидент взаимодействует с ядром для получения вторичной заряженной частицы. Эти заряженные частицы затем напрямую обнаруживаются и из них выводится наличие нейтронов.

Основная часть

Для этого доступны два основных типа взаимодействия нейтронов с веществом:

Упругое рассеяние. Свободный нейтрон может рассеиваться ядром, передавая ему часть своей кинетической энергии [1]. Если у нейтрона достаточно энергии, чтобы рассеяться от ядер, то отскакивающее ядро ионизирует материал, окружающий преобразователь. На самом деле только ядра водорода и гелия достаточно легки для практического применения. Заряд, полученный таким образом, может быть собран обычным детектором для получения обнаруженного сигнала. Нейтроны могут передавать больше энергии легким ядрам. Этот метод подходит для обнаружения быстрых

нейтронов (быстрые нейтроны не имеют высокого сечения поглощения), позволяя обнаруживать быстрые нейтроны без замедлителя.

Поглощение нейтронов. Это распространенный метод, позволяющий обнаруживать нейтроны всего энергетического спектра, основанный на различных реакциях поглощения, захват излучения, деление ядер, реакции перегруппировки. Нейтрон здесь поглощается материалом мишени, преобразователем, испускающим вторичные частицы, такие как протоны, альфа-частицы, бета-частицы, фотоны (гамма-лучи) или фрагменты деления. Некоторые реакции являются пороговыми, требующими минимальной энергии нейтронов, но большинство реакций происходит при эпитептермальной и тепловой энергиях. Это означает, что требуется умеренность быстрых нейтронов, что приводит к плохой энергетической информации нейтронов. Наиболее распространенными ядрами для материала нейтронного преобразователя являются:

$^{10}\text{B}(n, \alpha)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 3820$ барнов, а природный бор имеет обилие ^{10}B 19,8%.

$^3\text{He}(n, p)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 5350$ барн, а природный гелий имеет обилие ^3He 0,014%.

$^6\text{Li}(n, \alpha)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 925$ барн, а природный литий имеет обилие ^6Li 7,4%.

$^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 20820$ барн, а природный кадмий имеет обилие ^{113}Cd 12,2%.

$^{235}\text{U}(n, \text{деление})$. Где поперечное сечение деления тепловых нейтронов составляет $\sigma = 585$ барн, а природный уран имеет обилие ^{235}U 0,711%. Уран как преобразователь производит осколки деления, которые являются тяжелыми заряженными частицами. Это имеет существенное преимущество. Тяжелые заряженные частицы создают высокий выходной сигнал, поскольку осколки осаждают большое количество энергии в чувствительном объеме детектора. Это позволяет легко различать фоновое излучение. Эта важная особенность может быть использована, например, при измерении мощности ядерного реактора, где нейтронное поле сопровождается значительным гамма-фоном.

Обнаружение нейтронов очень специфично, так как нейтроны являются электрически нейтральными частицами, поэтому они в основном подвержены сильным ядерным силам, но не электрическим силам. Поэтому нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет обнаружить. Как правило, каждый тип детектора нейтронов должен быть оснащен преобразователем (для преобразования нейтронного излучения в обычное обнаруживаемое излучение) и одним из обычных детекторов излучения (сцинтилляционный детектор, газовый детектор, полупроводниковый детектор и т.д.) [2].

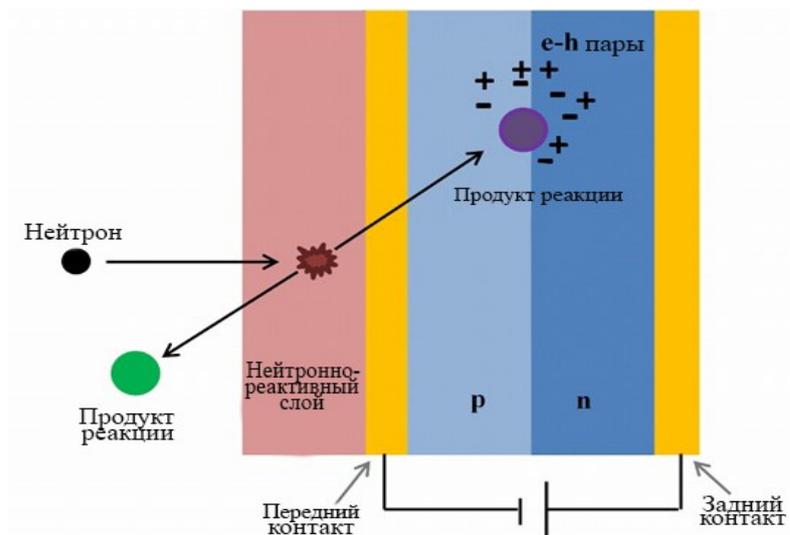


Рисунок 1 – Конструкция устройства и принципиальная схема работы планарного преобразовательного слоя p-n-перехода детектора тепловых нейтронов

Камеры деления – ионизационные детекторы, используемые для обнаружения нейтронов. Камеры деления могут использоваться в качестве детекторов промежуточного диапазона для контроля потока нейтронов на уровне промежуточного потока. Они также обеспечивают индикацию, сигналы тревоги и сигналы отключения реактора. Конструкция этого прибора выбрана таким образом, чтобы обеспечить перекрытие между каналами диапазона источника и полным диапазоном диапазона мощности приборов.

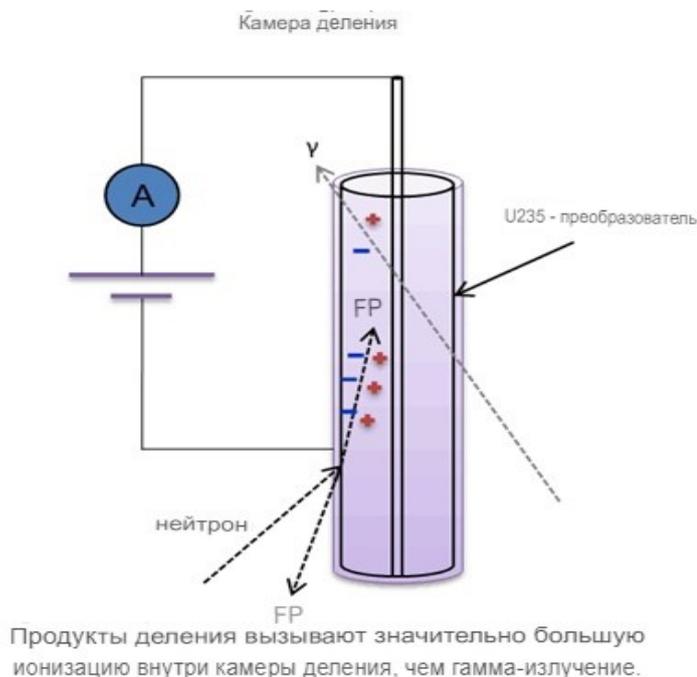


Рисунок 2 – Камера деления

В случае камер деления камера покрыта тонким слоем высокообогащенного урана-235 для обнаружения нейтронов. Нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет

обнаружить. Тепловой нейтрон приведет к делению атома урана-235, причем два полученных фрагмента деления будут обладать высокой кинетической энергией и вызывать ионизацию газа аргона внутри детектора. Одним из преимуществ использования покрытия урана-235 вместо бора-10 является то, что осколки деления имеют гораздо более высокую энергию, чем альфа-частица из реакции бора. Поэтому камеры деления очень чувствительны к потоку нейтронов, и это позволяет камерам деления работать в более высоких гамма-полях, чем некомпенсированная ионная камера с боровой футеровкой [3].

Наиболее важным типом детекторов для быстрых нейтронов являются те, которые непосредственно обнаруживают частицы отдачи, в частности протоны отдачи, возникающие в результате упругого (n, p) рассеяния. На самом деле только ядра водорода и гелия достаточно легки для практического применения. В последнем случае частицы отдачи обнаруживаются в детекторе. Нейтроны могут передавать больше энергии легким ядрам. Этот метод подходит для обнаружения быстрых нейтронов, позволяя обнаруживать быстрые нейтроны без замедлителя. Метод позволяет измерять энергию нейтрона вместе с флюенсом нейтронов, то есть детектор может быть использован в качестве спектрометра. Типичными детекторами быстрых нейтронов являются жидкие сцинтилляторы, детекторы благородных газов на основе гелия-4 и пластиковые детекторы (сцинтилляторы). Например, пластик имеет высокое содержание водорода, поэтому он полезен для детекторов быстрых нейтронов, когда используется в качестве сцинтиллятора.

Заключение

В ходе данной исследовательской работы, можно сделать вывод, что обнаружение нейтронов очень специфично – нейтроны являются электрически нейтральными частицами. В основном подвержены сильным ядерным силам. Поэтому нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет обнаружить.

Литература

1. Нейтронный преобразователь [Электронный ресурс] / нейтронный преобразователь. – Режим доступа: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/fundamental-particles/neutron/detection-neutrons/neutron-converter-how-neutrons-can-be-detected/>. – Дата доступа: 24.03.2021.
2. Нейтронный преобразователь [Электронный ресурс] / нейтронный преобразователь. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_detection#:~:text=Elastic%20scattering%20reactions%20detected/. – Дата доступа: 24.03.2021.
3. Обнаружение нейтронов [Электронный ресурс] / обнаружение нейтронов. – Режим доступа: <https://www.mirion.com/learning-center/nuclear-measurement-fundamental-principles/nuclear-measurement-fundamental-principle-neutron-detection-and-counting/>. – Дата доступа: 24.03.2021.

УДК 621.175.3

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН НА ТЭС
APPLICATION OF FAN COOLERS AT TPP

Д.А. Миронюк, М.А. Лебедев

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

В.А. Романко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, vivja@mail.ru

D. Mironyuk, M. Lebedev

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, V. Romanko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в работе рассмотрены особенности конструкции и эксплуатации вентиляторных градирен на примере градирен ГРД-М, проанализированы их достоинства и недостатки, а также актуальность применения в Республике Беларусь.

Abstract: the article considers the design and operation features of ventilator cooling towers using the example of GRD-M cooling towers, analyzes their advantages and disadvantages, as well as the relevance of their application in the Republic of Belarus.

Ключевые слова: вентиляторная градирня, охлаждение, схема технического водоснабжения, воздухозаборные устройства, опросители.

Keywords: fan cooling tower, cooling, technical water supply scheme, air intake devices, sprinklers.

Введение

Основным теплоносителем на тепловых электрических станциях Республики Беларусь является вода. Она также используется для охлаждения разнообразных веществ, узлов установок, сжатого воздуха и оборудования в целях предохранения его от разрушения под влиянием высоких температур, для конденсации теплоносителя в конденсаторе турбины, для отвода теплоты от масла в маслоохладителях. В процессе конденсации пара его тепло передается воде, которая, в свою очередь, нагревается. Для эффективной работы тепловой электростанции (ТЭС) необходимо либо осуществить подвод нового холодного потока воды, либо охладить только что нагретый. Эти два принципиально разных подхода определяют деление существующих схем водоснабжения ТЭС на два типа: прямоточную и оборотную.

Прямоточное водоснабжение предполагает однократное использование потока воды: после ее использования на станции она сбрасывается обратно в источник забора (например, в реку).

Оборотное водоснабжение, наоборот, предполагает многократное использование одного и того же потока охлаждающей воды в технологическом процессе. Применение оборотного водоснабжения вместо прямоточного

позволяет существенно уменьшить расход природной воды и тепловое загрязнение окружающей среды.

Основными техническими средствами, применяемыми при оборотной схеме, являются пруды-охладители, брызгальные бассейны, градирни. Для промышленных зон, которым необходимо обеспечить стабильное охлаждение потока технической воды в условиях ограниченной площади, применение градирен – это практически единственный перспективный метод рассеивания низкопотенциальной тепловой энергии в атмосферу.

Вентиляторные градирни особенно актуальны в случаях, если у электростанции ограниченная площадь размещения или требуется получить более низкую температуру охлаждающей воды.

С вводом в эксплуатацию БелАЭС и необходимостью увеличить энергопотребление, особенно в ночное время, вентиляторные градирни становятся особенно актуальны.

Основная часть Конструкция градирни

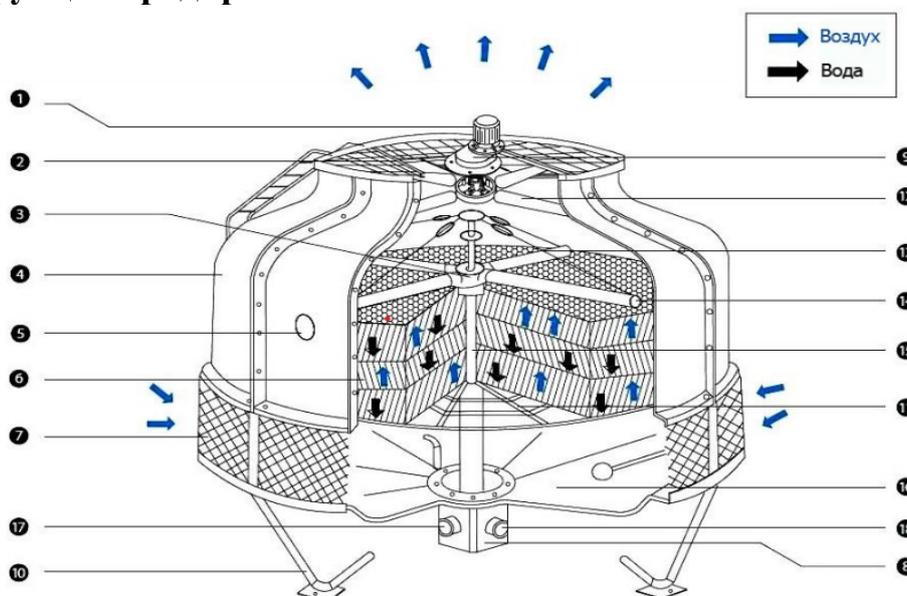


Рисунок 1 – Конструкция вентиляторной градирни [1]

Основные элементы вентиляторных градирен представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные элементы вентиляторных градирен

№	Наименование	Материал	№	Наименование	Материал
1	Двигатель		10	Опора градирни	Стеклопластик (ГРД-2М~235М)
					Горячеоц. сталь (ГРД-275М~1200М)
2	Опора двигателя	Горячеоцинкованная сталь	11	Опора оросителя	Горячеоцинкованная сталь

№	Наименование	Материал	№	Наименование	Материал
3	Оросительная головка	АБС - пластик/ Алюминиевый сплав	12	Вентилятор	АБС - пластик/ Стеклопластик/ Алюм. сплав
4	Корпус	Стеклопластик	13	Натяжное устройство	Горячеоцинкованная сталь
5	Смотровое отверстие	ПВХ	14	Распределительные трубы	ПВХ
6	Ороситель	ПВХ	15	Напорная труба	ПВХ
7	Воздухозаборная сетка	ПВХ	16	Резервуар для воды	Стеклопластик
8	Сливной поддон (ГРД-175М~1200М)	Стеклопластик	17	Входной патрубок	Стеклопластик/ Алюм. сплав
9	Прямой привод (ГРД-2М~150М)		18	Выходной патрубок	Стеклопластик/ Алюм. сплав
	Редуктор (ГРД-175М~1200М)				

Корпус градирни

Корпус градирни изготавливается из стеклопластика, который изготавливается путем укладки стекловолокна слоями и формовки слоев с помощью смол. Стеклопластик, состоит из стекловолокна, которое обладает высокой прочностью на разрыв и имеет конструкционную прочностью достаточную для того чтобы выдержать высокие скорости ветра, толчки и вибрации. Все повреждения есть возможность устранить во время текущего ремонта [1].

Для защиты от ультрафиолетового излучения (УФ) пластиковых поверхностей их покрывают специальным смоляным раствором со специальными ингибиторами, защищающими конструктивную целостность корпуса и резервуара для воды. Градирня снаружи имеет привлекательный вид, и при этом ее корпус остается прочным, коррозионностойким, надежным и долговечным, не требует дополнительной обработки.

Устройство градирни

Градирня имеет полугиперболическую цилиндрическую форму и противоточную конструкцию с осевым вентилятором, расположенным горизонтально в верхней части градирни там же, где и выпуск воздуха. Благодаря цилиндрической форме градирня становится более устойчивой, меньше подверженной влиянию ветра, отпадает необходимость жестко привязываться к учету его преобладающего направления. А полугиперболическая форма и организация противотока значительно увеличивают естественные конвективные потоки воздуха, вызванные разницей плотностей воздуха, что увеличивает естественное охлаждение и позволяет снизить мощность двигателя.

Резервуар для воды

Резервуар для воды в форме чаши, как и корпус градирни, изготовлен из стеклопластика. Большие модели градирен имеют небольшой слив в поддон. Такая конструкция позволяет градирне работать при минимальных объемах воды в поддоне и защищает от попадания воздуха в систему. Для облегчения чистки системы предусмотрено наличие дренажа. Все трубные соединения расположены у слива в поддон для удобства монтажа.

У моделей градирен ГРД-6М~20М корпус и резервуар для воды изготовлены из готового листового формовочного материала. Такой материал намного прочнее материала ручной укладки.

Опоры градирни

Опоры градирен моделей ГРД-2М~235М изготовлены из жесткого химически стойкого стеклопластика (для моделей ГРД-135М~235М возможно изготовление стальных опор). У моделей градирен ГРД-275М~1200М эти опоры изготовлены из горячеоцинкованной трубы.

Воздухозаборная сетка (жалюзи)

Назначением воздухозаборной сетки является предотвращение проникновения посторонних предметов внутрь градирни. Однако ее конструкция не должна создавать значительного сопротивления по воздуху. Также она предназначена для уменьшения потерь воды. Кроме воздухозаборных сеток могут быть использованы воздухозаборник с жалюзи. Жалюзи разрабатываются для холодных климатических регионов, в которых трудно обеспечить нормальную работу при значительных низких температурах наружного воздуха.

Конструктивное исполнение воздухозаборных устройств с сеткой и с жалюзи показано на рисунке 2.

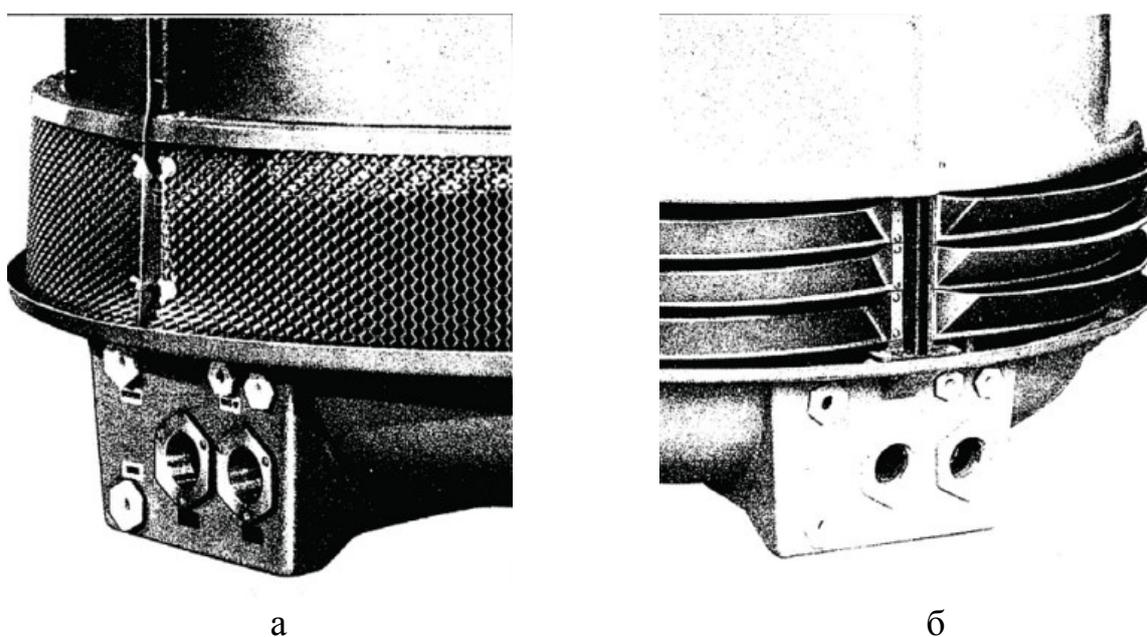


Рисунок 2 – Типы конструкций воздухозаборных устройств: а) воздухозаборник с сеткой;
б) воздухозаборник с жалюзи

Ороситель

В градирнях типа ГРД-М применяются сотовые оросители, изготовленные путем вакуумного формования. Их эффективность выше, чем у оросителей, получаемых методом горячего прессования (этот метод изготовления оросителей чаще всего применяется в цилиндрических градирнях). Повышение эффективности достигается благодаря тому, что теплообменная способность оросителя, полученного путем вакуумного формования выше в среднем на 30%. После склеивания такой ороситель меньше подвержен изменению формы, сохраняет ее в устойчивом, неизменном состоянии, что и обеспечивает повышенную эффективность [1].

Система подачи воды и водораспределительная система

Трубопроводная система градирни сконструирована так, чтобы упростить задачу монтажному, ремонтному и обслуживающему персоналу, сократить число внешних трубопроводов. Охлаждаемая вода через входной патрубок поступает в градирню, проходит через внутренний стояк горячей воды, попадает на оросительную головку, а затем поступает в распределительные трубы, подающие воду на поверхность оросителя.

Внешний корпус вращающейся головки моделей ГРД-2М~50М изготовлен из пластика высокой прочности, в то время как скользящие детали являются металлическими. Смазка скользящих деталей обеспечивает сама вода.

У моделей градирен ГРД-65М~1200М в устройство вращающейся головки входят герметичные подшипники как для секции осевой, так и для секции радиальной нагрузки. Это обеспечивает непрерывное плавное вращение, как при возрастании напора циркуляционной воды, так и при увеличении нагрузки. Конструкция вращающейся головки обеспечивает её лёгкое обслуживание и ремонт.

При проектировании оросительной головки наряду с удобством в обслуживании особое внимание было уделено её коррозионной и абразивной устойчивости.

Сливной патрубок

Для моделей градирен ГРД-24М~100М диаметр сливного патрубка увеличен с 25,4 мм до 50,8 мм, чтобы время полного слива воды из резервуара составило четверть того времени, что потребовалось бы при диаметре сливного патрубка в 25,4 мм. Это значительно упрощает обслуживание градирни благодаря экономии времени.

Дополнительное сливное отверстие

Для моделей градирен ГРД-6М~235М в конструкцию резервуара для воды в самой нижней точке ведено дополнительное сливное отверстие. После работ по очистке резервуара грязная вода может быть полностью слита через это отверстие. Это значительно упрощает обслуживание градирни, позволяя избавиться от грязной воды, уровень которой ниже уровня сливного патрубка.

Пуск градирни

Перед пуском градирни необходимо проверить работу насосов, обслуживающих градирню, их моментальным пуском. В тот момент, когда вращательно движение стабилизируется, необходимо сбалансировать подачу

воды с помощью нагнетательного клапана насоса. После установления стабильного расхода воды, проконтролировать вращение оросительной головки и нормальную частоту вращения [2].

Проконтролировать отсутствие посторонних предметов в воздухозаборных и выходных устройствах градирни. Задать с помощью термостата вентилятора необходимую температуру и убедиться, что он работает нормально. После запуска вентилятора сила тока должна находиться в диапазоне номинальных значений. Проконтролировать вращение вентилятора, убедиться, что ему ничего не препятствует. Не допускается эксплуатация вентилятора, если есть вероятность того, что снег, лед или другие помехи нарушат его нормальную работу.

На работу градирни влияет величина расхода охлаждаемой воды. Стоит уделить особое внимание поддержанию требуемого расхода воды во время эксплуатации градирни. Контроль расхода воды осуществляется по водомерному узлу в системе.

Внутренние части градирни должны содержаться в чистоте для обеспечения её бесперебойной работы. Для районов с низким качеством воды рекомендуется установка системы водоочистки (фильтрация и водоподготовка).

Заключение

На сегодняшний день вентиляторные градирни находят свое применение в условиях малой площади для ее размещения или необходимости стабильного поддрержания температуры охлаждающей воды. Современные вентиляторные градирни изготавливаются огнестойкими, прочными и долговечными, выдерживать ветер, толчки, вибрации. В условиях пуска энергоблоков Белорусской АЭС внедрение вентиляторных градирен представляется особенно актуальным.

Литература

1. Компактная вентиляторная градирня ГРД-М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mosregionvent.ru/grd>. – Дата доступа: 03.04.2021.
2. Тепломаш ГРД-630М [14/49] Подготовка к пуску [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcgrp.ru/files/viewer/147484/14>. – Дата доступа: 03.04.2021.

УДК 621.1854.89

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ В СОВРЕМЕННОЙ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**
**APPLICATION OF THE SUPERHEATERS IN MODERN HEAT POWER
ENGINEERING**

Е.А. Савенко, С.Е. Маркевич, А.Д. Яковенко, П.А. Болбас
Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

E. Savenko, S. Markevich, A. Jakovenko, P. Bolbas
Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Пароперегреватель представляет собой теплообменник змеевикового типа, который используется для производства перегретого пара или для преобразования влажного пара в сухой пар, вырабатываемый котлом. Строение пароперегревателя парового котла – это множество металлических змеевиков, сделанных из труб небольшого диаметра. Пароперегреватели подразделяются на: радиационные, конвективные и комбинированные.*

***Abstract:** The superheater is a coil-type heat exchanger that is used to produce superheated steam or to convert wet steam into dry steam produced by a boiler. The structure of a steam boiler superheater is a set of metal coils made of small diameter pipes. Superheaters are subdivided into: radiation, convective and combined.*

***Ключевые слова:** пароперегреватель, теплообменник, котёл, змеевики, коллектор.*

***Keywords:** superheater, exchanger, boiler, coil, collector.*

Введение

Пар широко используется во всех отраслях промышленности из-за его характеристик теплопередачи. Это один из самых эффективных и безопасных методов передачи энергии на различные расстояния [1].

Перегретый пар в основном используется в тех случаях, когда давление пара может быть ограничено. Более низкая плотность перегретого пара обеспечивает более высокий КПД в двигательных установках, таких как турбина или поршневой поршень.

Пароперегреватель (конструкция представлена на рисунке 1) представляет собой теплообменник змеевикового типа, который используется для производства перегретого пара или для преобразования влажного пара в сухой пар, вырабатываемый котлом.

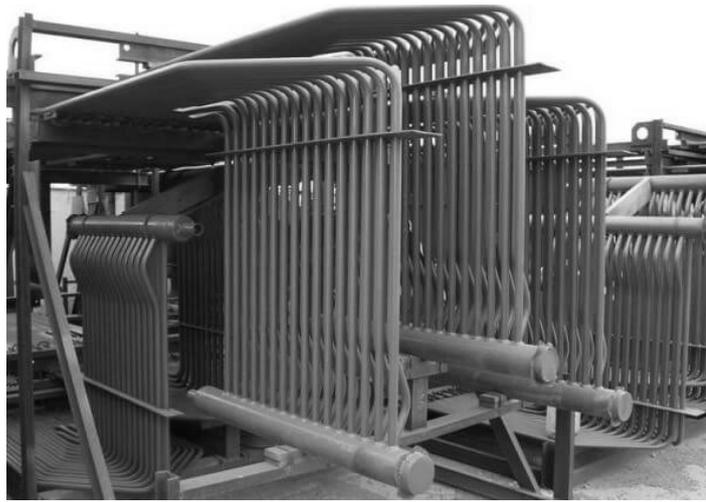


Рисунок 1 – Конструкция пароперегревателя

Основная часть

Пароперегреватели используются там, где в технологическом процессе, либо в таких паровых машинах, таких как турбины, требуется только сухой пар. Любое содержание влаги в таких случаях приводит к разрушению или коррозии агрегата, тем самым влияя на его средний срок службы. Таким образом, пароперегреватель преобразует пар низкого качества в пар высокого качества для конечных пользователей.

Иногда перегреватель также необходим, когда нужно транспортировать пар в отдаленные места, так как при его транспортировке могут возникать некоторые потери температуры.

Пароперегреватели могут использоваться в паровых двигателях, где необходим абсолютно сухой пар для предотвращения износа деталей двигателя.

В случае водотрубных котлов горячие газы будут обеспечивать необходимую температуру для производства перегретого пара, а перегреватель может быть дополнительной частью площади топки. В других случаях может потребоваться отдельный перегреватель, поскольку газы, производимые газовой турбиной, относительно холодные.

Прибор размещается в дымоходе либо топке котла. Строение пароперегревателя парового котла – это множество металлических змеевиков, сделанных из труб небольшого диаметра. Концы катушек объединены коллекторами. Пар поступает в змеевики и выходит через соединительные коллекторы.

Прибор в дымоходе размещается так, чтобы продукты сгорания обтекали его внешние поверхности. Коллекторы представляют собой изделия круглой или прямоугольной формы из углеродистой стали.

Они существуют двух типов: сварные и цельнометаллические.

Для эффективной работы пароперегреватель требует плотного соединения змеевиков с коллекторами. При этом необходимо исключить попадание пара в дымоход. Для получения воздухонепроницаемого соединения концы катушек увеличиваются изнутри коллектора. С этой целью на противоположной стене изготавливают специализированные люки. В зависимости от мощности котла,

строение пароперегревателя может представлять собой набор стальных змеевиков, расположенных в несколько рядов.

Данное решение требует производства значительного числа отверстий с целью крепления труб в коллекторе, что негативно влияет на его прочностные характеристики. Для этого устанавливаются дополнительные коллекторы. Змеевики могут размещаться в горизонтальной плоскости, при использовании котельного оборудования, работающего на топливе, производящем незначительное количество золы [2].

В других вариантах паровые трубы устанавливают в вертикальном положении. Горизонтальное размещение змеевика перегревателя упрощает сливание воды при остановленном котле. От типа пробора коридоры между трубами могут забиваться шлаками. Отчистка отверстий для перемещения выхлопных газов представляет определённые трудности. Для этого конструкции, образующие ограниченные проходы, размещаются на значительном расстоянии друг от друга. Их соединение осуществляется таким образом, чтобы гарантировать свободное перемещение труб с целью прохождения пара при их термическом расширении. Для производства подвесок применяется металл, устойчивый к высоким температурам.

Радиационный пароперегреватель расположен рядом с печью, где он получает большую часть тепла за счет излучения дымовых газов после сжигания топлива. Радиационный пароперегреватель поглощает тепло за счет прямого излучения печи и обычно располагается в верхней части печи. В некоторых более старых конструкциях трубы перегревателя являются частью стенки печи и получают практически все тепло излучения, лучистый перегреватель имеет падающие характеристики: температура пара падает по мере увеличения потока пара.

В обычном пароперегревателе конвекционного типа используются два коллектора, в которые наматываются или свариваются бесшовные трубы. Коллекторы разделены перегородками, так что пар проходит вперед и назад через соединительные трубы, которые переносят пропорциональное количество пара, пар конвекционный пароперегреватель поглощает тепло в основном за счет потока горячего газа вокруг труб. Чисто конвекционный пароперегреватель имеет повышенные температурные характеристики пара. Массовый расход и температура газа, поступающего в зону перегревателя, а также поток пара из котла увеличиваются с увеличением мощности горения. Эти изменения температуры создают большую разницу средних температур между газом и паром, и это вместе с более высоким массовым расходом газа вызывает повышенную скорость поглощения тепла, что приводит к повышению температуры пара.

Комбинированный пароперегреватель – комбинация характеристик падающей температуры пара лучистого пароперегревателя вместе с возрастающими характеристиками конвекционного перегревателя используется в большинстве установок с целью поддержания постоянной температуры пара. Его преимущество заключается в обеспечении постоянной температуры пара в очень широком диапазоне нагрузки.

При работе пароперегревателя наружная поверхность змеевиков обмывается отработавшими газами, проходящий среди трубок. Пар струится в середине змеевика. Температура среды внутри труб может отличаться от распределения пара по отношению перемещения продуктов сгорания. Наиболее большой температурный показатель рассматривается в пароперегревателях с противотоком паровой среды.

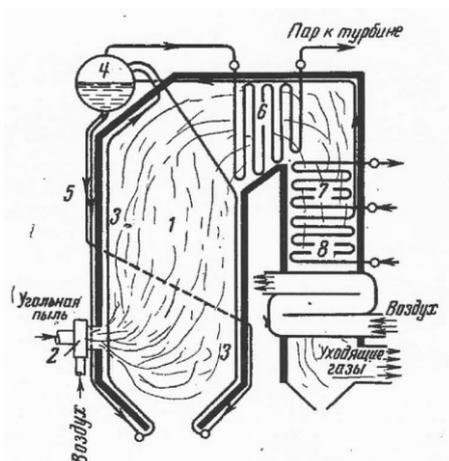


Рисунок 2 – Схема работы пароперегревателя

В зависимости от типа устройства, пароперегреватель может быть установлен как в непосредственной близости от камеры накопления перегретого пара, так и в топке. Для удержания скорости движения пара за исключением зависимости от изгиба трубы изделие устанавливается с наклоном в сторону выходного коллектора. Для повышения коэффициента теплоотдачи на стенах топки устанавливают устройства радиационного типа.

Заклучение

Пароперегреватели предназначены для перегрева насыщенного пара, поступающего из испарительной системы котла, а в установках высокого давления они применяются также для дополнительного вторичного перегрева пара, частично отработавшего в цилиндре высокого давления турбины. Пароперегреватель является одним из основных теплоиспользующих элементов котла и работает в наиболее тяжелых условиях.

С повышением параметров пара роль и значение пароперегревателя возрастают. Он выполняет важную функцию, так как благодаря нему можно увеличить КПД паровой установки, а также сократить денежные расходы компании.

Литература

1. Пароперегреватели. Устройство пароперегревателей [Электронный ресурс]/ пароперегреватели. – Режим доступа: <https://mechanicinfo.ru/paroperegrevateli-ustrojstvo-paroperegrevatelej/>. – Дата доступа: 27.03.2021.
2. Пароперегреватель [Электронный ресурс]/ пароперегреватель. – Режим доступа: <http://engineeringssystems.ru/p/paroperegrevatel.php/>. – Дата доступа: 27.03.2021.

УДК 621.647.3

**ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНО-БАРБОТАЖНОГО ДЕАЭРАТОРА
НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ
APPLICATION OF THE JET BUBBLING DEAERATOR
AT THERMAL POWER PLANTS**

Е.А. Савенко, Д.А. Хлопкова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pronkevichAV@mail.ru

E. Savenko, D. Khlopkova

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Одна из актуальных проблем теплоэнергетики в настоящее время – защита оборудования и трубопроводов тепловых электрических станций от коррозии. Присутствие в воде углекислого газа и кислорода вызывают внутреннюю коррозию. Чаще всего для обработки воды от коррозии на тепловых электростанциях и котельных установках служит десорбция растворенных газов при нагреве воды до температуры насыщения водяного пара, что называется термической деаэрацией.*

***Abstract:** One of the most current problems of heat power engineering at the present time is the protection of equipment and pipelines of thermal power plants from corrosion. The presence of carbon dioxide and oxygen in the water causes inside corrosion. Most often, desorption of dissolved gases is used to treat water from corrosion in thermal power plants and boiler plants when the water is heated to the saturation temperature of water vapor, which is called thermal deaeration.*

***Ключевые слова:** деаэратор, очищение, вода, примеси, барботаж.*

***Keywords:** deaerator, purification, water, additive, bubbling.*

Введение

Деаэратор – это технический аппарат, который реализует процесс очистки определенной жидкости (как правило, воды или жидкого топлива), а именно удаление находящихся газовых примесей.

Удаление из теплоносителя газообразных примесей является основным назначением деаэратора. В воде конденсатно-питательного тракта могут содержаться разные примеси: газообразные (водород H_2 , кислород O_2 , углекислый газ CO_2 , азот N_2 и т.д.), твердые (продукты коррозии), природные (кремниевые кислоты, хлориды и т.д.).

Основная часть

Оптимальный результат очищения получается при применении деаэраторов, совмещающих пленочный, капельный либо струйный способ с барботажем. В барботажных устройствах соединение пара с водой возникает при ее дроблении. Пар, прошедший через слой воды, перегревается по отношению к температуре насыщения, которая соответствует давлению в

паровой области. В таком случае пузырьки пара уносят часть воды, которая закипает при движении вверх. Это содействует наилучшему выведению из воды растворенных газов. В ходе процесса барботажа отбирается кислород и диоксид углерода, который целиком не удаляется из воды в иных типах деаэраторов.

Система барботажной деаэрации занимает немного места и работает качественно со струйным типом. В данном случае струйный отсек используется только для подогрева воды до температуры, приблизительно равной температуре насыщения и для ее предварительной грубой деаэрации.

Струйно-барботажные деаэраторы широко применяются в системах горячего водоснабжения и на тепловых электрических станциях. В таких деаэраторах очищение воды выполняется по двухступенчатой схеме. Первая ступень представляет собой две дырчатые тарелки (верхнюю и перепускную) и промежуток между ними, где для связи с паром образуется водяная завеса. А барботажное устройство, которое состоит из пары кольцевых перфорированных зон, которые снизу ограничены кольцевыми перегородками одинаковой высоты – вторая ступень деаэрации. Вода после обработки в барботажном устройстве сливается в бак деаэратора через гидрозатвор. В зависимости от типа тепловых станций и назначения деаэратора применяются различные схемы подключения его к отборам турбины.

При применении струйно-барботажного деаэратора высокой производительности модифицируется конструкция барботажного устройства. Оно разделено на три кольцевые перфорированные части, которые снизу ограничены разновысокими цилиндрическими перегородками. При наименьшей нагрузке на деаэратор работает внутренняя (первая) барботажная зона.

Повышение нагрузки вызывает увеличение паровой подушки, что приводит к подключению второй, а затем и третьей барботажной зоны. Последующее повышение нагрузки вызывает прохождение части пара, помимо барботажной камеры, через кольцевой канал. Понижение нагрузки приводит к тому, что вода из барботажного листа попадает в кольцевой канал, образованный переливным порогом. Когда уровень воды в нем повышается, то зоны перфорации перекрываются в противоположном порядке. Секционирование перфорированных зон разрешило существенно сократить спектр изменения скорости пара в отверстиях барботажного листа при переменных нагрузках. Это создает условия для высокопроизводительной и постоянной работы деаэратора при изменении нагрузок.

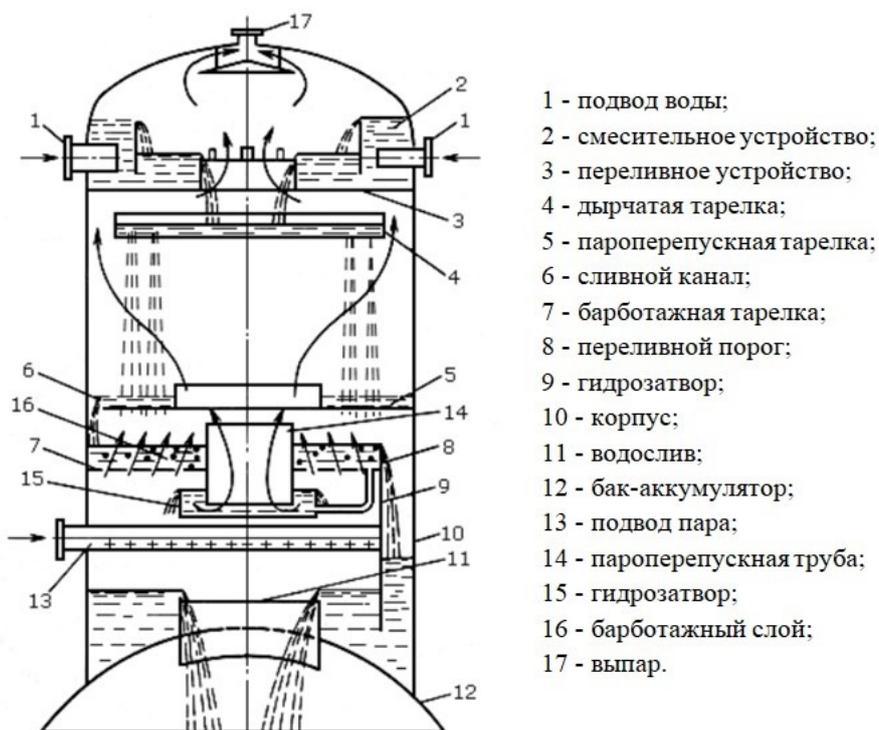
Модификация конструкции барботажного устройства получается за счет организации потоков воды и пара. В барботажной части пар направляется от центра к периферии, а в струйной – наоборот. Также важно, что при сливе воды в бак-аккумулятор через гидрозатвор она распыляется и устраняет перегрев греющего пара, поступающего в колонку.

Модернизация струйно-барботажных деаэраторов нацелена на понижение их размеров и улучшение надежности деаэрационного эффекта при различных режимах работы. Струйно-барботажные деаэраторы горизонтального типа

были разработаны для применения на крупных блоках. Деаэраторы такого типа наиболее удачны для установки на тепловых электростанциях. Но близкое расположение тарелок из-за ограниченного расстояния между ними и чувствительность к горизонтальным отклонениям привело к значительным гидравлическим и термическим деформациям и понижению качества очистки.

Вода на входе в деаэратор не должна содержать взвешенных веществ, которые могут засорить распылительные клапаны. Кроме того, распылительные клапаны и поддоны деаэратора могут забиваться накипью, которая образуется, когда деаэрируемая вода имеет высокий уровень жесткости и щелочности.

Деаэраторы под давлением снижают содержание кислорода до очень низкого уровня. Тем не менее, даже незначительное содержание кислорода может вызвать коррозию. Следовательно, требуется дополнительное удаление кислорода с помощью химических элементов, таких как сульфит натрия, или других материалов, таких как органические летучие вещества, поглощающие кислород.



- 1 - подвод воды;
- 2 - смешительное устройство;
- 3 - переливное устройство;
- 4 - дырчатая тарелка;
- 5 - пароперепускная тарелка;
- 6 - сливной канал;
- 7 - барботажная тарелка;
- 8 - переливной порог;
- 9 - гидрозатвор;
- 10 - корпус;
- 11 - водослив;
- 12 - бак-аккумулятор;
- 13 - подвод пара;
- 14 - пароперепускная труба;
- 15 - гидрозатвор;
- 16 - барботажный слой;
- 17 - выпар.

Рисунок 1 – Конструктивная схема струйно-барботажного деаэратора

Большая часть диоксида углерода выделяется с паром в котле и затем растворяется в конденсате, часто вызывая проблемы с коррозией. Эти проблемы можно решить с помощью летучих нейтрализующих аминов, пленкообразующих аминов и кондиционеров на основе оксидов металлов.

Заключение

К преимуществам струйно-барботажных деаэраторов относят их долгий срок использования и возможность проведения ремонтных работ. Также преимуществом является относительно невысокая стоимость данного типа деаэраторов.

К недостаткам относят ограниченную бесперебойную работу деаэраторов. Номинальная производительность является идеальной для деаэраторов такого типа. При других значениях производительности происходит понижение качества деаэрации. Также недостатком является необходимый ежегодный ремонт деаэрационной колонки.

Литература

1. Деаэраторы [Электронный ресурс]/ деаэраторы. – Режим доступа: <https://www.rosteplo.ru/w/%D0%94%D0%B5%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B/>. – Дата доступа: 22.03.2021.
2. Технология удаления газов в деаэраторе [Электронный ресурс]/ Технология удаления газов в деаэраторе. – Режим доступа: http://twt.mpei.ac.ru/books/vve/CH6.3_pg1.htm/. – Дата доступа: 22.03.2021.

УДК 621.18

ПРИНЦИП РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОГО КОТЛА THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE CONDENSING BOILER

Р.В. Адамчук., А.В. Лесун

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

rakevich95@tut.by

R. Adamchuk, A. Lesun

Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассматривается конденсационный котёл и его составные части. Производится сравнение различных котлоагрегатов с конденсационным, его положительные и отрицательные стороны. Также в статье раскрывается секрет КПД котла свыше 100% и процесс производства теплоты в нём.

Abstract: This article discusses the condensing boiler and its components. The comparison of various boiler units with the condensing one, its positive and negative sides, is made. The article also reveals the secret of the boiler efficiency over 100% and the process of heat production in it.

Ключевые слова: котёл, газ, КПД, температура, вода.

Key words: boiler, gas, efficiency, temperature, water.

Введение

Конденсационный котёл – последователь обычного конвекционного котла, использующий в качестве топлива природный или сжиженный газ. При сгорании газа образуется вода и углекислый газ, а так же высвобождается большое количество энергии. Тепло, выделяющееся при этом процессе идет на нагрев воды, которая циркулирует по системе отопления дома (теплоносителя).

Основная часть

Стандартные КПД газовых конвекционных котлов колеблются в районе 90%, это не так уж и плохо, по крайней мере, выше, чем у жидко- и твердотопливных теплогенераторов. Однако люди всегда стремились максимально приблизить этот показатель к заветным 100% ставя задачу на увеличение данного показателя посредством уменьшения потерь энергии в окружающую среду. Решением более полной рекуперации тепла оказался конденсационный котел, однако способ технологического воплощения их теоретических разработок был найден гораздо позже, став техническим воплощением теоретических разработок ученых.

Конструкция конденсационного котла практически не имеет отличий от конвекционного и состоит из следующих основных элементов (рисунок 1) [1]:

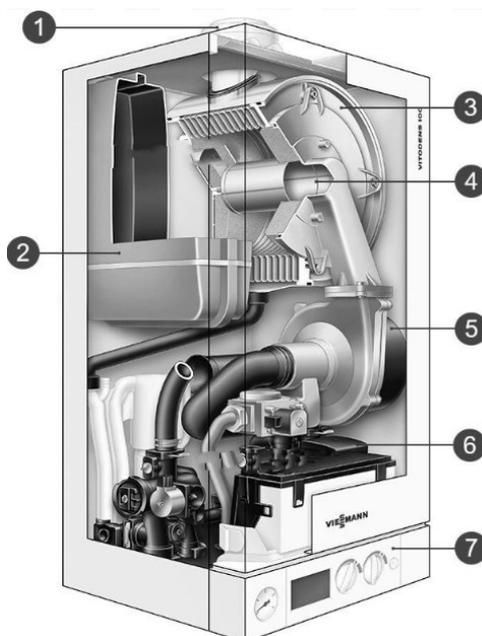


Рисунок 1 – Устройство конденсационного котла

1 – дымоход, 2 – расширительный бак, 3 – теплообменные поверхности, 4 – модулируемая горелка, 5 – вентилятор горелки, 6 – насос, 7 – панель управления

Технологический процесс производства теплоты в конденсационных котлах можно разделить на несколько основных частей [2]:

1. процесс сжигания топлива и передачи тепла теплообменнику;
2. охлаждение газов от продуктов сгорания до 50-60°C;
3. тепло, выделяемое в процессе конденсации, передается теплоносителю.

При таком процессе происходит значительное увеличение КПД котла, достигая величины больше 100%, в связи с перенаправлением тепла, ранее шедшего в окружающую среду, на нагрев технологической воды (рисунок 2).

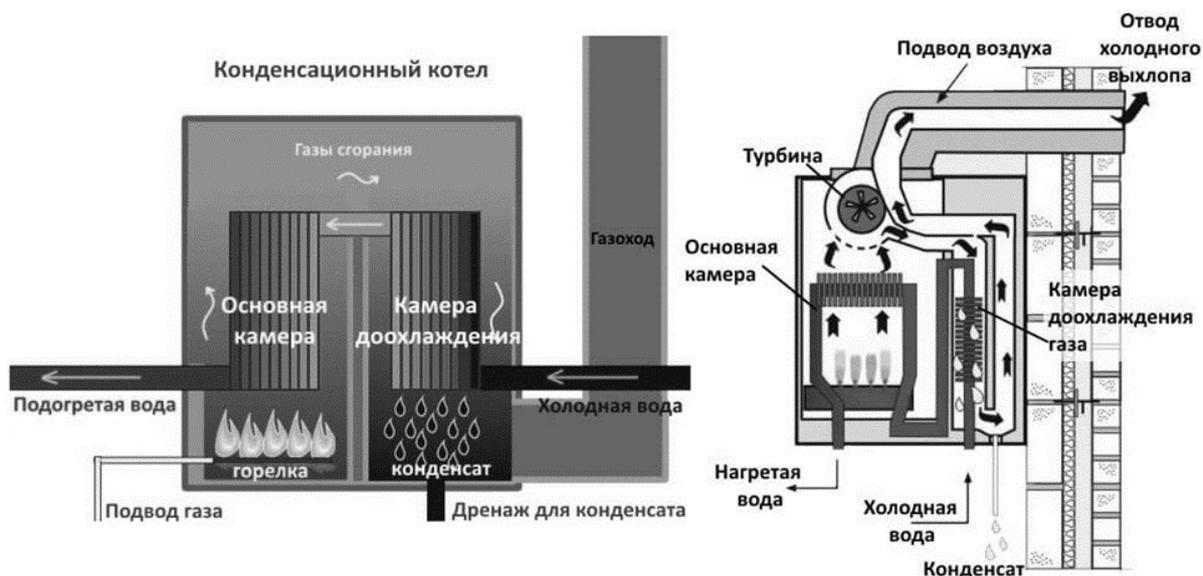


Рисунок 2 – конденсационный газовый котел

Объяснение превышения КПД конденсационных котлов 100% содержится в формуле расчета показателя. Допустим, что есть топливо, при полном окислении всех горючих компонентов которого можно получить $Q_1 = 100$ условных единиц энергии. Формула расчета КПД (1):

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right) * 100\%, \quad (1)$$

Измерив количество тепла, переданного воде на выходе из котла, $Q_2 = 95$ условных единиц, также посчитав и взяв $Q_1 = 90$ условных единиц:

$$\eta = \left(1 - \frac{90 - 95}{90}\right) * 100\% = 105,5\%.$$

При оценивании КПД отопительных котлов, рассчитывается часть выделившегося тепла передана теплоносителю. Тепло, «отбираемое» в обычном котле, и тепло от глубокого охлаждения дымовых газов дают в сумме 100% КПД и, при добавлении тепла, выделившееся при конденсации пара, получается ~108 – 110%.

При рассмотрении расчётов с точки зрения физики, при расчете КПД необходимо учитывать энергию, которая высвобождается в процессе горения, а не выделившееся тепло, а так же и энергию, которая расходуется на перевод воды их жидкого в газообразное состояние.

Получается, что КПД выше 100% – это просто маркетинговый ход, в котором используется устаревшая формула расчёта.

Преимущества использования конденсационных котлов:

1. экологичны – в настоящее время общества во всем мире все больше осознают негативное воздействие урбанизации и индустриализации на окружающую среду. Конденсационные котлы производят меньше выбросов CO₂ и, таким образом, являются более экологичным выбором, который мы все должны рассмотреть;
2. энергоэффективны и экономичны – согласно большинству исследований, они могут сэкономить вам не менее 700–1000 рублей в год на счетах за электроэнергию;
3. современны – благодаря своим неоспоримым преимуществам конденсационные котлы становятся все более популярными. Спрос растет, и теперь есть множество различных брендов, стилей и размеров на выбор. Это облегчает выбор наиболее подходящего котла для нужд вашего дома. Эти котлы изготавливаются в соответствии с новейшими технологиями, представленными на рынке;
4. безопаснее – конденсационные котлы идеально герметичны для теплоизоляции и улавливают воздух непосредственно снаружи помещения, в котором они находятся, что исключает риск попадания чего-либо в котел. Также отсутствует риск контакта с токсичными веществами, так как конденсированная жидкость выводится через трубу, соединенную с дренажной системой.

Конденсационные котлы тоже имеют несколько недостатков:

1. сложные системы – редко конденсационные котлы могут отключаться в ледяную погоду, так как наружная труба подвержена замерзанию. Они также могут подвергнуться коррозии из-за кислотного конденсата;
2. могут быть немного дороже в обслуживании – это верно не во всех случаях, и в настоящее время, с ростом их популярности, конденсационные котлы становятся все менее и менее дорогими. Даже если они стоят дороже в магазине, их чрезвычайная энергоэффективность определенно делает их более доступным вариантом в долгосрочной перспективе [2].

Заключение

Суммируя все плюсы и минусы можно с уверенностью сказать, что конденсационные газовые котлы – это правильный выбор вдумчивых и рачительных хозяев, которые заботятся о комфорте своего жилища, и которые очень ценят экономичность и эффективность. Перед тем как выбрать конденсационный котёл – посоветуйтесь с профессионалами, которые помогут вам не только с выбором правильного котла для ваших нужд, но и с правильной установкой и оформлением всех необходимых документов.

Литература

1. Конденсационные газовые котлы – принцип работы, достоинства и недостатки [Электронный ресурс] / конденсационные газовые котлы – принцип работы, достоинства и недостатки. – Режим доступа: <https://srbu.ru/otoplenie/408-kondensatsionnyj-kotel-plyusy-i-minusy.html>. – Дата доступа: 14.03.2021.
2. What is a Condensing Boiler – Everything You Need to Know [Электронный ресурс] / what is a Condensing Boiler – Everything You Need to Know. – Режим доступа: <https://my-plumber.co.uk/blog/what-is-a-condensing-boiler/>. – Дата доступа: 14.03.2021.

УДК 621.165

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС

RECONSTRUCTION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM LUKOMLSK GRES

А.Ю. Смык

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

A. Smyk

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

Аннотация: Рассматривается комплекс мер по режимной интеграции Белорусской АЭС в баланс энергосистемы Республики Беларусь, в соответствии с чем на Лукомльской ГРЭС установлены водогрейные электрокотлы и бак-аккумулятор. Описаны технологическая схема и технические характеристики вновь установленного оборудования, а также режимы его использования.

Abstract: A set of measures for the regime integration of the Belarusian NPP in the balance of the energy system of the Republic of Belarus is considered, in accordance with which hot-water electric boilers and a storage tank are installed at the Lukoml SDPP. The technological scheme and technical characteristics of the newly installed equipment, as well as the modes of its use, are described.

Ключевые слова: система теплоснабжения, водогрейные электрокотлы, бак-аккумулятор, теплообменники.

Keywords: heat supply system, hot water electric boilers, storage tank, heat exchangers.

Введение

В результате ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС в период снижения потребления электрической энергии, даже с учетом снижения мощности существующих в энергосистеме конденсационных электростанций (КЭС) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) до технического минимума, в энергосистеме возникнет излишек электрической мощности. Для предотвращения перевода части КЭС и ТЭЦ в запроектный режим эксплуатации с ежедневными пусками и остановами принято решение об увеличении электропотребления в период провала нагрузки в том числе за счет применения электрокотлов. При установке электрокотлов на них передается часть тепловой нагрузки паровых котлов, в результате чего снижается потребление органического топлива и отпуск электроэнергии в сеть на величину, потребляемую электрокотлами. Последнее компенсируется выработкой электроэнергии на АЭС.

Основная часть

С учетом указанного, в 2019 – 2020 годах произведены работы по реконструкции системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС [1, 2].

Первая очередь строительства предусматривала установку двух паровых котлов. Вторая очередь строительства – установку двух электрических котлов, а также системы аккумулирования теплоты.

Основное оборудование второй очереди реконструкции системы теплоснабжения:

- котел водогрейный электродный в котельной;
- подогреватель сетевой воды контура электродкотла;
- бак-аккумулятор;
- подогреватель сетевой воды контура бака-аккумулятор.

Установленная мощность электродкотлов – 2 х 40 МВт (около 68,8 Гкал/ч), минимальная нагрузка одного электродкотла – 8 МВт (около 6,8 Гкал/ч).

Основные технические характеристики водогрейного электродного котла ZETA ZVP 2840 (аналог) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики электродкотла ZETA ZVP 2840

Показатель, размерность	Значение
Мощность котла, МВт	40
Теплопроизводительность котла, Гкал/ч	34,4
Напряжение питания, кВ	10,0
Температура воды на входе в котел, °С	45 – 70
Температура воды на выходе из котла, °С	70 – 120
Диапазон регулирования мощности, %	10 – 100
Количество котлов	2

В комплект поставки каждого котла входит подогреватель сетевой воды (по одному на каждый котел), насосы замкнутых контуров (по два на каждый котел), установки поддержания давления и подпитки замкнутых контуров, соединяющие трубопроводы и арматура.

Оборудование представляет собой двухконтурную систему. Первый, замкнутый контур, связан с котлом, второй – с подогревом сетевой воды.

В первом контуре вода нагревается в котле. Насос данного контура обеспечивает циркуляцию воды между котлом и теплообменником. Бак запаса воды в установке поддержания давления поддерживает необходимый объем воды в первом контуре, в зависимости от соотношения холодной и горячей воды. Во втором контуре происходит нагрев сетевой воды в подогревателе сетевой воды, за счет тепловой энергии, произведенной электродкотлом.

Основные технические характеристики теплообменников – подогревателей сетевой воды контура электродкотла приведены в таблице 2.

Основные технические характеристики бака-аккумулятора:

- рабочий объем 4500 м³;
- максимальная температура воды в баке 95°С.

Основные технические характеристики подогревателей сетевой воды контура бака-аккумулятор приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Аппарат теплообменный пластинчатый разборный, тип НН№121 «Ридан»

Параметр, размерность	Горячая сторона	Холодная сторона
Расход, т/ч	1125,62	487,04
Температура на входе, °С	145	70
Температура на выходе, °С	115	140
Перепад давления, кгс/см ²	0,49	0,12
Тепловая нагрузка, Гкал/ч	3 4,4	
Расчетное давление, кгс/см ²	1 6	
Расчетная температура, °С	1 50	
Количество подогревателей	2	

Таблица 3 – Аппарат теплообменный пластинчатый разборный, тип НН№100 «Ридан»

Параметр, размерность	Горячая сторона	Холодная сторона
Расход, т/ч	355,93	313,37
Температура на входе, °С	112,1	50
Температура на выходе, °С	70	98
Перепад давления, кгс/см ²	0,41	0,33
Тепловая нагрузка, Гкал/ч	1 5,06	
Расчетное давление, кгс/см ²	1 6	
Расчетная температура, °С	1 50	
Количество подогревателей	2	

В *отопительный период* использование электрокотлов предусматривается по следующей схеме.

В ночные часы (примерно с 23-00 до 6-00) происходит включение электрокотлов и работа бака-аккумулятора в режиме зарядки с одновременной разгрузкой паровых котлов и бойлеров энергоблоков ст. № 7, 8 на величину, равную тепловой мощности электрокотлов. При этом увеличивается потребление электрической мощности из энергосистемы на величину электрической мощности, расходуемой на электрокотлы.

В дневной период (примерно с 6-00 до 23-00) производится обратная операция: отключение электрокотлов, с работой бака-аккумулятора в режиме разрядки и нагружение паровых котлов и бойлеров энергоблоков ст. № 7, 8.

При ограничении максимальной нагрузки паровых котлов или увеличении отпуска пара (на мазутное хозяйство или пусковые операции), а также при аварийном останове одного парового котла, возможно включение в дневной период электрокотлов для уменьшения загрузки бойлеров.

В *межотопительный период* предусматривается отпуск теплоты с горячей водой только от одного электрокотла совместно с баком-аккумулятором, один из паровых котлов обеспечивает отпуск пара на мазутное хозяйство и другие собственные нужды.

Бак-аккумулятор предназначен для аккумуляции тепловой энергии в виде горячей воды в периоды избытка тепловой мощности ГРЭС при работе электрокотлов в ночной период (зарядка бака-аккумулятора) и выдачи накопленной тепловой энергии в дневной период, в том числе в периоды недостатка тепловой мощности ГРЭС (разрядка бака-аккумулятора). Максимальная температура воды в баке-аккумуляторе составляет 95°C.

Режимы зарядки и разрядки бака-аккумулятора должны происходить при неизменном уровне воды в баке.

Так, при зарядке бака-аккумулятора холодная вода контура берется из нижней части бака-аккумулятора (через нижнее распределительное устройство) и с помощью насосов по трубопроводу Ду 300 подается через теплообменники, где нагревается и направляется в верхнюю часть бака (через верхнее распределительное устройство).

При разрядке бака-аккумулятора горячая вода контура берется из верхней части бака-аккумулятора (через верхнее распределительное устройство) и с помощью насосов по трубопроводу Ду 300 подается на теплообменники, где охлаждается и направляется в нижнюю часть бака (через нижнее распределительное устройство).

Режим зарядки бака-аккумулятора в расчетном максимально-зимнем режиме (7 часов в ночное время):

- расход греющей среды 800 м³/ч;
- расход нагреваемой среды 650 м³/ч;
- диапазон температуры греющей среды 140/120°C;
- диапазон температуры нагреваемой среды 70/95°C.

Режим разрядки бака-аккумулятора в расчетном максимально-зимнем режиме (17 часов в дневное время):

- расход греющей среды 265 м³/ч;
- расход нагреваемой среды 800 м³/ч;
- диапазон температуры греющей среды 95/70°C;
- диапазон температуры нагреваемой среды 66/74°C.

Заключение

Как показывают технико-экономические расчеты [2], рассматриваемый проект не относится к энергосберегающим мероприятиям, однако позволяет

избежать работы ТЭЦ и КЭС в режимах ежесуточного пуска-останова и обеспечивает режимную интеграцию Белорусской АЭС.

Литература

1. Реконструкция системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС. Архитектурный проект. 702-ПЗ-АП15. Книга 3 Технологические решения // Министерство энергетики РБ. ГПО «Белэнерго». РУП «Белнипиэнергопром». – Мн. 2017.
2. Реконструкция системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС. Архитектурный проект. 702-ПЗ-АП15. Книга 13 Эффективность инвестиций // Министерство энергетики РБ. ГПО «Белэнерго». РУП «Белнипиэнергопром». – Мн. 2017.

УДК 621.182

РЕНОВАЦИЯ БАРАБАНЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ RENOVATION OF HIGH PRESSURE DRUM BOILERS

В.Ю. Михалченок, В.М. Колос, В.И. Савинич
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachah@bntu.by

U. Mikhalchonak, V. Kolos, V. Savinich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Рассматривается реновация барабанного котла высокого давления путем замены барабана. Описаны основные положения технологического процесса. Произведена оценка длительности производства работ. Показаны технико-экономические показатели монтажа.

Abstract: Renovation of a high-pressure drum type boiler by replacing the drum is considered. The main provisions of the technological process are described. The duration of operations has been estimated. The technical and economic data of construction are shown.

Ключевые слова: паровой котел, барабан, технологический процесс, демонтаж, монтаж, технико-экономические показатели.

Keywords: steam boiler, drum, technological process, dismantling, installation, technical and economic data.

Введение

Одно из направлений развития энергетики Республики Беларусь – техническое перевооружение существующих ТЭЦ, предполагающее замену основного и вспомогательного оборудования на новое с улучшенными технико-экономическими характеристиками и продление срока службы оборудования, отработавшего свой ресурс. Радикальным способом продления срока службы длительно эксплуатировавшегося котлоагрегата является замена его барабана.

Основная часть

Барабан является одним из наиболее ответственных элементов котла, в котором аккумулируется большая энергия. Условия работы барабана тяжелые, так как его металл находится одновременно под воздействием высоких температур, механических напряжений и агрессивной среды, в результате чего в металле могут возникнуть изменения структуры и механических свойств, явления ползучести, коррозия, что в свою очередь может привести к его разрушению [1, 2].

Рассмотрим технологический процесс замены барабана котла типа ТП-80 ст. № 6 Минской ТЭЦ-3 [3].

Котел ТП-80 ст. № 6 Таганрогского котельного завода, реконструированный на сжигание газа и мазута, имеет П-образную компоновку

и состоит из топки и опускной конвективной шахты, соединенных между собой горизонтальным газоходом.

Основное топливо – газ, резервное – мазут.

Параметры работы котлоагрегата ТП-80:

1. номинальная производительность – 420 т/ч;
2. рабочее давление пара – 140 бар;
3. рабочая температура перегретого пара – 550°С.

Технические характеристики барабана:

4. длина 18000 мм;
5. диаметр внутренний 1800 мм;
6. толщина стенки 89 мм;
7. масса барабана около 89 т, в том числе, корпус барабана 80 т, внутренние устройства барабана 9,2 т, опоры около 2,5 т.

Проектом предусматривалась замена существующего, физически и морально устаревшего барабана котлоагрегата ТП-80 на новый.

В результате замены коэффициент полезного действия котлоагрегата, технические характеристики, параметры среды и расход топлива остаются на существующем уровне. Улучшается надежность и экономичность оборудования (исключаются затраты на восстановительные работы, проведение технического диагностирования), происходит обновление энергетических мощностей с учетом технического износа оборудования.

В соответствии с [3] в проекте предусмотрено следующее.

Подготовительные работы:

1. демонтаж сепарации на новом барабане до его установки в проектное положение;
2. устройство рельсовых путей для перемещения барабана внутри корпуса;
3. монтаж металлоконструкций для подъема барабана, для раскрепления трубопроводов, монтаж вспомогательных металлоконструкций;
4. демонтаж мазутного узла, мазутопроводов под отметкой обслуживания, арматуры и газопровода природного газа с фронта котла, воздухопроводов вторичного дутья;
5. демонтаж питательного трубопровода, трубопроводов впрыска, трубопроводов кислотной промывки, трубопроводов технической воды, главного паропровода перед фронтом котла;
6. демонтаж фонарей, проводки освещения, электрощитов, приборов КИПиА на отметке обслуживания, кабельных трасс.

Работы по демонтажу барабана:

1. демонтаж тепловой изоляции барабана, сепарации демонтируемого барабана;
2. демонтаж всех подводящих, водоопускных труб и воздушников по штуцерам;
3. разрезание барабана на части (1,5x2,0 м);
4. демонтаж барабана частями при помощи мостового крана г.п. 50 т. на нулевую отметку, транспортировка барабана из цеха.

Работы по монтажу барабана

1. перемещение барабана по железнодорожным путям до точки подъема, разгрузка опорной рамы с барабаном с тележки на отметку 0,000 м, демонтаж железнодорожных путей;
2. стропление барабана за крюки полиспастов, вертикальный подъем барабана до отметки проектной установки, установка барабана в проектное положение.

Доставка барабана на Минскую ТЭЦ-3 производилась железнодорожным транспортом.

Демонтаж существующего барабана и монтаж нового осуществлен с помощью мостового крана котельного отделения грузоподъемностью 50/10 т и дополнительных грузоподъемных механизмов (цепные, рычажные тали, механизм монтажный тяговый (МТМ), лебедка, отводные блоки). Транспортировка барабана до места подъема производилась на тележке грузоподъемности 70 т лебедкой грузоподъемностью 5 т. Для подъема барабана использовались 8 лебедок грузоподъемностью 12 т.

В проекте [3] предусмотрена замена датчиков температурного контроля металла барабана, датчиков уровня в барабане (в том числе попадающих в пятно демонтажа оборудования, образующееся в связи с особенностями доставки барабана котлоагрегата ст. №6 на отметку обслуживания). Данные датчики и оборудование подлежали замене на основании дефектных ведомостей в связи с их моральным и физическим износом. Замене подлежали стенды (металлоконструкции), датчики, размещенные на стендах, а также импульсные линии и запорная арматура на импульсных линиях.

По проекту [3] тепловой изоляции подлежало оборудование и трубопроводы, расположенные в помещении с температурой теплоносителя свыше 45°C. Конструкция изоляции обеспечивает тепловую защиту всех элементов трубопроводов и исключает возможность образования участков с локальным повышением температуры на поверхности теплоизоляционной конструкции.

Заключительные работы:

1. выполнение обвязки барабана, монтаж сепарации барабана;
2. демонтаж металлоконструкций и оборудования, используемых для монтажа барабана;
3. монтаж мазутного узла на отметке обслуживания котла и мазутопроводов под отметкой обслуживания; арматуры и газопровода природного газа с фронта котла; воздухопроводов вторичного дутья;
4. монтаж питательного трубопровода; трубопроводов впрыска; трубопроводов кислотной промывки; трубопроводов технической воды; главного паропровода перед фронтом котла;
5. монтаж площадок и лестниц перед фронтом котла, переходные, выступающие фермы; фонарей, проводки освещения, электрощитов; приборов КИПиА на отметке обслуживания; кабельных трасс;
6. контроль, гидравлические испытания котла;
7. монтаж изоляции барабана, циклонов и всех подводящих, водоопускных труб.

Ремонтные работы производились персоналом Минской ТЭЦ-3 с привлечением ремонтных, строительного-монтажных и других организаций.

Работы по реконструкции котла проводились в эксплуатируемом корпусе непосредственно на остановленном котле ТП-80, с левой стороны которого расположен действующий котел. По этой причине в сметной документации учитывались стесненные условия производства работ в условиях действующего оборудования путем введения повышающего поправочного коэффициента $K = 1,35$ к нормам затрат труда, заработной плате рабочих и затратам на эксплуатацию машин и механизмов [3].

Подрядной организацией по проведению работ было определено предприятие ОАО «Белэнергоремналадка».

В таблице 1 представлены технико-экономические показатели монтажа, в том числе строительного-монтажные работы (СМР).

Таблица 1 – Технико-экономические показатели монтажа

Виды работ	Всего по видам работ	В том числе	
		СМР по модернизации	По временным зданиям и сооружениям
СМР, тыс. руб.	4564,606	1738,85	99,47
Стоимость оборудования, тыс. руб.	2621,043	-	-
Транспорт, тыс. руб.	52,422	-	-
Прочие затраты, тыс. руб.	204,713	-	-

Продолжительность строительства объекта определена расчетным путем по трудоемкости. Согласно сводному сметному расчету продолжительность строительства объекта составило 103 354 человеко-часов [3].

Число рабочих дней бригады рабочих составило:

$$T = 103\,354 / (8 \cdot 45 \cdot 2) = 143,55 \text{ рабочих дней,}$$

где 8 – продолжительность смены, час;

45 – состав бригады, чел. в сутки;

2 – коэффициент сменности.

С учетом числа рабочих дней в календарном месяце 21,2, это соответствует $143,55 / 21,2 = 6,8$ календарным месяцам.

После округления продолжительность основного строительства – 7 месяцев.

Дополнительно учитывалось время на приемку объекта строительства в эксплуатацию и утверждение акта приемки объекта в эксплуатацию – 1 месяц [3]. Общая продолжительность строительства с учетом подготовительного периода и времени на приемку объекта составила 8 месяцев.

Из 90 человек (с учетом коэффициента сменности $K_{см} = 2$) имело место следующее распределение по основным категориям:

1. ИТР – 10 человек;
2. рабочие – 80 человек (4 бригады по 20 человек).

Заключение

Рассматриваемые работы по замене устаревшего оборудования, исчерпавшего свой ресурс, представляют собой прямые мероприятия по улучшению энергетической эффективности энергопроизводства. Технические решения, принятые в проекте [3] соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других действующих норм и правил и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта при соблюдении мероприятий предусмотренных проектом.

Литература

1. Галкин В.И., Куликов В.Е. Эксплуатация и ремонт котельных установок: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Справочник по ремонту котлов и вспомогательного котельного оборудования / В.Н. Шастин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Шастина. – М.: Энергоиздат, 1981.
3. Модернизация котлоагрегата ТП-80 ст. №6 (инв. № 30506) с заменой барабана на филиале Минская ТЭЦ-3 / Архитектурный проект КПВУ.3631.00.00.00-ПЗ Кн. 1 Пояснительная записка // ГПО «БЕЛЭНЕРГО». – ОАО «Белэнергоремналадка» Филиал «Инженерный центр», Мн.: 2017.

УДК 621.18-182.2

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИЛОВЫХ
УСТАНОВОК. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГТУ И ПГУ
POWER PLANT ELECTRICITY PRODUCTION TECHNOLOGIES.
COMPARATIVE ANALYSIS OF GTP AND CCGT**

Е.И Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

panteley@bntu.by

E. Smykal, M. Shepelev

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрены современные альтернативы паротурбинным силовым установкам, используемые на тепловой электрической станции – парогазовые и газотурбинные установки. Целью их сравнения является определение достоинств и недостатков, а также определение наилучшей области их применения.*

***Abstract:** The article discusses modern alternatives to steam turbine power plants used at a thermal power plant - steam and gas and gas turbine plants. The purpose of their comparison is to determine the advantages and disadvantages, as well as to determine the best area of their application.*

***Ключевые слова:** ТЭС, ПТУ, ПГУ, ГТУ, описание, принцип действия, преимущества, недостатки.*

***Key words:** TPP, STP, CCGT, GTP, description, principle of operation, advantages, disadvantages.*

Введение

В настоящее время в энергетике широко используются тепловые электростанции (ТЭС), где тепловая энергия, выделяющаяся при сжигании органических топлив, преобразуется в конечном итоге в электрическую. Особенно строгие требования предъявляются к электростанциям по надежности, эффективности, экологичности, экономичности, уровню шума, габаритам и т. д. Для того, чтобы получить наилучшие показатели, возникает необходимость применения различных типов силовых установок, используемых на ТЭС. Основными представителями установок на станции являются: паротурбинные (ПТУ), парогазовые (ПГУ) и газотурбинные (ГТУ). Рассмотрим альтернативы классической теплосиловой установке – ПТУ, представленные парогазовыми и газотурбинными установками; их преимущества и недостатки, а также области применения.

Основная часть

ГТУ различаются циклами работы и выполняются по закрытому и открытому циклу. Вид цикла зависит исключительно от вида сжигаемого

топлива. Газотурбинная установка работает по схеме непрерывного сгорания топлива.

ГТУ открытого цикла характеризуется использованием исключительно малосернистого жидкого топлива или природного газа. Топливо и воздух (предварительно очищенный в воздушном фильтре (Ф) и сжатый в компрессоре (К)) подаются в камеру сгорания (КС). Возникший процесс горения влечет за собой появление потока горячих газов, который, в свою очередь, приводит лопатки газовой турбины (ГТ) к вращению, проходя через нее с большой скоростью. Вращение лопаток турбины является процессом перехода тепловой энергии газа в механическую энергию вращения вала турбины. Вращаясь, вал турбины приводит в движение генератор (Г), который, в свою очередь, вырабатывает электроэнергию. Выработанная генератором электроэнергия отпускается потребителю. Поступая в водогрейный котел, отработавшие газы отдают оставшееся тепло и следуют в дымовую трубу, через утилизатор.

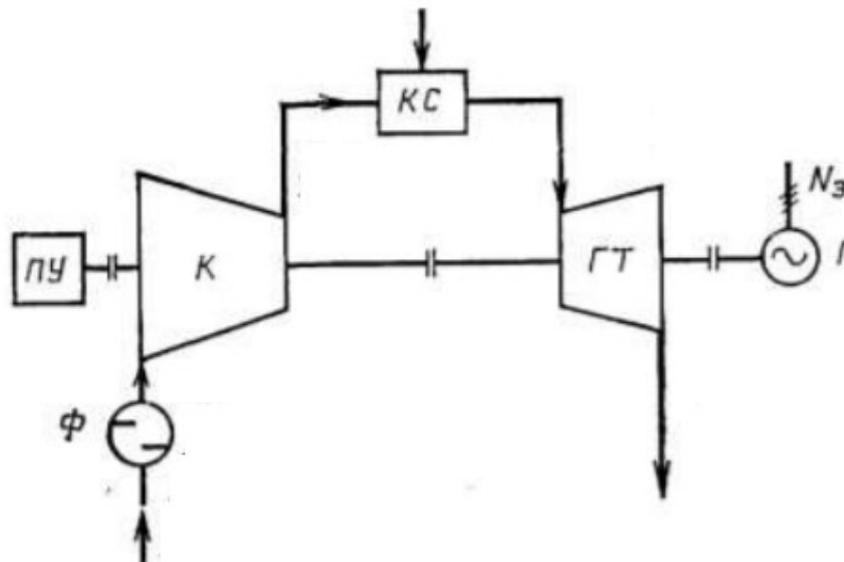


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ГТУ открытого цикла

Отличием установки закрытого цикла является тот факт, что отработавший в турбине газ после регенератора (Р) в охлажденном виде направляется на всасывание в компрессор (ВК), а не выбрасывается в атмосферу. Сжатый газ поступает в подогреватель (ВП), где получает теплоту от сжигания топлива и уже в нагретом виде направляется в газовую турбину, где совершает полезную работу. ГТУ закрытого цикла позволяют использовать как твердое, так и жидкое топливо (мазут).

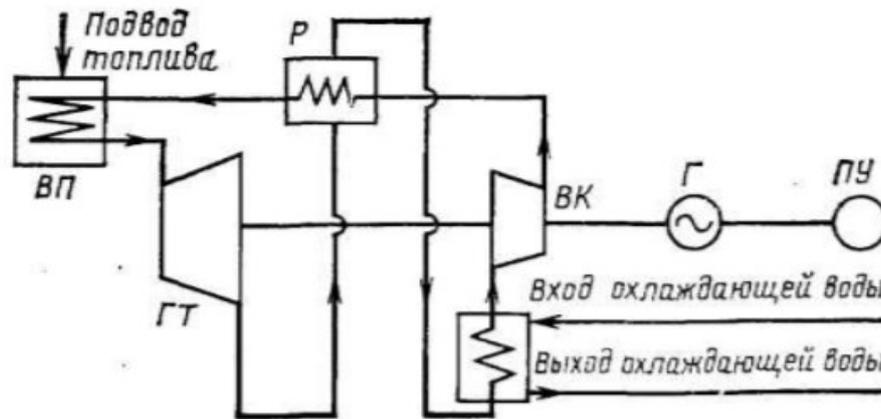


Рисунок 2 – Принципиальная тепловая схема ГТУ закрытого цикла

Достоинства использования газотурбинной установки для энергосистемы:

1. Относительно короткое время запуска. ГТУ необходимо от 3 до 4 минут до выхода на режим холостого хода, от 7 до 8 минут до выхода на полную нагрузку.

2. Относительная простота конструкции и низкая металлоемкость. Обуславливается отсутствием сложной системы паропроводов, различных механизмов и коммуникаций.

3. Отсутствие необходимости большого количества охлаждающей воды. Охлаждающая вода в ГТУ применяется, практически, только для охлаждения масла подшипников.

Недостатками являются:

1. Невысокий КПД производства энергии. ГТУ имеют КПД порядка 28-30%.

2. Относительно высокая температура газов перед ГТ (700°C и выше), требующая использование соответствующих материалов при изготовлении лопаток.

3. Использование дорогостоящих и дефицитных видов топлива. Данный изъян силовой установки обуславливается ее принципом действия. Природный газ и мазут (прошедший предварительную очистку от шлакообразующих примесей) – наиболее подходящие виды топлива для ГТУ.

4. Высокий уровень шума при работе.

5. Высокие потери мощности на привод компрессора. Компрессор ГТУ потребляет порядка 50-70% от фактической мощности.

Вышеперечисленные недостатки ГТУ являются существенными, поэтому от них стараются либо избавиться, либо значительно улучшить показатели. В частности, для повышения электрического КПД установки, имеет место применение ПГУ.

Парогазовая установка представляет собой комплекс газотурбинной и паротурбинной силовых установок. Теплота уходящих газов ГТУ используется для выработки электроэнергии в ПГУ. Основные типы ПГУ, применяемые на сегодняшний день в энергетике: ПГУ с паровым котлом-утилизатором (УПК), ПГУ со сбросом газов газовой турбины в топку парового котла.

ПГУ с паровым котлом-утилизатором. Вращение газовой турбины (ГТ) в ГТУ происходит за счёт движения продуктов сгорания топлива. Вращение турбины приводит к выработке электроэнергии в генераторе (Г), поскольку они закреплены на одном валу. Продукты сгорания, совершившие работу в ГТУ, имеют на выходе минимальное давление, но относительно высокую температуру, которую так же необходимо полезно использовать, поскольку отпускать их в атмосферу непозволительно с точки зрения выгоды использования установки. Поэтому, следующим этапом является попадание рабочей среды в котел-утилизатор (КУ). В котле-утилизаторе происходит передача тепловой энергии продуктов сгорания воде, которая, в свою очередь, нагревается до образования пара с температурой 500°С и давлением 70-80 бар. Такого состояния пара вполне достаточно, чтобы использовать в паровой турбине (ПТ) ПТУ. Генератор ПТУ приводится в действие. Благодаря своему принципу работы и конструкции ПГУ делаются для ТЭС максимально эффективными.

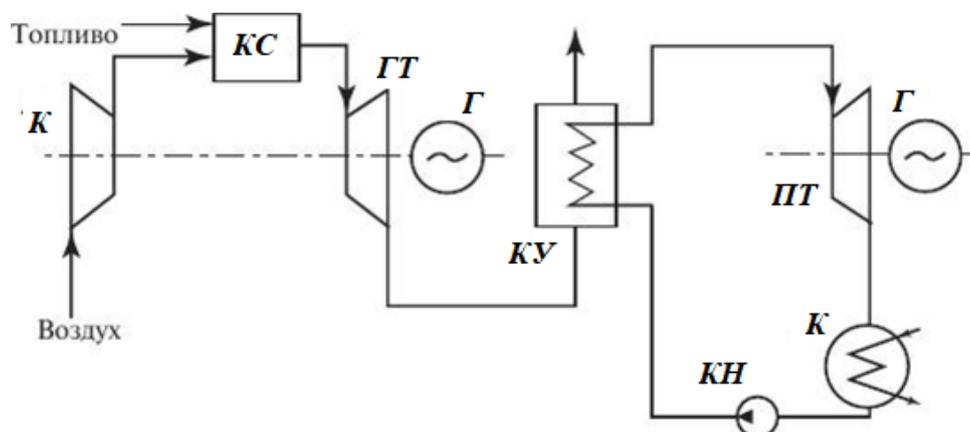


Рисунок 3 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с котлом-утилизатором

ПГУ со сбросом газов турбины ГТУ в топку котла ПТУ. Поскольку отработавшие в турбине (ГТ) ГТУ газы имеют высокую температуру, а также содержат порядка 15% кислорода, рационально их использовать в роли окислителя для сжигания топлива в парогенераторе (П) паротурбинной установки, поэтому газы направляются в топку парогенерирующей установки. В роли парогенератора ПТУ может выступать агрегат любой конструкции и на любом виде топлива.

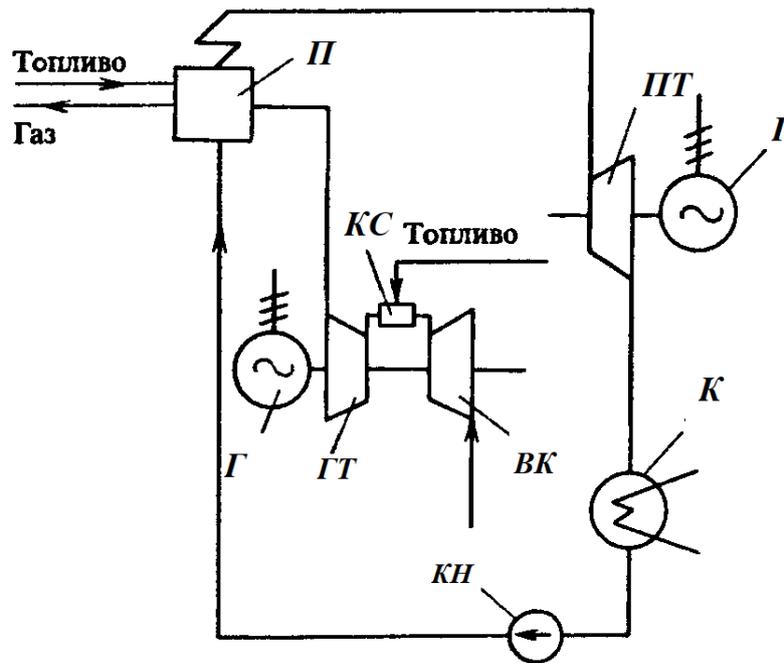


Рисунок 4 – Принципиальная схема ПГУ со сбросом газов турбины ГТУ в топку парового котла

Преимущества использования ПГУ в энергетике:

1. Относительно высокий электрический КПД. Электрический КПД в парогазовых силовых установках может достигать порядка 60%. В то время как КПД ПТУ не превосходит 33-45%, а у ГТУ – 28-42%.
2. Значительно меньшая, в сравнении с ПТУ, необходимость в использовании воды на единицу вырабатываемой генератором электроэнергии.
3. За счет своего устройства, ПГУ являются более экологически чистыми установками, в сравнении с паротурбинными.

К изъянам установки относятся:

1. Ограничения в использовании различных видов топлива. Принцип действия установки позволяет работать исключительно на природном газе, предварительно очищенном мазуте.
2. Необходимость установки специальных воздухоочищающих фильтров.

Заключение

Таким образом, ПГУ является приемлемым вариантом силовой установки для стационарных ТЭС, поскольку она обеспечивает повышение электрического КПД цикла до 60%, а следовательно, экономичности производства электроэнергии. За счет коротких сроков возведения установки – 9-12 месяцев, а также небольших размеров и невысокой стоимости единицы мощности, парогазовые установки рационально использовать на небольших тепловых электростанциях, в том числе, расположенных в черте города.

В свою очередь, ГТУ подойдёт для мобильных тепловых электростанций. Это обуславливается меньшим количеством необходимых коммуникаций, а также относительно быстрым запуском силовой установки: время до выхода на режим холостого хода составляет от 3 до 3,5 минут; до принятия полной нагрузки от 7 до 8 минут.

Литература

1. Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГПУ нового поколения и ПГУ на её основе / Фаворский О.Н., Полищук В.Л. // Теплоэнергетика. – 2010. – №2. – С. 2-6.
2. Исследование газотурбинной установки на установившихся режимах работы [Электронный ресурс] / исследование газотурбинной установки на установившихся режимах работы. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gazoturbinnoy-ustanovki-na-ustanovivshih-sya-rezhimah-raboty/viewer/>. – Дата доступа: 15.03.2021.
3. Лавыгин В.М., Седлов А.С., Цанев С.В. «Тепловые электрические станции»: Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2005. – 454 с.
4. Принципиальные особенности ПГУ [Электронный ресурс] / принципиальные особенности ПГУ. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/printspialnye-osobennosti-pgu/viewer/>. – Дата доступа: 15.03.2021.

УДК 539.1.047

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
ENVIRONMENTAL SAFETY OF NUCLEAR FUEL**

А.А. Шкурко, А.Д. Касатов

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

И.А. Некало, преподаватель-стажёр

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, nekalo@bntu.by

A. Shkurko, A. Kasatov

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, I. Nekalo, Trainee Teacher

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье поднимаются вопросы безопасности ядерных реакторов и управление удалением ядерных отходов. Целью статьи является образование понимания необходимости более качественного контролирования утилизации ядерных отходов. В статье изучены современные технологии и разработки в области хранения и утилизации отработанного ядерного топлива и выявлены их достоинства. Также предложен новый, стабильный тип изотопа плутония, в качестве ядерного топлива.

Annotation: This article raises the issues of nuclear reactor safety and management of nuclear waste disposal. The purpose of the article is to create an understanding of the need for better control of nuclear waste disposal. The article examines modern technologies and developments in the field of storage and disposal of spent nuclear fuel and identifies their advantages. A new, stable type of plutonium isotope is also proposed as a nuclear fuel.

Ключевые слова: ядерное топливо, отходы, безопасность, плутоний.

Keywords: nuclear fuel, waste, safety, plutonium.

Введение

После аварии на японской АЭС "Фукусима-дайити" в марте 2011 года правительство Германии приняло решение об отказе от производства атомной энергии в течении до 10 лет. Согласно этому решению в 2022 году последний реактор должен быть отключен от энергосистемы.

В настоящее время исследования в области ядерной энергии в Германии проводятся в исследовательских центрах и 32 университетах.

Ниже приводится обзор некоторых моментов текущей деятельности трех исследовательских центров в Карлсруэ (технологический институт Карлсруэ KIT, до недавнего времени FZK Фридрициана), Юлихе FZJ (Юлихский исследовательский центр) и Дрезден-Россендорфе (FZD).

Технологический институт Карлсруэ (KIT) был образован 1 октября 2009 года в результате слияния исследовательского центра Карлсруэ (FZK) и университета Карлсруэ. Для данной статьи наибольший интерес представляет энергетический центр KIT (KIT Energy Research) и тема «Исследования ядерной безопасности».

Основная часть

Управление радиоактивными отходами, безопасность ядерных реакторов и радиационные исследования являются важнейшими аспектами социальных исследований. Они являются неотъемлемой частью международных исследований в области ядерной безопасности и способствуют высоким стандартам безопасности на немецких и европейских ядерных объектах.

Удаление радиоактивных отходов. Эта тема включает в себя фундаментальные и прикладные исследования по всем геохимическим вопросам, связанным с безопасной утилизацией радиоактивных отходов в геологических образованиях. Цель состоит в том, чтобы развить базовое понимание процессов, происходящих в системе репозитория. Дальнейшая работа посвящена выводу из эксплуатации ядерных установок, а также обработке и кондиционированию образующихся радиоактивных отходов. Исследования радиационной защиты также связаны с разработкой процедур личной идентификации доз облучения.

Безопасность ядерных реакторов. Работа сосредоточена на аспектах безопасности в случае неудачи, которая выходит за рамки проектирования и дизайна. Разработка научных знаний осуществляется на основе тесной интеграции экспериментов и разработки моделей и интегрирована в национальные и международные сети и сотрудничество. Крупномасштабные испытательные объекты представляют собой уникальную инфраструктуру и опыт, которые пользуются международным спросом. В этой теме исследования также рассматриваются радиологические последствия ядерных аварий и пути улучшения внешней защиты от чрезвычайных ситуаций [1].

Проект NaMaSK. Целью проекта KIT «NaMaSK» (влажный скрининг и магнитное разделение зерновых смесей для минимизации вторичных отходов при выводе из эксплуатации атомных электростанций) является выборочное отделение отходной смеси от разреза WASS (подвеска от воды, неактивные абразивные частицы и стальные частицы радиоактивной стали).

Методом дезавуирования сосуда давления реактора и его фитингов является водоабразивный процесс резки подвески (WASS), в котором материал разрезается специальной струей воды высокого давления. Этот процесс предлагает много технических преимуществ, но он имеет серьезный недостаток, поскольку он производит дополнительные вторичные отходы. Из-за примеси абразивных отходов смесь неактивных абразивных частиц и радиоактивного режущей совместного материала производится нейтронной активацией при резке стальных компонентов при демонтаже атомных электростанций. Таким образом, количество вторичных отходов является значительным.

Радиоактивного режущей совместного материала, производимого нейтронной активацией, планируется 50 – 75%, отходы сначала проверяются, затем тонкая фракция фильтруется, а грубая фракция, сохраняемая в сито, обрабатывается магнитным фильтром. Процесс скрининга и магнитное разделение стальных частиц создают выбранный абразив, который может быть

подан обратно в систему WASS для нового разреза. На рисунке 1 показаны тестовая настройка и схема процесса.

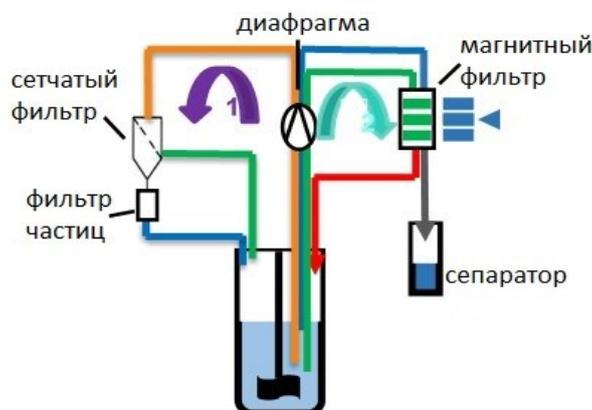


Рисунок 1 – Схема процесса очистки

Юлихский исследовательский центр (нем. Forschungszentrum Jülich GmbH) – один из крупнейших европейских исследовательских центров, входит в состав объединения имени Гельмгольца. Расположен в городе Юлихе, Германия. Основными научными направлениями центра являются физика, химия, биология и медицина.

Nuclear Physics Institute (IKP) (Институт ядерной физики является одним из подразделений Юлихского исследовательского центра и проводит фундаментальные исследования в области ядерной и элементарной физики элементарных частиц. Поскольку ядерные реакторы закрыты и запрещены к использованию, ученые активно используют токамак TEXTOR для термоядерных исследований и ускоритель COSY.

Токама́к (тороидальная камера магнитными катушками) – тороидальная установка для магнитного удержания плазмы с целью достижения условий, необходимых для протекания управляемого термоядерного синтеза. Плазма в токамаке удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать необходимую для термоядерных реакций температуру, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем – тороидальным внешним и полоидальным полем тока, протекающего по плазменному шнуру. По сравнению с другими установками, использующими магнитное поле для удержания плазмы, использование электрического тока является главной особенностью токамака. Ток в плазме обеспечивает разогрев плазмы и удержание равновесия плазменного шнура в вакуумной камере.

Ускоритель COSY (Cooler Synchrotron) – это ускоритель частиц (синхротрон) и накопительное кольцо (окружность: 184 м) для ускорения протонов и дейтронов методом гомоядерной корреляционной спектроскопии. Максимальная проектная энергия протонов (кинетическая) настоящее время доведена до 2.83 ГэВ, что немного выше порога рождения ϕ -мезонов в протон-протонных столкновениях. Ускоритель способен ускорять дейтроны, а также обеспечить ускорение поляризованных протонов. COSY ориентирован на

работу с внутренними мишенями, в том числе – струйными мишенями с атомными пучками поляризованных протонов и дейтронов.

Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф (нем. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) – научно-исследовательский центр, расположенный в Дрездене (Германия). С 1 января 2011 года входит в объединение имени Гельмгольца немецких научно-исследовательских институтов. Одним из направлений исследований центра является безопасное управление ядерными отходами.

Научно-исследовательские и опытные исследования сосредоточены на оценке и снижении рисков, связанных с ядерным топливным циклом, в частности удалением ядерных отходов и производством энергии на атомных электростанциях. Работа в этой программе затрагивает две темы:

1. Управление ядерными отходами.

Основная цель заключается в более четком понимании фундаментальных процессов, определяющих транспортировку и накопление радиотоксических элементов в геосфере и биосфере, включая пищевую цепочку. Исследования затрагивают молекулярный масштаб водных систем, пород и почв, а также на стыке геосистем и биосистем. Это касается областей спектроскопической идентификации и характеристики химических видов, разработки и применения химико-физических моделей от молекулярной до метровой шкалы, а также определения и оценки термодинамических, кинетических и транспортных параметров для таких моделей. Кроме того, изучается влияние биоты, начиная от бактерий и до высших многоклеточных организмов, на процесс миграции.

2. Безопасность реактора.

Исследование фокусируется на аспектах безопасности современных и будущих реакторов для консультирования госуправления и эффективного влияния на международные стандарты и практику безопасности. Основной предмет изучения - разработка методов анализа потенциальных и реальных аварий.

Экспериментальные работы показывают, как облучение индуцированных повреждения реакторных материалов в масштабе нанометра влияет на механические свойства и безопасность компонентов ядерного реактора.

В 2019 году группа ученых HZDR обнаружила совершенно новую стабильную форму плутония [2]. Плутоний, крайне нестабильный и радиоактивный элемент, нуждающийся в особых мерах при транспортировке, хранении и утилизации.

Нестабильность плутония делает его мощным источником энергии, с одной стороны, и, с другой стороны, потенциально разрушительной силой, способной вызвать экологическую катастрофу. Ряд изотопов плутония может существовать десятки миллионов лет и представляет потенциальную опасность для заражения грунтовых вод своими изотопами. Ученые постоянно ищут способы, позволяющие безопасно хранить, перевозить и утилизировать плутоний и его соединения.

Одной из наиболее безопасных форм плутония является диоксид плутония, который представляет собой керамический материал, не растворяющийся в

воде и имеющий достаточно высокую температуру плавления. Наночастицы из диоксида плутония могут быть получены разными путями, используя различные исходные материалы, называемые прекурсорами (precursors), содержащие изотопы плутония. Немецкие ученые в своих экспериментах использовали прекурсоры под названием Plutonium (VI) (*Pu* (VI)), растворенные в воде и заметили неспецифические химические реакции. *Pu* (VI) во время его превращения в диоксид плутония, проходил через переходную фазу, в которой этот материал становился твердым и стабильным. В обычных условиях пентавалентный плутоний *Pu* (V) не является ни твердым, ни стабильным материалом. Необычную форму плутония, зафиксированную учеными в ходе эксперимента, первоначально определили, как неправильный ход химических реакций синтеза диоксида плутония.

Для подтверждения предположения, исследователи использовали рентгеновский спектрометр Rossendorf Beamline (ROBL). Этот прибор позволяет измерять энергию радиоактивных элементов, облучая их рентгеновским излучением и измеряя интенсивность их флюоресценции. Данное исследование подтвердило факт существования новой фазы *Pu* (V), а отобранные образцы были подвергнуты повторной проверке через три месяца, что позволило подтвердить стабильность новой формы плутония в течение длительного времени.

Данное открытие приведет к необходимости пересмотра некоторых известных и неизвестных эффектов, которые происходят во время длительного хранения отходов ядерного топлива, что в свою очередь позволит пересмотреть условия хранения ядерных отходов.

Заключение

Современные методы и технологии не позволяют до конца раскрыть все аспекты влияния ядерного топлива, его отходов и, как следствие, ядерной энергетики на окружающую среду и человека, однако изобретаются более совершенные методы утилизации ядерных отходов, новое ядерное топливо. Всё это позволяет, хоть и не до конца, но максимально возможно, на данный момент времени, минимизировать антропогенное влияние деятельности человека на самих себя и планету.

Литература

1. Буров, А. Л. Срабатывание аварийной защиты реакторной установки ВВЭР-1000 по ложной причине / А. Л. Буров, А. А. Павловская // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 140.
2. Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф (HZDR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amp.ru.google-info.cn/6533555/1/tsentr-igelmgoltsa-drezden-rossendorf-hzdr.html>. – Дата доступа: 26.03.2021.

УДК 662.99

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА
ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ
INCREASING THE EFFICIENCY OF FUEL USE
IN THE HEATING BOILER**

Н.С. Мысливец, М.П. Кузьмич, К.И. Пеньковский
Научный руководитель – А.А. Бобич, доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
giroscop@list.ru

M. Myslivets, M. Kuzmich, K. Penkovskiy.
Supervisor – A. Bobich, docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В тезисе рассмотрено техническое решение по утилизации теплоты парообразования водяных паров продуктов сгорания водогрейных котлов с применением абсорбционного теплового насоса и проанализирована его эффективность применительно к современным условиям эксплуатации систем теплоснабжения.*

***Abstract:** The thesis considers technical solution for the utilization of the heat of vaporization of water vapor from the combustion products of hot water boilers using an absorption heat pump and analyzes their efficiency in relation to modern operating conditions of heat supply systems.*

***Ключевые слова:** отопительная котельная, тепловой насос, пар.*

***Keywords:** boiler room, heat pump, steam.*

Введение

Большинство городов Беларуси являются промышленными узлами, предприятия которых имеют значительные технологические тепловые выбросы.

Установка АБТН на любом предприятии поможет снизить затраты на теплоснабжение на 40%, а также обеспечить подобные результаты в системах централизованного теплоснабжения жилых районов, находящихся в сопряженной зоне. Данная проблема утилизации теплоты дымовых газов решена

и апробирована на предприятиях в технически развитых странах. В качестве примера подобных предприятий в РБ можно привести завод “Полимир” ОАО “Нафтан”, на котором постоянно в течение года для обеспечения технологического процесса через градирни рассеивается в окружающей среде не менее 40 Гкал/ч тепловой энергии. Указанный низкотемпературный тепловой поток градирни можно объединить с ТЭЦ и котельными энергосистемы, чтобы с помощью АБТН обеспечить нагрев сетевой воды с затратами топлива, сниженными на 40%. [1]

Основная часть

Тепловой насос - это устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи теплоты от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Известно несколько технологий, позволяющих реализовать данный процесс теплопередачи. В промышленных приложениях наиболее известны две из них: парокомпрессионная и абсорбционная. АБТН уступают по энергетическим характеристикам парокомпрессионным машинам, но если последние для своей работы требуют более ценную механическую (электрическую) энергию, то первые могут использовать относительно дешёвую тепловую энергию среднего или даже низкого потенциала (теплоту пара низкого и среднего давления, перегретой воды, выхлопных газов печей или газовых двигателей внутреннего сгорания и т. п.).

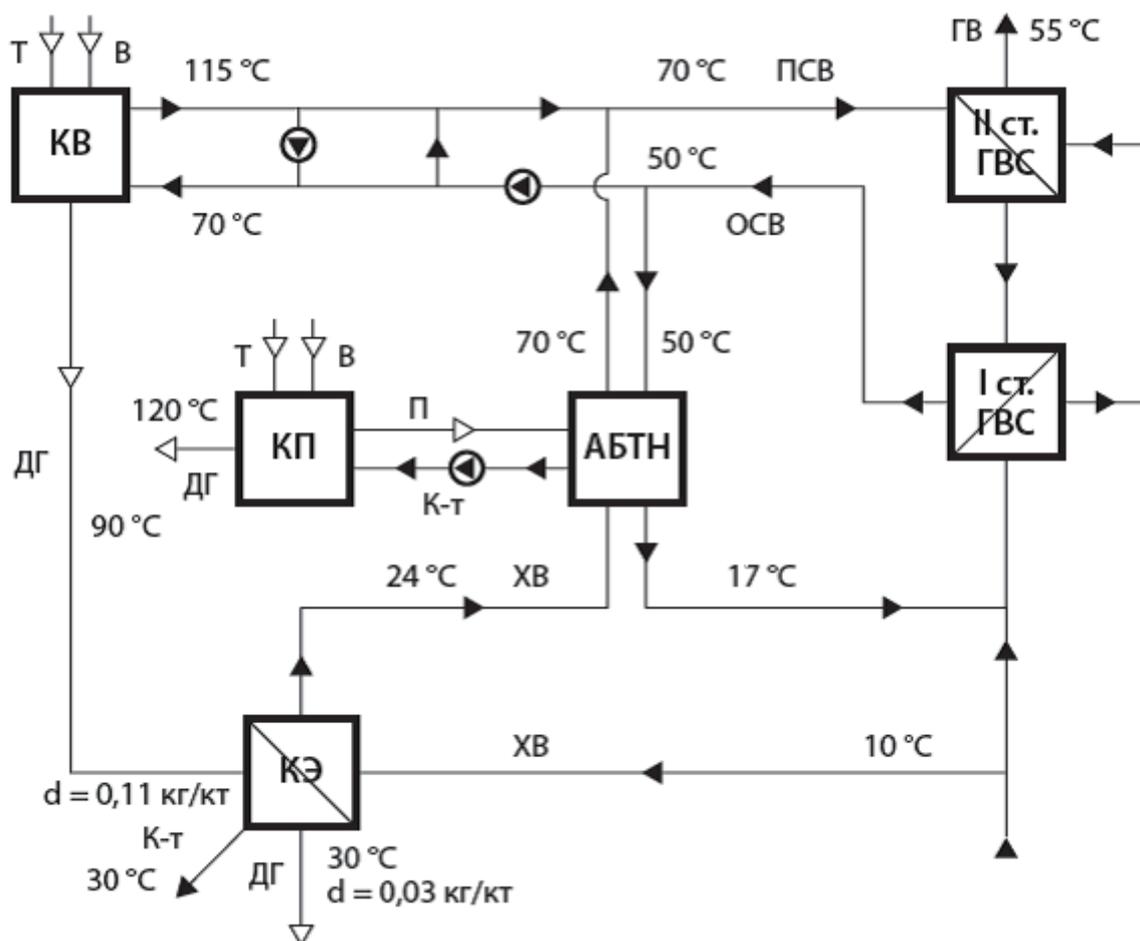


Рисунок 1 - Принципиальная схема использования АБТН в ОК (КВ-водогрейный котёл; КП-паровой котёл; КЭ-конденсационный поверхностный экономайзер; I ст.ГВС-подогреватель ГВС первой ступени; Т-топливо; В-воздух; ДГ-дымовые газы; П-пар; ХВ-холодная вода; ПСВ-прямая сетевая вода; ОСВ-обратная сетевая вода; ГВ-горячая вода)

В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном цельном корпусе. Два теплообменника (генератор и конденсатор) работают при высоком давлении, и их значение - получить в чистом виде легкокипящую жидкость, в нашем случае - воду. Два других теплообменника (испаритель и абсорбер) работают при

низком давлении. Их задачей является отвод теплоты от источника и превращение полученного пара в компонент жидкого раствора. В ходе превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передаётся нагреваемому теплоносителю, например, сетевой воде. При этом в процессе эксплуатации установки требуется исключить переход температур хладагента через граничные значения, не допустимые для раствора воды в бромистом литии. Эти предельные значения температур теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего потоков и определяют допустимые температурные области, при которых возможна работа АБТН. Применение АБТН позволяет при наличии низкопотенциального теплоносителя с температурой от 20 до 65 °С получить теплоноситель с температурой до 80 °С с коэффициентом трансформации теплоты 1,66-1,76, а в двухступенчатых тепловых насосах - до 2,1. [2]

Заключение

За счёт охлаждения дымовых газов и использования скрытой теплоты парообразования водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания, экономится более 7 % топлива на котельной. Для котельных, имеющих непосредственный отпуск горячей воды от котельной, более эффективным мероприятием может быть установка только конденсационного поверхностного экономайзера.

Литература

- 1) Экономия топлива при производстве тепловой энергии [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://www.energsovet.ru/entech.php?id=19&poz_f=0 - Дата доступа: 30.03.2021.
- 2) К вопросу о повышении эффективности отопительных котельных и мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://broad-ctx.by/stati/> - Дата доступа: 30.03.2021.

УДК 622.692

**СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ФИЛИАЛА НПС «ТУРОВ»
THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE BRANCH OF THE OPS «TUROV»**

Марусич Д.В.

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

iwann@tut.by

D. Marusich

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация – в работе рассмотрены вопросы теплоснабжения, электроснабжения, топливоснабжения и водоснабжения НПС «Туров». Приведены характеристики основного и вспомогательного оборудования.

Abstract: The paper deals with the issues of heat supply, electricity supply, fuel supply and water supply of the OPS «Turov». The characteristics of the main and auxiliary equipment are given.

Ключевые слова – теплоснабжение, топливоснабжение, водоснабжение, электроснабжение, энергия, насос, котел.

Keywords: heat supply, fuel supply, water supply, electricity supply, energy, pump, boiler.

Введение

Вопрос бесперебойного энергоснабжения предприятий, таких как НПС «Туров» и ей подобных является актуальным по сей день. Нефтеперекачивающие станции должны быть обеспечены надежными системами тепло-, водо-, топливо- и электроснабжения.

Основная часть

Филиал НПС «Туров» - это нефтеперекачивающая станция. Она расположена почти в середине трассы, несущей углеводородное сырье с востока на запад. Введенная станция в эксплуатацию 29 июня 1967 года. Сегодня это высокотехнологичное подразделение, эффективно выполняющее задачи, стоящие перед предприятием.

Теплоснабжение станции обеспечивается автономно с помощью собственной котельной тепловой мощностью 3,6 МВт.

Отпуск тепловой энергии осуществляется в виде:

1. Теплофикационной воды, с параметрами 95-70 С°, на нужды отопления и вентиляции;
2. Горячей воды, с температурой 60 С° для нужд горячего водоснабжения.

В котельной установлено 4 водогрейных котла:

1. два котла Dynatherm FN-N-1000 фирмы «FROLING» номинальной производительностью 1000 кВт (№2, №3);
2. один котел Dynatherm FN-N-650 фирмы «FROLING» - 550-740 кВт (№1);

3. один Viessmann Vitoplex 100 SX1 – 985 кВт (№4).

Все эти котлы построены с трехходовой системой газопроводов.

На котлах установлены горелки MS-7S и MS-5Z. Горелки котлов блочные, двухпоточные, включают в себя вентилятор и топливный насос. Горелки оборудованы индивидуальными подогревателями топлива и источниками высокого напряжения для автоматического розжига.

Приготовление сетевой воды осуществляется в котлоагрегатах ст. №1, №2, №3 и №4. Подогрев воды на нужды горячего водоснабжения осуществляется в теплообменнике.

В зимний период в эксплуатации находятся котлы №2, 3, 4, обеспечивая нагрузку отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, в летний - №1 обеспечивая нагрузку горячего водоснабжения.



Рисунок 1 - Котлы, установленные на котельной вместе с горелками

Основным топливом для котельной является сырая нефть, резервное – отсутствует.

Топливоснабжение осуществляется посредством отбора нефти из транзитного нефтепровода. Перед 2-й насосной стоит задвижка на трубе диаметром 100 мм и по мере надобности открывается. Далее по этой трубе нефть поступает в 2 ёмкости по 5 м³. Они расположены на высоте 6 м и сообщаются между собой, это сделано для того чтобы создать определенное начальное давление. С этих емкостей нефть самотеком поступает в котельную. В зимнее время нефть в емкостях подогревается с помощью теплового спутника, а внутри котельной подающая труба обогревается за счет электронагревательного кабеля. Далее установлен спаренный насос ZAC-850, который создает давление 0,5 МПа и подает нефть на горелки котлов.

Электроснабжение котельной и станции производится от внешней электрической сети.

Водоснабжение производится из подземных источников посредством погружных насосов ЭЦВ 6-16-110, поступает в ёмкость исходной воды станции обезжелезивания контейнерного типа «Каллиган». Насосы неподготовленной воды FHE 32-200/30/P, прокачивают через фильтрующие элементы OFSY 48

исходную воду, и очищенная вода поступает в ёмкость чистой воды станции обезжелезивания питьевой воды типа «Каллиган».



Рисунок 2 - Спаренный насос ZAC-850

Посредством насосов готовой воды FHE 32-200/30/P очищенная вода поступает в водонапорную башню V-100 м³, а затем в трубопроводы чистой воды с распределением на потребление на питьевые и санитарные нужды промзоны и жилого поселка, также не очищенная вода прямо с артезианских скважин №1 и №2 поступает пожарно-хозяйственные резервуары V-300 м³ и V-150 м³. Автоматика регулирования поддерживает уровень запаса воды в водонапорной башне в диапазоне от 7000 до 5800 мм, контролируемый ультразвуковым датчиком VEGASON 51 при достижении уровня воды 5790 мм включается насос готовой воды датчик VEGASON 51 дает команду на открытие электромагнитного клапана в станции обезжелезивания и включает в работу насос артезианской скважины и заполняется до макс. уровня 6800 мм. В водонасосной филиала применена установка поддержания давления «WILO» в составе двух насосов с частотным регулированием и поддержанием заданного давления в системе пожарного водоснабжения.

Заключение

Существующая система энергоснабжения предприятия находится в надлежащем состоянии, соответствует действующим строительным нормам и полностью обеспечивает потребности станции в энергоресурсах. Необходимо только отметить, что отсутствие резервного топлива на котельной отрицательно влияет на надежность системы теплоснабжения.

УДК 621.186.6

МЕТОДИКА РАСЧЁТА РАСШИРИТЕЛЯ – СЕПАРАТОРА
METHOD OF CALCULATING THE EXPANDER-SEPARATOR

А.Ю. Апанасевич, В.А. Вирко

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

aidarova@bntu.by

A. Apanasevich, V. Virko

Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: расчет расширителя-сепаратора

Abstract: expander-separator calculation

Ключевые слова: расширитель-сепаратор, жалюзи сепаратора, конструктивные характеристики, завихритель, расход, монограмма, пропускная способность.

Keywords: expander-separator, separator louvers, desing characteristics, swirler, flow rate, monogram, throughput.

Введение

Одним из важных элементов современных систем охлаждения ЧНД ТПТУ является расширитель-сепаратор, предназначенный для получения охлаждающего пара, близкого к параметрам насыщения. Также пар не должен иметь капельной влаги.

Основная часть

Основное внимание при отработке конструкции РС уделяется качеству приготавливаемого пара, количество которого 1.4 кг/с определяется исходя из потребностей охлаждения двух последних ступеней ЧНД турбины ПТ-60-130/13. По условию эрозионнобезопасной работы ступеней ЧНД в паре за РС не должна присутствовать визуально наблюдаемая влага. Это условие определено как эрозионнобезопасный уровень [1...4]. Эффект сепарации влаги определяется уровнем скоростей и давлений пара в РС [5,6]. Дополнительные гарантии по качеству пара, кроме того, обеспечиваются дросселированием его непосредственно у охлаждаемой ступени на щели коллектора.

Расчет жалюзийного сепаратора РС выполнялся в соответствии с рекомендациями ЦКТИ [5,6], в соответствии с которыми критическая по выносу капельной влаги скорость может быть определена как

$$C_{кр} = \frac{K \cdot \sqrt[4]{g \cdot \sigma \cdot (\rho' - \rho'')}}{\sqrt{\rho''}}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкой фазы, Н/м³;

ρ' и ρ'' – соответственно, плотность жидкой и паровой фаз, кг/м³.

Коэффициент K зависит от степени сухости пара на входе в жалюзи сепаратора и его конструктивных характеристик:

$$- K = (2,3 \div 1,69) * \left(\frac{1-X}{X}\right)^{0,56} * \left(\frac{h*t}{b}\right)^{0,25} * \frac{1}{\cos\alpha}, \quad (2)$$

где X – степень сухости пара на входе в жалюзи сепаратора;

h, t, b – соответственно, высота, шаг и ширина пакета жалюзей, м;

α – половина угла поворота потока в жалюзи.

Основные конструктивные характеристики жалюзийного сепаратора нашего РС составляют: $h = 0,6$ м; $t = 0,01$ м; $b = 0,08$ м; $\alpha = 50^\circ$. Состояние пара для расчетного режима определено как: $\sigma = 70 * 10^3$ м; $\rho' = 993,64 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ м; $\rho'' = 0,04212 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Диапазон степени сухости пара перед жалюзийным сепаратором от 60% до 95%. Результаты расчета характеристик жалюзийного сепаратора для расчетного режима сведены в табл. 1

Таблица 1 – Основные характеристики жалюзийного сепаратора

Определяемый параметр	Степень сухости пара на входе					
	0,95	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6
Коэффициент K	1,42	1,386	0,929	0,505	0,281	0,061
Критическая скорость пара	40,1	34,6	23,2	12,6	7,0	1,5

Результаты расчетов жалюзийного сепаратора (ЖС) и расчетный расход пара СО лежат в основе расчета диаметра трубопровода подвода пара к ЖС, в нашем случае он равен диаметру РС. По результатам расчета ЖС и РС в широком диапазоне режимов работы построена номограмма, позволяющая определять основной конструктивный размер РС – диаметр для любых исходных степеней сухости пара и уровней его скоростей на входе в сепаратор. Оценка сепарирующей способности камеры гравитационной сепарации РС на входе в ЖС выполнялась по методике [5,6]. На расчетном режиме ЖС способен достичь капли диаметром в 1,6 мм. Это соответствует влажности пара перед ним 15 % при нормальном законе распределения капель по фракциям. На рис. 1 показан пример пользования номограммой. Следует отметить важный вывод: при влажности пара перед ЖС более 20% диаметр корпуса РС резко возрастает. В нашем случае, с запасом достаточно диаметра РС в 1.2 м, что и заложено в его конструкцию. Для выбора диаметра и количества отверстий в перфорированной обечайке отвода водяной фазы потока была поставлена серия опытов по экспериментальному определению зависимости коэффициента расхода одиночного отверстия от гидростатического напора жидкости. При диаметре отверстия 6 мм и напоре 1 м вод. ст. расчетный расход через отверстия в 1.4 кг/с требует выполнения 65 штук таких отверстий. В конструкции перфорированной обечайки из выполнено 105 штук. Испытания РС подтвердили правильность такого выбора.

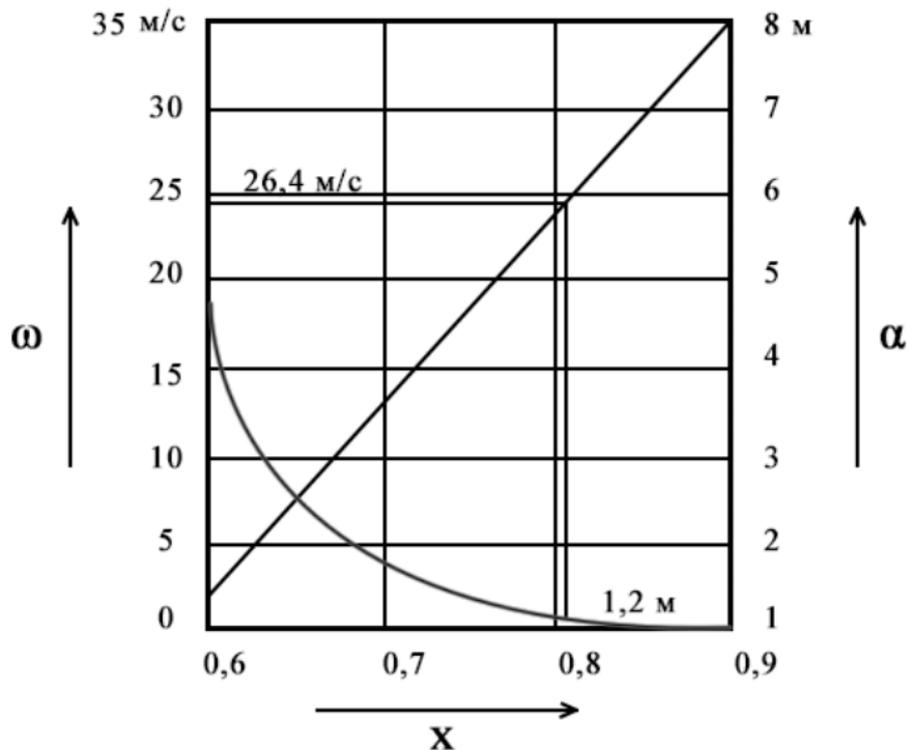


Рисунок 1 - Номограмма и пример расчета расширителя-сепаратора

Входной завихритель проверялся на пропускную способность из расчета возможного критического режима истечения в нём. Скорость водяной фазы при этом составит:

$$C_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho'} + \frac{C_0^2}{2}}, \quad (3)$$

где Δp – перепад давления на завихрителе;

ρ' – плотность водяной фазы;

C_0 – входная скорость, в нашем случае её величина в подводящем трубопроводе не превышает 1 м/с и ею можно пренебречь. Запирание по расходу среды возможно только по паровой фазе, поэтому объёмный пропуск её за завихрителем составит:

$$Q_n = D \cdot v'', \quad (4)$$

где D – массовый расход среды;

v'' – удельный объём паровой фазы.

Максимально возможная скорость пара за завихрителем

$$C_n = \frac{Q_n}{F_n}, \quad (5)$$

где F – скорость пара в выходном сечении перфорированной обечайки составит живое сечение завихрителя. С учётом загромождения его лопатками

$$C_n'' = \frac{C_n}{0,85}, \quad (6)$$

Местная скорость звука в потоке пара за завихрителем

$$a = \sqrt{k * p * v}, \quad (7)$$

Заключение

Расчёты по данным выражениям показали, что ни в одном из сечений РС не может возникнуть критический режим истечения, что получило экспериментальное подтверждение. Это имеет большое значение, так как критический режим переносится на задвижку подачи перегретого конденсата в РС, следовательно, меняя степень её открытия удобно влиять на весь тракт за ней. Тем самым, фактически обеспечивается работа всей СО в режиме авторегулирования. На практике это означает, что не требуется установка каких-либо регулировочных устройств в СО, так как она саморегулируема. Последнее оценивается как существенное достоинство схемы, именно, этого не хватает всем СО ПО ТМЗ. К установке принят завихритель с наружным диаметром 400 мм, диаметром втулки 150 мм, числом лопастей 8 штук, углом их установки относительно горизонта 30° при вертикальной компоновке РС.

Литература

1. Фаддеев И.П., Боровков В.М. Эрозия рабочих лопаток ЧВД паровых турбин на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1973. - № 4.- С.128-129.
2. 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.
3. Фаддеев И.П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л.:Машиностроение.-1974.-280с.
4. Явельский М.Б., Шилин Ю.П. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин и мероприятия по ее устранению//Энергомашиностроение.-1961.-№10.-С. 11-15.
5. Осипов А.М., Сидоров В.В.,Хорзеев Ю.И. Создание и исследование сепараторов предварительного разделения пароводяной смеси для вертикального парогенератора ПГВ-250//Сб.научн. тр.-1982.-п.199.- С. 47-53.
6. Демидова Л.В., Сорокин Ю.Л.,Допустимые скорости пара и газа для вертикальных и наклонных жалюзийных сепараторов // Энергомашиностроение.-1972.-№3.-С.44.

УДК 620.97

**ВАРИАНТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ
ABSORPTION HEAT PUMPS USE CASES AND EFFICIENCY RISE IN
HEAT TECHNOLOGIES**

М.С. Карака

Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажёр

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь yanchuk@bntu.by

M. Karaka

Supervisor – V. Yanchuk, assistant professor

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Рассмотрены варианты повышения эффективности некоторых теплотехнологических процессов при использовании абсорбционных тепловых насосов. Приведены численные значения повышения энергетического и эксергетического КПД.

Abstract: Cases of absorption heat pumps use for heat technologies efficiency improvement are considered. Values of energy and exergy efficiency improvement are given.

Ключевые слова: абсорбционный тепловой насос, низкотемпературные тепловые потоки, энергоэффективность.

Keywords: absorption heat pump, low temperature heat sources, energy efficiency.

Введение

Повышение эффективности использования первичных энергоресурсов – основное направление развития современной энергетики. Вопросы повышения энергоэффективности актуальны как для промышленных предприятий, так и для жилищно-коммунальной сферы. Одним из способов достижения этой цели является применение для теплоснабжения и охлаждения различных объектов абсорбционных бромистолитиевых трансформаторов теплоты – тепловых насосов (АБТП) и холодильных машин (АБХМ). Абсорбционные теплотрансформаторы в отличие от парокомпрессионных не требуют больших затрат электроэнергии и используют для работы более дешевую тепловую энергию греющего водяного пара, горячей воды, либо непосредственно жидкое или газовое топливо. На ближайшие десятилетия прогнозируют рост суммарной установленной мощности тепловых насосов в 10 раз [1].

Основная часть

Тепловой насос по принципу действия напоминает холодильную машину, однако с32 принципиальным отличием – ролью для потребителя. Холодильные машины предназначены для охлаждения, тепловой насос – для нагрева. Существует несколько видов теплонасосных установок, однако выберем для рассмотрения абсорбционные тепловые насосы, наиболее перспективные для нашей страны [2].

Рассмотрим применение абсорбционного теплообменника для рекуперации тепла в системе когенерации. Эффективным способом передать большее количество теплоты потребителям при неизменной пропускной способности является увеличение теплосъема на принимающей стороне. При использовании абсорбционного теплового насоса возможно получение пониженной температуры обратной сетевой воды – до 20°C [3]. По такой схеме обратная сетевая вода поглощает теплоту из конденсатора перед повторным нагревом в сетевом подогревателе. Согласно расчетам, такая система может увеличить тепловую мощность на 31% и эксергетический КПД на 10% по сравнению с обычной когенерационной системой [3].

Вполне эффективно использование АБТН в процессе сушки (около 10–15% от общего энергопотребления в промышленности) [4]. Обычно используются парокompрессионные сушилки с тепловым насосом, в то время как можно использовать абсорбционные для использования отработанного тепла или тепла от возобновляемых источников энергии.

На предприятиях химических отраслей, имеющих в своем составе производство кальцинированной соды, слабой азотной кислоты, аммиака, использование АБТН способствует более полной утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР), что приводит снижению затрат на 15%.

Абсорбционные тепловые насосы также можно внедрить в процесс дистилляции [4]. Этот процесс состоит из двух частей: первая – это повышение температуры жидкости от фактического состояния до точки насыщения, а вторая – добавление большого количества энергии к процессу фазового перехода, однако каждая часть имеет неэффективность в зависимости от процесса теплопередачи в паровую или газовую фазу. Газы обладают низкими коэффициентами теплопередачи в зависимости от природы молекулярного состава. Молекулы жидкости имеют более высокую теплопроводность, чем молекулы газов при тех же условиях давления и температуры. В таком случае лучше всего разработать процесс передачи энергии с большими площадями передачи для падающих жидких пленок, чтобы ускорить процесс дистилляции. Дистилляция воды с помощью теплового насоса не новость, но у установки есть две основные проблемы: низкая эффективность по сравнению с другими технологиями и более высокая стоимость по сравнению с обычными системами. Проекты имеют успех в сочетании с возобновляемыми источниками энергии [3], однако их распространение в наши дни еще мало.

Таким образом, можно выделить следующие особенности использования АБТН:

1. Тепловые насосы требуют больших первоначальных затрат, но, с другой стороны, их эксплуатационные расходы приводят к долгосрочной экономии на счетах за электроэнергию и приводят к сокращению выбросов углерода [5].
2. Для систем теплоснабжения АБТН требуют меньшего обслуживания, чем топочные системы. Регулярно, раз в год, необходимо проверять некоторые детали системы, что легко может быть выполнено

- самостоятельно. С другой стороны, профессиональный установщик должен проверять каждые три или пять лет [6].
3. АБТН более безопасны, чем системы отопления, работающие на сжигании. Они безопасны в эксплуатации, и, поскольку они могут полагаться на электричество и не нуждаются в сжигании топлива для выработки тепла, у них меньше проблем с безопасностью по сравнению с их аналогами.
 4. Срок службы тепловых насосов относительно велик, до 50 лет, однако средний срок службы составляет от 14 до 15 лет [6].
 5. Некоторые из используемых жидкостей вызывают экологические проблемы, поэтому рекомендуется использовать биоразлагаемые жидкости.

Заключение

Абсорбционные тепловые насосы просты, могут быть взаимозаменяемы, идентичны по конструкции, которая представляет набор теплообменников, эксплуатация которых известна. Внедрение абсорбционных тепловых насосов в теплотехнологии позволит снизить потребление первичных энергетических ресурсов в пределах до 40% [5] и количество вредных выбросов в окружающую среду в заметных количествах.

Литература

- 1) Комплексное исследование эффективности тепловых насосов [Электронный ресурс]/ теплоэнергетика. – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/39691199.pdf>. – Дата доступа: 14.04.2021.
- 2) Технико-экономическое обоснование применения тепловых насосов для теплоснабжения водохозяйственных объектов С. Л. Елистратов, А. И. Бивалькевич, Н. В. Карпов, В. М. Шварц // Водоснабжение и санитарная техника. - 2009.- №3.
- 3) Ring T.A., Dirksen J.A. Absorption heat pumps having improved efficiency using a crystallization inhibiting additive. University of Utah. – 2008.
- 4) Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004. № 2.
- 5) Время применения абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов на промышленных предприятиях Беларуси [Электронный ресурс]/ энергоэффективность. Режим доступа: http://energoeffekt.gov.by/downloads/publishing3/archive_journal/arhiv_journal_2017/En_04_2017.pdf. – Дата доступа: 14.04.2021.
- 6) Эффективность тепловых насосов [Электронный ресурс]/ энергосбережение и эффективность. – Режим доступа: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/heat-pumps-7-advantages-and-disadvantages>. – Дата доступа: 18.04.2021.

УДК 697.245.5

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОНВЕКТОРОВ
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF HEATING CONVECTORS

П.А. Куценко, К.А. Мордас

Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,

Г.Минск, Республика Беларусь

yarmolchik@bntu.by

P. Kutsenko, K. Mordas

Supervisor – Y. Yarmolchik, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрение конвекторов, преимущества перед другими отопительными приборами, их классификация, достоинства и недостатки каждого из них,*

***Abstract:** consideration of convectors, advantages over other heating devices their classification, advantages and disadvantages of each of them*

***Ключевые слова:** конвекторы, отопление, теплообмен, прибор, воздушный поток, температура*

***Keywords:** convectors, heating, heat exchange, appliances, air flow, temperature*

Введение

Проанализировав опыт применения отопительных систем можно сделать вывод, что одним из самых распространенных способов обогрева является конвекторное отопление. Оно давно и успешно применяется во всех типах зданий и сооружений.

Основная часть

Конвекторная система отопления – это система, в которой теплота перемещается от теплоносителя нагревательного элемента с помощью конвекции. Это значит, теплопередача производится постоянным движущимся воздушным потоком. Поэтому осуществляется равномерно прогреть пространство.

Система отопления имеет нижеприведенную конструкцию. Главные элементы ее – конвекторы. В нижней части находится теплообменного аппарата, в котором регулярно движется нагретый теплоноситель, который играет важную роль в протекании теплообмена. Он обеспечивается тонкими металлическими ребрами или трубками, которые являются направляющимися для нагретого воздушного потока, чтобы площадь соприкосновения холодного воздуха с нагревателем была большей.

Конвекторы отопления могут быть рассчитаны на различную площадь помещения, они не выделяют вредных веществ и не сжигают воздух. Большая часть нынешних экземпляров изготавливаются таким образом, что нагреваются до определенной температуры, при которой не сжигается кислород. Они имеют встроенный термостат и защиту от перегрева.

Термостат позволяет поддерживать определенную температуру в помещении, а защита от перегрева обеспечивает безопасность. Большинство модели устроены так, что защитный кожух не нагревается до температуры, которая может приводить к термическому воздействию на людей или домашних питомцев.

Используются конвекторы при отоплении квартир и жилых домов, коттеджей, офисных помещений и коммерческой недвижимости, объекты социальной сферы.

Главное достоинство конвекторов в том, что они дешевые и они применяются, если нет возможности установить другие отопительные приборы.

Электрические конвекторы

Электроконвекторы – это отопительные приборы с оптимальным энергопотреблением. Они совершенно безопасны в применении, если сделаны авторитетным производителем.

Рассмотрим на примере трубчатого электронагревателя.

Достоинства:

1. дешевизна;
2. простота конструкции и применение;
3. КПД приблизительно 95%;
4. Быстрый нагрев;
5. беззвучен.

Недостатки:

1. плавное снижение КПД и отопительных характеристик в дальнейшем;
2. большое потребление электроэнергии и её высокая стоимость;
3. неэффективен при больших пространствах, выступает вспомогательным оборудованием;
4. есть модели, сжигающие кислород, что ведет к появлению пыли.

Газовое конвекторное отопление

У газовых конвекторов принцип действия аналогичен электрическим, отличие только лишь в методе нагрева теплообменного аппарата. Его подсоединяют к газовой магистрали используя специально предназначенный шланг. Данное мероприятие затратно, но окупается достаточно быстро. Газ является легкодоступным видов топлива, когда жильё подсоединено к магистрали. Когда используется сжиженный газ, тогда затраты на конвекторное отопление дома практически одинаковы с теми, что при потреблении электрической энергии. Следует отметить, что газовым конвекторам нужен подвод воздуха и вывод для отработанных газов. Оборудование коаксильного газохода позволяет совместить перечисленные выше функции. Его создают подобно концепции «труба в трубе», а именно продукты сгорания удаляются по внутреннему каналу, а через наружный осуществляется забор воздуха. Необходимо подчеркнуть, что данная система создаёт еще и рекуперацию теплоты.

Достоинства газового оборудования:

1. Безопасное эксплуатация
2. Хороший результат обогрева при низких температурах

К недостаткам следует отнести:

1. высокая стоимость газа
2. требуется дымоход

Водяное конвекторное отопление

Водяное конвекторное отопление здесь вода служит в качестве теплоносителя. Это устройство-правопреемник широко применяемого центрального отопления, применяемое в многоэтажных домах и обладает высокой теплоотдачей. Важно отметить, что это самый дешевый вид отопления. Конвекторы водяного отопления подразделяются на:

1. настенные;
2. напольные;
3. встроенные.

Такие конвекторы через специальные вводы подключаются к системе отопления. Для регулировки температуры нагрева в новейших моделях предусмотрены заслонки, краны спуска воды и клапаны, при необходимости ограничивающие подачу теплоносителя.

Достоинства данного отопления:

1. безопасность эксплуатации;
2. недолгий нагрев;
3. легко обслуживается;
4. небольшой вес;
5. отсекает холодный воздух извне, если установить радиатор ниже окна;
6. хороший результат при низких температурах, сравнительно малый расход электрической энергии.

Недостатки:

1. при неравномерном размещении воздушных потоков сопровождаются сквозняками;
2. неэффективен в помещениях с большой площадью, особенно если в них высокие потолки.

Заключение

В целом конвекторное отопление считается довольно эффективным с точки зрения обогрева помещений. Затраты же на монтаж и эксплуатацию разнятся в зависимости от выбранного типа приборов. У пользователей есть возможность выбора оборудования применительно к собственным условиям и пожеланиям.

УДК 697.341

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ INCREASING THE RELIABILITY OF HEATING NETWORKS

П.А. Куценко, К.А. Мордас

Научный руководитель – И.В. Шкляр, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
shklyar@bnlu.by

P. Kutsenko, K. Mordas

Supervisor – I. Shklyar, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в работе предложены основные методы повышения надежности тепловых сетей и их способы улучшения.*

***Abstract:** the paper proposes the main methods of increasing the reliability of heating networks and their ways to improve.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, трубопроводы, эксплуатация, коррозия, защита*

***Keywords:** heat supply, pipelines, exploitation, corrosion, protection*

Введение

Централизованные системы теплоснабжения, также как системы газо-, нефте-, электро-, и водоснабжения(условно), – большие системы энергетики, к которым предъявляются особенно высокие требования. Следовательно, обеспечение надежности и эффективности теплоснабжения – актуальные проблемы, значение которых возрастают с увеличением мощности теплоснабжающей системы.

Основная часть

Проблемы надежности систем теплоснабжения сложна и многогранна. Для её решения необходимо учитывать следующие факторы:

1)повышение качества элементов систем, в основном качество теплопроводов, для чего необходимо разработать такие методы прокладок, которые обеспечивали бы защиту трубы от коррозии и исключали разрушение теплоизоляционного слоя

2)надежность теплоснабжения может быть обеспечена только в том случае, если система тепловых сетей будет управляемой. Таких образом, управляемость сети является категорией общего понятия надежности. Такая управляемость обеспечивается принятой схемой сети и автоматизацией централизованной системой теплоснабжения

3)в процессе эксплуатации сети должно быть обеспечено управление её надежностью. Прежде всего, подразумевается надзор за состоянием системы, профилактические и капитальные ремонты, регулярные испытания тепловых сетей, отладка гидравлических режимов при развитии системы, управление эксплуатационными и аварийными гидравлическими и тепловыми режимами

Проектирование жилых и производственных объектов, разработка новых строительных конструкций должно проводиться с учетом климата региона, с его низкими температурами, резкими перепадами, слабыми грунтами и высоким уровнем грунтовых вод. Важным процессом, обеспечивающим качественную эксплуатацию и ремонт сетей теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, является создание баз данных инженерных коммуникаций. Качественное и экономическая эксплуатация систем тепло-и водоснабжения требует разработки и внедрения новых энергосберегающих технологий и материалов.

Получить желаемый эффект невозможно из-за требований нормативно-технических документов для эксплуатации, капитальному ремонту и строительству тепловых сетей.

Рассмотрим ряд таких неточностей по эксплуатации:

1. Невозможность проверки фактического состояния теплопроводов во время эксплуатации, не осуществляется проверка состояния тепловых сетей
2. Не реализуются планы проверок по продлению срок службы теплопроводов, которые действуют в данное время
3. Эксплуатационному персоналу не предоставляются способы избежать коррозию, проведение таких мероприятий не планируется
4. Не следят должным образом за состоянием трубопроводом в пенополиуретановой изоляции с системами оперативного удаленного контроля, потому что приборы контроля неисправны или отсутствуют вовсе
5. Не удовлетворяющее нормам качество проведения аварийный и ремонтных работ
6. Нет фактического осмотра потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию теплопроводов, описывающих характеристики тепловых сетей

Защиту стальных трубопроводов от внутренней коррозии следует выполнять путем:

1. Постоянного поддержания рН в пределах, предусмотренных нормативами Министерства энергетики Республики Беларусь;
2. Снижения содержания кислорода в сетевой воде;
3. Покрытия внутренней поверхности стальных труб антикоррозионными составами или применения коррозионно-стойких сталей;
4. Применения безреагентного электрохимического способа обработки воды;
5. Применения водоподготовки и деаэрации подпиточной воды;
6. Применения ингибиторов коррозии.
7. Следующие подготовительные действия :
8. Реализация автономной приборной проверки качества прокладки
9. Осуществить последовательные изменения к неразрушающим способам проверки тепловых сетей

10. Производство местного частичного ремонта с ремонтом определенных мест наибольшего коррозионного разрушения, с переориентацией аварийный служб, с ликвидацией неполадок на их замечания
11. Проведение анализа причин ранней поломки трубопроводов тепловых сетей с выявлением причин, определенных виновных и мер, требуемых для недопущения похожих случаев
12. Обучение персонала методам защиты от коррозии
13. Наличие аварийного запаса материалов и заготовок;
14. Оперативное предотвращение неполадок;
15. Предотвращение повторных разрывов, конкретизация ресурса поврежденного участка;
16. Система контроля качества работ;
17. Увязка с текущим ремонтом;
18. Мотивация персонала.

Заключение

В данной работе были предложены основные методы повышения надежности тепловых сетей и их способы улучшения. Программа должна включать в себя перечень организационных и технических мероприятий, проводимых при эксплуатации, текущем ремонте, замене и новом строительстве тепловых сетей с обоснованием каждого мероприятия.

Литература

- 1) Программа повышения надежности тепловых сетей [Электронный ресурс]/ Энергосбережение. -Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/varianty-rekonstrukcii-sistemy-centralizovannogo-teplosnabzheniya-napravlennye-na-podderzhanie-teplogidravlicheskih-rezhimov> /. – Дата доступа: 15.03.2021.

УДК 697.343

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ,
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
METHODS OF OPTIMIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS, HEAT
NETWORKS, AND THERMAL-HYDRAULIC MODES**

Н.С. Покровский

Научный руководитель – И.В. Шкляр, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

shklyar@bntu.by

N. Pokrovski

Supervisor – I. Shkliar, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье идет речь о методах оптимизации систем теплоснабжения, тепловых сетей, теплогидравлических режимов.*

***Abstract:** the article deals with the methods of optimization of heat supply systems, heat networks, and thermal-hydraulic modes.*

***Ключевые слова:** методы, тепловая сеть, энергия, насос, источник.*

***Keywords:** methods, heat distribution system, energy, pump, central plant.*

Введение

К усложнению процесса модернизации централизованного теплоснабжения неизбежно приводит: сложность иерархии построения, полный учет многообразия возмущений, действующих на систему.

Обновление устаревшего оборудования является основным фактором поддержания теплогидравлического режима.

Основная часть

Рассмотрим следующие энергосберегающие методы:

1. Установка автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) и установка на стояках системы отопления балансировочных клапанов.
2. Переход схемы системы ГВС на закрытую.
3. Перевод потребителей на независимую схему подключения систем отопления.
4. Замена традиционных теплоисточников на автономные, основанный на возобновляемых источниках энергии.
5. Автоматизация оборудования сетевых насосов и тепловой сети.

Ограничением последнего направления является отсутствие технического учёта полного охвата на насосных станциях, зачастую требующего установить электросчётчик на каждый насос, чтобы оценить эффект от внедрения частотнорегулируемого привода (ЧРП).

Касательно метода №4, то во многих странах мира всё более активно прослеживается тенденция масштабного перехода к малым мам теплоснабжения на основе распределённой генерации энергии.

Экономический эффект методов №№1-4 достигается, за счёт снижения укрупнённой расчётной величины нормативных тепловых потерь, которая, в свою очередь, производится путём сокращения протяжённости тепловых сетей или путём снижения фактической среднегодовой температуры в подающем трубопроводе.

Заключение

Для рассмотренных вариантов проведён анализ их достоинств и недостатков. Такие проекты имеют технические преимущества, но расчётный срок окупаемости более 7 лет делают их непривлекательными для возможных инвесторов из-за некоторых сложностей с возвратом капиталовложений. Чистый дисконтированный доход всех проектов является положительным, что может свидетельствовать об удачном выборе методов и их общей пользы.

Литература

1. Журнал Сантехника, Отопление, Кондиционирование, Энергосбережение [Электронный ресурс]/ Энергосбережение. -Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/varianty-rekonstrukcii-sistemy-centralizovannogo-teplosnabzheniya-napravlennye-na-podderzhanie-terplogidravlicheskih-rezhimov/>. – Дата доступа: 25.03.2021.
2. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]/ Энергосбережение. -Режим доступа: <https://qwizz.ru /новые-технологии-солнечной-энергетики/>. – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 697.54

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ**
USE OF HEATING BATTERIES IN HEATING SYSTEMS

Т. А. Сиваков

Научный руководитель – И. В. Шкляр, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

shklyar@bntu.by

T. Sivakov

Supervisor – I. Shklyar, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье идет речь о том, о использовании тепловых аккумуляторов в системах теплоснабжения и его преимущества*

***Abstract:** the article deals with the use of heat accumulators in heat supply systems and its advantages*

***Ключевые слова:** пар, потребитель, тепловой аккумулятор, отопление*

***Keywords:** steam, consumer, heat accumulator, heating*

Введение

Пар - это теплоноситель, который может одновременно удовлетворять потребности нескольких потребителей тепла и адаптироваться к различным законам изменения нескольких тепловых нагрузок. В современных условиях он может использоваться для отопления и промышленности, с разными параметрами пара. Производственная тепловая нагрузка различных потребителей зависит от производственного процесса, сырья, мощности и рабочих параметров оборудования. У некоторых пользователей потребление пара сильно колеблется, а пиковое значение не имеет определенного закона, и даже запуск и остановка происходят случайным образом; у некоторых пользователей очень строгие требования к параметрам пара, и ограничение параметра влияет на качество продукта. Таким образом, в сложной системе парового отопления с несколькими потребителями тепла обеспечение расхода пара и параметров расхода пара является важным вопросом, связанным с экономической выгодой, качеством услуг и корпоративным имиджем производственного сектора и теплоэнергетики.

Основная часть

В системе парового отопления можно использовать следующие методы для обеспечения потребности потребителя в паре:

1. Использование самого котла-накопителя тепла, вырабатываемого из испаренного пара, для выдерживания пиковой нагрузки;
2. Правильно отрегулируйте устройство контроля горения котла и измените режим горения, а также условия горения для адаптации к пиковой нагрузке;
3. Установить тепловой аккумулятор.

Можно воспользоваться преимуществами большой водоемкости котла, полагаться на накопленное им тепло, чтобы справляться с кратковременными пиковыми нагрузками, а также использовать устройство автоматического управления котлом для настройки на пиковую нагрузку. Однако все это требует более высокого уровня контроля со стороны обслуживающего персонала, чтобы оперативно справляться с аварийной ситуацией, которая может возникнуть. Установка же теплового аккумулятора является наиболее эффективным и разумным методом.

Тепловой аккумулятор представляет собой сосуд высокого давления, в котором накапливается пар, который используется для регулирования и уравнивания разницы между подачей пара от источника тепла и паром, используемым пользователем.

В системе парового отопления тепловые аккумуляторы можно разделить на: централизованные аккумуляторы и локальные аккумуляторы в зависимости от места установки.

Центральный тепловой аккумулятор устанавливается на источнике тепла или тепловой магистрали для стабилизации давления барабана и давления подачи пара в рабочих условиях. В системе тепловых сетей, где нагрузка пользователя сильно колеблется во времени, можно использовать паровой аккумулятор для регулирования колебаний нагрузки системы отопления. С одной стороны, котел всегда стабильно работает в лучших рабочих условиях, а мощность пара и давление остаются неизменными, так что его тепловой КПД постоянный.

Локальный тепловой аккумулятор устанавливается непосредственно на ответвлении, для одного или нескольких потребителей. Для некоторых потребителей, которые предъявляют строгие требования к давлению пара, этот тип теплового аккумулятора также может быть использован. Колебания тепловой нагрузки этого пользователя зависят от регулируемой способности локального теплового аккумулятора для компенсации, и этому не мешают другие потребители пара.

Заключение

Внедрение теплового аккумулятора позволит решить ряд проблем в снабжении потребителей паром, при этом не снижая параметры и КПД котла, чтобы позволит более эффективно его использовать и экономить на его обслуживании.

Литература

1. Применение теплового аккумулятора в системе парового отопления. Харбинский технологический университет, Школа муниципальной администрации Лей Цуйхонг Цзоу Пинхуа Лангфанг. Зона экономического и технологического развития Центр теплоснабжения Жэнь Чжюань Чен Цзыко Ву Цзе.

УДК 338.001

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИРЕ**
**USE OF NON-RENEWABLE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN
THE WORLD**

В.С. Матерн, Е.А. Сырица
Научный руководитель – Ю.С. Зеленина, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
yulia.cupry@yandex.ru
V. Matern, YA. Syrytsa
Supervisor – Y. Zelenina, assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** непрерывно растущее потребление топливно-энергетических ресурсов требует рационального и экономного использования топлива. Таким невозобновляемым топливом является нефть, природный газ и уголь. Но одной из главных проблем является тот факт, что эти ресурсы могут закончиться. А также их использование вызывает вредные выбросы углекислого газа, парниковый эффект и глобальное потепление. Для решения этой проблемы в мире всё больше и больше прибегают к использованию альтернативных (возобновляемых) источников энергии.*

***Abstract:** the continuously growing consumption of fuel and energy resources requires rational and economical use of fuel. Such non-renewable fuels are oil, natural gas and coal. But one of the main problems is the fact that these resources may run out. And their use causes harmful carbon dioxide emissions, the greenhouse effect and global warming. To solve this problem, the world is increasingly resorting to the use of alternative (renewable) energy sources.*

***Ключевые слова:** топливно-энергетические ресурсы, невозобновляемое топливо, вредные выбросы, альтернативные (возобновляемые) источники энергии, гибкие солнечные батареи.*

***Keywords:** fuel-energy resources, non-renewable fuels, harmful emissions, alternative (renewable) energy sources, flexible solar panels.*

Введение

Горючие вещества, которые целесообразно использовать для получения большого количества топлива называется энергетическим топливом. В современном мире энергию в основном получают за счёт сжигания ископаемого энергетического топлива и работы атомных электростанций. Поэтому, природные запасы топлива должны удовлетворять потребностям, а добыча, переработка и использование – вызывать минимально возможное вредное воздействие на окружающую среду. Но, к сожалению, вредное воздействие на окружающую среду в настоящее время велико.

Основная часть

Энергетическое топливо (нефть, природный газ, уголь) является основой энергетики, поскольку основная часть всей вырабатываемой в Беларуси электроэнергии приходится на долю ТЭЦ и ГРЭС. Среди теплоэлектростанций установленной мощностью по выработке электрической энергии выделяются: Минские ТЭЦ-4 (1030 МВт), ТЭЦ-3 (420 МВт), ТЭЦ-5 (330 МВт), Гомельская ТЭЦ-2 (540 МВт), Могилевская ТЭЦ-2 (345 МВт), Новополоцкая ТЭЦ (505 МВт), Светлогорская ТЭЦ (260 МВт), Мозырская ТЭЦ (195 МВт), Бобруйская ТЭЦ-2 (180 МВт). Теплоэлектростанции и районные котельные вырабатывают около 60 % тепловой энергии. Но все они наносят огромный вред окружающей среде выбросами углекислого газа, образованием парникового эффекта и глобального потепления. На территории Республики Беларусь действуют также несколько тысяч малых энергоустановок, которые имеют низкие технико-экономические характеристики, также негативно воздействуют на окружающую среду и забирают значительное количество трудовых ресурсов [1]. По этим причинам в настоящее время Республика Беларусь и Мировая энергетика в целом всё чаще и чаще переходит на использование альтернативных источников энергии.

Как известно, к ресурсам возобновляемой энергии относятся:

1. Энергия солнца;
2. Энергия ветра;
3. Энергия движения водных потоков;
4. Приливы
5. Биотопливо (топливо из растительного или животного сырья)
6. Геотермальная теплота (недра Земли)

Рассмотрим один из самых перспективных и стремительно развивающихся нетрадиционных источников энергии – гибкие солнечные батареи. Это устройство используется в любой точке планеты, не загрязняя окружающую среду, поэтому применение гибких солнечных батарей очень широкое. Они применяются в электронике, электрификации зданий, автомобиле- и авиастроении, на космических объектах. В строительстве такие панели используют для обеспечения жилых и промышленных зданий электричеством. Известны примеры использования портативных зарядных устройств на основе гибких солнечных элементов. Они доступны каждому и продаются повсеместно.

Гибкие солнечные батареи можно разместить на крыше автомобиля или корпусе яхты (рисунок 1) [2].

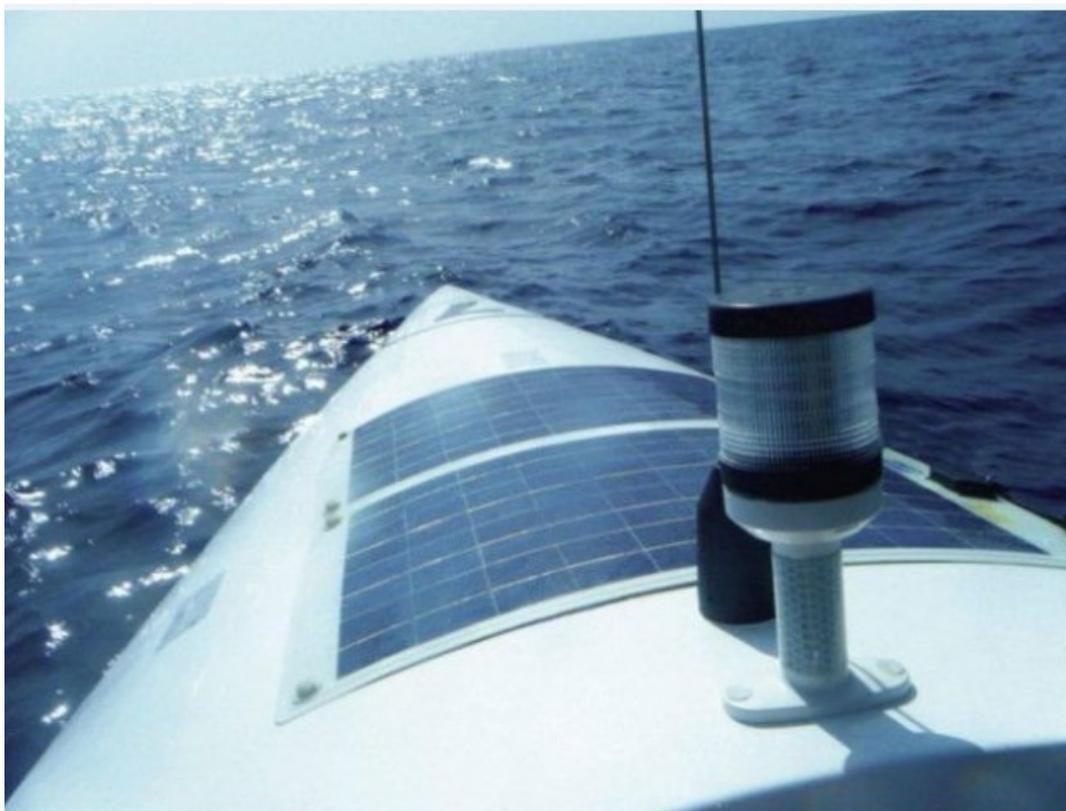


Рисунок 1 - Гибкие солнечные батареи на корпусе яхты

Путешественники часто используют в качестве источника энергоснабжения гибкие туристические панели. Рассмотрим, какими эти панели бывают.

1. Маломощные модели, которые предназначены только для зарядки телефонов. Компактные, не тяжёлые.
2. Универсальные модели, которые предназначены для зарядки различных гаджетов. Имеют большое количество переходников. Также компактные, но намного тяжелее, чем первый походный вариант туристических панелей. Такие модели туристы используют более предпочтительней.
3. Супертяжеловесы, мощные батареи-панели. Фиксируют их на подложках. Вес этих панелей достигает 9 кг, поэтому требуют стационарного использования либо перевозки на автомобиле.

На рисунке 2 представлена известная современная универсальная водонепроницаемая складная солнечная панель с зарядным устройством 18 в, 21 Вт, которая предназначена для зарядки различных гаджетов. Приобрести данную модель можно по приемлемой цене [3].



Рисунок 2 - Современная универсальная водонепроницаемая складная солнечная панель для зарядки различных гаджетов

Заключение

С нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии связывают будущее энергетики. Мировая наука обнаружила множество таких источников, большинство из них уже используется более или менее широко. В настоящее время общий вклад альтернативных источников энергии в мировой энергобаланс невелик, около 20 % конечного потребления энергии. При этом на долю биотоплива и гидроэнергии, используемых традиционными способами, приходится основная часть – около 17 %, на долю нетрадиционных источников энергии всего около 3 %.

Литература

1. Топливо и теория горения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mypечники.рф/images/knigi2020/32-Toplivo-i-teoriya-goreniya.-SНast-1.-Toplivo.pdf> /. – Дата доступа: 10.04.2021.
2. Гибкие солнечные батареи: обзор типовых конструкций, их характеристик и особенностей подключения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/gibkie-solnechnye-batarei.html> /. Дата доступа: 10.04.2021.
3. Путешествия и экспедиции с комфортом — солнечная батарея для туристов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energo.house/sol/solnechnaya-batareya-dlya-turistov.html> /. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 697.9

**ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЬНЫХ
РАДИАТОРОВ**
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF STEEL PANEL RADIATORS

Судак А.А., Санько А.Н.

Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
yarmolchik@bntu.by
A.Sudak, A.Sanko

Supervisor – Y. Yarmolchik, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Рассмотрена конструкция панельных радиаторов, варианты их подключения. Изучена их типология в зависимости от количества подключенных конвекторных и нагревательных панелей. Представлены их недостатки и достоинства.*

***Abstract:** The design of panel radiators and their connection options are considered. Their typology was studied depending on the number of connected convector and heating panels. Their advantages and disadvantages are presented.*

***Ключевые слова:** радиаторы, отопление, панельные радиаторы.*

***Keywords:** radiators, heating, panel radiators.*

Введение

Радиаторы отопления могут быть изготовлены из разных материалов – в том числе, из стали. Стальные батареи отличаются от более привычных чугунных моделей целым рядом преимуществ – но имеют определённые недостатки, из-за которых их можно использовать далеко не везде. Для выбора подходящего варианта стоит познакомиться с типами стальных радиаторов отопления, их плюсами, минусами, способами подключения и популярными моделями

Основная часть

Конструктивно панельные радиаторы изготавливают из двух стальных пластин толщиной около 1,5 мм. В этих пластинах отштамповываются углубления, которые образуют коллекторы и соединительные каналы, а сами пластины соединяют сваркой. Так же к пластинам приваривают ребрения для усиления конвекции потоков и качественного соединения со следующим теплообменным элементом. Обычно таких элементов 3, и они называются – пакетом. Сверху и по бокам радиатора устанавливают решетки.

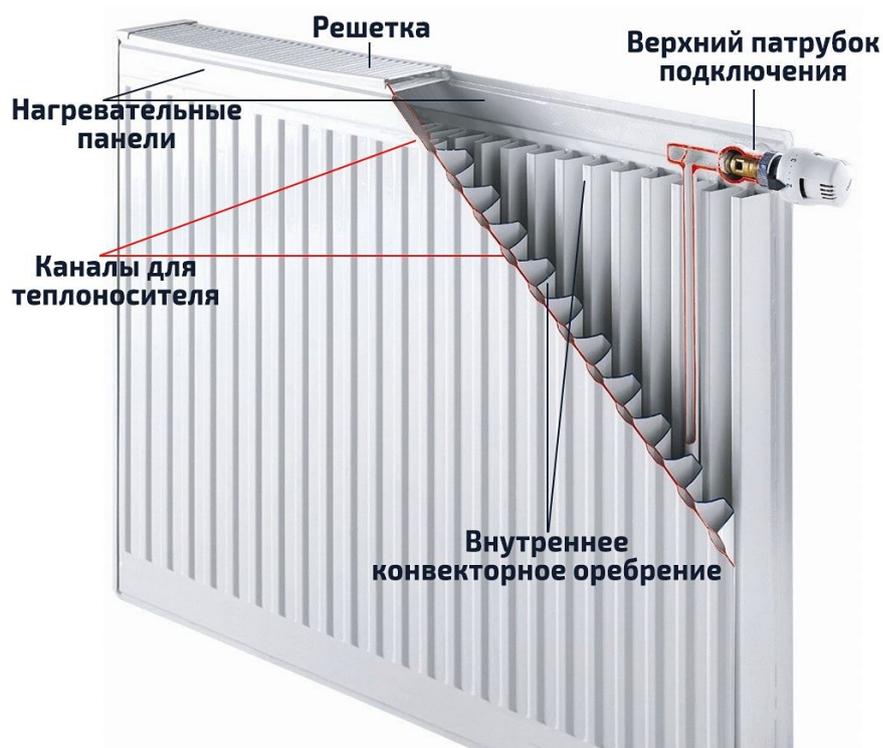


Рисунок 1 - Конструкция панельного радиатора

По вариантам подключения они могут быть:

1. с боковым подключением
2. с нижним присоединением
3. с универсальным подключением

Самыми дорогими считаются радиаторы с нижним присоединением, т.к. в них встроен термостат.

В зависимости от количества нагревательных и конвекторных панелей, которые находятся внутри радиаторов, выделяют несколько типов:

1. однорядный радиатор без конвектора и без облицовки (VK010);
2. однорядный радиатор с одним конвектором, без верхней решетки (VK011);
3. двухрядный радиатор с одним конвекторным оребрением, закрытый кожухом (VK021);
4. двухрядный радиатор с двумя конвекторными оребрениями, закрытый кожухом (VK022);
5. трехрядный, без конвекторного оребрения, сверху закрытый решеткой (VK030);
6. трехрядный радиатор с тремя конвекторными оребрениями, закрытый кожухом (VK033).

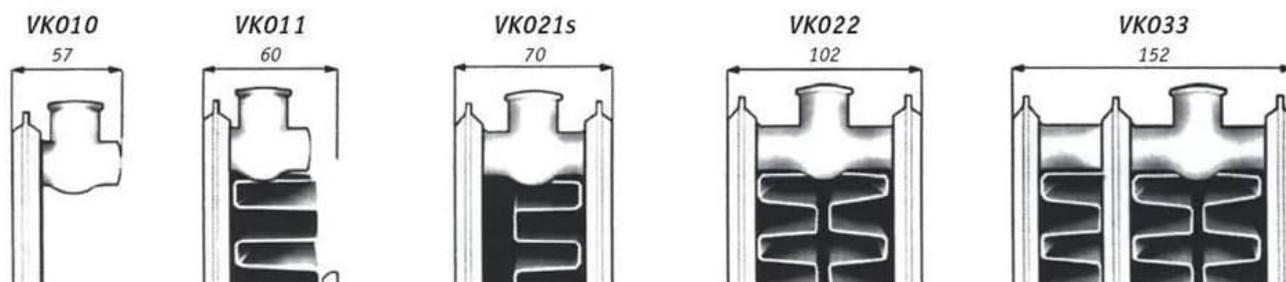


Рисунок 2 - Основные типы стальных панельных радиаторов

К недостаткам стальных панельных радиаторов можно отнести:

1. невозможность сливать воду из отопительной системы более чем на 1-2 недели и допускать контакт с воздухом, т.к. при контакте с кислородом на внутренних стенках радиатора может образовываться коррозия;
2. неустойчивость к гидравлическим ударам из-за небольшого рабочего давления (6-8 атм.), поэтому чаще применяется в индивидуальном домостроении и практически не используются в городском строительстве;
3. чувствительны к составу теплоносителя;
4. не гигиеничность при конвекции. Так как пыль, которая накапливается между элементами, поднимается и циркулирует в помещении. Поэтому нежелательно использовать в медицинских, детских и спортивных учреждениях.

К достоинствам можно отнести такие характеристики как:

1. легкость и компактность,
2. им требуется небольшой объём теплоносителя в системе, соответственно и потребление энергии меньше,
3. благодаря термостатам можно регулировать температурный режим,
4. аккуратный внешний вид,
5. простой монтаж,
6. так как радиатор закрыт корпусом, то обеспечивается повышенная безопасность,
7. однопанельные радиаторы могут иметь абсолютно гладкую поверхность и после этого могут использоваться для "чистых" комнат, например, в медицине,
8. относительно небольшая стоимость.

Заключение

Исходя из достоинств и недостатков панельных радиаторов лучше всего их устанавливать в частных домах.

Литература

- 1) Информация о стальных радиаторах [Электронный ресурс]/. – Режим доступа: <http://vitech.uz/articles/informacziya-o-stalnyix-radiatorax.html/>. – Дата доступа: 21.04.2021.
- 2) Технические характеристики стальных радиаторов отопления [Электронный ресурс]/. – Режим доступа: <https://srbu.ru/otoplenie/126-stalnye-radiatory-otopleniya-tekhnicheskie-kharakteristiki.html/>. – Дата доступа: 21.04.2021.

УДК 677.057.135.6

СУШКА НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ DRYING BASED ON SOLAR ENERGY CONCENTRATORS

Марусич Д.В., Рапута А.В.

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

D. Marusich, A. Raputa

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье исследуются виды солнечных концентраторов, которые можно применить для сушки, а также их достоинства и недостатки, и внедрение их в Республике Беларусь.

Abstract: the article examines the types of solar concentrators that can be used for drying, as well as their advantages and disadvantages, and their introduction in the Republic of Belarus

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечная энергия, концентраторы солнечной энергии, сушка.

Keywords: solar energy, solar energy, solar energy concentrators, drying.

Введение

В настоящее время концентраторы солнечной энергии нашли большое применение в области сушки различных материалов и сельскохозяйственных культур, а также для отопления помещений и нужд горячего водоснабжения.

Количество энергии солнца, поступающее от солнца на поверхность земли, за неделю, превышает запасы энергии известных видов топлива во всем мире. Для сохранения этой энергии и применяются концентраторы солнечной энергии.

Основная часть

Основная функция солнечных концентраторов – фокусировка солнечного излучения на приемники излучателя, которые располагаются на фокальной линии или фокальной точке коллектора солнечной энергии. Затем происходит передача солнечной энергии непосредственно теплоносителю (воздух, вода и т.д.).

В зависимости от используемого метода концентрации солнечной энергии могут применяться следующие виды концентраторов:

1. Параболоцилиндрические концентраторы
2. Гелеоцентрические установки башенного типа
3. Специальные параболические зеркала
4. Достоинства концентраторов солнечной энергии:
5. Высокая температура на поверхности приемника-абсорбера обеспечивается путем отражения излучения солнца с большей поверхности на более меньшую

6. Теплоноситель максимально воспринимает тепловую энергию солнца и передает ее потребителю

Основным недостатком солнечных концентраторов является фокусировка прямых солнечных лучей. Так же при облачной и туманной погоде эффективность концентраторов существенно снижается.

Сушка – это процесс, связанный с большими затратами тепловой энергии. На испарение воды из материала затрачивается в 5 раз больше тепловой энергии, чем на нагрев воды до температуры кипения. Применение концентраторов солнечной энергии в процессе сушки значительно исключит применение традиционных энергоносителей, цена на которые постоянно растет. Следовательно, применение концентраторов солнечной энергии является экономически выгодным. Так же в процессе сушки не образуется углекислый газ, который получается при горении различных видов топлива. А также является более экологическим способом сушки по сравнению с сушкой, осуществляемой с помощью тепловой энергии дымовых газов.

Заключение

В Беларуси всего около 30 солнечных дней в году и несмотря на это в стране бурно развивается солнечная энергетика. На 1 июня 2020 г. установленная мощность источников солнечной энергии составила 159 МВт, что по сравнению с 2015 г. в 12 раз больше.

Литература

1) Солнечные концентраторы. Виды и особенности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektroobustrojstvo/jelektroobogrev/solnechnye-kontsentratory/>. – Дата доступа: 04.04.2021.

2) Сушилки на основе концентраторов солнечной энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://savenergy.info/page/dryer-based-solar-concentrators/> - Дата доступа: 04.04.2021.

3) О состоянии и перспективах развития возобновляемых источников энергии в мире и Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://belchemoil.by/news/analitika/vozobnovlyaemaya-energetika-stanovitsya-samym-bystro-razvivayushhimsya-vidom-generacii/> - Дата доступа: 04.04.2021.

УДК 662.997

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ FEATURES OF DESIGNING HELIOSYSTEM

В. В. Ефименко, А. А. Сотникова

Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

V. Yefimenko, A. Sotnikova,

Supervisor – Piakarchyk O., Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Как известно солнце дарит нам огромное количество энергии и ее мы используем для выработки тепловой энергии, которую мы можем получить с помощью гелиосистем. Поэтому мы посчитали, что гелиосистемы являются актуальной темой для написания научной работы. В данной научной работе описываются гелиосистемы, их основные параметры, особенности проектирования в жилых домах, а также их виды.*

***Abstract:** As you know, the sun gives us a huge amount of energy and we use it to generate thermal energy, which we can get with the help of a solar system. Therefore, we considered that solar systems are an urgent topic for writing a scientific work. This scientific work describes solar systems, their main parameters, design features of residential buildings, as well as their types.*

***Ключевые слова:** гелиосистема, энергия, тепловая энергия, солнечная энергия, проектирование, гелиоколлекторы, альтернативные источники энергии.*

***Key words:** solar system, energy, thermal energy, solar energy, design, solar collectors, alternative energy sources.*

Введение

В наше время гелиосистемой мало кого можно удивить.

Можно сказать, что энергия Солнца является самой доступной. Для преобразования этой энергии в тепловую и существуют гелиосистемы. Тогда можно назвать гелиосистему как комплект оборудования, преобразующий солнечную энергию в тепловую.

Основной текст

Гелиосистема включает в себя три основных элемента: гелиоколлектор, аккумулятор теплоты, систему передачи теплоты потребителю (рисунок 1). Условно гелиосистемы можно разделить на небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в их конструкции.

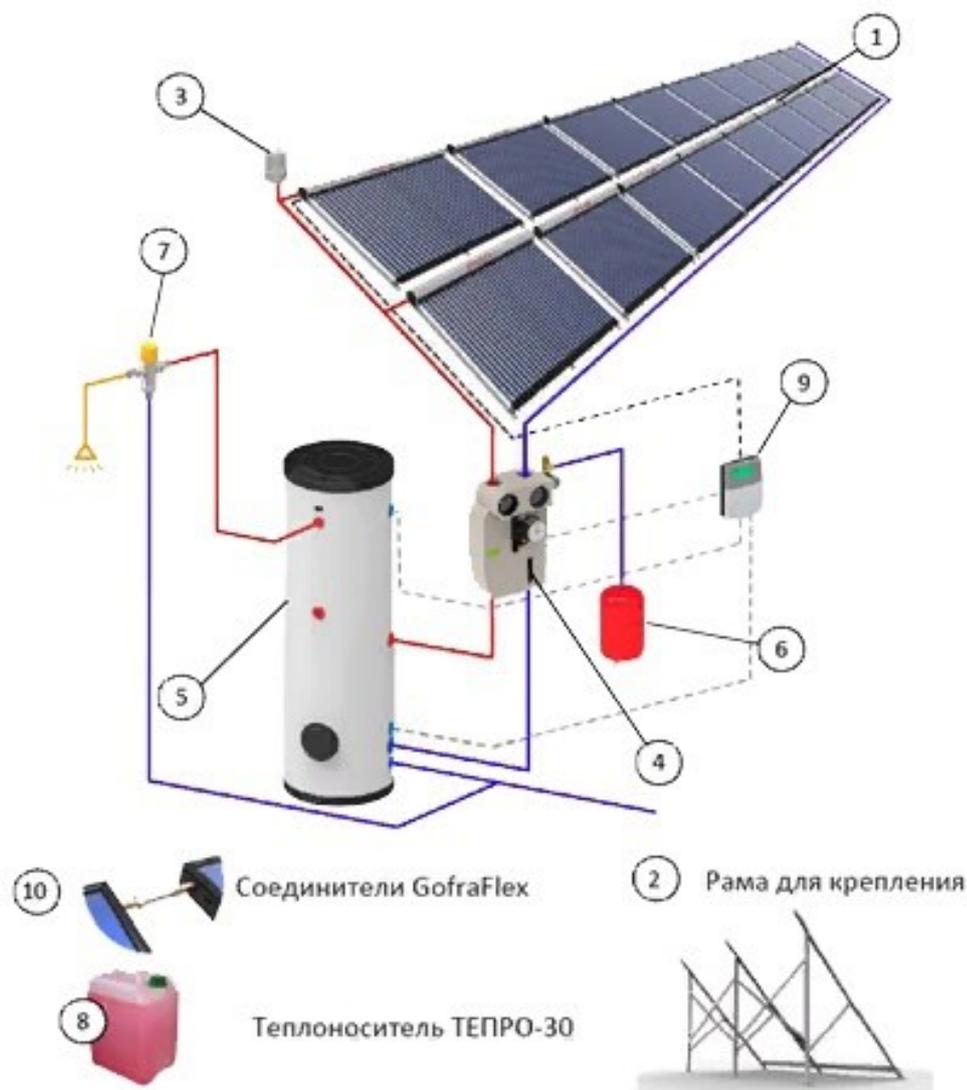


Рисунок 1 - Система теплоснабжения с применением гелиоколлекторов

1. Коллекторное поле, из вакуумных или плоских коллекторов, 2. Рама для солнечных коллекторов, 3. Воздухоотводчик, 4. Насосная группа, 5. Бак накопитель (косвенного нагрева), 6. Расширительный бак, 7. Термосмесительный клапан, 8. Теплоноситель, 9. Контроллер, 10. Соединитель коллекторов

Основные параметры гелиосистемы задаются проектированием и технико-экономическим обоснованием. Как правило, они задаются годовой долей тепловой энергии от гелиосистемы, которая компенсируется относительно годовой потребности на теплоснабжение здания. Для этого предварительно следует задаться типом и тепловыми характеристиками гелиоколлектора, требуемой суточной нормой воды на нужды горячего водоснабжения. А также задаться местоположением, углом наклона и типом гелиоколлекторов. С помощью этих параметров выявить исходные радиационно-климатические характеристики места застройки. Существуют различные методы расчета указанных параметров на основании задаваемых географической широты местности, азимута и высоты солнца над горизонтом для данного дня или среднего для месяца, а также коэффициентов облачности и прозрачности атмосферы. Такие программы не учитывают реальных климатических

особенностей места застройки, поэтому их применение уместно при отсутствии статистических параметров климата.

В зависимости от размеров гелиосистемы отличаются друг от друга конструкцией тепловых аккумуляторов, системами автоматического управления и технологией проектирования.

При разработке проектных предложений на проектирование гелиосистем для горячего водоснабжения жилых зданий предусматривается повторяемость узлов и элементов. Здания имеют различные по площади солнечные коллекторы, и это сказывается на расчётных задаваемых параметрах проектного задания.

Существуют различные варианты местоположения гелиоколлекторов в зависимости от жилого помещения (рисунок 2). Гелиоколлекторы могут располагаться над земельным участком со свайными теплообменниками тепловых насосов, на крыше соседствующих домов, на стенах южной ориентации.



а

б

Рисунок 2 - Вариант размещения гелиоколлекторов
а) в домах с ограничительным размером площади крыши,
б) на металлической конструкции вблизи жилого дома

В настоящее время наиболее применяемыми являются плоские коллекторы с одинарным остеклением и трубчатые вакуумированные, а также плоские коллекторы с повышенной изоляцией – с двойным светопрозрачным покрытием и вакуумированные.

Энергоэффективное проектирование базируется на теплофизической проработке архитектурной части проекта с целью придания отдельным фасадам и зданию в целом энергоактивных качеств [1].

Компактная геометрическая форма дома, а также южная ориентация остекленного фасада, при минимальных теплопотерях позволяют воспринимать солнечную энергию в необходимом количестве в течение всего года. Дополнительное отопление дома обеспечивается системой отопления. Для получения оптимального проектного решения следует предварительно выполнить энергетический анализ климата и места застройки. Затем формируются несколько вариантов базового решения, из которых на основании

анализа помесечных энергетических балансов по составляющим энергозатрат для каждого из вариантов выбирается основной [1].

Повышению теплотерь в здании способствуют также «встроенные» в его объем незадымляемые лестничные клетки, так как внутренние стены, ограничивающие их объем, по сути, являются «наружными» [1].

Энергоэффективность проектного решения оценивается уровнем удельного годового теплоснабжения здания q_g , отнесенной к 1 м² общей отапливаемой площади или 1 м³ объема. Для энергетического анализа вариантов проектного решения определяется тепловая мощность системы отопления и годовое потребление теплоты, вычисляемое по тепловым балансам каждого месяца [1].

Заключение

В заключении можно сказать, что гелиосистемы экономят топливно-энергетические ресурсы, минимизируют использование тепловой энергии для систем теплоснабжения. В настоящее время следует обратить внимание на альтернативные источники энергии, так как повышаются цены на энергоносители. Человек имеет возможность использовать возобновляемые источники энергии, так как они могут использоваться с наибольшей эффективностью.

Литература

- 1) В. В. Покотилев Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь / В. В. Покотилев, М. А. Рутковский. – Минск. Изд. БНТУ, 2017. – 62 с., 28 с.
- 2) Что такое гелиосистема: понятие, назначение, состав, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://alterair.ua/articles/chto-takoe-geliosistema/>. – Дата доступа: 04.04.2021

УДК 621.577

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ
АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
USE OF HEAT PUMPS IN THE AUTONOMOUS HEAT SUPPLY
SYSTEM**

Лось А.В., Козинцов Н.Д., Щекало А.Г.

Научный руководитель - Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

A. Los, N.Kozintsov, A.Shekalo

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается автономное теплоснабжение с применением в нем тепловых компрессионных насосов.*

***Abstract:** the article discusses autonomous heat supply with the use of heat compression pumps.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, теплоснабжение, система автономного теплоснабжения, источник тепла, потребитель тепла.*

***Key words:** heat pump, heat supply, autonomous heat supply system, heat source, heat consumer.*

Введение

Для начала ответим на вопрос, что такое автономное теплоснабжение. Это некое объединение, которое состоит из источника тепла и его потребителя. Под термином «потребитель» понимают системы отопления, вентиляции и горячим и технологическим водоснабжением жилых, общественных и производственных зданий. Производителями тепла могут выступать крышные, встроенные или пристроенные котельные, индивидуальные котлы. При автономном теплоснабжении тепловые сети, как правило, отсутствуют, но в ряде случаев могут быть. В качестве топлива в таких производителях тепла в наше время чаще выступает природный газ, реже мазут. Но кроме вышеперечисленного, в системах автономного теплоснабжения для производства теплоты используют низкотемпературные возобновляемые энергоресурсы при помощи тепловых насосов (ТН) или же солнечных коллекторов (СК).

Плюсы использования автономного теплоснабжения:

1. колоссальное снижение времени строительства;
2. сокращение капитальных затрат, что дает возможность понижать себестоимость тепловой энергии на отпуск в несколько раз;
3. уменьшение потерь теплоты и исключение разного рода утечек, при транспортировке по тепловым сетям. Связанно с их отсутствием или малой протяженностью;
4. устранение затрат на ремонт и эксплуатацию теплотрасс;

5. сокращение расходов при возведение дымовой трубы;
6. независимое теплоснабжение и возможность местного регулирования тепловой нагрузки.

Так же видна значительная разница во времени окупаемости систем автономного теплоснабжения и теплоснабжения от централизованных тепловых сетей. Это разница составляет 3-5 раза в пользу автономного теплоснабжения. Разбежка цифр говорит о том, что срок окупаемости будет зависеть от ряда факторов.

Основная часть

Для автономных систем теплоснабжения свойственно малое расстояние или же отсутствие тепловых сетей от источника к потребителям тепловой энергии. Данное теплоснабжение осуществляется от источников теплоснабжения малой мощности, автономных квартирных теплогенераторов и печей. Децентрализованная система теплоснабжения представляет из себя источник теплоты, который соединен внутренними тепловыми сетями с нагревательным прибором потребителя. Под внутренними тепловыми сетями мы понимаем системы отопления, вентиляции, а также местные системы горячего водоснабжения.

Существует метод выгодного применения, рассеянного низкотемпературного природного тепла (грунта, грунтовых вод, поверхностных вод, воздуха) или сбросного промышленного тепла представляет собой использование тепловых насосов для теплоснабжения.

Такие насосы нашли широкое применение за границей, а в последнее время ощутимо активное внедрение данных установок в теплоснабжение России.

В наше время было спроектировано и отправлено в эксплуатацию огромное количество тепловых насосных установок, разнящихся по тепловым схемам, рабочим телам и по применяемому оборудованию.

Один из видов тепловых насосов, к примеру, может быть представлен парокомпрессионной установкой, которая включает следующие основные компоненты: испаритель, компрессор, конденсатор и расширительный вентиль, что наглядно приведено на рисунке ниже.

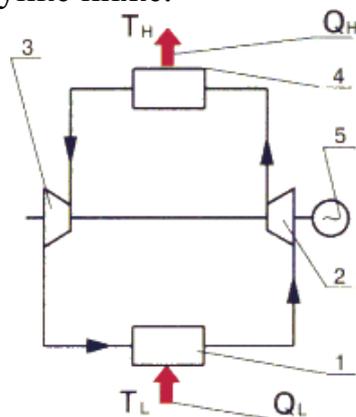


Рисунок 1 - Принципиальная схема теплового насоса

1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – расширительный вентиль (детандер); 5 – электропривод.

Отдельно можно выделить, что работа компрессора идет не в основной степени на «производство теплоты», а сколько на её транспортировку. Еще одним плюсом теплого насоса является то, что в летний период его можно использовать для охлаждения воздуха в помещениях.

Заключение

Системы теплоснабжения, работающие на базе теплового насоса, выделяются своей экологической чистотой, так как работают без прямого сжигания топлива и, как следствие, его продуктов сгорания, что дает возможность не выделять в атмосферу вредные вещества. Плюсом к экологичности у них присутствует высокая экономичность: при подводе к тепловому насосу, например, 1кВт электроэнергии, в зависимости от режима работы и условий эксплуатации, можно получить до 3 – 5 кВт тепловой энергии. Причем, одна такая установка одновременно имеет возможность обеспечить тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение. А системы отопления, в свою очередь, бывают моновалентные и бивалентные. Разница между такими видами в том, что моновалентные системы имеют один источник тепла, который полностью покрывает необходимость в отоплении, что при использовании вместе с тепловым насосом приводит к увеличению выгоды.

Литература

1. Studopedia [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.su/4_6847_osnovnie-printsipi-proektirovaniya-sistem-teplosnabzheniya.html – Дата доступа: 15.04.2021.
2. Sebiz [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sebiz.ru/dependent-and-independent-heating-system-systems-of-closed-and-open-heat-supply.html> – Дата доступа: 15.04.20

УДК 621.548

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ
NALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN BELARUS

П.А Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

P.A Brilev

Supervisor – T.Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Развитие ветроэнергетики в Беларуси.

Abstrakt: Development of wind power in Belarus

Ключевые слова: ВЭУ- ветроэнергетические установки, ветроэнергетика

Key words: WPP - wind power plants, wind power

Введение

Города разрастаются, люди развиваются и вроде всё идёт своим чередом. Но чем сильнее человек развивается, тем опаснее он становится для природы. Строительство новых электрических станция, сжигание огромного количества топлива и гигантские выбросы отходов в атмосферу. И чем сильнее разрастаются города, тем больше они потребляют электроэнергии.

С 2010 года по 2020 год потребление электроэнергии в Беларуси выросло с 37590 миллионов кВт/часов до 40451 миллионов кВт/часов. А чтобы поднять выработку электроэнергии в год мы вынуждены строить новые электростанции и сжигать больше топлива, если мы и дальше продолжим так халатно относиться к матушке-природе, то в один момент нам просто негде будет брать топливо, а может и жить. Здесь приходят на помощь возобновляемые источники энергии (ВИЭ), например, ветроустановки.

Основная часть

Альтернативная энергетика активно развивается, уже на 2020 году в Беларуси выработка электричества в год с помощью ВЭУ достигла 406.12 тыс. КВт*ч/год [2] (рисунок1).

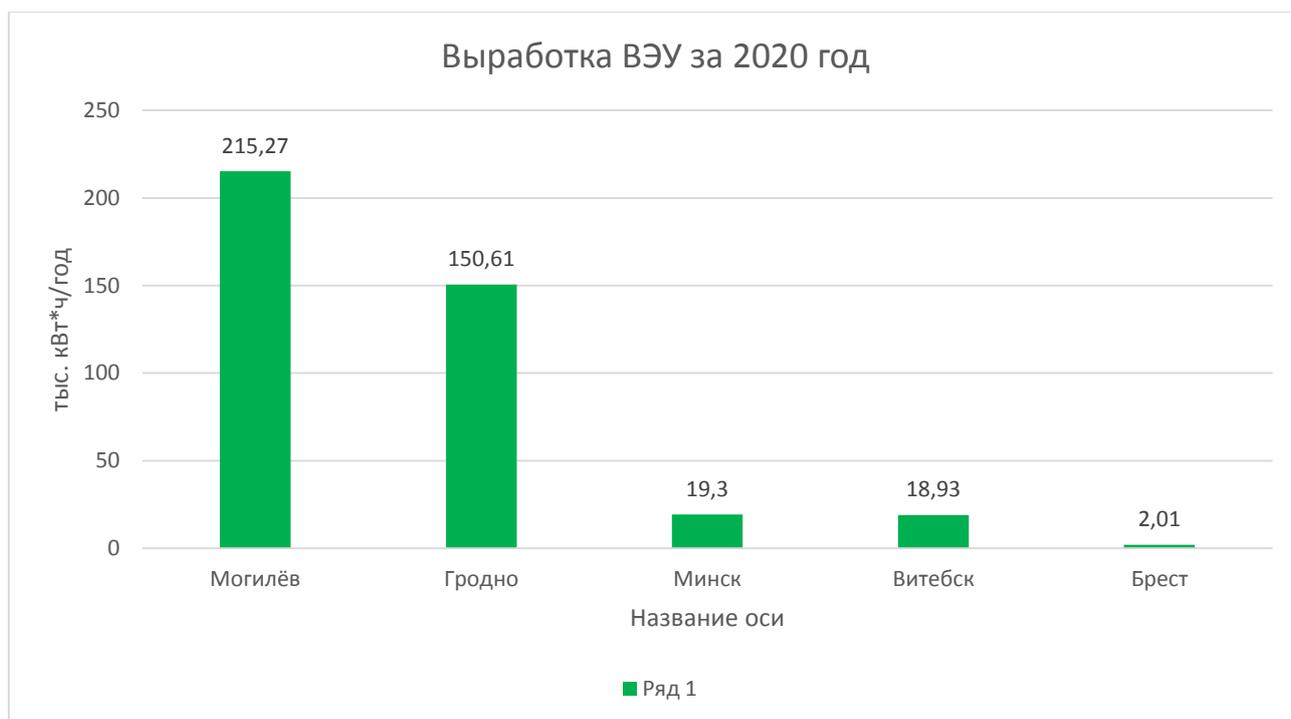


Рисунок 1 - Выработка ВЭУ за 2020 год в Беларуси

В Беларуси на 2020 год построено и запущено 108 ветроустановок [2], количество и распределение их по регионам представлены на Рисунке 2.

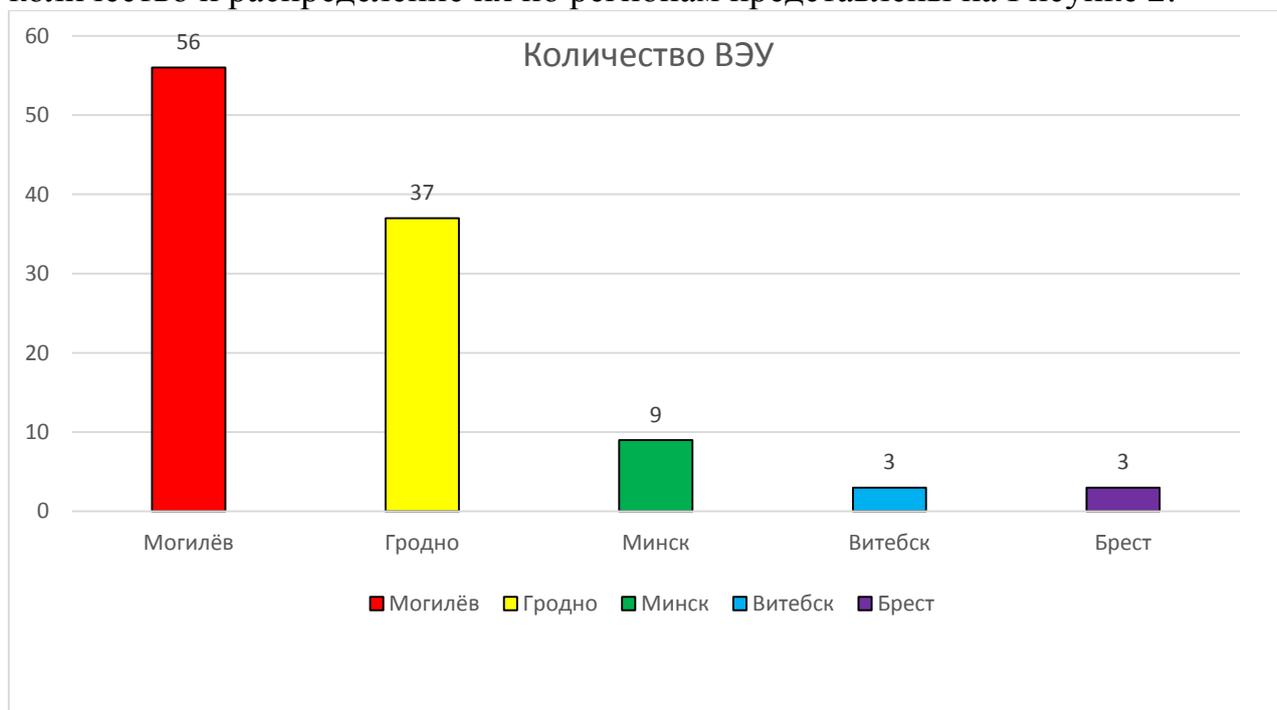


Рисунок 2 - Количество ВЭУ в Беларуси

Общая электрическая мощность всех ветроустановок по Беларуси составляет 120.31 МВт [2], Самые мощные ВЭУ установлены в Могилёвской и в Гродненской областях, данные представлены на Рисунке 3. В отчёте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь говорится, что к 2030 году планируется достичь мощности ВЭУ 500 МВт [1].

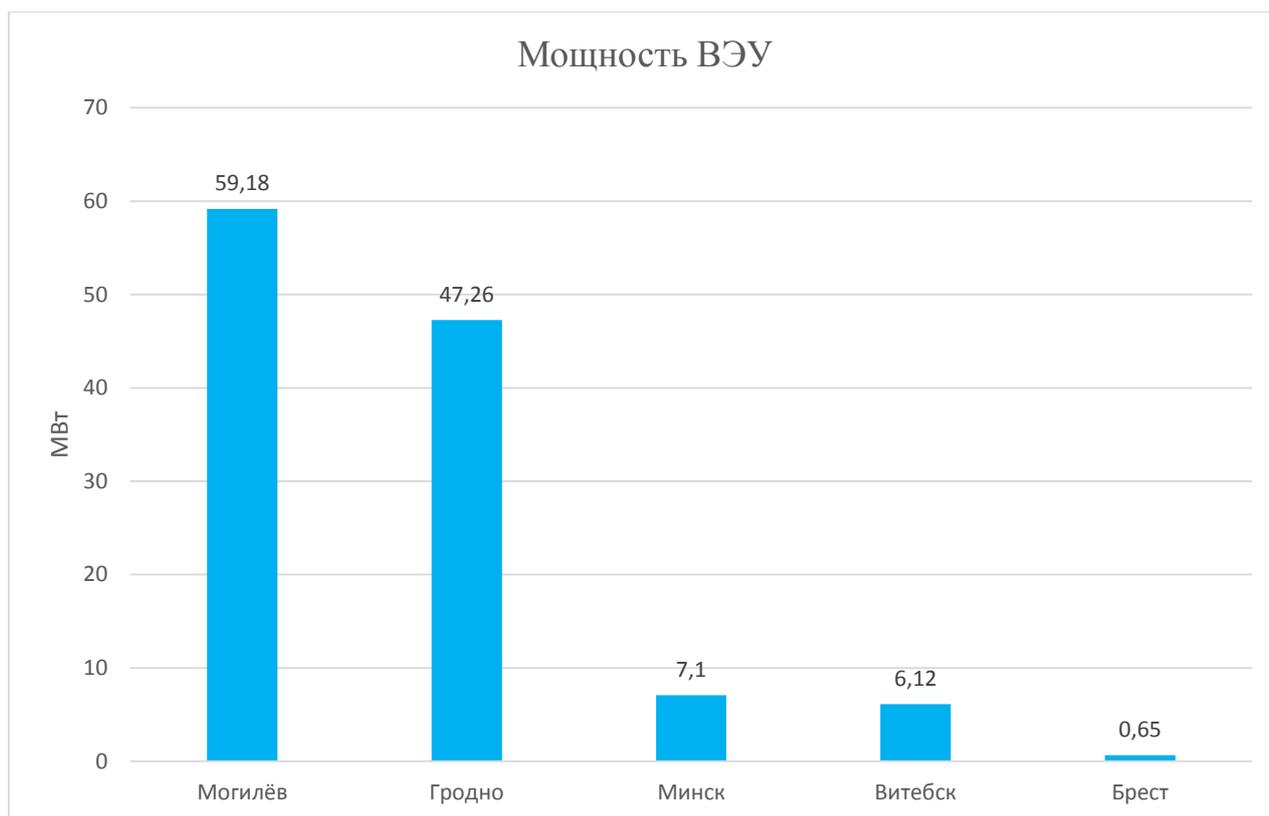


Рисунок 3 - Электрическая мощность действующих ветряков в Беларуси

Период окупаемости ветряной электростанции 6 лет. Это число мы получаем из-за высокой стоимости строительства электростанции. Однако стоимость эксплуатации ничтожно мала. Ветряная энергетика соответствует всем условиям, необходимым для причисления ее к экологически чистым методам производства энергии. Основные преимущества ветроэнергетики являются:

1. Использование возобновляемого источника энергии, экономия на добыче и транспортировке топлива.
2. Стабильные расходы на единицу полученной энергии, а также рост экономической конкурентоспособности по сравнению с традиционными источниками энергии.
3. Отсутствие загрязнения окружающей среды – производство энергии из ветра не приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу или образованию отходов.
4. Быстрая установка, простое обслуживание и низкие затраты на эксплуатацию.

Заключение

Несомненно, у ветроэнергетики множество плюсов, но даже несмотря на эти плюсы, у ветроэнергетики есть противники. Большинство потенциальных преград для использования этого вида энергии чрезмерно пропагандируются как недостатки, которые делают невозможным её развитие. Однако по сравнению с вредом причиняемым традиционными источниками энергии, они незначительны. Отсюда следует вывод, что рано или поздно, но мир перейдет на выработку энергии с помощью ВЭУ

Литература

1. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: https://www.windpower.by/files/files/RUS_DREI_Belarus.pdf. – Дата доступа: 19.04.2021.
2. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <http://195.50.7.239/Charts> – Дата доступа: 19.04.2021.
3. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]/ ветроэнергетика. –Режим доступа: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusy-minusy-vetroenergetiki.html> – Дата доступа: 19.04.2021.

УДК 338

ДОРОЖНАЯ КАРТА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ ROADMAP FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF ENERGY

А.А. Стельмах

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

A.Stelmakh

Supervisor – T. Petrovskaya, senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** сделан литературный обзор источников по теме: «Дорожная карта цифровой трансформации энергетики», в ходе которого установлена возможность и условия применения концепции цифровизации энергетики, представлен обзор моделей и методов прогнозирования с их преимуществами и проблемами внедрения.*

***Abstract:** a literary review of the sources on the topic is made: "Road map of digital transformation of energy", during which the possibility and conditions for the application of the concept of digitalization of energy are established.*

***Ключевые слова:** Интернет вещей, Smart grid.*

***Keywords:** Internet of things, Smart grid.*

Введение

За последние несколько лет технологии все чаще внедряются во всех основных отраслях промышленности, и энергетика не является исключением. Технологические инновации уже не связаны только с заменой бумажной работы автоматизированными электронными системами. Следующий шаг - это переосмысление того, как энергетические и коммунальные компании вовлекают своих клиентов и взаимодействуют с ними.

Огромнейшую роль в системе цифровизации играет концепция Интернета вещей – сети передачи данных между объектами, оснащенными средствами взаимодействия между собой или с внешней средой.

Основная часть

Интеллектуальные электросетевые счетчики обеспечивают актуальную информацию о спросе на нефть, газ, воду и электроэнергию. Устройства Интернета вещей также могут отслеживать изменения температуры, влажности и вибрации, что позволяет предотвратить отказы оборудования и повысить безопасность человека.

В энергетическом комплексе важным объектом в системе цифровой трансформации энергетики занимает концепция «Интеллектуальных сетей» Smart Grid – модернизированные сети электроснабжения, которые используют коммуникационные и информационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении.

Технологические решения Smart Grid могут быть разделены на пять ключевых областей:

1. Интегрированные средства коммуникации;
2. Смарт-счетчики и Смарт-датчики – измерительные устройства и приборы;
3. Гибкие системы передачи переменного тока FACTS, сверхпроводящие кабели, полупроводниковая и силовая электроника, накопители;
4. Усовершенствованные методы управления;
5. Интегрированные интерфейсы и методы поддержки принятия решений, технологии управления спросом на энергию.

В настоящее время, система активно вовлекается в энергетический комплекс большинства ведущих стран мира. Для внедрения технологии Smart Grid Необходимо преодолеть препятствия:

1. Необходимость разработки механизмов обеспечения привлечения инвестиций;
2. Кибербезопасность и необходимость повышения защиты инфраструктуры;
3. Высокая стоимость решений при действующих тарифах обеспечивают длительные сроки окупаемости;
4. Необходимость решения вопросов стандартизации и сертификации.

Анализ мировых практик показывает, что успешное развитие современных технологий учета энергоресурсов позволяет не только повысить эффективность управления, но и активно вовлекать потребителей в процессы регулирования собственного потребления. Кроме того, появляется возможность вывода качества сбора и анализа данных об энергопотреблении на новый уровень.

Заключение

Всё более очевидной становится необходимость создания систем, построенных на принципах активного децентрализованного взаимодействия между различными элементами сети в режиме реального времени для повышения эффективности, безопасности и надежности энергоснабжения.

Литература

- 1) Промышленный Интернет вещей / Агенство промышленного развития Москвы // Распределение энергоресурсов – 2020. – с. 21-25.
- 2) Energy 4.0: digital transformation in energy & utilities industry [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mobidev.biz/blog/digital-transformation-energy-utilities-sector/>. – Дата доступа 17.04.2020.

УДК 621.577

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
USE OF HEAT PUMPS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF HEAT
SUPPLY TO CONSUMERS**

Буча Е.В., Якубицкий В.А.

Научный руководитель - Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

E. Bucha, V. Yakubitskiy

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается централизованная система теплоснабжения удаленных потребителей на базе тепловых насосных систем, использующих вторичные энергоресурсы ТЭС как источник низкокачественного тепла.*

***Abstract:** the article discusses a centralized heat supply system for remote consumers based on heat pumping systems that use secondary energy resources of TPPs as a source of low-quality heat.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, энергоэффективность, система отопления, система ГВС.*

***Keywords:** heat pump, energy efficiency, heating system, hot water system.*

Введение

Важнейшей задачей является выбор основных источников энергии при проектировании и строительстве энергоэффективных систем отопления жилых и общественных зданий. Основной целью является снижение использования ресурсов на отопление, при той же выработке тепловой энергии. С термодинамической точки зрения комбинированное производство электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) намного эффективнее, чем раздельное производство электроэнергии на конденсационных тепловых электростанциях и тепловой энергии в тепловых котлах. Однако использование централизованных систем теплоснабжения имеет недостатки:

1. высокий уровень потерь тепловой энергии в тепловых сетях;
2. повышение цен на топливно-энергетические ресурсы;
3. износ тепловых систем и оборудования и, как следствие, высокий уровень эксплуатационных расходов в тепловых сетях;

Эти нерешенные технико-экономические проблемы отрицательно сказываются на качестве и энергоэффективности централизованного теплоснабжения.

Основная часть

В настоящее время ведется большое количество работ по модернизации существующей системы с использованием тепловых насосов с целью

повышения энергоэффективности и разработки комбинированных систем, сочетающих структурные элементы централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Интеграция технологии тепловых насосов в комбинированное производство тепла и электроэнергии снижает потери в теплотрассах за счёт снижения температуры теплоносителя при сохранении той же скорости потока. Более эффективное использование энергии топлива за счёт снижения тепловой нагрузки на котельные и ТЭС снижает выбросы CO₂. Переход на низкотемпературный режим работы теплотрасс увеличивает срок службы, снижает аварийность и затраты за счет использования более дешевых теплоизоляционных материалов. Для обеспечения удаленных потребителей предлагаем использовать централизованную систему теплоснабжения. В этой системе ТЭС передает низкосортный теплоноситель (теплота охлаждающей воды вакуумно-конденсационной системы) на центральную тепловой пункт (ЦТП), который оборудован тепловыми насосами для отопления и горячего водоснабжения (ГВС).

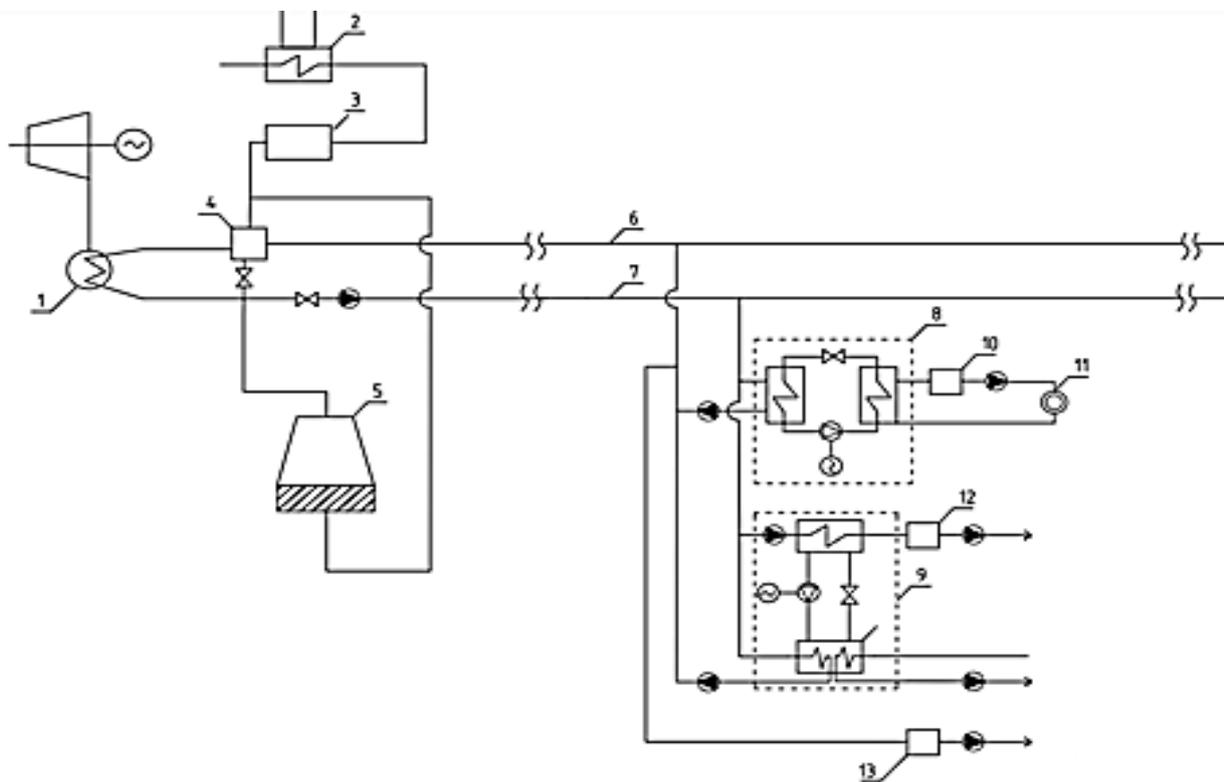


Рисунок 1 - Система теплоснабжения с использованием тепловых насосов.

На рисунке 1 представлены следующие компоненты системы: конденсатор после паровой турбины ТЭС 1; теплообменник системы охлаждения агрегатов и механизмов 2; водоочистная установка 3; водонагреватель 4; градирня 5; прямой 6 и 7 обратный водопроводы системы; удаленные тепловые пункты 8,9; потребители тепла 11; резервуар для хранения горячей воды 12; аккумулятор для холодной воды 13; бак-накопитель горячей воды системы отопления 10.

Одна часть теплоносителя, отдавая тепло системе теплового насоса, возвращается на ТЭС по обратному трубопроводу отопительной воды, а другая

часть забирается системой горячего водоснабжения потребителей. Хозяйственно-бытовые сточные воды направляются на вход испарителя теплового насоса системы горячего водоснабжения, а отопительная вода - в испаритель только в случае отсутствия или недостатка тепла бытовых сточных вод. На рисунке 1 изображена одна из возможных систем централизованного теплоснабжения, реализующая предложенный способ. Исходная вода подается через теплообменник 2 в водоочистную установку 3 по трубопроводу и добавляется в резервуар для хранения воды 4, который также принимает воду из обратных водопроводных труб 6. Отопительная вода из резервуара для хранения воды 4 нагревается в конденсаторе паровой турбины 1. По трубопроводу 7 вода подаётся в тепловые пункты, оборудованные тепловыми насосами, где низкопотенциальная теплота используется для отопления и ГВС. Излишки воды после конденсатора турбины подаются в градирню 5, где охлаждаются и направляются в резервуар 4.

Подогретая вода подаётся в испаритель, где происходит парообразование хладагента. Охлаждённая вода подается в трубопровод 6. Конденсация рабочей жидкости теплового насоса осуществляется обратной водой от потребителя тепла 11.

В тепловом насосе системы горячего водоснабжения передается теплота бытовых сточных вод и/или подогретой воды из трубопровода 7. В результате охлаждённая вода поступает в 6, а сточные воды спускаются в канализацию. Конденсация рабочего тела теплового насоса системы горячего водоснабжения осуществляется водой, подаваемой из водопровода 7. Вода в конденсаторе нагревается до температуры системы горячего водоснабжения и затем направляется в бак-накопитель 12 горячей воды. При необходимости холодная вода из обратного водопровода ЦТП собирается в баке-накопителе 13, а затем насосом направляется к потребителям.

Заключение

Предлагаемое техническое решение направлено на повышение эффективности централизованного теплоснабжения, удаленных потребителей тепла с использованием тепловых насосных систем, использующих низкопотенциальную тепловую энергию тепловых электростанций (ТЭС).

Литература

1. ResearchGate [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/306076011_Centralized_Heating_System_with_Heat_Pumps – Дата доступа: 15.04.2021.
2. Энергосовет [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=38 – Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 621.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИЙ, ПРЕДПОЛАГАЮЩИХ ПРОЦЕСС КОГЕНЕРАЦИИ И
ТРИГЕНЕРАЦИИ**

**USE OF HIGH EFFICIENT TECHNOLOGIES AND TECHNOLOGIES
ASSUMING THE PROCESS OF COGENERATION AND TRIGENERATION**

А.В. Чешун, Д.С. Савич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, ст. преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

A. Cheshun, D. Savich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** статья содержит сведения о современных технологиях когенерации и тригенерации, об установках, с помощью которых эти технологии осуществляются или дополняются.*

***Abstract:** the article contains information about modern technologies of cogeneration and trigeneration, about plants by which these technologies are implemented or supplemented.*

***Ключевые слова:** когенерация, тригенерация, электричество, холод, тепло, АБХМ.*

***Keywords:** cogeneration, trigeneration, electricity, cold, heat, absorption chiller.*

Введение

С давних времён технология комбинированной выработки энергии позволяет существенно повысить экономическую эффективность использования топлива в связи с тем, что в одном процессе вырабатываются электричество и тепловая энергия. Применение данной технологии вполне разумно, поскольку развивающиеся промышленность и сфера услуг требуют всё больше энергии, тем самым делая её дороже. Данная технология впервые появилась и применяется до сих пор на тепловых электроцентралях (ТЭЦ) для обеспечения потребителя теплом и электричеством. ТЭЦ есть почти в каждом крупном населённом пункте, применяет для производства продукта, как правило, паросиловые установки, которые выбрасывают в атмосферу большое количество отработанного пара вместе с полезным теплом. Современные тригенерационные технологии предлагают способы полезного использования данного тепла.

В отличие от традиционных паросиловых установок, в которых выделяющееся тепло сбрасывается в атмосферу, тригенерационные установки эффективно используют большую часть этого тепла для удовлетворения потребности потребителя в тепловой энергии.

В настоящее время приобретает интенсивное распространения технология тригенерации. Тригенерация — это производство попутно трех видов энергии:

электричества, тепла и холода. Эта технология становится востребованной, потому стремительно развивается.

Основная часть

Из определения тригенерации следует, что она в дополнение к выработке тепла и электричества добавляет выработку холода, то есть процесс когенерации, осуществляемый, например, на ТЭЦ, дополняется установкой, которая использует выбрасываемое тепло для получения холода (но также может работать в режиме выработки тепла). Такая установка имеет название абсорбционная холодильная машина (АБХМ), или чиллер.

Выгода технологии тригенерации состоит в возможности использовать утилизированное тепло не только зимой в отопительный сезон, а также летом для кондиционирования жилых или производственных помещений, когда потребность в отоплении снижается.

Рассмотрим схему тригенерации в летнем и зимнем режиме.

Летом, как правило, потребитель нуждается в холодной воде для кондиционирования воздуха или других целей. В этом случае горячая вода от системы охлаждения ГПУ/ГТУ поступает в генератор АБХМ, где происходит I-я ступень утилизации тепла. В генератор также поступают выхлопные газы АБХМ, где осуществляется II-я ступень утилизации теплоты, за счет чего и вырабатывается холод с максимально высокой эффективностью.

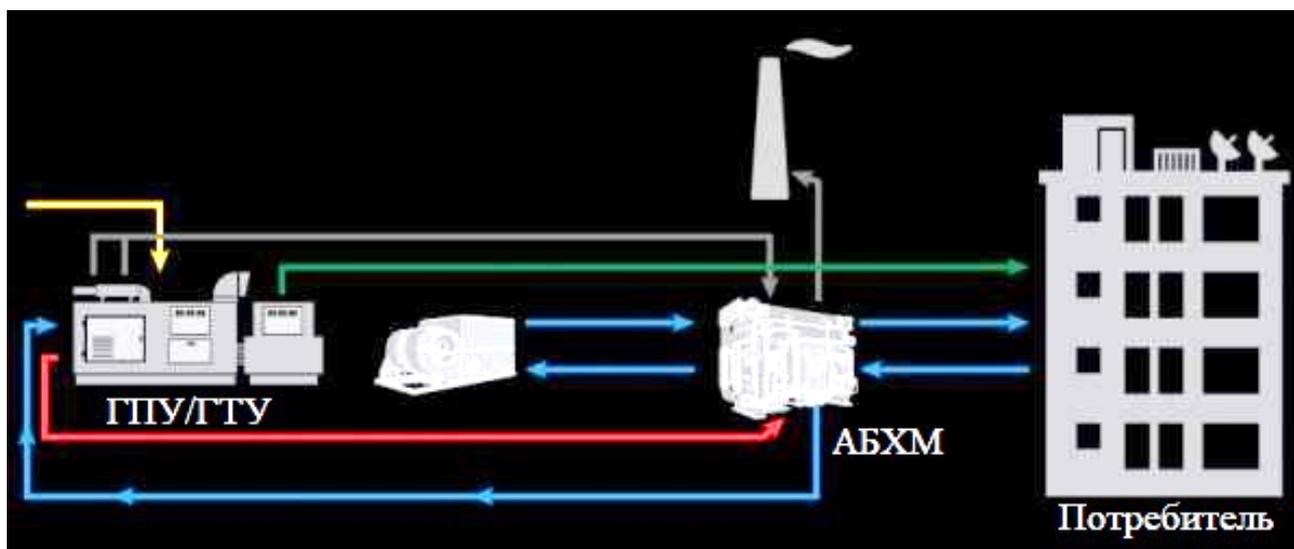


Рисунок 1 - Принципиальная схема тригенерации в летнем режиме

Зимой начинается отопительный период, и потребитель нуждается в горячей воде. В таком случае горячая вода от системы охлаждения ГПУ/ГТУ идет напрямую к потребителю без участия чиллера. Выхлопные газы поступают в абсорбционный чиллер/нагреватель, где за счет утилизации тепла, производится дополнительное количество горячей воды. Таким образом, осуществляется наиболее полное использование бросовой теплоты для нужд теплоснабжения.

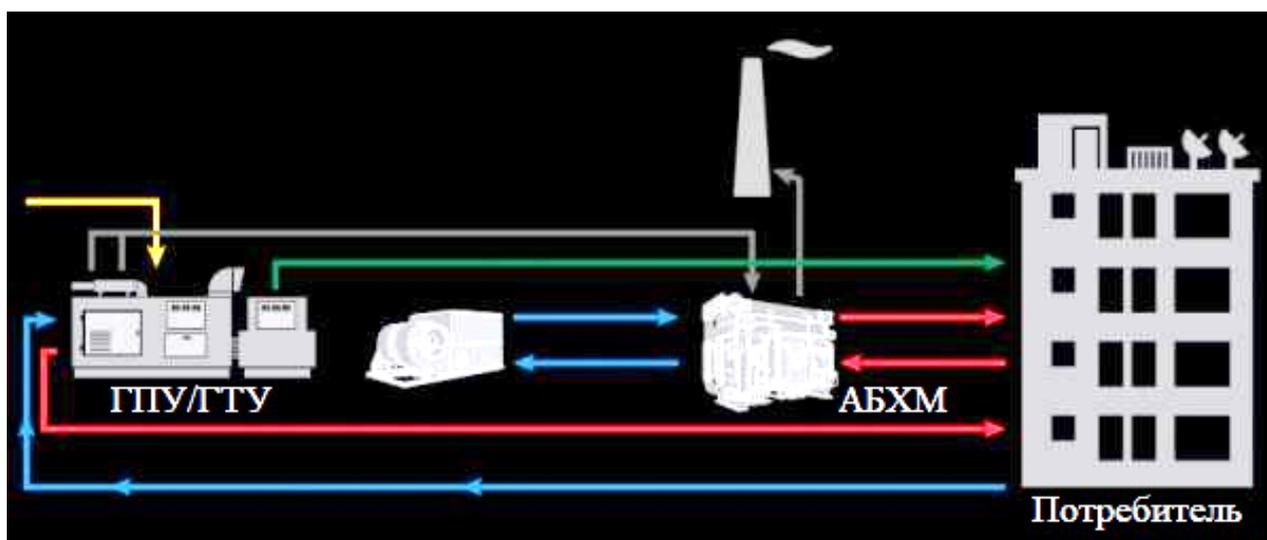


Рисунок 2 - Принципиальная схема тригенерации в зимнем режиме

Из вышесказанного можно прийти к выводу, что использование АБХМ позволяет использовать её круглый год, не снижая высокий общий КПД в летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле снижается.

Говоря о том, что позволяет данной установке уверенно занимать своё место в технологии тригенерации, стоит рассмотреть принцип её действия. Принцип действия АБХМ основан на свойстве воды испаряться в условиях вакуума при низких температурах, при испарении она уносит тепло от воздуха системы кондиционирования. В АБХМ содержится раствор бромистого лития LiBr, который является очень сильным абсорбентом воды. Он поглощает пар, переносящий тепло охлаждающей воды, превращаясь в разбавленный раствор, который откачивается в генератор, где выпаривается, нагреваясь от горячего пара, воды или выхлопных газов. Концентрированный раствор LiBr возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор, чтобы процесс повторился. В итоге КПД АБХМ составляет 64-66%.

Относительно высокий КПД является не одним из преимуществ АБХМ, например, стоит выделить экономичность установки, ведь она потребляет ненужную в когенерации тепловую энергию, эксплуатацию можно вести целый год, не снижая нагрузку, эта эксплуатация является относительно дешёвой. Также АБХМ имеет минимальный уровень шума при работе и приличную долговечность, а самое главное установка весьма экологична, что в современной энергетике является одним из главных требований.

Заключение

Таким образом можно сделать вывод о том, что схема тригенерации увеличивает эффективность энергокомплекса до 80% и более, существенно снижает выбросы соединений углерода, что делает её неотъемлемой частью «зелёной» энергетики.

Использование этой технологии находит своё место в энергетике, металлургии, химической промышленности, обеспечении энергией социальных объектов, аэропортов и прочих сферах.

Литература

1. Что такое тригенерация [Электронный ресурс]/ что такое тригенерация. -Режим доступа: <https://est-rus.ru/oborudovanie/trigeneratsiya>. – Дата доступа: 15.04.2021.
2. Тригенерация это – Тригенерация [Электронный ресурс]/ тригенерация это- тригенерация. -Режим доступа: <https://приоритет-пермь.рф/raznoe/trigeneraciya-eto-trigeneraciya>. - Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 621.51

РАСШИРИТЕЛЬ-СЕПАРАТОР В СО ЧНД ТПТУ EXPANDER-SEPARATOR IN THE LPP

Бегункович Т. В. Севостьян А. П.

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

aidarova@bntu.by

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).

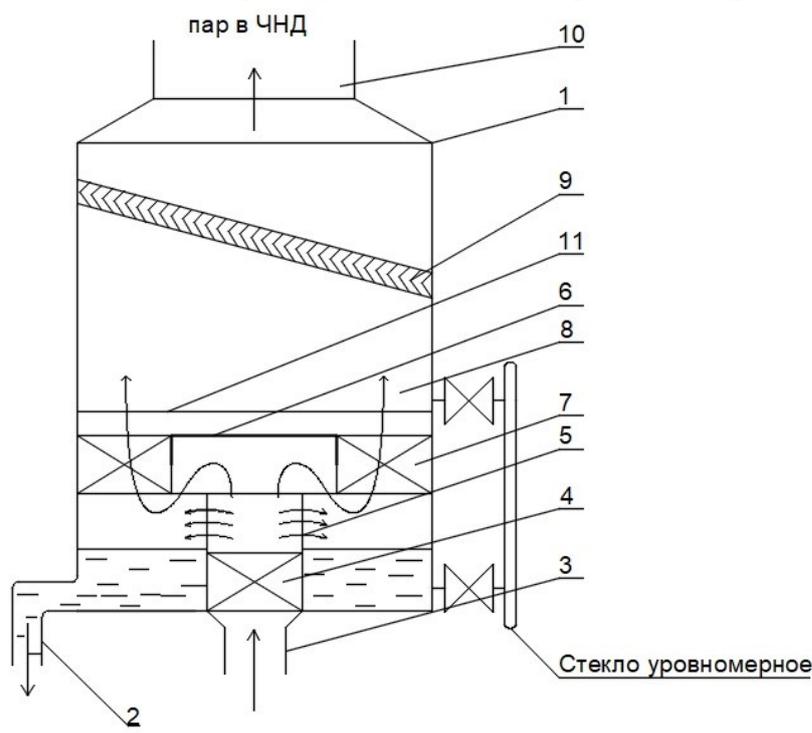


Рисунок 1 - Схема расширителя-сепаратора

РС выполнен в цилиндрическом вертикальном корпусе 1, в нижней части которого расположен узел первичного отделения пара от воды, включающий в себя трубопровод 3 подвода перегретой воды, завихритель 4, перфорированную обечайку 5 с влагоотбойным козырьком 6 и лопатками 7 раскрутки пара. Перегретая вода (конденсат) трубопроводом 3 подается на лопатки завихрителя 4, образующие с конусом – переходником (на рисунке не обозначен) расширяющийся канал, в котором происходит вскипание части воды с выделением пара. Расширение среды сопровождается интенсивным нарастанием ее объемов за счет выделяющейся паровой фазы и, соответственно, скоростей ее истечения. Этот эффект использован для предварительного отделения пара от воды в перфорированной обечайке 5, по стенкам которой движется сильно закрученный поток воды, а по внутренней части выделившийся при вскипании пар. Количество и диаметр отверстий в обечайке 5 определялись в серии специальных опытов.



Рисунок 2 - Расширитель-сепаратор

В верхней части обечайки 5 предусмотрен отвод выделившегося пара. Отвод организован таким образом, чтобы исключить вынос влаги. Это обеспечивает установкой влагоотбойного козырька 6 и лопаток раскрутки пара 7 после которых пар проходит камеру гравитационной сепарации 8 с козырьком съема пленки 11 и жалюзийный сепаратор 9 тонкой сепарации и далее в верхней части РС трубопроводом пара 10 подается в коллектор его раздачи (на рисунке 1 не показан). Охлажденный за счет расширения и вскипания конденсат продавливаясь через перфорированную обечайку 5 стекает в нижнюю часть РС из которой отводится трубопроводом 2 в конденсатосборник конденсатора турбины (на рисунке 1 не показаны). Окончательная осушка пара осуществляется непосредственно на щелях кольцевого коллектора раздачи охлаждающего пара за счет использования

эффекта дросселирования. Щель коллектора рассчитана на скорость пара за ней около 100 м/с, что и гарантирует такой эффект. Для визуального наблюдения работы элементов РС на его корпусе установлено три ряда иллюминаторов по два в каждом (рис. 2).

Через один ведется наблюдение потока – через второй его подсветка. При пуско-наладочных работах на РС было обнаружено важное явление: стенки каналов являясь гидрофобными поверхностями улавливают влагу из парового потока, что может привести к появлению неорганизованной крупнодисперсной влаги.

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 паровпуск неэффективна и может привести к нарушению процесса сепарирования.

Литература

1. Фаддеев И.П., Боровков В.М. Эрозия рабочих лопаток ЧВД паровых турбин на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1973. - № 4.- С.128-129.
2. 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.
3. . Фаддеев И.П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л.:Машиностроение.-1974.-280с.
4. Явельский М.Б., Шилин Ю.П. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин и мероприятия по ее устранению//Энергомашиностроение.-1961.-№10.-С. 11-15.
5. Осипов А.М., Сидоров В.В.,Хорзеев Ю.И. Создание и исследование сепараторов предварительного разделения пароводяной смеси для вертикального парогенератора ПГВ-250//Сб.научн. тр.-1982.-п.199.- С. 47-53.
6. Демидова Л.В.,Сорокин Ю.Л.,Допустимые скорости пара и газа для вертикальных и наклонных жалюзийных сепараторов // Энергомашиностроение.-1972.-№3.-С.44.

УДК 621.51

**ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА И СПОСОБА ПОДАЧИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
В СО ЧНД
JUSTIFICATION OF THE PLACE AND METHOD OF SUPPLYING THE
COOLANT TO THE LPP**

Дудинец А. С., Пашкевич И. Д.

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
aidarova@bntu.by

A. Dudinets, I. Pashkevich
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: место и способ подачи теплоносителя в СО ЧНД

Abstract: the place and method of supplying the coolant to the LPP

Ключевые слова: эрозионнобезопасный слабовлажный уровень, теплоноситель, насыщенное состояние, охлаждения, турбина

Keywords: erosion-free low-moisture level, coolant, saturated state, cooling, turbine

Введение

При разработке новых схем охлаждения ЧНД ТПТУ важным вопросом является выбор теплоносителя или рабочего тела для охлаждения. Наибольшую опасность для ЧНД представляет влага, состоящая из процессной влаги, влаги из систем орошения выхлопного патрубка (организованной) и влаги стекающей со стенок выхлопного патрубка и конуса заднего подшипника турбин (неорганизованной). Именно неорганизованная - наиболее опасна.

Основная часть

Основным направлением в выборе теплоносителя для схем охлаждения является паровое охлаждение. Для удобства анализа минимального вентиляционного пропуска пара запишем уравнение энергии для СО ЧНД в виде

$$D_k^{min} = N^{чнд} / (i_2^{чнд} - i_0^{чнд}), \quad (1)$$

где $N^{чнд}$ – мощность ЧНД. В рамках данной задачи выражение (1) удобно переписать в расчете на удельные величины, в частности, на единицу мощности потребляемой в ЧНД, тогда

$$D_k^{min} = 1 / (i_2^{чнд} - i_0^{чнд}), \quad (2)$$

где $i_2^{чнд}$ и $i_0^{чнд}$ - теплосодержание пара перед и за ЧНД.

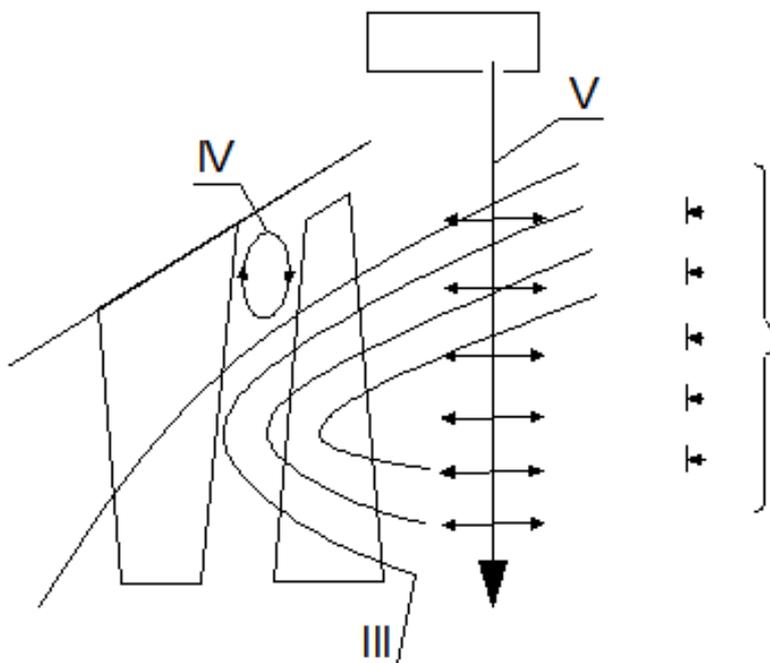


Рисунок 1 - Результаты исследований влияния термодинамического состояния охлаждающего пара на его расход (зона рекомендуемого состояния заштрихована).

Из выражения (2) видна гиперболическая зависимость $D_{\text{к}}^{\text{min}}$ от $i_0^{\text{ЧНД}}$. Практический интерес представляет анализ влияния состояния пара от эрозионнобезопасного слабовлажного уровня (не более 4...5%) до перегретого состояния. Результаты исследований обобщены на рис. 1. При изменении состояния пара от влажнопарового с влажностью 5% до состояния насыщения расход пара на охлаждение меняется почти вдвое, а перевод в перегретое состояние исключает к такому пару интерес как к охладителю; так как такой пар может снимать незначительное количество энергии потерь трения и вентиляции в ЧНД. Названный диапазон от насыщенного состояния до слабовлажного (не более 5% влажности) и может рекомендоваться как теплоноситель для СО. Дальнейшее увлажнение пара свыше 5% дает незначительный эффект, но при этом существенно повышается опасность влажнопаровой эрозии. Применение перегретого пара в СО приводит к увеличению минимального вентиляционного пропуска пара в ЧНД ($D_{\text{к}}^{\text{min}}$) и росту потери в холодном источнике, то есть к неоправданному снижению экономичности ТПТУ. Эти соображения и были положены в основу разработки новых схем охлаждения ЧНД ТПТУ.

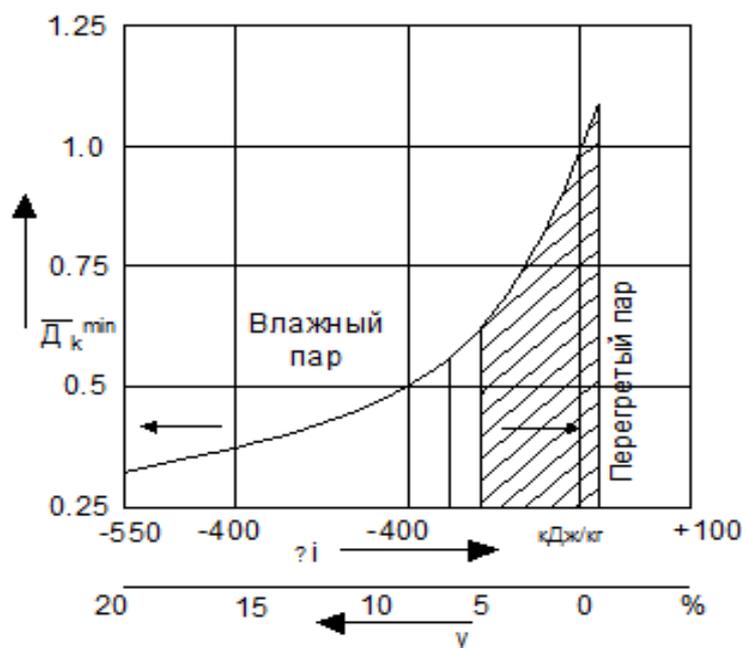


Рисунок 2 - Принципиальная схема организации щадящего ЧНД турбины
1 – рабочий пар; 2 – заблокированная влага; 3 – корневой вихрь; 4 – торовой вихрь; 5 – охлаждающий пар.

Важнейшим аспектом в организации охлаждения ЧНД является место подачи охлаждающего потока пара. Основными исходными предпосылками должны быть при этом обеспечение максимальной надежности работы ЧНД и минимума потерь в холодном источнике. Многочисленные экспериментальные данные показывают на незначительный разогрев рабочего потока пара вплоть до последней ступени. Другими словами, более 3/4 разогрева пара в ЧНД приходится на последнюю ступень. По этим причинам при организации охлаждения ЧНД основное внимание должно быть уделено как охлаждению, так и защите последней ступени. Крайне важно, чтобы охлаждающий пар выполнял еще и защитные функции для последней ступени. Это, прежде всего, защиту от эрозии выходных кромок ее рабочих лопаток крупнодисперсной влагой, поступающей со стороны выхлопа, во-вторых, подача охлаждающего пара должна уменьшать градиенты температур в последней ступени, в-третьих, если не устранить влияние торового вихря на вибросостояние рабочих лопаток последней ступени, то, по меньшей мере, ослабить это влияние. Решить эту триединую задачу можно подачей охлаждающего пара в виде кольцевого защитного экрана за последнюю ступень. Схема организации щадящего охлаждения ЧНД теплофикационной паровой турбины показана на рис. 1.2. Этот холодный паровой экран обеспечит наиболее щадящее охлаждение последней ступени, поскольку будет затянут в последнюю ступень корневым вихрем. С другой стороны, наполнение корневого вихря насыщенным или слабовлажным паром отсечет от выходных кромок эрозионноопасную влагу, что снимет проблему эрозии выходных кромок последней лопатки и благоприятно повлияет на ослабление торового вихря. Дополнительно торовой вихрь можно ослабить противоточной, по отношению к нему, подачей потока охлаждающего пара, то есть от периферии к корню ступени.

Заключение

Важнейшим вопросом при таком охлаждении должна стать отработка схемы в натуральных условиях. Практическая отработка схемы охлаждения выполнялась на натурном паровом стенде и на действующих турбинах Минской ТЭЦ-2, Бобруйской ТЭЦ-2 и Минской ТЭЦ-4.

Литература

1. Фаддеев И.П., Боровков В.М. Эрозия рабочих лопаток ЧВД паровых турбин на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1973. - № 4.- С.128-129.
2. 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.
3. . Фаддеев И.П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л.:Машиностроение.-1974.- 280с.
4. Явельский М.Б., Шилин Ю.П. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин и мероприятия по ее устранению//Энергомашиностроение.-1961.-№10.-С. 11-15.
5. Осипов А.М., Сидоров В.В.,Хорзеев Ю.И. Создание и исследование сепараторов предварительного разделения пароводяной смеси для вертикального парогенератора ПГВ-250//Сб.научн. тр.-1982.-п.199.- С. 47-53.
6. Демидова Л.В.,Сорокин Ю.Л.,Допустимые скорости пара и газа для вертикальных и наклонных жалюзийных сепараторов // Энергомашиностроение.-1972.-№3.-С.44.

УДК 620.9

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ
CURRENT PROBLEMS OF MODERN WIND POWER DEVELOPMENT**

Е.А. Шепко, К.А. Войтик

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

E. Shepko, K. Voytik

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной работе рассматриваются основные проблемы, возникающие при использовании ветроэнергетических установок.

Abstract: this article discusses the main problems arising from the use of wind power plants.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, ветроэнергетика, альтернативная энергетика.

Keywords: wind power plants, wind power, alternative energy.

Введение

В Беларуси основная часть электроэнергии вырабатывается с помощью трех видов электростанций: атомных, тепловых и гидравлических. При этом доля всех альтернативных источников энергии составляет менее десяти процентов. Несмотря на это нетрадиционная энергетика развивается и распространяется в мире, а также и на территории Республики Беларусь. [2]

Одним из перспективных направлений в альтернативной энергетике Республики Беларусь является ветровая. Ветроэнергетика - это процесс преобразования энергии ветра в электрическую, механическую, тепловую энергию.

Основная часть

Как и у всех других форм возобновляемой энергии, у ветровой энергии есть свои проблемы. Для того чтобы разместить ВЭУ (ветроэнергетические установки) и ВЭС (ветроэнергетические станции) необходима территория высотой от 20 до 80 м над уровнем моря и с минимальной скоростью ветра 3 – 5 м/с. На территории Беларуси таких площадок 1850. Но проблема заключается в том, что направление и сила воздушных масс изменчивы, иногда ветра вообще нет. Для строительства ВЭУ часто используются земли сельскохозяйственного назначения и вывод из эксплуатации даже 1 % этих земель создает проблемы

Кроме того, воздействие потока ветра на лопасти установки создает шум, который может превышать допустимые значения нормы (45 дБ), поэтому их необходимо устанавливать вдали от заселенных территорий. Также рекомендуется тщательно выбирать места расположения ветроустановок для снижения вероятности столкновения с птицами.

В местах большого скопления ветрогенераторов существует проблема изменения климата на этой территории. Лопастей ветроустановок гасят часть кинетической энергии проходящего через них потока ветра, это приводит к снижению скорости движения воздушных масс. А от замедления воздушные массы способны сильнее нагреться в жаркий период или остыть в холодный. Предполагается, что такое воздействие может влиять как в негативном ключе (например, нежелательное изменение температуры), так и позитивном (например, снижение мощности ураганов или ночной подогрев сельскохозяйственных угодий) [1].

Но основной проблемой развития ветроэнергетики в Республике Беларусь является то, что стартовый этап строительства ВЭС требует достаточно больших материальных вложений (в среднем стоимость 1 кВт установленной мощности составляет \$1000) и долгий срок окупаемости (до 15 лет). Недостатком является и то, что экономистам сложно сделать точный прогноз о получении энергии за определенный период времени. Затраты на строительство ВЭУ зачастую обходятся дороже, чем строительство объектов с использованием традиционных энергоресурсов. Еще одна из проблем - это обучение специалистов, которые связаны с обслуживанием ВЭУ.

Несмотря на все вышеперечисленные недостатки ветроэнергетика является перспективным и эффективным направлением в производстве энергии. Но в последнее время снижается количество введенных в эксплуатацию ВЭУ. Хотя в

2019 году была введена самая мощная ветроустановка в Республике Беларусь.

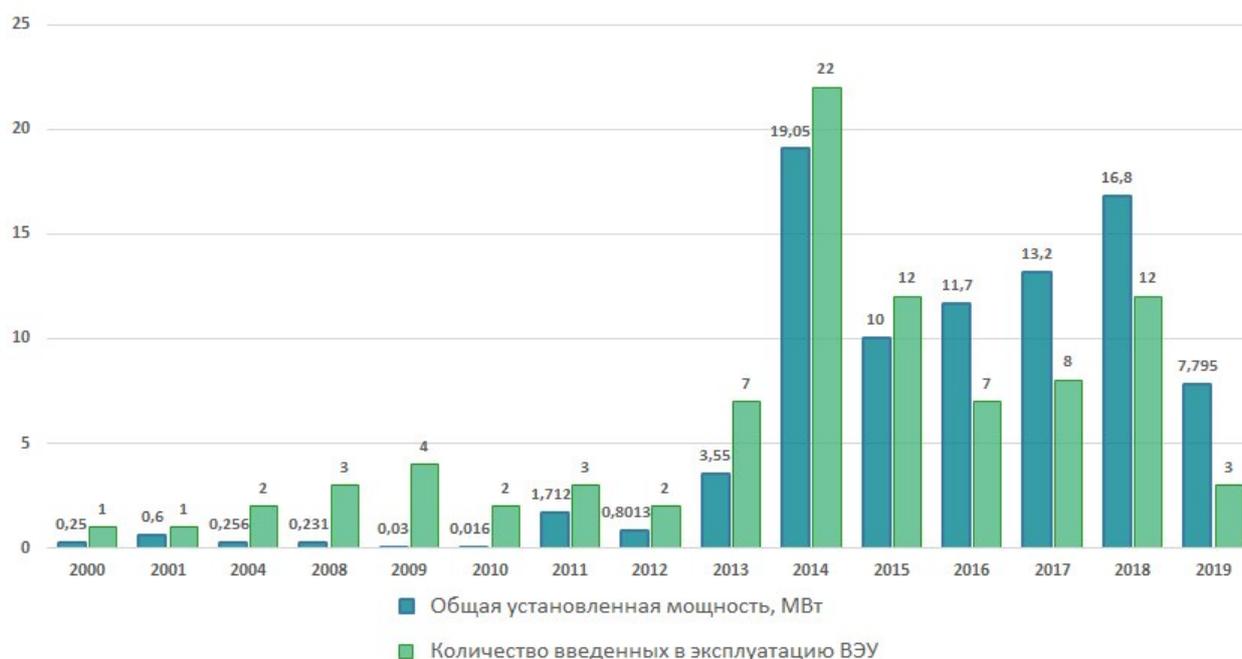


Рисунок 1 - Строительство ветроэнергетических установок в 2000 – 2019 гг

В настоящее время в Республике Беларусь работает более 90 ВЭУ общей мощностью более 90 МВт. Составлена карта, где можно посмотреть всю актуальную информацию о ВЭУ на территории Республики Беларусь

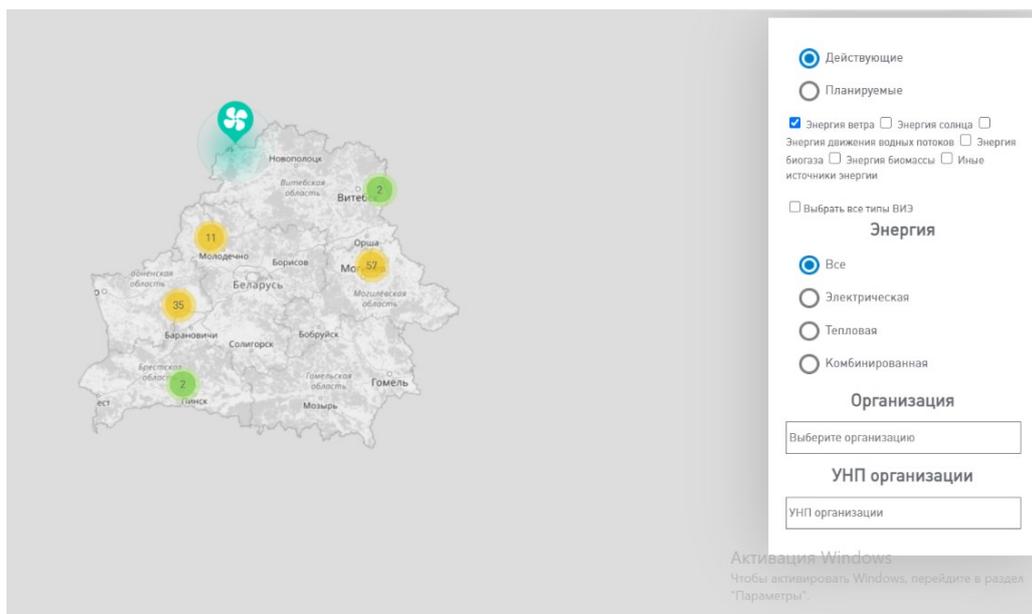


Рисунок 2 - Кадастр возобновляемых источников энергии Республики Беларусь

Заключение

Несмотря на все рассмотренные проблемы ветроэнергетика развивается так как является экологически чистой, в то время как традиционные ресурсы истощаются.

Литература

1. Какое влияние оказывает ветроэнергетика на окружающую среду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.windpower.by/news/435.html> - Дата доступа: 19.03.2021.
2. Особенности и проблемы развития ветровой энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/253/57941/> - Дата доступа: 19.03.2021.
3. Действующие объекты возобновляемой энергетики Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.windpower.by/info/objekty-vetroenergetiki-belarusi/> - Дата доступа: 19.03.2021.

УДК 661.961

ВОДОРОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА HYDROGEN AS AN ALTERNATIVE FUEL

В.А. Борбовский

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

V. Borbovsky

Supervisor – T. Petrovskaya, senior lecturer

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Применение водорода как альтернативного вида топлива, а также статистика потребления и сферы его применения. Возможные перспективы. Плюсы и минусы внедрения водородной энергетики. Возможность реализации в Республике Беларусь.*

***Abstract:** The use of hydrogen as an alternative fuel, as well as statistics on consumption and scope of its application. Possible prospects. Pros and cons of introducing hydrogen energy. Possibility of implementation in the Republic of Belarus.*

***Ключевые слова:** водород, альтернативное топливо, способы получения и применения, зеленая энергетика.*

***Keywords:** hydrogen, alternative fuel, methods of production and use, green energy.*

Введение

Водородная энергетика (ВЭ) в последние десять лет получила огромную популярность в мире науки, экономики и политики. Связано это с проблемой истощения не возобновляемых источников энергии – углеводов. Водород — это самый простой и распространенный химический элемент во вселенной, на долю которого приходится 74% всей известной нам материи. В земной коре из каждых 100 атомов 17 – атомы водорода. Он составляет примерно 0,88 % от массы земного шара (включая атмосферу, литосферу и гидросферу). Основная масса водорода попадает в атмосферу в результате биологических процессов. [1] При разложении в анаэробных условиях миллиардов тонн растительных остатков в воздух выделяется значительное количество водорода. Именно этот газ используется звездами, в том числе и Солнцем, для высвобождения огромного количества энергии в результате термоядерных реакций. [2]

Основная часть

Водород сегодня применяется во многих областях:

Получают его в газообразном виде и, если для использования необходим жидкий водород, его подвергают глубокому охлаждению и ожижению. Его опасность как топлива заключается в следующих двух факторах: высокая летучесть, из-за ее водород способен проникать через малые пространства, а также тот фактор, что он легко воспламеняется. Производство молекулярного водорода в 1985 году достигло примерно 57 млн. тонн, а в 1990 году уже 95.

Если вспомнить, что водород — это газ, который в 14,5 раза легче воздуха, то станет ясно, какой это громадный объем



Рисунок 1 - Структура мирового потребления водорода в процентном соотношении

На 2019 год в мире потребляется 75 млн тонн водорода, в основном в нефтепереработке и производстве аммиака. Из них более 3/4 производится из природного газа, для чего расходуется более 205 млрд м³ газа. Почти все остальное получают из угля. [3]. Использование водорода в качестве энергоносителя позволит как существенно сократить потребление ископаемых углеводородных топлив, так и значительно продвинуться в решении экологической проблемы загрязнения атмосферы городов вредными для здоровья человека составляющими выхлопных газов автомобилей и тепловозов.

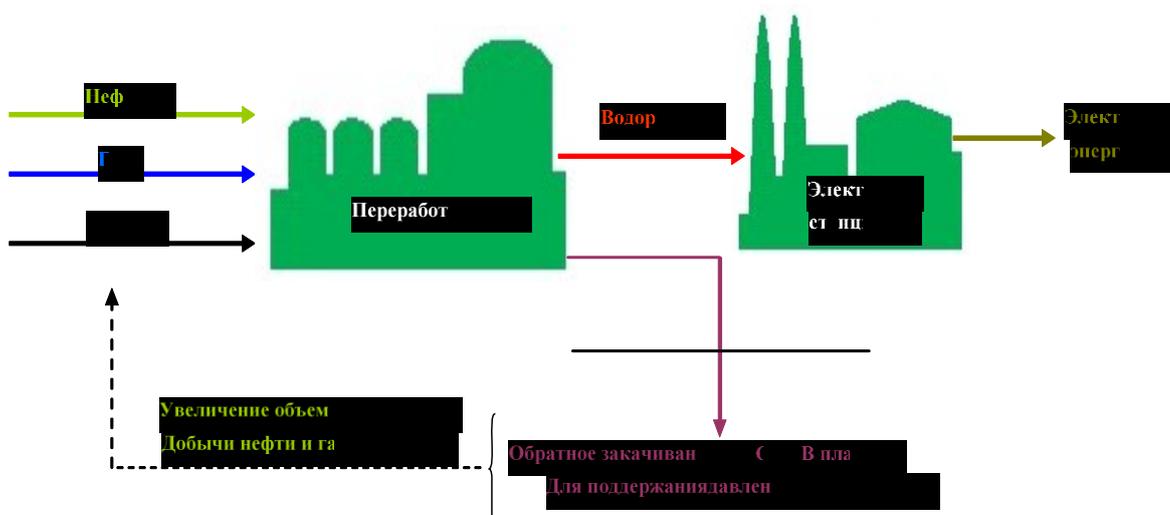


Рисунок 2 - Проект ВР по водородной энергетике

По мнению ученого секретаря отделения физико-технических наук Национальной Академии наук Беларуси, кандидата технических наук Виктора Гайко, для создания водородного двигателя требуется дорогостоящее оборудование, которого в стране нет. Эксперт сомневается и в том, что энергоносители на основе водорода в целом получают широкое распространение в Беларуси в ближайшие годы. [4]

Заключение

Изучение возможных путей обеспечения человечества экологически чистой энергией показывает, что кардинальным решением этой проблемы может быть крупномасштабное производство с помощью ядерных реакторов не только электроэнергии и тепла, но и водорода в качестве энергоносителя для промышленности, энергетики, транспорта и бытовых нужд. В области ядерной энергетики активные исследования водородной безопасности ведутся в связи с опасностью возникновения пароциркониевой реакции при тяжелых авариях на АЭС. Нельзя забывать о трагедии на АЭС в Чернобыле. В связи с этим, оценивая предстоящие этапы развития ядерной энергетики, можно уверенно прогнозировать сочетание эволюционного улучшения отработанных и успешно реализуемых технических подходов с постепенной разработкой и освоением новых технологических решений, соответствующих требованиям ядерной энергетики будущего этапа

Новая европейская стратегия ставит перед водородной энергетикой смелые цели, касающиеся «зеленого» водорода, то есть водорода, на 100% произведенного на основе возобновляемых источников энергии, вписывая водородную энергетику в контекст более устойчивой экономической системы, построенной на принципах экономики замкнутого цикла. Главным барьером на пути развития водородной энергетики является очень высокая стоимость процесса получения газа.

Литература

1. <https://mega-talant.com/biblioteka/issledovatelskaya-rabota-po-himii-tema-vodorod-kak-alternativnyy-vid-topliva-92441.html>
2. https://mgimo.ru/files/120132/polyakova_vodorod.pdf
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Производство_водорода
4. https://aif.by/vybor/kakie_perspektivy_u_vodorodnogo_topliva_

УДК 666.954

**УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
DISPOSAL OF COMBUSTIBLE CHEMICAL WASTE**

Я.С. Яцухно

Научный руководитель – И.Е Мигуцкий, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
migutski@bntu.by
Ya. Yatsukhno

Supervisor – Migutski I., Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В докладе рассматриваются две очень важные для нашего времени проблемы. Одной из важнейших проблем современности является утилизация отходов производства. Существует много способов утилизации, в докладе рассматривается сжигание топлива в утилизационных установках и получение тепловой энергии. Последнее, позволяет сократить использование первичных энергоресурсов, что является второй проблемой 21-ого века.

Abstract: The report addresses two very important issues for our time. One of the most important problems of our time is the disposal of industrial waste. There are many ways of recycling, the report discusses the burning of fuel in recycling plants and the production of thermal energy. The latter makes it possible to reduce the use of primary energy resources, which is the second problem of the 21st century.

Ключевые слова: Утилизация отходов, котельные установки энергоэффективность.

Keywords: Waste management, boiler plants energy efficiency.

Введение

Развитие промышленности и постоянное наращивание объемов производства и потребления, кроме увеличения ВВП, как положительного результата, является причинами загрязнения окружающей среды. С каждым годом объем образующихся отходов увеличивается. В последние десятилетия вопрос вторичного использования и утилизации отходов стоит очень остро.

Основная часть

Отходы должны рассматриваться как источник возобновляемой энергии, поскольку они являются постоянным побочным продуктом человечества. [1]

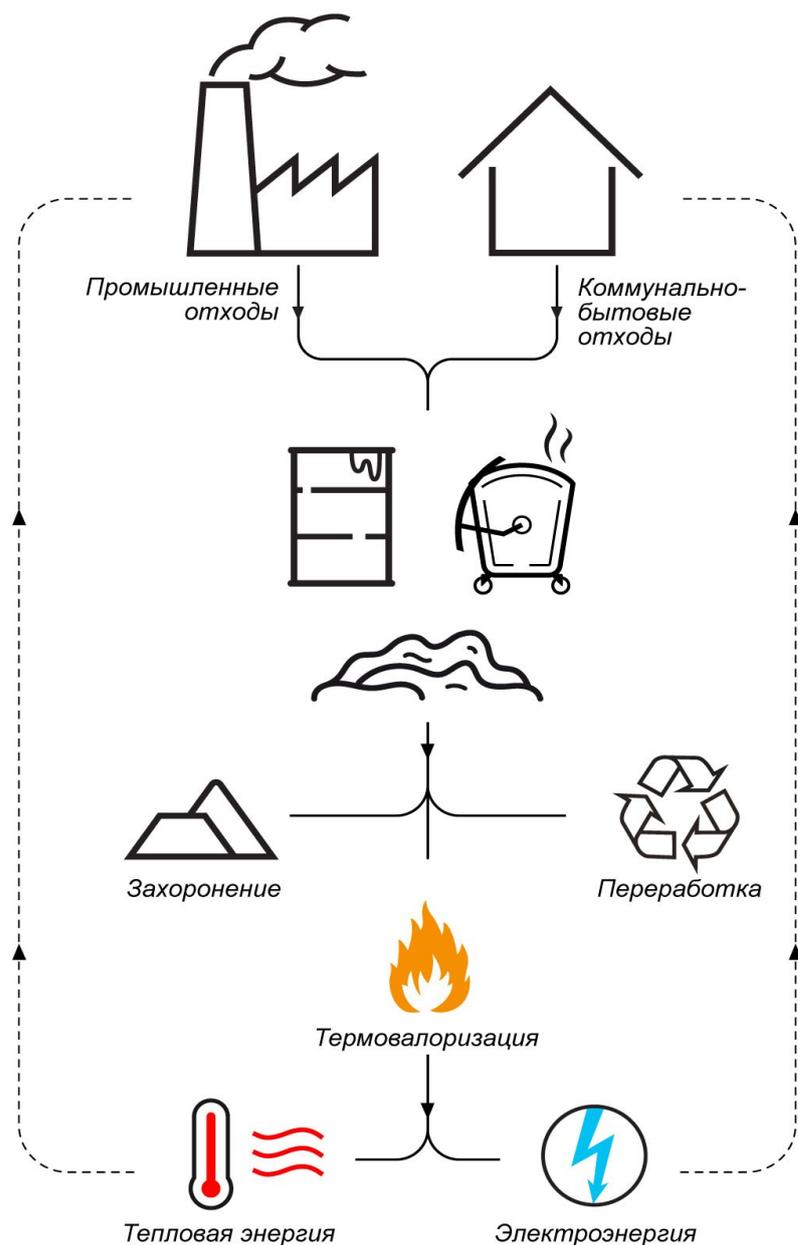


Рисунок 1 - Схема переработки отходов

В настоящее время значительная часть отходов химических производств, образующихся в технологических цехах промышленных предприятий сжигаются в котельном цехе. Сжигание отходов производств осуществляется на паровых энергетических котлах типа, которые переоборудованы под сжигание отходов производств. Котлоагрегаты не предназначены и не спроектированы для этих целей. Для поддержания процесса горения и обеспечения полноты сгорания отходов, в работе имеющегося оборудования используется природный газ.

Сжигание отходов производств на переоборудованных котлоагрегатах отрицательно сказывается на техническом состоянии их поверхностей нагрева. Ежегодно проводится большое количество остановок оборудования на промывку и ремонт. При остановке котла и его промывке кислые отложения золы адсорбируют воду, гидролизуются и выделяют кислоту непосредственно

на поверхности металла, что приводит к значительному увеличению скорости стояночной коррозии и необходимости проведения восстановительных ремонтных работ.

Поэтому при сжигании «отбросных» газов следует использовать специальные установки утилизации с модернизированными горелочные устройства, разработанные с соблюдением следующих условий:

1. максимальное использование тепла газов;
2. рекуперативный подогрев газов;
3. добавление в факел отбросного низкокалорийного газа высококалорийного топлива для стабилизации горения;
4. полное предварительное смешение газа с воздухом в интенсивном смесителе до начала горения;
5. предельно возможное укорочение факела пламени.

Соблюдение первых трех условий не вызывает трудностей и может быть осуществлено без специальной разработки узлов или элементов газовой горелки. Четвертое условие может быть реализовано при разработке конструкции смесителя, в котором обеспечивает многоструйная подача одного из компонентов смеси (газа или воздуха) в закрученный поток другого.

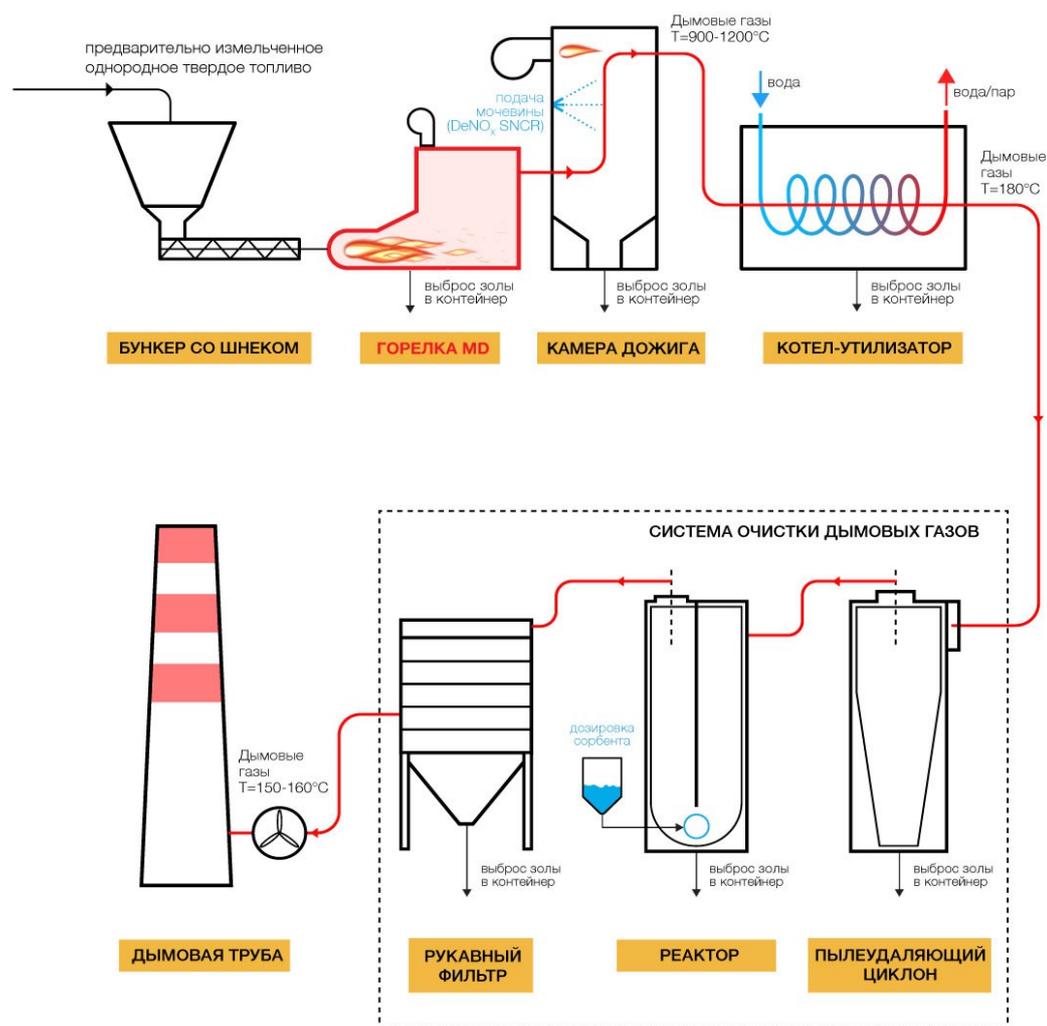


Рисунок 2 - Схема установки

Заключение

Рациональное использование ВЭР обеспечивает большие экономические выгоды благодаря увеличению масштабов производства при неизменном размере сырьевой базы, а также удешевлению издержек на топливо и энергию и, следовательно, снижению стоимости основной технологической продукции. Кроме того, использование ВЭР приводит к снижению капитальных затрат в смежных отраслях (топливодобывающей, энергетической, на транспорте) и к экономии производственных фондов в масштабе всего народного хозяйства. Но, не стоит забывать, что сжигание «особенных» видов топлива требует и особенного подхода.

Литература

1. Горючие отходы химических производств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=698346>. – Дата доступа: 11.04.2021

УДК 620.9

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ
CURRENT PROBLEMS OF MODERN WIND POWER
DEVELOPMENT**

Е.А. Шепко, К.А. Войтик

Научный руководитель – старший преподаватель Петровская Т.А.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

liza.shepko@mail.ru

E. Shepko, K. Voytik

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной работе рассматриваются основные проблемы, возникающие при использовании ветроэнергетических установок.

Abstract: this article discusses the main problems arising from the use of wind power plants.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, ветроэнергетика, альтернативная энергетика.

Keywords: wind power plants, wind power, alternative energy.

Введение

В Беларуси основная часть электроэнергии вырабатывается с помощью трех видов электростанций: атомных, тепловых и гидравлических. При этом доля всех альтернативных источников энергии составляет менее десяти процентов. Несмотря на это нетрадиционная энергетика развивается и распространяется в мире, а также и на территории Республики Беларусь. [2]

Одним из перспективных направлений в альтернативной энергетике Республики Беларусь является ветровая. Ветроэнергетика - это процесс преобразования энергии ветра в электрическую, механическую, тепловую энергию.

Основная часть

Как и у всех других форм возобновляемой энергии, у ветровой энергии есть свои проблемы. Для того чтобы разместить ВЭУ (ветроэнергетические установки) и ВЭС (ветроэнергетические станции) необходима территория высотой от 20 до 80 м над уровнем моря и с минимальной скоростью ветра 3 – 5 м/с. На территории Беларуси таких площадок 1850. Но проблема заключается в том, что направление и сила воздушных масс изменчивы, иногда ветра вообще нет. Для строительства ВЭУ часто используются земли сельскохозяйственного назначения и вывод из эксплуатации даже 1 % этих земель создает проблемы

Кроме того, воздействие потока ветра на лопасти установки создает шум, который может превышать допустимые значения нормы (45 дБ), поэтому их необходимо устанавливать вдали от заселенных территорий. Также

рекомендуется тщательно выбирать места расположения ветроустановок для снижения вероятности столкновения с птицами.

В местах большого скопления ветрогенераторов существует проблема изменения климата на этой территории. Лопастей ветроустановок гасят часть кинетической энергии проходящего через них потока ветра, это приводит к снижению скорости движения воздушных масс. А от замедления воздушные массы способны сильнее нагреться в жаркий период или остыть в холодный. Предполагается, что такое воздействие может влиять как в негативном ключе (например, нежелательное изменение температуры), так и позитивном (например, снижение мощности ураганов или ночной подогрев сельскохозяйственных угодий) [1].

Но основной проблемой развития ветроэнергетики в Республике Беларусь является то, что стартовый этап строительства ВЭС требует достаточно больших материальных вложений (в среднем стоимость 1 кВт установленной мощности составляет \$1000) и долгий срок окупаемости (до 15 лет). Недостатком является и то, что экономистам сложно сделать точный прогноз о получении энергии за определенный период времени. Затраты на строительство ВЭУ зачастую обходятся дороже, чем строительство объектов с использованием традиционных энергоресурсов. Еще одна из проблем - это обучение специалистов, которые связаны с обслуживанием ВЭУ.

Несмотря на все вышеперечисленные недостатки ветроэнергетика является перспективным и эффективным направлением в производстве энергии. Но в последнее время снижается количество введенных в эксплуатацию ВЭУ. Хотя в 2019 году была введена самая мощная ветроустановка в Республике Беларусь.

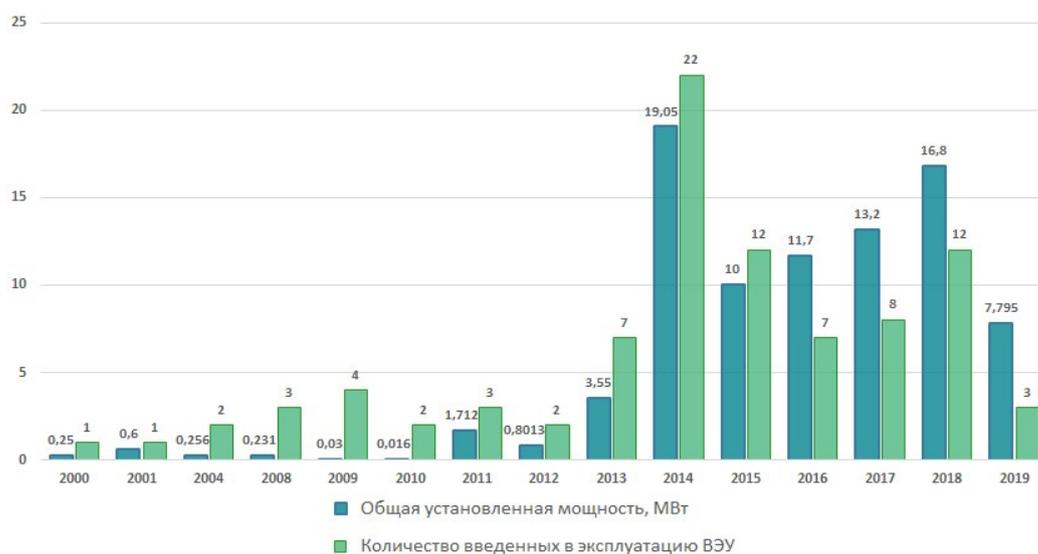


Рисунок 1 – Строительство ветроэнергетических установок в 2000 – 2019 гг

В настоящее время в Республике Беларусь работает более 90 ВЭУ общей мощностью более 90 МВт. Составлена карта, где можно посмотреть всю актуальную информацию о ВЭУ на территории Республики Беларусь

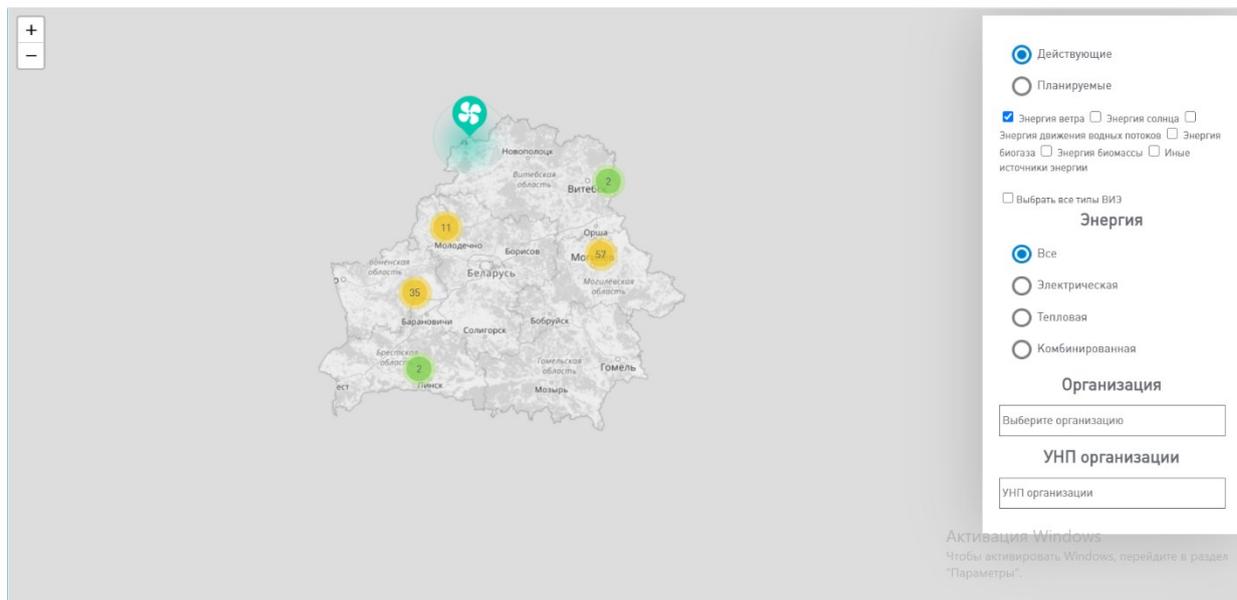


Рисунок 2 – Кадастр возобновляемых источников энергии Республики Беларусь

Заключение

Несмотря на все рассмотренные проблемы ветроэнергетика развивается так как является экологически чистой, в то время как традиционные ресурсы истощаются.

Литература

1. Какое влияние оказывает ветроэнергетика на окружающую среду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.windpower.by/news/435.html> - Дата доступа: 19.03.2021.
2. Особенности и проблемы развития ветровой энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/253/57941/> - Дата доступа: 19.03.2021.
3. Действующие объекты возобновляемой энергетики Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.windpower.by/info/objekty-vetroenergetiki-belarusi/> - Дата доступа: 19.03.2021.