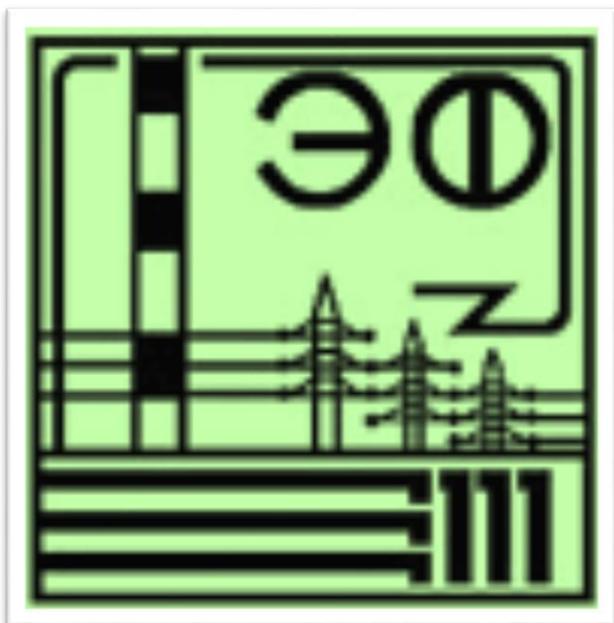


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Материалы 80 – й научно – технической конференции
студентов и аспирантов
«Актуальные проблемы энергетики»
(Апрель 2024г.)

Минск БНТУ 2024

УДК 621.1
ББК 31.3я43
Т 34

Редакционная коллегия:

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

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

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

Составитель:

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

В сборник включены материалы секции «Теплоэнергетика и теплотехника» 80 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2024 г.).

Статьи печатаются в авторской редакции

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА	7
<i>С.И. Муха, Н.Е. Юницкий</i>	7
<i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	7
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГИИ НА ТЭЦ	10
<i>З.В. Ковганов, А.С. Липский</i>	10
<i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	10
АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА АЭС	13
<i>П.В. Болмотова, Ю.С. Батюта</i>	13
<i>Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент</i>	13
АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ	15
<i>А.О. Боровикова</i>	15
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	15
ВАЛОПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО ТУРБИНЫ	18
<i>Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев</i>	18
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	18
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЮ	24
<i>Ю.С. Ровская, С.А. Лучина</i>	24
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	24
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ГАЗОВЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ	28
<i>Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич</i>	28
<i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	28
ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ	32
<i>А.А. Герасимович</i>	32
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	32
ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ НУЖД	35
<i>В.А. Новикова, А.И. Снапкова</i>	35
<i>Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель</i>	35
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЭС	39
<i>А.И. Сироткин, Г.Ю. Витецкая</i>	39
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	39
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ БУДУЩЕМУ	44
<i>Т.Ш. Фан, Д.Д. Тригубович</i>	44
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	44
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ	47
<i>О.А. Ковальчук, А.А. Таркайло</i>	47
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	47
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ	52
<i>Д.А. Бабак, А.С. Гребень</i>	52
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	52
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ В БЫТУ	56
<i>В.А. Новикова, А.И. Снапкова</i>	56
<i>Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент</i>	56
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ	59
<i>М.Д. Синько, С.Д. Руденко</i>	59
<i>Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент</i>	59
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА РАБОТУ ЕМКОСТНОГО УРОВНЕМЕРА	62
<i>А.Н. Медведева</i>	62
<i>Научный руководитель – В.И. Назаров, к.т.н., доцент</i>	62

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	66
<i>В.В. Куделко, В.А. Фомина</i>	66
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	66
МАЗУТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ТЭЦ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА	71
<i>Н.А. Петруша</i>	71
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	71
НАСОСЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И СМАЗКИ ТУРБОУСТАНОВОК	75
<i>В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов</i>	75
<i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	75
НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ФИРМЫ GENERAL ELECTRIC	79
<i>Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедев</i>	79
<i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	79
НЕТОПЛИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕЙ	83
<i>Н.А. Петруша</i>	83
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	83
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ В ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ	87
<i>В.И. Хамицкая</i>	87
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	87
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА	90
<i>В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов</i>	90
<i>Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент</i>	90
ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА	94
<i>В.И. Хамицкая</i>	94
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	94
ОПИСАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»	99
<i>В.Д. Лукьяненко, В.В. Бакалова</i>	99
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	99
ОТИМАЛЬНОЕ СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА С КОРРЕКЦИЕЙ ПО СО	104
<i>А.Ю. Какорина</i>	104
<i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	104
ПАРОКОМПРЕССИОННЫЕ И АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ. ИХ СРАВНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ	107
<i>Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич</i>	107
<i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	107
ПИКОВО-РЕЗЕРВНЫЙ ЭНЕРГОИСТОЧНИК НА ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС	111
<i>Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко</i>	111
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	111
ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТНОГО ГИДРОТУРБИННОГО НАСОСА НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ	115
<i>Е.М. Хаецкий, Р.С. Пучинский</i>	115
<i>Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент</i>	115
ПРОВЕРКА ПЛОТНОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ	119
<i>А.В. Верич</i>	119
<i>Научный руководитель – И.А. Некало, старший преподаватель</i>	119
ПРОЗРАЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ: ИННОВАЦИИ В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	123
<i>Е.Д. Жабров, Д.В. Кукса</i>	123
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	123
РАСПРОСТРАНЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИСПАРИТЕЛЕЙ	126
<i>В.А. Новикова, А.И. Снапкова</i>	126
<i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	126

РЕКУПЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА	130
<i>А.В. Геут</i>	130
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	130
ТИПЫ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ	133
<i>Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев</i>	133
<i>Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент</i>	133
ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ	139
<i>В.Р. Бежелев, Е.М. Стельмак</i>	139
<i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	139
ЭЛЕКТРОКОТЛЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	143
<i>Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедев</i>	143
<i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	143
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЮ ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО КИПАЩЕГО СЛОЯ	147
<i>Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедев</i>	147
<i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	147
СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПИКОВО РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	151
<i>Н.В. Лях</i>	151
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопья, старший преподаватель</i>	151
МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИН ИЛИ ТРУБОК ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА	155
<i>А.С. Лукашук, Д.И. Мицкевич, В.Н. Бублей</i>	155
<i>Научный руководитель – Л.И. Качар, старший преподаватель</i>	155
ДАТЧИК ПЛАМЕНИ НА ОСНОВЕ ИОНИЗАЦИИ	157
<i>А.Н. Жданович</i>	157
<i>Научный руководитель – М.А. Ярмольчик, старший преподаватель</i>	157
МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	159
<i>А.В. Шунькевич</i>	159
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	159
ВОДОРΟΣЛИ КАК БИОТОПЛИВО	162
<i>А.В. Казейка</i>	162
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопья, старший преподаватель</i>	162
Снижение величины вентиляционного пропуска пара в ЧНД ТПТУ	166
<i>Л.В. Маркевич, Г.М. Кандауров</i>	166
<i>Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель</i>	166
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	170
<i>Е.А. Русакевич, А.П. Каменко</i>	170
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопья, старший преподаватель</i>	170
СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ	174
<i>А.В. Чернушевич, Е.В. Емельянов</i>	174
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопья, старший преподаватель</i>	174
ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА	177
<i>А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич</i>	177
<i>Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель, Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.</i>	177
РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ПРОПУСКА ПАРА	184
<i>Л.В. Маркевич, Г.М. Кандауров</i>	184
<i>Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель</i>	184

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ КАРЬЕРОВ ДЛЯ ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	189
<i>А.А. Мильяненко, Н.Е. Чирич</i>	189
<i>Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель, Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.</i>	189
ЗАВИСИМОСТЬ ДИАМЕТРА ПЛАМЕНИ ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПКАХ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТ ИХ МОЩНОСТИ	196
<i>А.С. Шенец</i>	196
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	196
СРАВНЕНИЕ ЖАРОТРУБНЫХ И ВОДОТРУБНЫХ КОТЛОВ	200
<i>Д.А. Шевко</i>	200
<i>Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель</i>	200
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОПЛАВКОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	203
<i>А.А. Телеш</i>	203
<i>Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н.</i>	203
СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОГАЗОВ	206
<i>А. С. Семенов, М. А. Грушко</i>	206
<i>Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель</i>	206
КОТЛЫ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ	208
<i>В.В. Панцырев</i>	208
<i>Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель</i>	208
ОПРЕСНЕНИЕ СОЛЁНОЙ ВОДЫ	210
<i>В. Р. Мацкевич, Ф. Д. Башура</i>	210
<i>Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель</i>	210
МУЛЬТИТОПЛИВНОЕ ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО	213
<i>К.Г. Кислый</i>	213
<i>Научный руководитель – М.А. Ярмольчик, старший преподаватель</i>	213
ЗАВИСИМОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОПКИ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТ ИХ МОЩНОСТИ	216
<i>П.Д. Кагочкин</i>	216
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	216
НИЖНЯЯ ПРОДУВКА КОТЛОВ	219
<i>А.А. Егоров</i>	219
<i>Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель</i>	219
БИМЕТАЛИЧЕСКИЙ РАДИАТОР В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ	221
<i>В.В. Воронин</i>	221
<i>Научный руководитель – П.П. Храмов, д.ф.м.н., профессор</i>	221
ЗАВИСИМОСТЬ ДЛИНЫ ПЛАМЕНИ ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПКАХ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТ ИХ МОЩНОСТИ	224
<i>А.Д. Астренков</i>	224
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	224
АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПИ-ТРУБ	228
<i>П.Д. Кагочкин</i>	228
<i>Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор</i>	228

УДК 681.516.32

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА AUTOMATION OF DRUM BOILER POWER SUPPLY

С.И. Муха, Н.Е. Юницкий

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

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

Аннотация: автоматизация процесса подачи питательной воды в барабан парового котла на базе трехимпульсной системы автоматического регулирования.

Abstract: automation of the feed water supply process to the steam boiler drum based on a three-pulse automatic control system.

Ключевые слова: барабан котла, питательная вода, регулятор, уровень, система автоматического регулирования (САР).

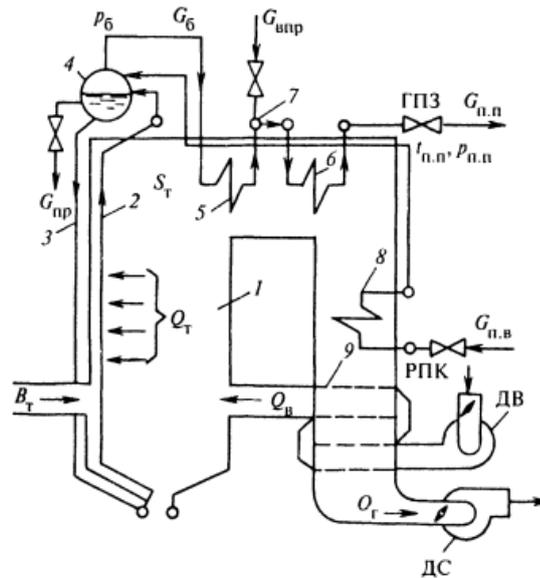
Keywords: boiler drum, feed water, regulator, level, automatic control system.

Введение

При проектировании любой ТЭЦ, КЭС или котельной паровой котел является одним из самых важных объектов управления. Принципиальная технологическая схема барабанного котла представлена на рисунке 1 [1]. Для обеспечения его безопасной работы требуется полная автоматизация всех протекающих в нём процессов. Поэтому для котла обязательно внедрение САР питания, подачи топлива, горения и водно-химического режима. Для САР питания котла важнейшим регулируемым показателем является уровень в барабане. При его понижении возникает опасность пережечь экранные трубы в топочной части котла, а при превышении уровня неизбежен заброс воды на лопатки первой ступени турбины [2]. Аварии на основном оборудовании энергоблока приводят к остановке процессов на всей электростанции, а также ввод резервных мощностей для покрытия выбывшей из энергосистемы нагрузки, что приводит к серьёзным экономическим последствиям.

Основная часть

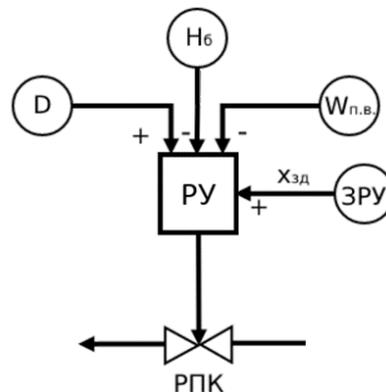
Для эффективного регулирования уровня в барабане необходимо установить и следить за показателями датчиков уровня в барабане, расхода за котлом и перед ним. Расход пара за котлом является показателем паровой мощности котла, которая достигается с помощью повышения мощности питательного насоса, и за счёт этого увеличения расхода питательной воды, и в зависимости от него – процесса горения. Структурная схема для реализации трехимпульсной САР питания барабанного котла представлена на рисунке 2.



ГПЗ – главная паровая задвижка; РПК – регулирующий питательный клапан;
 1 – топка; 2 – циркуляционный контур; 3 – опускные трубы; 4 – барабан;
 5, 6 – пароперегреватели; 7 – парохладитель; 8 – экономайзер;
 9 – воздухоподогреватель

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема барабанного котла [1]

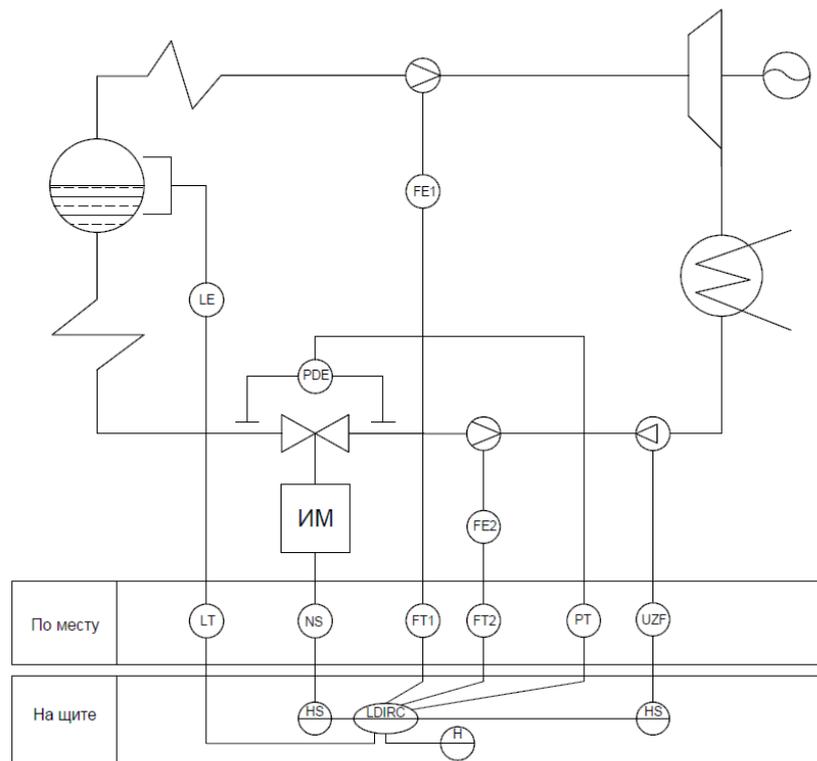
Для реализации САР питания барабанного котла можно использовать структурные схемы одной из двух типовых систем автоматического регулирования: каскадной и трехимпульсной. В случае применения каскадной системы (КСАР) структурная схема будет иметь 2 регулятора, первый регулятор – корректирующий (КР) (отвечает за поддержание необходимого уровня в барабане), а второй – стабилизирующий (СР) (регулирует отношение расхода воды и пара). В случае применения трехимпульсной САР поддержание необходимого уровня воды в барабане обеспечивается только одним регулятором, поэтому для минимизации затрат на автоматизацию целесообразнее использовать именно её.



РУ – регулирующее устройство; ЗРУ – задатчик ручного управления; РПК – регулирующий питательный клапан; H_6 – уровень в барабане котлоагрегата; D – расход пара в турбину;
 $W_{п.в.}$ – расход питательной воды в барабан котлоагрегата

Рисунок 2 – Структурная схема САР уровня воды в барабане котла [1]

Пример реализации функциональной схемы трехимпульсной САР питания представлена на рисунке 3.



FE 1 – чувствительный элемент, датчик с пьезоэлементами, для измерения расхода;
FE 2 – чувствительный элемент, датчик с разделительными мембранами, для измерения расхода;
FT 1, FT 2 – прибор для измерения расхода, бесшкальный, с дистанционной передачей данных;
LE – первичный измерительный прибор для измерения уровня; *LT* – прибор для измерения уровня, бесшкальный, с дистанционной передачей данных; *PDIRC* – регулятор расхода по разности давлений, показывающий, регистрирующий; *H* – задатчик ручного управления; *HS* – переключатель электрических цепей; *NS* – пускатель для управления электродвигателем; *ИМ* – исполнительный механизм; *PDS* – дифференциальный манометр; *UZF* – частотный преобразователь

Рисунок 3 – Функциональная схема АСР питания барабанного котла [1]

Заключение

Таким образом, разработанная автоматическая система регулирования позволяет поддерживать подачу необходимого объёма питательной воды и уровень в барабане котла на среднем уровне. Внедрение САР исключает необходимость постоянного контроля за технологическими параметрами, позволяет уменьшить штат сотрудников, улучшить качество регулирования и достичь безаварийной работы основного оборудования ТЭЦ. Исходя из этого, внедрение автоматической системы регулирования питания барабанного котла приносит множество выгод, охватывающих различные аспекты производства и эксплуатации ТЭЦ.

Литература

1. Плетнев, П.Г. Автоматизированные технологические процессы и производств в теплоэнергетике: учебное пособие для вузов. / П.Г. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

1. Методические указания по наладке регуляторов питания барабанных котлов. [Электронный ресурс] / Методические указания по наладке регуляторов питания барабанных котлов. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294812/4294812893.htm> /. – Дата доступа: 02.04.2024.

УДК 681.516.32

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГИИ
НА ТЭЦ
AUTOMATION OF THERMAL ENERGY TRANSPORTATION AT A
THERMAL POWER STATION**

З.В. Ковганов, А.С. Липский

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

Z. Kovganov, A. Lipskiy
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: автоматизация процесса поддержания заданной температуры прямой сетевой воды на базе системы автоматического регулирования с дифференциатором.

Abstract: Automation of the process of maintaining the specified temperature of direct heating system water based on an automatic control system with differentiation.

Ключевые слова: сетевой подогреватель, сетевая вода, регулятор, температура, система автоматического регулирования (САР).

Keywords: heating system water heater, heating system water, regulator, temperature, automatic control system.

Введение

Каждая ТЭЦ должна снабжать потребителя не только электроэнергией, но еще и тепловой энергией, которая передается с помощью теплоносителя (в основном воды) по трубопроводам. Нагрев воды на ТЭЦ происходит в специальных поверхностных теплообменниках – сетевых подогревателях, которые работают по следующему принципу (рисунок 1) [1].

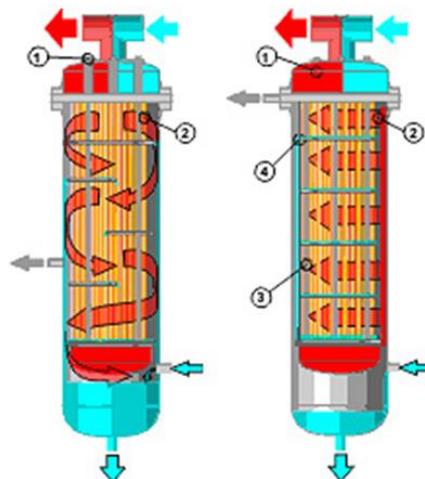


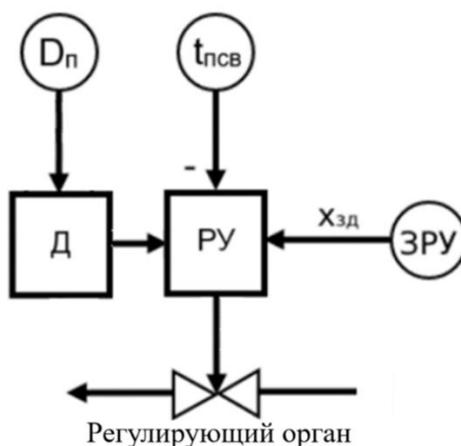
Рисунок 1 – Устройство сетевого подогревателя [1]

Пар из теплофикационного отбора турбины поступает в сетевой подогреватель, где омывает теплообменные трубки и конденсируется на них, отдавая при этом большое количество тепла сетевой воде, которая течет через эти трубки. Конденсат греющего пара из сетевого подогревателя идет назад в основной цикл Ренкина [2]. Сама сетевая вода после ее нагрева до необходимой температуры с помощью сетевых насосов идет тепловому потребителю (прямая сетевая вода) и отдав свое тепло она направляется назад на станцию (обратная сетевая вода), где восполняются ее потери и вновь происходит нагрев.

Основная часть

Обеспечение потребителя необходимым ему количеством тепловой энергии происходит путем регулирования температуры прямой сетевой воды (качественное регулирование), либо же ее расхода (количественное регулирование). Реализация качественного регулирования в плане затрат на оборудование выгоднее, чем реализация количественного, поэтому на большинстве станций применяются системы с регулированием по температуре.

Для регулирования и поддержания заданной температуры прямой сетевой воды можно применить систему автоматического регулирования с дифференциатором (САРД), структурная схема которой изображена на рисунке 2.



Д – дифференциатор, РУ – регулирующее устройство, ЗРУ – задатчик ручного управления, $D_{п}$ – расход пара в сетевой подогреватель, $t_{псв}$ – температура прямой сетевой воды.

Рисунок 2 – Структурная схема САРД температуры прямой сетевой воды

Для реализации такой системы необходимы два датчика: термометр сопротивления для измерения температуры прямой сетевой воды и расходомер, который измеряет количество подаваемого пара в сетевой подогреватель. Сигнал по температуре идет напрямую в регулятор (инерционный участок САРД), а сигнал по расходу – через дифференциатор (опережающий участок САРД), образуя при этом двухконтурную систему.

Зная переходные характеристики каждого из участков САРД можно произвести оптимальную настройку регулятора и дифференциатора по

существующим на данный момент времени методам, однако наилучшей будет настройка по методам БНТУ: для регулятора можно применить настройку по передаточной функции оптимального регулятора (ПФОР), а для дифференциатора – метод полной компенсации (МПК) [3]. При этом настройка регулятора по ПФОР производится с учетом коэффициента передачи дифференциатора. Благодаря этим методам настройки будет достигнуто наилучшее качество регулирования при отработке основных воздействий (задающего и возмущающих).

Заключение

Таким образом, разработанная автоматическая система регулирования позволяет стабильно и с высокой точностью поддерживать температуру прямой сетевой воды с целью осуществления транспортирования необходимого количества тепла потребителю и минимизации вероятности различных аварий. Также к существенным преимуществам этой САР относится отсутствие необходимости постоянного контроля за показателями (в случае регулирования вручную), поскольку процесс поддержания необходимых параметров полностью автоматизирован. Исходя из этого, внедрение автоматической системы регулирования температуры прямой сетевой воды приносит множество выгод, охватывающих различные аспекты производства и эксплуатации ТЭЦ.

Литература

1. Подогреватели сетевой воды (ПСВ) [Электронный ресурс] / СТИГМАШ. – Режим доступа: <https://stigmash.ru/catalog/teploobmennoe-obogudovanie/psv/>. – Дата доступа: 31.03.2024.
2. Ковганов, З.В. Тепловая электрическая станция небольшой мощности на органическом цикле Ренкина = Small capacity thermal power plant operating on the organic Rankine cycle / З.В. Ковганов, Е.В. Таранко; науч. рук. Е.В. Пронкевич // Актуальные проблемы энергетики - 2022 [Электронный ресурс]: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И.Н. Прокопья, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 420-422.
3. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 197 с.: ил.

УДК 621.355

**АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА АЭС
NUCLEAR POWER PLANT HEAT STORAGE**

П.В. Болмотова, Ю.С. Батюта

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
batutaula9@gmail.com
P. Bolmotova, Y. Batyuta
Supervisor – I. Evseenko, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: данный текст рассматривает актуальную на данный момент проблему энергетики, а именно аккумулирование энергии получаемой на атомных электрических станциях. Рассматривается вопрос о возможном создании такой атомной станции, которая могла бы работать в переменном режиме, тем самым покрывая пиковую и полупиковую мощность, а также передовые пути решения данной проблемы.

Abstract: this text examines the currently relevant problem of energy, namely the accumulation of energy produced at nuclear power plants. The issue of the possible creation of such a nuclear power plant that could operate in alternating mode, thereby covering peak and semi-peak power, as well as advanced ways to solve this problem, is being considered.

Ключевые слова: аккумулирование, энергия, эксплуатация, АЭС.

Keywords: accumulation, energy, exploitation, nuclear power plant (NPP).

Введение

Прогресс никогда не стоит на месте, включая такую область энергетики, как атомная промышленность. Постройка и введение новых атомных станций получили свою популярность ввиду множества положительных качеств, таких как экологичность, большая развиваемая мощность и экономичность. Однако, есть существенный минус, который хотелось бы рассмотреть подробнее – проблема аккумулирования электроэнергии.

Основная часть

Рассмотрим пример суточного графика нагрузок (рисунок 1). Анализируя данную кривую, можно заметить, что с изменением шкалы времени график никогда не остается постоянным. Данный аспект объясняется тем, что в разные периоды времени затрачивается разное количество энергии, что в свою очередь изменяет ход кривой. Это приводит к постановке вопроса, его дальнейшему обсуждению и впоследствии решению такой задачи, как покрытие переменных мощностей.

В случае проектирования и эксплуатации АЭС закладывается использование ядерного топлива лишь для покрытия базовой мощности. Это является разумным решением, так как для создания реакторной установки, которая могла бы работать в маневренном режиме и тем самым покрывать

переменную нагрузку, нужно было бы затратить множество средств. К ним можно отнести затраты на разработку такой системы, ее строительство и, собственно, ее эксплуатацию. Однако даже если не брать в расчет затрачиваемые на это средства, в дальнейшем это повлечет за собой увеличение удельного расхода топлива и, как следствие, себестоимости электроэнергии. Более того, срок службы такого блока будет значительно меньше привычного, вследствие чего потенциал такой станции значительно ниже [1].

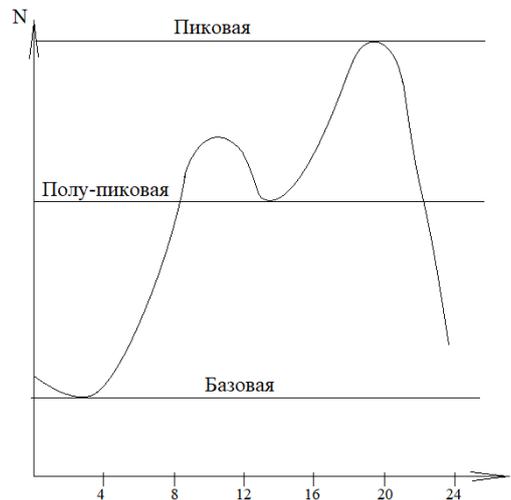


Рисунок 1 – Суточный график нагрузок

Решением данной проблемы стало создание и включение в схему аккумуляторов тепла. С внедрением данной системы стало возможным повысить маневренность атомной станции, и, следовательно, [2]:

- 1) становится возможным покрыть пиковую и полупиковую мощность;
- 2) возможность предоставления тепла в сфере быта и промышленности;
- 3) допустимо увеличение эффективности станции, а именно ее КПД;
- 4) данную систему при определенных обстоятельствах можно принимать за систему безопасности;
- 5) еще одно достоинство атомных станций перед другими отраслями промышленности в сфере энергетики.

Заключение

Разработка и строительство атомных станций, работающих на переменном режиме, являются экономически и экологически невыгодными, так как такой объект становится менее конкурентоспособным в сравнении со станциями, работающими в базовом режиме. Гораздо более эффективным способом повысить маневренность АЭС будет реализация схемы с внедрением в нее аккумуляторов тепла.

Литература

1. Аккумуляторы тепла на АЭС [Электронный ресурс] / Аккумуляторы тепла на АЭС. – Режим доступа: <https://elib.biblioatom.ru/>. – Дата доступа: 11.04.2024.
2. Новый атомный эксперт [Электронный ресурс] / Новый атомный эксперт. – Режим доступа: <https://atomicexpertnew.ru/>. – Дата доступа: 11.04.2024.

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
РАБОТЫ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ
DAMAGE ANALYSIS AND ENSURING RELIABILITY
OF STEAM SUPERHEATER OPERATION**

А.О. Боровикова

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

А. Borovikova

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

***Аннотация:** в данной статье рассматривается важность правильной эксплуатации и обслуживания пароперегревателей для обеспечения эффективной и безопасной работы, а также проблемы, связанные с неравномерностью обогрева труб.*

***Annotation:** this article discusses the use of the importance of proper operation and maintenance of steam superheaters to ensure efficient and safe operation, as well as problems associated with uneven heating of tubes.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, пароперегреватель, металл, отложения, змеевик.*

***Key words:** heat supply, superheater, metal, deposits, coil.*

Введение

Современные котлы представляют собой сложные технические устройства, где каждая деталь и компонент спроектированы для оптимальной работы в определенных условиях. Качество материалов, прочность соединений и точность настроек играют ключевую роль в обеспечении эффективной и безопасной работы котла. Невыполнение режима эксплуатации может, в итоге, создать огромные повреждения и аварии.

Для того чтобы обеспечить качественное применение оборудования важно своевременно проводить техническое обслуживание и проверку его состояния. Для этого необходимо полностью соблюдать правила эксплуатации. Также надо своевременно проводить ремонт котлов, чтобы избежать возможных аварий. Ведь если не соблюдать, в результате, это может привести к серьезным последствиям и значительному ущербу, и проблемам со здоровьем у персонала.

Основная часть

Самым важным и нужным компонентом в системах котельных установок является пароперегреватель. Он необходим для нагрева пара до более высокой температуры, после его прохождения через основной котел. В основном применяется для повышения температуры пара выше точки насыщения при давлении, что увеличивает энергетическую эффективность системы и обеспечивает необходимую температуру для важных процессов.

Пароперегреватель состоит из многочисленных труб, через которые проходит пар, и обеспечивает теплообмен между газами и жидкостью. Они в свою очередь подвергаются высоким температурам, поэтому так важно выбирать материалы изготовления, чтобы увеличить его надежность и долговечность.

Различают радиационного, конвективного или полурadiационного типа пароперегреватели. Самую сложную конструкцию имеют радиационные пароперегреватели, что в итоге требует тщательного подбора в эксплуатации. Хотя эти минусы и перекрывает то, что они достаточно имеют большую эффективность теплообмена и могут быть очень результативны в условиях высоких температур.

Очень важно уделить внимание правильному функционированию пароперегревателя, чтобы обеспечить стабильную и без аварийную работу установки. Чтобы увеличить производительность, надо регулярное техническое обслуживание и контроль состояния пароперегревателя.

Самые важные требования к металлу труб пароперегревателя [2]:

- 1) жаропрочность;
- 2) стабильность структуры;
- 3) хорошая свариваемость труб.

При быстром увеличении мощности параллельно возникает возрастание неравномерного обогрева труб внутри газотока. Что непосредственно влияет на расширение теплового напряжения. Это может вызвать газовый перекос из-за неравномерного омывания змеевиков дымовыми газами, неравномерного распределения форсунок или горелок по ширине топки, различной нагрузки на топочные устройства.

Увеличение температуры стенок змеевиков обычно появляется из-за неравномерного распределения пара внутри них, что происходит при паровом перекосе. Это возникает в результате плохо проработанной конструкции подвода и отвода пара, когда происходит повышение сопротивления отдельных змеевиков. Туда же можно отнести и нарушение баланса между гидравлическими сопротивлениями коллектора. Важно отметить, что из-за неравномерного распределения пара в змеевиках, объем пара в результате сильно снижается.

Когда качество внутренней поверхности котла не удовлетворяет, то показатели для качественной работы оборудования страдают. Также на эффективность производства влияет водный режим и если происходит его загрязнение, то снижется производительность. Как правило, главным источником загрязнения являются примеси, которые находятся в паре.

Они, в основном, возникают в процессе капельного уноса. В процессе производства примеси попадают из питательной воды, однако они также могут быть вынесены с поверхности котла.

Чтобы оборудование прослужило долгий срок без поломок, важно качественно и регулярно соблюдать важные мероприятия по очистке и предотвращению загрязнений.

Чтобы обеспечить наивысшую защиту от отложений на поверхностях оборудования необходимо соблюдать ряд требований [2]:

- 1) ежедневно снимать показатели качества питательной воды и в случае несоблюдения необходимых параметров, принимать меры;
- 2) важно соблюдать правильно техническую инструкцию и эксплуатацию оборудования;
- 3) соблюдать охрану труда и качественно подготавливать рабочих правилам работы с пароперегревателями;
- 4) своевременно реагировать на показатели, которые отклоняются от нормы.

Точное придерживание всех рекомендаций, которые перечислены выше, дает возможность создать долгий срок службы без аварийной работы и одновременно увеличить ее эффективность. А также уменьшить, а то и вовсе предотвратить появление отложений на оборудовании.

Заключение

Весьма требовательно придерживаться основных требований к эксплуатации оборудования и его качественному ремонту, ведь отклонение от них, в основном, приводит к поломке дорогостоящего агрегата. Также можно отнести к особо важным моментам, за которыми нужен качественный контроль это равномерный нагрев труб и в случае несоблюдения это приведет к резкому уменьшению эффективности. Поэтому так необходимо соблюдать все требования по работе с пароперегревателями, чтобы минимизировать потери со стороны производства.

Основные факторы, которые так влияют на качественную работу пароперегревателей, включают в себя их высокую термостойкость, стабильность структуры и хорошую свариваемость труб. Чтобы сохранить оптимальную производительность котла и предотвратить образование отложений на поверхности оборудования очень важно соблюдать несколько важных мероприятий. Это включает в себя регулярный контроль качества питательной воды, применение специализированных систем очистки воды, регулярную профилактику и очистку перегревателей, правильную эксплуатацию и обслуживание котла, а также обучение персонала по правильной эксплуатации оборудования. Соблюдение этих рекомендаций поможет уменьшить вероятность образования отложений и повысить эффективность работы всей системы.

Литература

1. Яковлев, Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.
2. Лезин, В.И. Пароперегреватели котельных агрегатов / В.И. Лезин, Ю.М. Липов. – М.: Энергия, 1965. – 288 с.

УДК 62.368

**ВАЛОПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО ТУРБИНЫ
TURBINE TURNING DEVICE**

Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев

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

E. Stelmak, V. Bezhelev

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассмотрены принцип работы валоповоротного устройства, принцип его работы, а также конструкция и эксплуатационные требования по виду турбин.

Abstract: this article discusses the operating principle of the turning device, the principle of its operation, as well as the design and operational requirements for the type of turbine.

Ключевые слова: валоповоротное устройство, вал, ротор, пуск, остановка.

Keywords: turning device, shaft, rotor, start, stop.

Введение

Устройство валоповорота турбины обеспечивает правильное выравнивание и балансировку ротора турбины перед пуском и остановом. Это помогает предотвратить износ частей турбины и обеспечивает безопасную и эффективную работу.

Основная часть

Работа турбины любого типа, обеспечивающая нормальное ее функционирование, а именно: вращение ротора, срабатывание клапанов, регуляторов отборов, выпуск пара, отслеживание параметров в блоке регулирования и управления, срабатывание сервомоторов и многое другое – называется *нормальной*. Если турбина работает с нарушениями, которые были вызваны ошибкой персонала или обслуживающих устройств, например, несрабатывание клапанов, нарушение диафрагменных или концевых уплотнений с последующим выходом пара большой температуры в машинный зал, ремонтом или заменой оборудования. В таком случае требуется прекратить работу турбины. Такие режимы называют *остановом* турбины. В процессе останова турбины необходимо соблюдать следующие этапы [1]:

- 1) опробовать электронасосы смазки и проверить уплотнения генератора турбины;
- 2) проверить исправности стопорного клапана и убедиться в том, что он не заедает;
- 3) при работе турбины по тепловому графику необходимо перевести ее на электрический;

- 4) начать снижение нагрузки 1,5–3 МВт в минуту. При этом не прекращать подачу пара;
- 5) произвести отключение, в первую очередь, ПВД потом ПНД. При остановках турбины на короткий срок отключение ПВД и ПНД не требуется;
- 6) после снижения до 3-2 МВт открыть полностью байпасный клапан ГПЗ;
- 7) отключить генератор от сети только после полного снятия нагрузки.

После завершения пуско-наладочных или ремонтных работ турбина может производить *пуск*. Пуск рассмотрим на примере турбины Т-250/300-240. Пуск турбины может производиться из холодного состояния, из неостывшего и из горячего состояния. Тепловое состояние турбины перед пуском определяется:

- длительностью простоя;
- качеством изоляции;
- конструкцией.

Так для турбины Т-250/300-240 время пусковых операций может составлять:

После 8 часов простоя время пуска составляет 2 часа 30 минут.

После 24 часов простоя – 2 часа 50 минут.

После 48 часов простоя – 3 часа 20 минут.

Из холодного состояния – 6 часов 30 минут.

Пуск турбины из холодного состояния совершается при частоте вращения ротора до 800 оборотов в минуту. Параметры впускаемого пара имеют следующие значения:

$$p_{\text{свежего пара}} = 2 - 4 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{свежего пара}} \geq 250^{\circ}\text{C}.$$

При пусковых операциях для проверки уплотнений давление пара повышается в течении получаса до установленного номинального; для проверки клапанов давление повышают до 8 МПа при частоте вращения ротора 800 оборотов в минуту. При этом частота вращения принимает постоянное значение через 15-20 минут после запуска. После пуска или останова ротор сильно подвержен деформации вследствие неравномерного прогрева. Это может способствовать его искривлению. После работы турбины имеется остаточный прогрев вала, который и является причиной разности температур, называемой температурной неравномерностью. Верхняя часть вала более нагрета чем нижняя, поэтому металлический сплав в нижней части начинает сокращаться быстрее, чем в верхней. Этот процесс непостоянен, так как с течением времени температура начинает распределяться равномерно и вал приобретает одинаковую температуру в каждом своем сечении. При равномерном распределении температуры вал начинает выравниваться. Турбина может быть пущена только после полного выпрямления вала. Если в это время в турбину будет впущен пар, то процесса обратного выпрямления не произойдет – вал искривится окончательно, вследствие нагрева, и турбина больше не будет пригодна к эксплуатации. Искривление вала и ротора приводит к задеванию лопатками уплотнений и сопловых коробок. Основным

устройством, служащим для безопасного пуска турбины и разгона ротора является *валоповоротное устройство*.

Валоповоротное устройство – это тихоходное устройство, предназначенное для медленного вращения ротора турбины при пуске или останове. Также основным назначением валоповоротного устройства является предотвращение теплового искривления при нагреве ротора. Валоповоротное устройство регулирует частоту вращения ротора только в случаях пуска или останова. Для всех турбин валоповоротное устройство создают с частотой вращения 3-4 оборота в минуту. Валоповоротное устройство располагается в заднем картере турбины [2].

Конструктивное исполнение валоповоротного устройства приведено на рисунке (1):

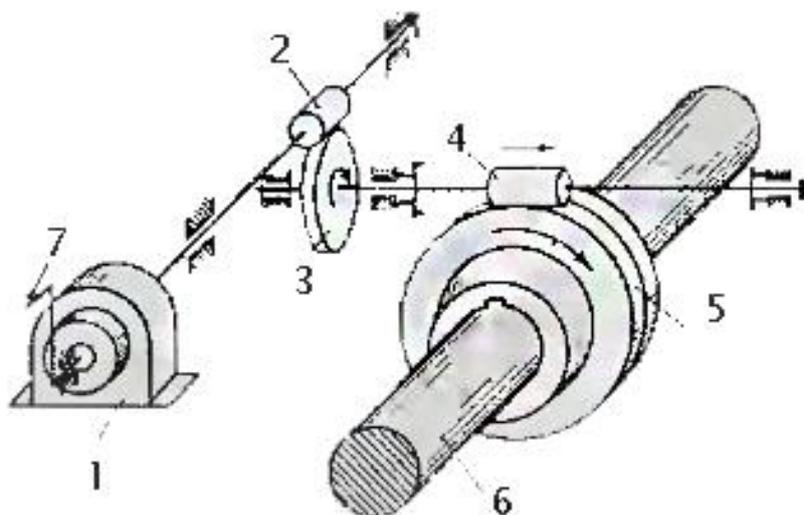


Рисунок 1 – Конструкция валоповоротного устройства [2]

Валоповоротное устройство снабжено электродвигателем (1), передающим вращательный момент ротору с расположенной на нем червячной передачей (2). Червяк входит в зацепление с червячным колесом (3), находящимся соосно с ведущей цилиндрической шестерней (4) на промежуточном валике. Ведущая цилиндрическая шестерня задает вращение ведомой цилиндрической шестерни (5), расположенной на валу турбины (6). Рычаг (7) служит для ручного привода. Некоторые валоповоротные устройства ведомой цилиндрической шестерней крепятся не к валу самой турбины, а к промежуточному валу, который с валом турбины соединен муфтой.

Конструктивными требованиями, предъявляемыми к валоповоротному устройству турбины ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ являются следующие требования, приведенные ниже. Продольный разрез ВПУ представлен на рисунке 2. Поперечный разрез ВПУ представлен на рисунке 3.

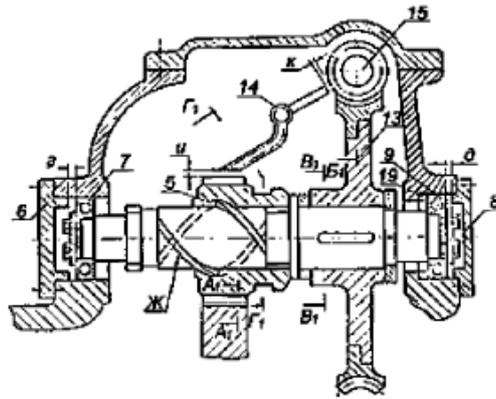


Рисунок 2 – Продольный разрез валоповоротного устройства турбины ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ [3]

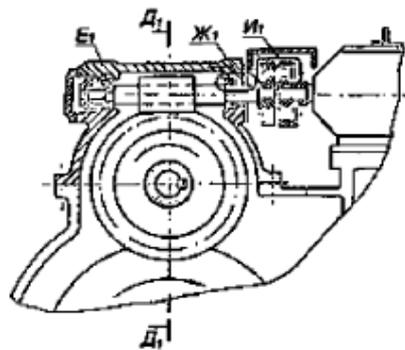


Рисунок 3 – Поперечный разрез валоповоротного устройства турбины ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ [3]

К валоповоротному устройству данной турбины предъявляются следующие технические требования:

Элементы Е1 и Ж1, представленные на рисунке выше, являются частью муфты червячной передачи. Червячная передача должна удовлетворять следующим требованиям: Е1 – муфта с прокладкой должна быть утолщена и закреплена накладкой. Ж1 – для повышения трения муфты изготавливается стальной фрикцион на бронзовую передачу. И1 – седло. На нем для нормального натяга допускается наплавка слоя хрома максимальной толщиной 0,08 мм.

Конструктивными требованиями, предъявляемыми к валоповоротному устройству турбины К-300-240 ХГТЗ являются следующие, приведенные ниже. Продольный разрез ВПУ представлен на рисунке 4. Поперечный разрез ВПУ представлен на рисунке 5.

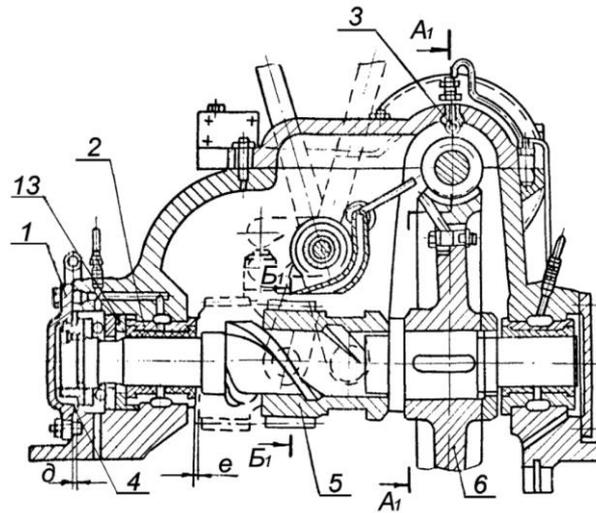


Рисунок 4 – Продольный разрез валоповоротного устройства турбины К-300-240 ХГТЗ [4]

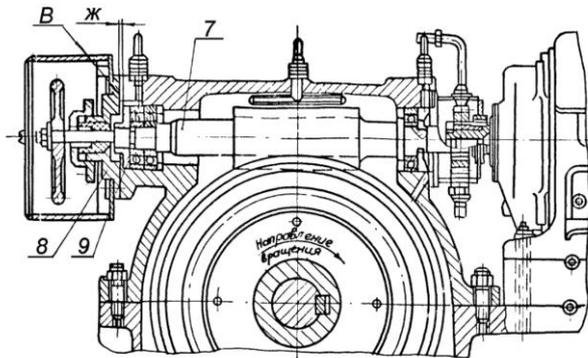


Рисунок 5 – Поперечный разрез валоповоротного устройства турбины К-300-240 ХГТЗ [4]

Расстояние, обозначенное буквой «е» на поперечном разрезе – это зазор вкладыша неподвижной шестерни. Его значение должно быть строго в пределах 0,25-0,45 мм. Буквой «ж» на продольном разрезе обозначен зазор крышки червяка, значения которого должны быть фиксированы в диапазоне 0,4-0,7 мм.

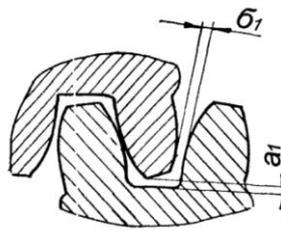


Рисунок 7 – Продольный разрез цилиндрической зубчатой пары валоповоротного устройства турбины К-300-240 ХГТЗ [4]

Зазоры, имеющие буквенное обозначение «а1» и «б1» – это зазоры шестерен на валу червячного колеса на роторе низкого давления. Для лучшего зацепления значения «а1» должны составлять 2-3 мм, и «б1» – 0,5-0,9 мм соответственно.

Модернизированная версия валоповоротного устройства носит название гидравлического ВПУ. Оно совершает гидравлический подъем валопровода и применяется на турбине К-300-240 ХГТЗ на блоке №8 Змиевской ТЭЦ в Украине. Особенностью данного вида валоповоротного устройства является не механический привод, а гидравлический. Силовой жидкостью является масло, а вместо электродвигателя применяется гидромотор. Частота вращения составляет 50-60 оборотов в минуту. Установка данного типа валопровода в результате положительно повлияло на КПД блока [4].

Заключение

В общем и целом, валоповоротное устройство играет не маловажную роль в работе турбины. Без данного устройства под действием теплоты будет происходить тепловой прогиб и последующее за ним изменение осей ротора с осями подшипников и может привести к нежелательным последствиям, вплоть до разрушения турбины.

Литература

1. Останов паровой турбины [Электронный ресурс] / Останов паровой турбины. – Режим доступа: <https://ccpowerplant.ru/ostanov-parovoj-turbiny/>. – Дата доступа: 12.04.2024.
2. Валоповоротные приспособления [Электронный ресурс] / Валоповоротные приспособления. – Режим доступа: http://parturbina.ucoz.net/index/sodenitelnye_mufty_valopovorot_teplovaja_izoljacija_turbinu/0-21/. – Дата доступа: 12.04.2024.
3. Нормы и требования ПТ-80/100-130/13 [Электронный ресурс] / Нормы и требования ПТ-80/100-130/13. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293808/4293808224.htm#i1815595> /. – Дата доступа: 12.04.2024.
4. Модернизация турбин ХГТЗ [Электронный ресурс] / Модернизация турбин ХГТЗ. – Режим доступа: <http://www.combienergy.ru/stat/954-Modernizaciya-turbin-LMZ-i-Turboatoma-s-primeneniem/>. – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 621.182

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЮ
THE IMPACT OF POWER ENGINEERING ON THE ENVIRONMENT

Ю.С. Ровская, С.А. Лучина

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru

Y. Rouskaya, S. Luchyna

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

Аннотация: в данной статье рассматривается взаимосвязь энергетики и экологии. Также рассматриваются проблемы загрязнения окружающей среды энергетическими объектами.

Abstract: this article examines the interrelation between energy and ecology. The problems of environmental pollution by energy facilities are also considered.

Ключевые слова: АЭС, экология, выбросы, теплоэнергетика, окружающая среда.

Keywords: nuclear power plants, ecology, emissions, thermal power engineering, environment.

Введение

Энергетика является важной частью нашей жизни, и без нее мы не можем представить своего обычного быта. Однако любая энергетика подвергает воздействию окружающую среду в разной мере. Наибольшее влияние приносит теплоэнергетика – тепловые и атомные электрические станции (ТЭС и АЭС).

На тепловых и атомных электростанциях посредством турбогенератора производится электрическая энергия. Тепловая энергия как «побочный продукт» работы котлов или реактора поступает к потребителю. В основном электрическая и тепловая энергия поступает к потребителю с ТЭЦ.

Основная часть

Рассмотрим, как воздействуют на экологию различные энергетические объекты:

1. Тепловые электрические станции. В угле, применяющемся на ТЭС, в небольших концентрациях присутствуют примеси урана, тяжелых металлов и других токсичных элементов. Соответственно, за счет сжигания угля происходит токсичное и радиационное загрязнение окружающей среды [1]. Также в окрестностях крупных ТЭС возможно увеличение концентрации углекислого газа в приземном слое, так как скорость сжигания кислорода больше, чем скорость его образования. Следствием этого является пониженная скорость роста растений и пагубное влияние на фауну.

2. Гидроэлектростанции. Эксплуатация ГЭС, в особенности на равнинных реках, влечет за собой различные экологические проблемы.

Из-за сооружения плотин, создания водохранилищ или расширения естественных русел рек изменяется климат на близлежащих к ГЭС территориях. Ухудшается состояние водной экосистемы и прибрежной флоры, уровень грунтовых вод меняется. С течением времени водоемы становятся местами накопления загрязнений. В этих водоемах начинают активно развиваться сине-зеленые водоросли. Они способствуют ускоренному процессу эвтрофикации. Это приводит к ухудшению качества воды, уменьшению количества кислорода в водоеме, и, соответственно, замору рыб.

3. Атомные электростанции. На АЭС на всех этапах эксплуатации возникают следующие проблемы:

Захоронение ядерных отходов. Современной науке пока не известны способы, как полностью избавиться от ядерных отходов. Радиоактивные отходы состоят из отработавшего ядерного топлива, являются долгоживущим источником радиации. Для их захоронения создаются контейнеры, шахты и хранилища. Однако мы не сможем все время захоранивать эти отходы в земле, так как земных ресурсов для этого не хватит. Также есть риски утечки отходов, разгерметизации хранилищ, которые могут привести к печальным последствиям.

Тепловое загрязнение возникает в результате сброса горячей воды с энергетического объекта в атмосферу или водоем-охладитель. Оно воздействует на качество воды, микроклимат, жизнь растений и животных в окрестностях нескольких километров от объекта. Эффективность использования энергии атомных электростанций составляет около 33-35%, оставшееся тепло (65-67%) выбрасывается в атмосферу.

Основные области влияния энергетики на окружающую среду:

Атмосфера и литосфера.

Выбросы состоят из продуктов реакций в твердой, жидкой и газообразной фазах. После их выпадения могут проявляться в виде осаждения тяжелых фракций, распада на компоненты по массе и размерам, химических реакций с компонентами воздуха, взаимодействием с воздушными течениями, с облаками, с атмосферными осадками, фотохимические реакции. Основными видами примесных выбросов энергетических объектов являются твердые частицы, выносимые в атмосферу дымовыми газами и оседающие на поверхность гидросферы, и литосферы (пыль, зола, шлаки).

Сжигание твердого топлива в котлах ТЭС приводит к образованию значительного количества сернистого диоксида (SO_2), оксидов азота и золы. Зола состоит из твердых частиц несгоревшего угля и его примесей. В этих частицах содержатся оксиды кремния, алюминия, кальция, железа, магния, серы, а также небольшое количество мышьяка и тяжелых металлов (свинец, хром, цинк, ванадий). Помимо этого, атмосфера загрязняется угарным газом (CO), углеводородами, сажей, бензопиреном ($C_{20}H_{12}$), соединениями тяжелых металлов, например, свинцом (Pb). Также выделяется большое количество углекислого газа CO_2 , который способствует созданию парникового эффекта.

Тепловые электростанции и теплоэлектроцентрали в атмосферу выделяют: сернистого ангидрида около 46% и угольной пыли примерно 25%. Например,

теплоэлектростанция мощностью 2400 МВт использует до 20000 тонн угля в день. При использовании системы очистки пыли с эффективностью 96% и содержанием серы в угле 1,7%, выбросы в атмосферу составят примерно 680 тонн сернистого и серного ангидрида (SO_2 и SO_3), 200 тонн оксидов азота, а также 120-240 тонн золы, пыли и сажи. Рассмотрим подробнее процессы, происходящие при попадании выбросов в атмосферу.

Сернистый ангидрид (SO_2) образуется при горении угля из-за наличия примесей серы в угле. Оксид серы SO_2 реагирует с кислородом из воздуха (O_2) и окисляется до образования серного ангидрида SO_3 . Этот ангидрид при взаимодействии с водой превращается в слабый раствор серной кислоты H_2SO_4 . При сгорании азота в атмосфере образуются различные соединения, такие как: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 и N_2O_5 . Оксид азота NO_2 легко реагирует с кислородом и водой, образуя азотную кислоту HNO_3 [2].

Эти вещества являются наиболее опасными, так как они взаимодействуют с составляющими воздуха и осаждаются на поверхность земли, загрязняя воду и почву. Как пример можно привести кислотные дожди, которые имеют негативное воздействие на растительный покров планеты и почву. Эти осадки приводят к уничтожению некоторых видов деревьев и снижению скорости их роста, а также уменьшению численности нескольких видов хвойных деревьев.

Гидросфера.

Основным аспектом взаимодействия тепловых электростанций с гидросферой является использование воды для технических нужд, включая ее необратимое потребление. Основная часть потребления воды в этих системах идет на охлаждение конденсаторов паровых турбин. Большая часть выделяемого тепла от конденсаторов передается в водные объекты. Сброс горячей воды повышает среднюю температуру воды в водоеме. Это приводит к повышенному образованию пара с поверхности водоема, изменению характеристик стока и увеличению растворимости различных пород, а также к изменению микроклимата в водоеме и прибрежных зонах. Также из-за повышения температуры водоема концентрация растворенного кислорода в воде уменьшается, это может привести к гибели рыб и растений в этом водоеме.

Системы химводоочистки (ХВО), охлаждения, промывки оборудования, системы удаления золы и шлаков потребляют около 7% общего объема затраченной воды, при этом являясь основными источниками загрязнения. Также весьма вредными загрязнениями поверхности гидросферы является жидкое топливо, его компоненты, продукты его потребления и разложения, которые могут просочиться в водоем [3].

Для сброса горячей воды с тепловых электростанций создают новые водохранилища. Это приводит к изменениям естественного рельефа, увеличению водной эрозии почв, смыву и размыванию слоев почвы. А также вызывает загрязнение водоемов и водотоков, изменение температурного режима водной среды, состава воды.

Воздействие атомных электростанций на состояние гидросферы и литосферы несет схожие последствия с влиянием тепловых электростанций.

Заключение

Современная энергетика негативно влияет на окружающую среду и экологию. В данной статье мы рассмотрели, какие выбросы и в каких количествах производят тепловые электростанции. С каждым годом число токсичных выбросов растет, и это печально сказывается на здоровье населения, оказывает влияние на состояние озонового слоя земли, соответственно и на климат. Необходимо найти способ для уменьшения поступления выбросов в атмосферу, чтобы окончательно не разрушить экологию.

Литература

1. Носков, А.С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А.С. Носков, М.А. Савинкина, Л.Я. Анищенко. // – Новосибирск. Изд. ГПНТБ, 2005. – С. 8–22.
2. Коробкин, В.И. Экология: учеб. / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – Ростов н./Д.: Феникс, 2007. – 602 с.
3. Поярков, К.М. Экология и электрические станции, подстанции / К.М. Поярков. – М.: «Высшая школа», 2019. – 125 с.

УДК 621.039.5

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕАКТОРЫ С ГАЗОВЫМ
ОХЛАЖДЕНИЕМ
HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTORS**

Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич

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

N. Rudakov, I. Cherenkevich

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

Аннотация: рассмотрены предпосылки применения и некоторые особенности и преимущества высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов малой мощности. Показаны основные характеристики реакторов *HTR-PM* атомной электростанции *Shidaowan*, *Китайская народная республика*.

Abstract: *the prerequisites for use and some features and advantages of high-temperature gas-cooled small reactors are considered. Showing the main characteristics of the HTR-PM reactors at the Shidaowan Nuclear Power Plant, People's Republic of China.*

Ключевые слова: высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, атомная электростанция.

Keywords: *high-temperature gas-cooled reactors, nuclear power plant.*

Введение

Рассмотрим инновационные разработки высокотемпературных реакторов с газовым охлаждением (HTR – high-temperature reactor). HTR – это тип ядерного реактора, в котором используется урановое топливо и графитовый замедлитель (за исключением реакторов на быстрых нейтронах) для получения очень высоких температур активной зоны. В них в качестве теплоносителя первого контура используются инертные газы – в основном гелий.

Основная часть

Для создания современных реакторов был проанализирован опыт ряда инновационных газоохлаждаемых реакторов, построенных в 1960-х и 1970-х годах. Такие реакторы рассматривались как перспективные с самого начала развития ядерной энергетики.

В последние десятилетия разрабатываются новые реакторы малой мощности (менее 300 МВт, эл), которые будут способны подавать высокотемпературный (700 – 950°C и, в конечном итоге, примерно до 1000°C) гелий либо для промышленного применения (через теплообменник), либо для производства пара обычным способом во вторичном контуре (в парогенераторе), либо непосредственно для приведения в действие газовой турбины, работающей по циклу Брайтона [1]. В последнем случае выработка

электроэнергии возможна с тепловым КПД почти 50%: КПД увеличивается примерно на 1,5% с каждым повышением температуры на 50°C [1].

Усовершенствованная металлургия и технологии, разработанные за последние десятилетия, делают НТР более практичными, чем в прошлом.

Топливо для этих реакторов представляет собой микротвэлы (тепловыделяющие элементы) TRISO (трехструктурно-изотропные) частицы диаметром менее миллиметра. Каждая из них содержит ядро (около 0,5 мм) оксикарбида урана или диоксида урана. Ядра окружены слоями углерода и карбида кремния, что обеспечивает защиту продуктов деления, стабильную при температуре выше 1600°C [1].

Эти частицы располагаются двумя способами: в блоках – шестиугольных «призмах» из графита или в графитовых шарах диаметром 60 мм, каждый из которых содержит около 15 000 частиц топлива или 9 г урана. Расход топлива выше, чем при использовании легководного реактора той же мощности, из-за того, что топливные гранулы в основном состоят из графита – менее одного процента приходится на уран. Однако используемое топливо в целом менее радиотоксично и выделяет меньше тепла при распаде из-за более высокой степени выгорания.

В НТР потенциально может использоваться топливо на основе тория, такое как высокообогащенный или низкообогащенный уран $U-235$ с Th, $U-233$ с Th и Pu с Th.

Благодаря отрицательному температурному коэффициенту реактивности (реакция деления замедляется с повышением температуры) и пассивному отводу тепла реакции распада реакторы НТР по своей сути безопасны, поэтому позиционируются как не требующие создания защитной оболочки.

Эти реакторы достаточно малы, чтобы их можно было изготовить на заводе, и обычно устанавливаются ниже уровня земли.

В США планировалось строительство атомной электростанции следующего поколения (NGNP – Next Generation Nuclear Plant). Но финансирование было практически прекращено, и технологическое лидерство перешло к Китаю.

Единственным реализованным в настоящее время проектом НТР коммерческого масштаба является китайский НТР-PM (рисунок 1 [2]).

Строительство китайской АЭС Shidaowan на базе реакторов НТР-PM было одобрено в ноябре 2005 года и началось в 2012 году. АЭС подключили к энергосистеме в 2021 году, и в настоящее время идет регулярная эксплуатация двух установок.

Первоначально предполагалось, что это будет один энергоблок мощностью 200 МВт (эл.) (450 МВт тепловых), в итоге установка состоит из двух реакторов каждый по 250 МВт (эл.), приводящих в движение одну паровую турбину мощностью 210 МВт.

Каждый реактор имеет один парогенератор с 19 элементами (665 трубок). Топливо в виде шаров диаметром 60 мм имеет обогащение 8,5% (520 000 элементов в двух реакторах), что дает выгорание на выходе 90 ГВт·сут/т. Температура гелия на выходе из активной зоны составляет 750°C, температура

пара – 566°C , а температура на входе в активную зону – 250°C . Тепловой КПД составляет 40% [1].

Имеются две независимые системы управления реактивностью: первичная состоит из 24 стержней управления в боковом графитовом отражателе, вторичная – из шести каналов для малых сфер-поглотителей, падающих под действием силы тяжести.

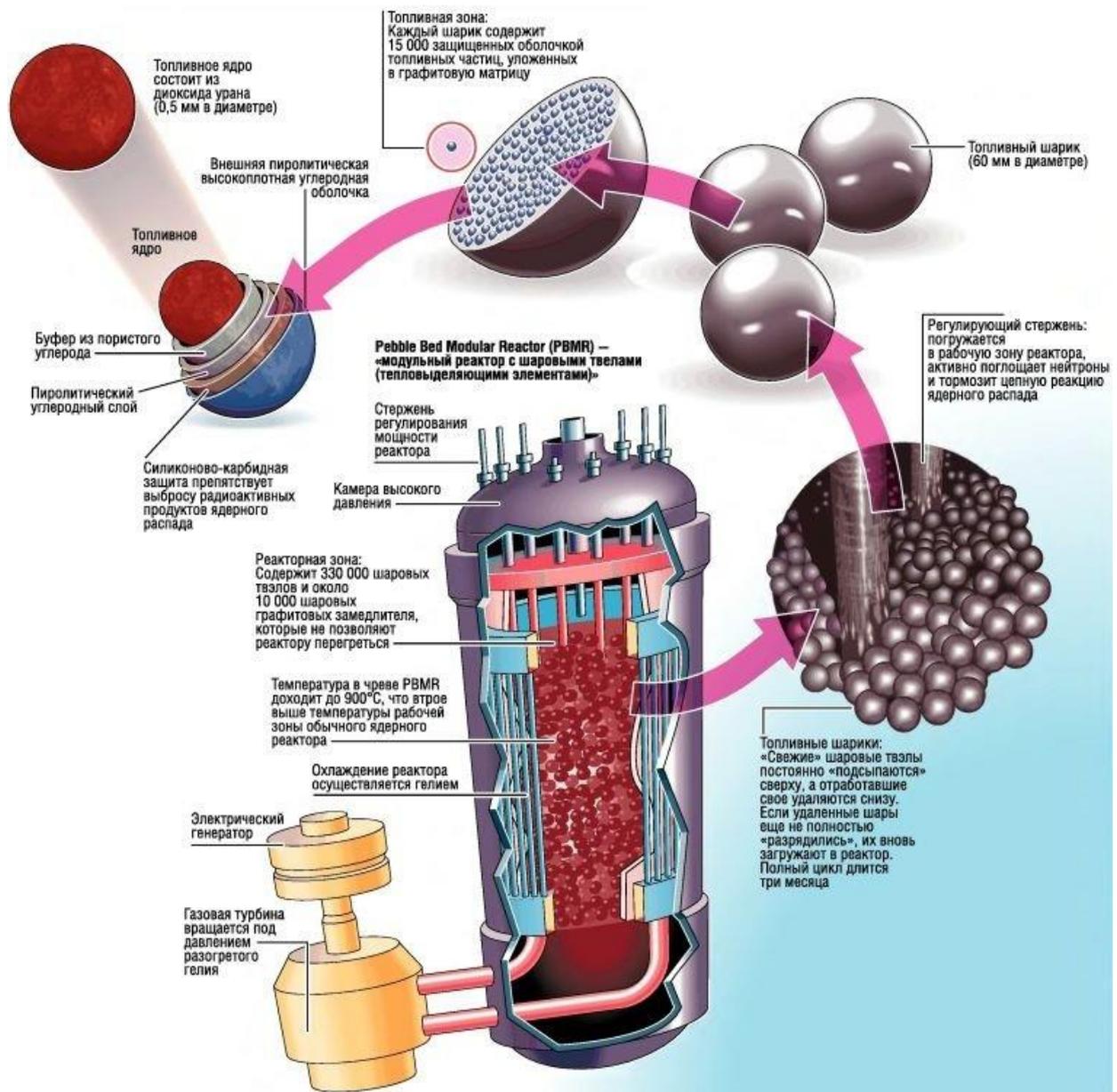


Рисунок 1 – Инновационный реактор НТР-РМ АЭС Shidaowan [2]

Характеристики этой установки включают большую гибкость в диапазоне нагрузок 40–100% без потери тепловой эффективности. Плотность энергии в активной зоне составляет примерно одну десятую от мощности легководного реактора, и если циркуляция теплоносителя прекратится, топливо выдержит начальные высокие температуры, пока реактор отключится, что обеспечивает внутреннюю безопасность. Регулирование мощности осуществляется путем изменения давления охлаждающей жидкости и, следовательно, ее расхода.

Ожидается, что срок эксплуатации АЭС составит 40 лет.

Ориентировочная стоимость проекта составляет 430 миллионов долларов США, но ожидается, что в будущем удельные капитальные вложения в установки снизятся до 1500 долларов США за кВт при стоимости вырабатываемой электроэнергии около 5 центов за кВт·ч [1].

Предполагается, что серия НТР, возможно, с циклом Брайтона, непосредственно приводящим в движение газовые турбины, будет изготавливаться на заводах и широко устанавливаться по всему Китаю.

Заключение

Можно ожидать, что преимущества НТР-РМ позволят высокотемпературным газоохлаждаемым реакторам в конечном итоге потеснить традиционную реакторную технологию для производства электроэнергии, а также обеспечить в будущем производство водорода.

Литература

1. Small Nuclear Power Reactors [Электронный ресурс] / Small Nuclear Power Reactors. – Режим доступа: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx> /. – Дата доступа 25.03.2024.

2. О работе инновационной китайской АЭС «Шидаовань» с двумя малыми высокотемпературными реакторами НТР-РМ [Электронный ресурс] / О работе инновационной китайской АЭС «Шидаовань» с двумя малыми высокотемпературными реакторами НТР-РМ. – Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2024/02/19/143238> /. – Дата доступа 25.03.2024.

УДК 621.039.548

**ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ
CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE**

А.А. Герасимович

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru

A. Gerasimovich

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

Аннотация: в статье будет рассмотрен замкнутый ядерный топливный цикл и преимущества использования урана. Также отмечены процентные соотношения добычи энергии с помощью закрытого цикла и польза вторичного уранового топлива из-за появления в нём плутония.

Abstract: В статье будет рассмотрен замкнутый ядерный топливный цикл и преимущества использования урана. Также отмечены процентные соотношения добычи энергии с помощью закрытого цикла и польза вторичного уранового топлива из-за появления в нём плутония.

Ключевые слова: замкнутый ядерный топливный цикл, уран, вторичное использование, изотопы, плутоний.

Keywords: closed nuclear fuel cycle, uranium, recycling, isotopes, plutonium.

Ядерный топливный цикл играет важную роль в энергетике. Уран, после того как его используют впервые, отправляется на вторичное использование. В этом и заключается данный круг процессов. У атомной энергетики нет далеких перспектив, если станции не будут пользоваться этим методом. Так как реакторы АЭС действуют на термических нейронах, если не учитывать ядерный цикл, то они могут извлечь только 1% энергии из природного урана. А с вторичным использованием отходов этого металла могут добыть остальные 99% энергии.

Уран имеет большой потенциал, который можно раскрыть с помощью циклических процессов.

С помощью этого можно снизить затраты топлива и увеличить выработки энергии, также сократить количество отходов и ограничить их токсичность при попадании в природу, в процессе их утилизации.

Существует несколько способов воплощения этого метода в жизнь. Некоторые уже приведены в действие. Также есть схема по защите от радиации: переработка шлаков и их захоронению, на определённых площадках.

Пока что мы можем полагаться на нефть, уголь или газ. Но эти ресурсы являются временными. Таких запасов может хватить лишь на 90 лет. Это еще при том, что расход ресурсов будет запланированным, а ведь были случаи, когда затраты превышали планы на год. Что заставляет задуматься о новом

решении данной проблемы посредством использования вторичного потребления урана.

При разложении первичного урана появляется также в некотором количестве плутоний. Так мы можем приобрести топливо из двух важных химических элементов. Плутоний имеет высокий энергетический потенциал, что позитивно сказывается на выборе в пользу замкнутого цикла. В результате получаем большее количество сырья, потому что переработанное уже раз топливо содержит большое количество изотопов склонных к делению. После эксплуатации стержни реакторов, которые взаимодействовали с данными металлами, подвергаются обработке, крошат и растворяют в кислоте.

После из отработанного вещества отделяют результата распада и оставляют плутоний и уран для того чтобы пустить в дело второй раз.

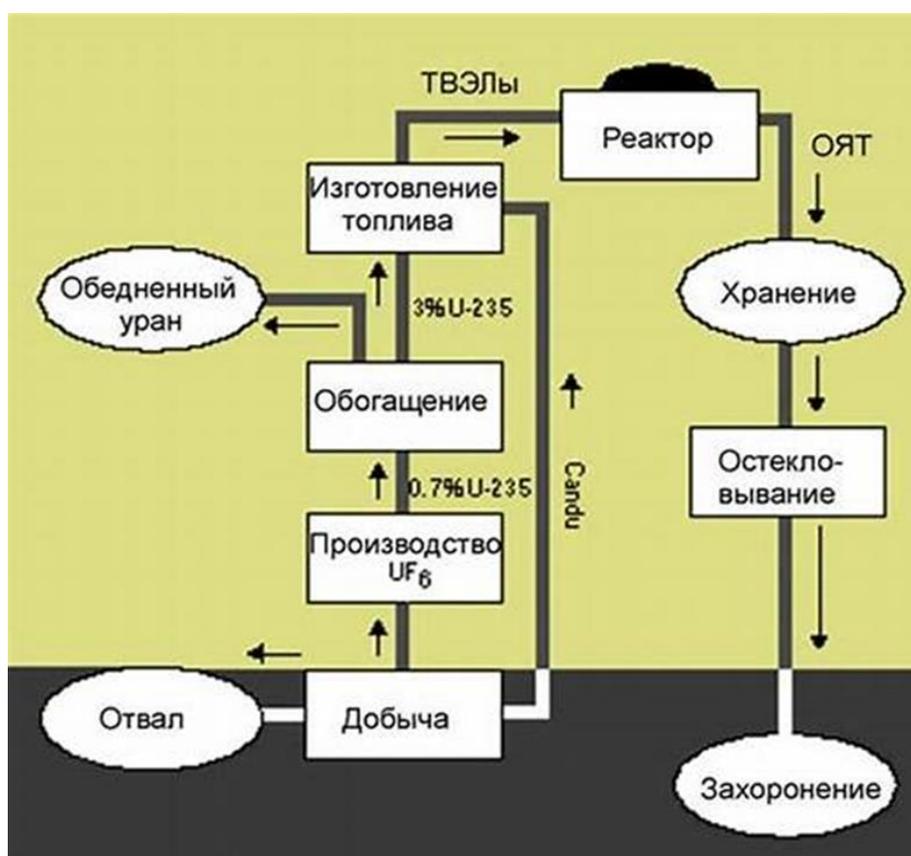


Рисунок 1 – Замкнутый ядерный процесс [3]

Добыча урана происходит в определённых рудниках, где можно найти урановую руду, в которой содержится около 60% урана. Содержание этого химического элемента в земной коре довольно велико, что является выгодным для производства энергии. Сама руда имеет ярко выраженный зеленоватый оттенок и содержит воду и другие минералы, которые в дальнейшем отсоединят.

Количество урана превышает в 30 серебро и в 1000 раз золото. Добывают его из шахт или карьерным способом. Позже металл очищают от ненужных

минералов. Далее, для лучшего результата, происходит процесс дробления руды и её выщелачивают, получая чистый уран.

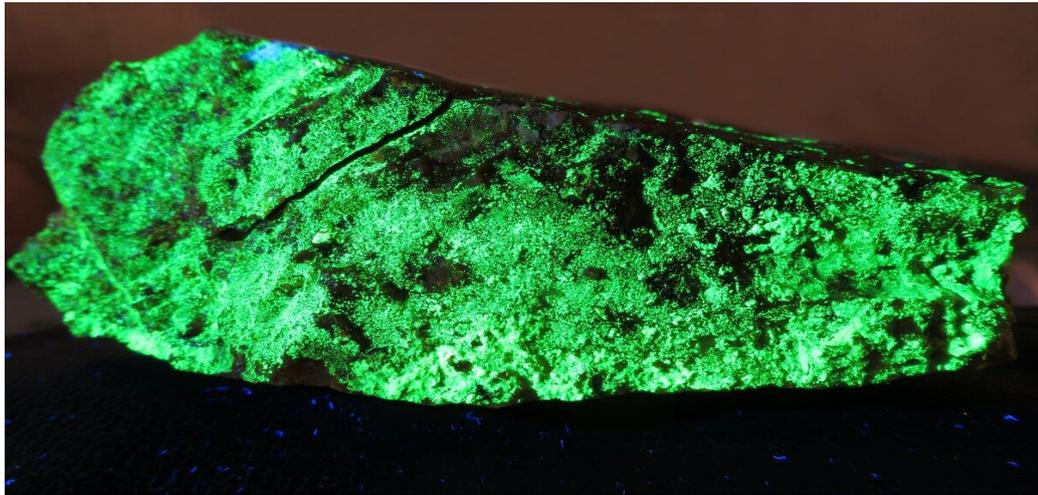


Рисунок 2 – Урановая руда [4]

Заключение

При первоначальном использовании доля уранового топлива представляет только 6% по отношению к остальным источникам, а вот что касается повторного использования, то 6% увеличивается уже до 85% от всей составляющей энергии. Что позволяет сэкономить ресурсы на 30%. Тем самым подчеркивая насколько полезным является замкнутый ядерный цикл.

Литература

1. Energyland.info – Интервью 10 прорывных идей в энергетике на 10 будущих лет [Электронный ресурс] / Energyland.info – Интервью 10 прорывных идей в энергетике на 10 будущих лет. – Режим доступа: <https://energyland.info/interview-show-656/>. – Дата доступа: 12.04.2024.
2. Росатом: технология замкнутого ядерно-топливного цикла готова к промышленной реализации [Электронный ресурс] / Росатом: технология замкнутого ядерно-топливного цикла готова к промышленной реализации. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/19191153/>. – Дата доступа: 12.04.2024.
3. Классификации ядерных топливных циклов [Электронный ресурс] / Классификация ядерных топливных циклов. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7801342/page:6/>. – Дата доступа: 12.04.2024.
4. Яндекс дзен – Урановая руда [Электронный ресурс] / Яндекс дзен – Урановая руда. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XrGb7qP0VxRPwCXI/>. – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 621.311

**ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ДЛЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ НУЖД
INNOVATIONS IN THE FIELD OF WATER FILTRATION FOR
INDUSTRIAL NEEDS**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

w.romanko@bntu.by

V. Novikova, A. Snapkova

Supervisor – V. Romanko, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье исследуется и обсуждается процесс фильтрации воды для использования в промышленности. Рассматриваются различные методы и технологии фильтрации, направленные на очистку воды от загрязнений, взвешенных частиц, органических и неорганических соединений.*

***Abstract:** this article explores and discusses the process of water filtration for industrial use. Various filtration methods and technologies aimed at purifying water from pollutants, suspended particles, organic and inorganic compounds are considered.*

***Ключевые слова:** обратный осмос, очистка воды, питательная воды котлов, опреснительные установки, опреснение, зеленая химия, искусственный интеллект, водная устойчивость, энергоэффективность.*

***Key words:** reverse osmosis, water purification, boiler feed water, desalination plants, desalination, green chemistry, artificial intelligence, water sustainability, energy efficiency.*

Введение

Промышленность в значительной степени зависит от воды в различных процессах, поэтому очистка воды является важнейшим аспектом их деятельности. Инновации в области очистки воды для промышленного использования сыграли важную роль в обеспечении качества и устойчивости водных ресурсов.

Основная часть

Промышленные системы обратного осмоса. За последние годы в промышленных системах обратного осмоса произошёл значительный прогресс. Такая технология предполагает использование полупроницаемых мембран для удаления примесей и загрязнений из воды. Эти системы стали более эффективными, позволяя предприятиям получать высококачественную воду для своих нужд. Улучшенные мембранные материалы и конструкция повышают водопроницаемость при одновременном снижении энергопотребления. Промышленные системы обратного осмоса теперь

способны очищать большие объёмы воды с минимальными отходами, что делает их незаменимыми в различных отраслях промышленности.

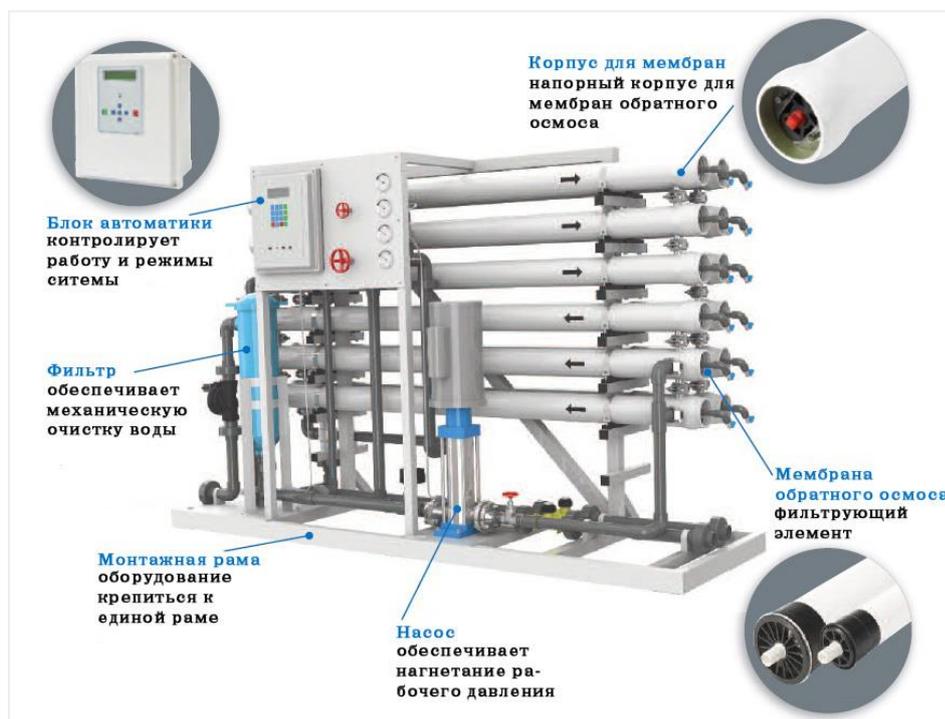


Рисунок 1 – Установка обратного осмоса [1]

Принцип работы системы основан на прохождении потока воды под давлением через полупроницаемые мембраны. В результате этого поток воды разделяется на две части: примерно 10 % входящего потока воды проходит через мембрану, а 90 % потока и загрязнения, находящиеся в концентрированном растворе солей, во избежание засорения пор мембраны смываются в дренаж. Соответственно жизнеспособность и производительность фильтров предочистки должна быть гораздо выше производительности обратноосмотической мембраны. Очистка воды методом обратного осмоса происходит на молекулярном уровне и требует повышенного качества исходной воды [1].

Инновации в очистке питательной воды котлов. Котлы широко используются на промышленных объектах для производства пара и тепловых процессов. Правильная очистка воды необходима для предотвращения образования накипи и коррозии в котельных системах. Последние инновации в области очистки питательной воды котлов ориентированы на стабильность и эффективность. Для поддержания целостности котельных систем используются современные химикаты, системы дозирования и инструменты мониторинга. Эти инновации не только продлевают срок службы котлов, но и повышают их энергоэффективность, что приводит к экономии затрат в промышленности [1].

Устойчивая очистка охлаждающей воды. Многие промышленные процессы требуют использования систем охлаждения воды для поддержания работы оборудования при оптимальных температурах. Очистка охлаждающей воды имеет решающее значение для предотвращения образования накипи в

теплообменниках и градирнях и способствует увеличению эффективности промышленных процессов. Для устранения негативных факторов, влияющих на работу оборудования необходимо использование экологически чистых добавок и оптимизация систем циркуляции воды. Данные подходы позволяют снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Опреснительные установки нового поколения. Технология опреснения воды получила значительные изменения с появлением установок нового поколения. К данным установкам можно отнести внедрение в процесс опреснения возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергии. Эти технологии эффективны и экономичны.

Другим направлением в опреснении воды является использование мембранных методов с использованием новых тонкопленочных композитных и биомиметических мембран. Данные технологии повышают эффективность опреснения и снижают энергопотребление [2].

Все эти новые направления позволяют получать пресную воду с использованием нетрадиционных источников энергии и покрывают необходимость пресной воды в регионах, где она в дефиците.

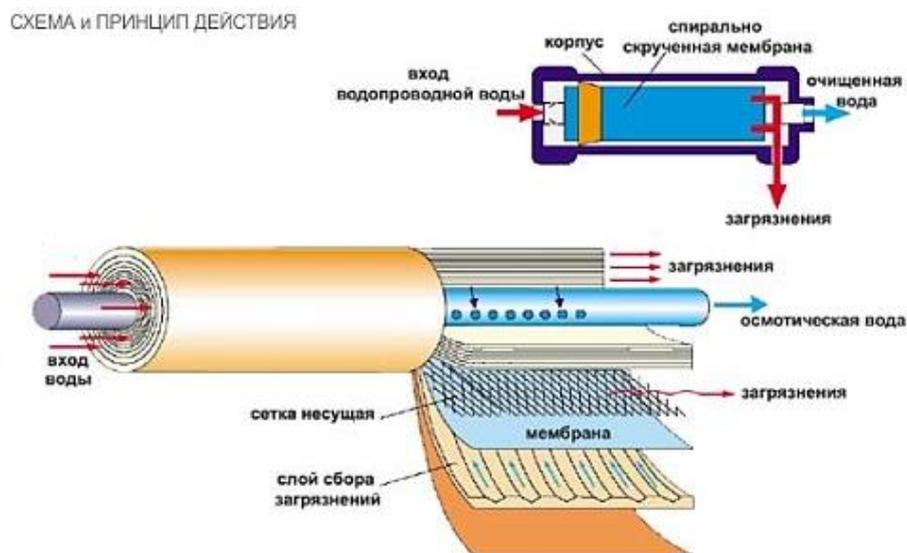


Рисунок 2 – Схема и принцип действия мембранной очистки воды [2]

Искусственный интеллект в очистке воды. В современной энергетике использование алгоритмов на базе искусственного интеллекта позволяет решить ряд важных задач. При помощи данных механизмов производится анализ больших объёмов данных, получаемых от датчиков качества воды в реальном времени. Это позволяет оперативно выявлять возможные проблемы и эффективно управлять процессами очистки. Применение таких алгоритмов позволяет регулировать и оптимизировать использование химикатов, что способствует более точной и эффективной очистке воды и снижению объёма сточных вод.

«Зелёная химия» в очистке воды. Использование принципов «зелёной химии» играет важную роль в разработке новых, экологически безопасных

методов очистки воды. Применение природных коагулянтов и полимеров биологического происхождения позволяет сократить использование агрессивных химических веществ и ускорить процессы окисления, что ведёт к улучшению качества воды и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Децентрализованные системы очистки воды. Децентрализованные системы очистки воды могут обеспечить чистой водой отдалённые населённые пункты. Достижения в области производства атмосферной воды позволяют извлекать её непосредственно из воздуха, предлагая децентрализованный и устойчивый источник пресной воды [3]. Эти новые технологии способны пересмотреть устойчивость водных ресурсов и предложить решения проблем нехватки воды во всем мире.

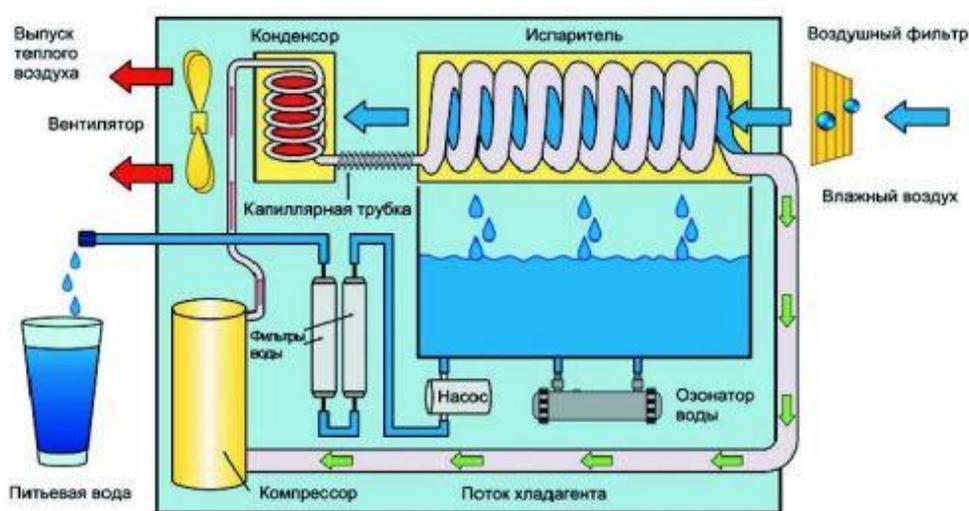


Рисунок 3 – Схема генератора воды из атмосферного воздуха [3]

Заключение

Разработка и внедрение различных новых современных подходов в области фильтрации воды имеет большой потенциал для улучшения экологической обстановки и возможности использования воды в промышленности. Однако, важно помнить о необходимости проведения дальнейших исследований и испытаний данных технологий для определения их эффективности, стоимости и степени эксплуатации.

Литература

1. Innovations in Water Purification and Desalination Technology [Электронный ресурс] / Innovations in Water Purification and Desalination Technology. – Режим доступа: <https://blog.emb.global/water-purification-and-desalination-technology/>. – Дата доступа: 12.01.2024.
2. Полупроницаемые мембраны: что, зачем, как изготавливаются [Электронный ресурс] / Полупроницаемые мембраны: что, зачем, как изготавливаются. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/709366/>. – Дата доступа: 12.01.2023.
3. Питьевая вода из воздуха [Электронный ресурс] / Питьевая вода из воздуха. – Режим доступа: <https://aw-therm.com.ua/pitevaya-voda-iz-vozduha/>. – Дата доступа: 05.10.2018.

УДК 621.311

**ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛАВЛИВАНИЯ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЭС
INNOVATIVE TECHNOLOGY OF GREENHOUSE GAS CAPTURE
AT THERMAL POWER PLANTS**

А.И. Сироткин, Г.Ю. Витецкая

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

nvpanteley@tut.by

A. Sirotkin, G. Vitetskaya

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье приводится описание новой технологии улавливания парниковых газов, образующихся при сжигании топлива в паровом котле тепловой электростанции, за счёт их карбонизации оксидом кальция. Внедрение этой технологии позволит практически полностью избавиться от вредных выбросов в атмосферу за счёт новой конструкции котлоагрегата. По предварительным результатам, в новой установке по улавливанию дымовых газов, работающей в паре с котлом, будет задерживаться около 97% углекислого газа, который может быть полезно использован как на самой ТЭС, так и на другом производстве.*

***Abstract:** this article describes a new technology for capturing greenhouse gases generated by burning fuel in a steam boiler of a thermal power plant, due to their carbonation with calcium oxide. The introduction of this technology will make it possible to almost completely get rid of harmful emissions into the atmosphere due to the new design of the boiler unit. According to preliminary results, about 97% of carbon dioxide will be retained in the new flue gas capture unit, working in tandem with the boiler, which can be usefully used either at the thermal power plant itself or at other production facilities.*

***Ключевые слова:** тепловая электростанция, углерод, выбросы, карбонатор, кальцинатор, химические реакции, парниковые газы.*

***Key words:** thermal power plant, carbon, emissions, carbonator, calcinator, chemical reactions, greenhouse gases.*

Введение

На сегодняшний день, несмотря на все усилия учёных всего мира, большая часть электрической и тепловой энергии продолжает производиться станциями, работающими на ископаемом топливе. Безусловно, нельзя недооценивать применение возобновляемых источников энергии, которые в определённых случаях оказались достаточно эффективными. Также велика роль и атомной энергетики, благодаря которой можно получать огромное количество электроэнергии, затрачивая при этом сравнительно небольшое количество ядерного топлива. Однако, например, технологии «зелёной» энергетики

применимы далеко не везде. В частности, в нашей стране их использование в промышленных масштабах просто невозможно. Да и безотходным такое производство назвать трудно. Ведь основное оборудование таких электростанций, например, лопасти ветряков или солнечные панели, не утилизируются при выходе из строя из-за отсутствия технологий их переработки. Поэтому часто это оборудование просто закапывают в землю, таким образом загрязняя территорию. Атомные электростанции тоже не лишены своих недостатков. Хотя технологии уже шагнули далеко вперёд, тем не менее АЭС – это объект повышенной опасности, и его эксплуатация требует принятия особых мер в области охраны труда и производства. Кроме того, хотя при работе атомного реактора дымовые газы не выделяются, со временем необходимо менять ядерное топливо, в результате чего появляются отходы, также загрязняющие окружающую среду.

В связи с этим имеют смысл поиск, разработка и внедрение технологий, позволяющих модернизировать уже существующие тепловые электростанции, работающие на ископаемом топливе, чтобы уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу или вовсе избежать их. Данные технологии должны быть не сильно дорогостоящими, чтобы существующие предприятия были заинтересованы в их внедрении, и вместе с тем достаточно эффективными, чтобы реконструкция ТЭС имела смысл. Сегодня существует достаточно много исследований и экспериментов в этой области, которые, в частности, описаны в монографиях [1, 2, 3]. В данной же статье речь пойдёт о технологии улавливания углекислого газа за счёт реакции карбонизации с оксидом кальция.

Основная часть

Для того, чтобы избавиться от выбросов вредных веществ, нужно для начала понять, как они попадают в котлоагрегат и в чём причина их образования. В общем случае, в дымовых газах, образующихся при сжигании топлива, могут содержаться водяные пары, углекислый и угарный газы, оксиды серы, азот и его оксиды, а также не сгоревшие кислород и водород. Кроме того, при сжигании твёрдых видов топлива образуются зола и шлак, что ещё более усугубляет экологическую обстановку на территории вокруг станции. Использование в качестве топлива природного газа позволяет избежать образования золы и шлака, а также появления в дымовых газах оксидов серы. Поэтому при проектировании экологически чистой ТЭС на ископаемых видах топлива целесообразно применять для получения теплоты «голубое» топливо.

Рассмотрим, каким образом вышеописанные вещества попадают в продукты сгорания топлива и как этого можно избежать. Азот поступает в котёл, главным образом, с воздухом, поэтому необходимо применять установку сепарации воздуха, которая позволит подавать на горелочные устройства только окислитель, т.е. кислород. Стоит сказать, что азот содержится и в природном газе, однако его содержание очень мало и для газа, поставляемого в Республику Беларусь, составляет 0,942% [4]. Водяной пар, а также не прореагировавшие водород и кислород не являются вредными веществами, поэтому они могут выбрасываться в атмосферу без ограничений. Наличие угарного газа в продуктах сгорания устраняется увеличением коэффициента

избытка воздуха в топке котла или другими мероприятиями, проводящимися в ходе режимно-наладочных испытаний котлоагрегатов, работающих на газе. Данные испытания в Республике Беларусь должны проводиться не реже 1 раза в 3 года.

Таким образом, единственное вредное вещество, которое всё ещё остаётся в продуктах сгорания – это углекислый газ (CO_2). Его появления в дымовых газах невозможно избежать при сжигании ископаемых видов топлива, поскольку углерод в них является основным горючим веществом. Ввиду этого целесообразно разработать систему улавливания двуокиси углерода, чтобы полностью удалить из продуктов сгорания топлива все вредные вещества и парниковые газы.

Одним из методов улавливания углекислого газа является его карбонизация при помощи оксида кальция. Процесс протекает при реакции (1):



Данная реакция протекает при температуре $600...700^\circ C$, в результате чего образуется нерастворимая соль – карбонат кальция (известь). Эту соль можно вновь разложить на составляющие по реакции (2) при температуре $900...1000^\circ C$, таким образом осуществляя регенерацию требуемого оксида кальция:



По подсчётам такая технология позволяет улавливать до $97...98\%$ всего углекислого газа.

На основе вышеприведенных рассуждений специалистами Итальянского технического университета была разработана экспериментальная установка на основе угольной ТЭС [5]. Результаты, полученные в процессе экспериментов, доказали эффективность предложенных технических решений. Однако приведенная в статье [5] схема также имеет определённые недостатки и уже не может считаться экологически чистой хотя бы потому, что при сжигании угля, как говорилось выше, образуется огромное количество золы и шлака. Эту и некоторые другие проблемы можно решить, если сжигать в топке котла не уголь, а природный газ. Схема котельной установки сверхкритических параметров пара, работающей на природном газе, с системой улавливания углекислого газа представлена на рисунке 1.

Воздух с помощью нагнетателя (компрессора или дутьевого вентилятора) поступает на установку сепарации воздуха, где очищается от азота и других примесей. На выходе образуется практически чистый окислитель (кислород), который подводится в воздухоподогреватель котла и затем подаётся вместе с природным газом на его горелочные устройства. В виду того, что для реакции разложения карбоната кальция (реакция (2)) нужно поддерживать высокую температуру, кислород и топливо подаются также и в специальный реактор – карбонатор, где и осуществляется эта реакция. Образующиеся дымовые газы двигаются по газходам котла, последовательно проходя топку, ширмовый, конвективный и вторичный пароперегреватели. За этими поверхностями нагрева температура дымовых газов обычно составляет около $500...550^\circ C$.

Этой температуры достаточно для улавливания углекислого газа по реакции (1), поскольку образующийся в карбонаторе оксид кальция имеет температуру порядка 600...650°C. Поэтому после вторичного пароперегревателя дымовые газы направляются в кальцинатор, где и осуществляется улавливание углекислого газа по реакции (1). В результате реакции на выходе образуется карбонат кальция, который подаётся обратно в карбонатор, где вновь осуществляется его разложение. Таким образом и происходит регенерация основного реагента всей установки – оксида кальция, который переходит из карбонатора в кальцинатор, связывается с углекислым газом, затем подаётся в карбонатор, где отдаёт его и снова поступает обратно в кальцинатор. Выделяющийся в карбонаторе углекислый газ имеет достаточно высокие параметры и может быть утилизирован как низкопотенциальный энергетический ресурс в газотурбинной установке (ГТУ) на основе низкокипящих рабочих тел. Это даст возможность получить дополнительно ещё некоторое количество электрической энергии. Затем углекислый газ может быть сжижен и отправлен на промышленное производство (нефтедобыча, производство углекислоты и т.д.). Оставшиеся дымовые газы после кальцинатора проходят оставшиеся поверхности нагрева – экономайзер и воздухоподогреватель – и отводятся в дымовую трубу.

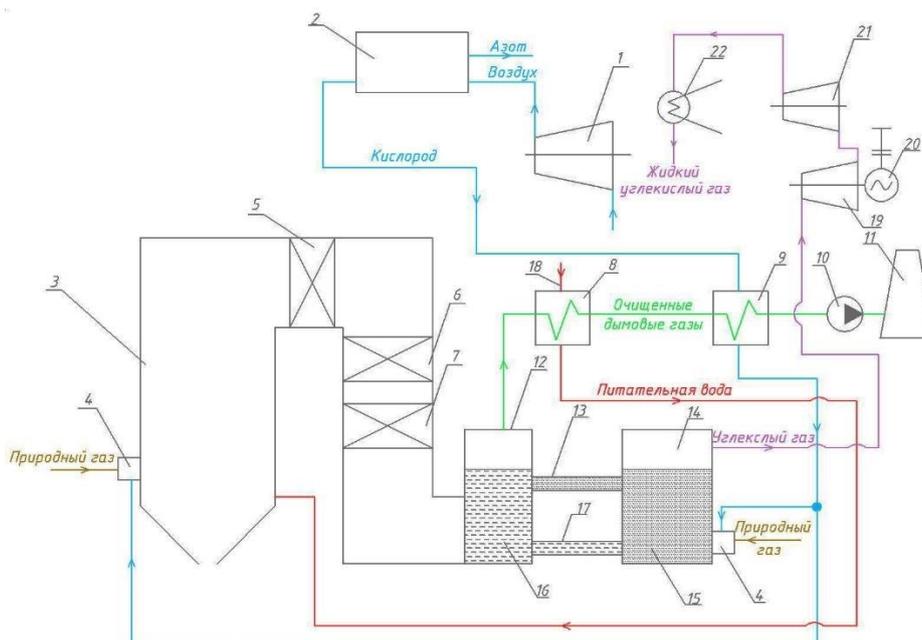


Рисунок 1 – Газовый котлоагрегат с системой улавливания углекислого газа:

1 – нагнетатель воздуха; 2 – установка сепарации воздуха; 3 – паровой котёл; 4 – горелочные устройства; 5 – ширмовый пароперегреватель; 6 – конвективный пароперегреватель; 7 – вторичный пароперегреватель; 8 – экономайзер; 9 – воздухоподогреватель; 10 – дымосос; 11 – дымовая труба; 12 – кальцинатор; 13 – патрубок подвода оксида кальция в кальцинатор; 14 – карбонатор; 15 – оксид кальция; 16 – карбонат кальция; 17 – патрубок отвода карбоната кальция из кальцинатора; 18 – подвод питательной воды после подогревателей высокого давления; 19 – ГТУ на основе низкокипящих рабочих тел; 20 – генератор; 21 – компрессор; 22 – конденсатор углекислого газа

Описанная выше схема имеет некоторые особенности. Во-первых, такая технология улавливания может быть применена только на котлах, работающих под наддувом, когда присосы воздуха в газоходах котла отсутствуют [6]. В противном случае в котёл будет присасываться воздух, содержащий азот и его оксиды, которые также могут вступить в реакцию с оксидом кальция в кальцинаторе и привести к образованию нитратов кальция, которые являются взрывоопасными и могут вывести из строя сам реактор. Во-вторых, несмотря на то, что котёл работает под наддувом, вопрос о применении дымососа остаётся открытым, поскольку кальцинатор может быть для дымовых газов участком большого аэродинамического сопротивления, что не позволит продуктам сгорания самостоятельно выйти в дымовую трубу.

Заключение

Таким образом, приведенная выше котельная установка на природном газе с системой улавливания из продуктов сгорания двуокиси углерода позволяет практически полностью избавиться от вредных выбросов в атмосферу. Теоретически в дымовую трубу будут выбрасываться только несгоревшие водород, кислород, а также водяной пар. В дальнейшем планируется более детально изучить и спроектировать конструкцию реакторов установки; рассмотреть вопрос очистки дымовых газов, образующихся за счёт сжигания газа в карбонаторе; рассчитать аэродинамическое сопротивление газоздушного тракта котлоагрегата и по результатам этого расчёта подобрать соответствующее вспомогательное оборудование для подачи воздуха и отвода дымовых газов. Кроме этого, остаётся нерешённой задача очистки природного газа от азота, что могло бы позволить ещё более улучшить работу установки и сжигать в ней не только природный, но и попутный газ с содержанием азота до 10% [6].

Литература

1. Matteo, R. Zecomix: a zero-emissions coal power plant, based on hydro-gasification, CO_2 capture by calcium looping and high temperature steam cycle / R. Matteo, G. Lozza // *Energy Procedia*. – 2009. – № 1. – С. 1473–1480.
2. Сироткин, А.И. Цикл Zecomix как альтернативный принцип работы угольной ТЭС = The Zecomix cycle as an alternative operating principle of a coal-fired thermal power plant / А.И. Сироткин; науч. рук. Н.В. Пантелей // *Актуальные проблемы энергетики – 2023 [Электронный ресурс]: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко (пред.) [и др.]*. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 584–589.
3. В Техасе построят первую коммерческую ТЭС мощностью 300МВт, работающую по циклу Аллама // *Газотурбинные технологии. Специализированный информационно-аналитический журнал*. – 2022. – №6. – С. 40–42.
4. Стриха, И.И. Экологические аспекты энергетики: атмосферный воздух / И.И. Стриха, Н.Б. Карницкий. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 375 с.

УДК 621.311.2

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ
ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ
БУДУЩЕМУ**
**INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF RENEWABLE
ENERGY: TOWARDS A SUSTAINABLE FUTURE**

Т.Ш. Фан, Д.Д. Тригубович

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

vladmir70@rambler.ru

T. Fan, D. Trigubovich

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

***Аннотация:** в статье рассматриваются инновации в области возобновляемой энергетике, которая способствует к формированию устойчивого, безопасного и чистого будущего.*

***Abstract:** the article discusses innovations in the field of renewable energy, which contributes to the formation of a sustainable, safe and clean future.*

***Ключевые слова:** ветровая энергия, солнечная энергия, инновации в энергетике, энергетика, гидроэнергетика.*

***Keywords:** wind energy, solar energy, innovations in energy, energy industry, hydropower.*

Введение

В настоящее время актуальной проблемой является переход к устойчивой энергетике, при котором наибольшее влияние на обеспечение безопасного будущего будут оказывать инновационные технологии использования возобновляемых источников энергии. При этом возобновляемые источники энергии, такие как солнце, ветер и вода, в отличие от ископаемых видов топлива, практически не производят выбросов в атмосферу парниковых газов, что благотворно сказывается на глобальном изменении климата.

С каждым годом инновации в секторе возобновляемой энергетики динамично развиваются. С динамикой такого роста можно предположить, что в скором будущем электроэнергия от возобновляемых источников сможет обеспечить 65% мирового электроснабжения [1].

Основная часть

Солнечная энергетика

Солнечная энергетика является лидером по установленной мощности в мире, ее общая установленная мощность составила 1,6 ТВт. Инновационные технологии при использовании энергии солнца являются одними из перспективных вложений в будущее [2].

Гибридные солнечные панели нового поколения стали технологическим новшеством в солнечной энергетике. Показатели коэффициента

преобразования солнечной энергии в электричество у солнечных батарей из арсенидов галлия и индия на пороге 50%, тогда как у солнечных панелей из кремния не превышают 30%. Однако производство таких панелей в промышленных масштабах пока невозможна из-за огромных затрат на их производство.

Панели на перовскитной структуре обладают огромным потенциалом, открывая возможность к созданию более эффективных и дешевых фотовольтических систем.

Ветровая энергетика.

Установленная мощность в мировой ветроэнергетике за 2023 год составила 1017 ГВт. Мощность наземных ветроэлектростанций увеличилась на 106 ГВт, динамика роста за год составила 54%, а ветроэлектростанции на морских и океанских побережьях по динамике роста заняли второе место по объему новых вводов (10,8 ГВт) [3].

Это связано с развитием технологий и инновациями в области ветроэнергетики, что делает ветровую энергию более доступной и эффективной.

При этом производство и использование ветряных турбин на новых материалах (например, углеволоконный композит) позволит делать лопасти легкими и прочными. В свою очередь это позволит турбинам производить больше электроэнергии.

Гидроэнергетика

Производство электроэнергии на гидроэлектростанциях (ГЭС) занимает 33% установленной мощности от мировых возобновляемых источников энергии. Поэтому инновационные технологии, направленные на оптимизацию и повышению эффективности ГЭС, в дальнейшем позволят уменьшить эксплуатационные расходы, а также минимизировать ущерб окружающей среде, что также поможет в обеспечении устойчивого энергетического будущего [4].

Внедрение таких технологий, как агрегаты с переменной скоростью, гибридизация с аккумуляторной системой хранения энергии и оптимизация электростанции в реальном времени повысят эффективность и адаптивность системы управления.

Агрегаты с переменной скоростью позволят турбине в зависимости от нагрузки регулировать скорость вращения. Гибридизация с аккумуляторной системой хранения энергии позволит хранить избыточную электроэнергию и обеспечить потребителей электроэнергией при надобности.

Заключение

Развитие инноваций в сфере возобновляемой энергетики является основным энергетическим будущим. Освоение новейших технологий формирует более эффективную базу использования природных ресурсов, что является показателем экономического роста и повышает защиту окружающей среды, а также обеспечивает энергетическую безопасность на мировом уровне.

В настоящее время общая установленная мощность мировых возобновляемых источников энергии составляет 3870 ГВт. Этот потенциал

является достаточно ощутимым и в дальнейшем будет только расти. Поэтому, по мере развитию технологий, в будущем можно будет достичь практически нулевого уровня выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. При этом зависимость людей от использования ископаемых видов топлива будет сильно снижена, причем альтернативные источники энергии станут недорогими и доступными [3].

Литература

1. Возобновляемая энергия – обеспечение более безопасного будущего [Электронный ресурс] / Возобновляемая энергия. – Режим доступа: <https://www.un.org/ru/climatechange/raising-ambition/renewable-energy/>. – Дата доступа: 18.04.2024.
2. Установленная мощность солнечной энергетики в мире достигла 1600 ГВт в 2023 году [Электронный ресурс] / Установленная мощность солнечной энергетики. – Режим доступа: <https://renew.ru/ustanovlennaya-moshhnost-solnechnoj-energetiki-v-mire-dostigla-1600-gvt-v-2023-godu/>. – Дата доступа: 18.04.2024.
3. В 2023 году в мире установлены рекордные мощности ветроэнергетики [Электронный ресурс] / Рекордные мощности ветроэнергетики. – Режим доступа: <https://renew.ru/v-2023-godu-v-mire-ustanovleny-rekordnye-moshhnosti-vetroenergetiki/>. – Дата доступа: 18.04.2024.
4. Солнечная энергетика стала крупнейшим ВИЭ по установленной мощности по итогам 2023 года [Электронный ресурс] / Солнечная энергия. – Режим доступа: <https://renew.ru/solnechnaya-energetika-stala-krupnejshim-vie-po-ustanovlennoj-moshhnosti-po-itogam-2023-goda/>. – Дата доступа: 18.04.2024.

УДК 621.3

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ
INNOVATIVE ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES**

О.А. Ковальчук, А.А. Таркайло

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru

O. Kovalchuk, A. Tarkaylo

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

Аннотация: на сегодняшний день остро стоит вопрос аккумуляции энергии. Улучшение способов и эффективности хранения энергии способствует не только созданию более устойчивой и высокоэффективной системы электроснабжения, но и стимулирует развитие новых технологий и отраслей. Так какие же инновации есть в области хранения энергии?

Abstract: today, the issue of energy storage is acute. Improving energy storage methods and efficiency contributes not only to the creation of a more stable and highly efficient power supply system, but also stimulates the development of new technologies and industries. So what innovations are there in the field of energy storage?

Ключевые слова: энергия, электроэнергия, хранилище энергии, гидроаккумуляторы, расплавленная соль, проточные батареи, термальные хранилища, супермаховик, сжатый воздух, гравитационные аккумуляторы.

Keywords: energy, electric power, energy storage, hydraulic accumulators, molten salt, flow batteries, thermal storage, super flywheel, compressed air, gravity accumulators.

Введение

Энергия – это жизненно важный ресурс современного общества. Часто количество производимой энергии превосходит количество потребляемой, в связи с чем возникает необходимость в хранении избыточной энергии. Также в настоящее время активно внедряются электростанции, работающие на основе возобновляемых источников энергии. В качестве примера можно привести солнечные или ветровые электростанции, которые сопровождаются значительными пиками и спадами производства электроэнергии. Для сглаживания неравномерного производства электроэнергии необходимо применять системы накопления энергии (ESS). Данные системы способны обеспечить энергетическую безопасность и готовность к чрезвычайным ситуациям. Рассмотрим инновационные подходы к хранению энергии, которые сейчас разрабатываются и активно внедряются, а также их влияние на ведущие отрасли энергетики.

Основная часть

Любая система накопления энергии представляет собой сложную многокомпонентную систему с несколькими потенциальными способами преобразования энергии. Весь процесс осуществляется с помощью стандартизированных компонентов (трансформаторы, системы преобразования энергии и новые типы электрохимических аккумуляторов).

Инновационные технологии хранения энергии:

1. Гидроаккумуляторы

Гидроаккумуляторы являются одной из самых старых форм хранения энергии, используемых на данный момент. Они состоят из двух резервуаров разной высоты. Принцип работы заключается в том, что излишки энергии используются для закачивания воды в верхний резервуар. Когда появляется потребность в электроэнергии, вода спускается в нижний резервуар, вращая при этом гидрогенератор и вырабатывая электричество. Данная технология имеет большой срок службы (около 40 лет), эффективность ее составляет 70-85%. Гидроаккумуляторы имеют высокую установленную мощность – примерно 140 ГВт [1]. Одним из недостатков данной технологии является то, что для ее внедрения необходима специальная местность, где имеются большие перепады по высоте. Также при использовании гидроаккумуляторов затопливается огромная территория, что приводит к снижению эффективности из-за испарения воды и оборачивается катастрофическими последствиями для окружающей среды. На данный момент гидроаккумулирующие электростанции работают более, чем в 30 странах мира.

2. Расплавленная соль

Энергию солнца можно сохранить с помощью расплавленной соли, поскольку она может достаточно долго удерживать тепло. Солнечные лучи с помощью зеркал направляются на резервуар, через который пропускается жидкость – расплавленная соль. В результате эта соль нагревается, после чего отправляется в теплоизолированную цистерну для хранения. Когда требуется электричество, теплоту расплавленной соли используют для нагревания воды. Полученный пар приводит в движение турбину, которая и вырабатывает необходимое электричество. Такой способ выработки электроэнергии является возобновляемым и не имеет вредных выбросов парниковых газов.

Также ученые из компании Alphabet разработали способ, в котором нагретую тепловым насосом соль сохраняют, а далее соединяют с недорогим холодным антифризом. В результате столкновения теплого и холодного воздуха образуется поток ветра, вращающий турбину. Таким образом энергию можно сохранить на несколько недель.

3. Проточные батареи

Проточная батарея состоит из ядра и двух емкостей, где находится два отличных друг от друга электролита: анодный и катодный. Ядро представляет собой резервуар, разделенный мембраной, которая не позволяет смешиваться электролитам. Электролиты прокачивают через ядро, в результате чего ионы проникают через мембрану и образуют разность потенциалов на электродах. Для получения электрического тока к электродам необходимо подключить нагрузку. Поскольку электролиты не смешиваются между собой, то их можно

перекачивать по кругу очень много раз. На сегодняшний день широко распространены ванадиевые проточные батареи с графитовыми электродами, где в качестве электролита выступает раствор ванадиевой соли и серной кислоты. Электродвижущая сила таких батарей составляет порядка 1.15-1.55 В [2], хотя батареи с другими электролитами могут достигать до 2.5 В. Все дело в том, что мембрана в ядре является самой уязвимой частью проточного аккумулятора. Со временем она испытывает коррозию, что приводит к разрушению. Благодаря химическим свойствам ванадия эту проблему можно контролировать.

Преимущества:

- у проточных батарей не происходит саморазряд, когда отключены насосы и нагрузка;
- в них очень легко при необходимости заменить электролит;
- имеют большой срок службы;
- нет вредных выбросов.

Основным недостатком данной технологии является высокая стоимость ванадия.

В 2022 году в Китае заработала крупнейшая в мире проточная батарея. Ее выходная мощность составляет 100 МВт. В Японии используют системы с мощностью 60 МВт. В целом можно с уверенностью заявить, что проточные батареи являются перспективной технологией хранения энергии.

4. Термальные хранилища

Для охлаждения помещений в жаркую погоду можно использовать термальные хранилища. Работают они по следующему принципу: излишки энергии, например, солнечной или ветровой, используют для заморозки воды. Затем в жаркую погоду лед будет таять, в результате чего будут охлаждаться помещения. Данная система позволяет экономить на кондиционерах. Такая система используется в Австралии и Калифорнии.

5. Супермаховик

Супермаховик – это система, предназначенная для накопления кинетической энергии. Разработал эту систему российский ученый Нурбей Гулиа. Принцип работы таков: когда необходимо сохранить электроэнергию, ее подводят к маховику, в результате чего он начинает вращаться. Когда электроэнергия понадобится, маховик подключают к генератору и кинетическая энергия вращения переходит в электроэнергию. Для поддержания вращения маховика его раскручивают в вакууме. Это позволяет уменьшить трение. Также вращению может помешать сопротивление подшипников, из-за чего маховик устанавливается на магнитный подвес. Сам маховик изготавливают из тонкой металлической ленты, чтобы в случае разрушения он остановился, запутавшись в этой самой ленте, а не разлетелся в разные стороны, как это могло бы быть с монолитным маховиком. Данная система не имеет вредных выбросов. Она может достигать КПД порядка 95%, способна выдержать более 100 циклов «зарядки» и «разрядки». По задумке Н. Гулиа супермаховики должны были использоваться в транспортных средствах,

однако идея не пошла дальше экспериментов. Сейчас их широко используют для выравнивания пиков нагрузки в сетях.

6. Сжатый воздух

Хранилище энергии на сжатом воздухе (CAES) является инновационной технологией. Компрессор, используя ненужную электроэнергию, сжимает воздух и отправляет его в подземное хранилище. Когда возникает необходимость, воздух пропускается через турбину, вырабатывающую электроэнергию. Впервые эту технологию в промышленном масштабе реализовали в Германии в 1978 году. Ее КПД составляет всего 40% [3]. Китай смог решить задачу повышения КПД. Все дело в том, что при сжатии воздуха вырабатывается тепловая энергия, которую в Германии не используют, а подогревают выходящий на турбину воздух сжиганием ископаемого топлива. А в Китае выделяемую тепловую энергию собирают и хранят, после чего используют ее для подогрева выходящего воздуха. Подогревать его нужно для того, чтобы повысить его давление и в результате увеличить производимый эффект. Эффективность сохранения тепловой энергии в китайской установке составляет примерно 98%, а КПД всей установки превышает 70%. Запустили CAES-хранилище в Китае в 2022 году. Для внедрения такой технологии необходимо искать подходящую местность, где можно было бы создать хранилище под землей.

7. Хранение энергии с помощью песка

Хранилище энергии с помощью песка придумала финская компания *Polar Night Energy*. Песок, помещенный в теплоизолированный резервуар, нагревают до 500-600°C [3]. Через нагретый песок проложены трубы, по которым циркулирует вода и нагревается. Нагретая вода идет на отопление домов и других помещений. Такое хранилище очень похоже на хранилище энергии с помощью расплавленной соли, однако имеет и отличия. Песок внутри резервуара не перемешивается, поэтому его температура может отличаться в разных слоях, что можно использовать для регулировки нагрева воды. Также песок зачастую гораздо дешевле соли и более прост в добыче.

8. Гравитационные поезда

Еще один необычный способ хранения энергии разработала Калифорнийская компания *Advanced Rail Energy Storage*. Технология напоминает гидроаккумуляторы, но вместо воды там используются специальные поезда. С помощью избыточной энергии их поднимают в гору. Далее в нужный момент их отправляют вниз, в результате чего моторы вырабатывают необходимую электроэнергию. Технология не требует никаких резервуаров для хранения энергии, не очень трудна в создании. Она не разряжается самопроизвольно. На первый взгляд идея с гравитационными поездами кажется абсурдной, однако ее КПД составляет примерно 80%, что является неплохим показателем. Сейчас данную технологию используют в Калифорнии как альтернативу гидроаккумуляторам из-за дефицита воды.

Также инженеры предложили еще один вариант гравитационного аккумулятора. Это заброшенные шахты. За счет большой глубины шахты можно сохранить приличное количество энергии. Принцип работы прост:

избыточная энергия поднимает лифт с грузом, а затем лифт опускается, вырабатывая энергию. В шахты еще в момент добычи полезных ископаемых проводится электроэнергия, что может значительно облегчить в будущем внедрение хранилища энергии. Использование шахт для хранения энергии дало бы им вторую жизнь.

Заключение

Сегодня в связи с повышением доли возобновляемых источников энергии в современной энергетике вопрос хранения энергии является крайне актуальным. Инженеры и ученые все время пытаются усовершенствовать существующие, а также придумать новые способы хранения энергии, которые смогут держать как можно больше энергии с минимальными потерями, при этом стараясь не наносить вред окружающей среде.

Литература

1. Топ лучших технологий хранения энергии [Электронный ресурс] / Топ лучших технологий хранения энергии. – Режим доступа: <https://hightech.fm/2017/10/30/energy-storage-3/amp/>. Дата доступа: 11.04.2024.
2. Технологии хранения энергии [Электронный ресурс] / Технологии хранения энергии. – Режим доступа: <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/>. Дата доступа: 11.04.2024.
3. Электричество и хранение энергии [Электронный ресурс] / Электричество и хранение энергии. – Режим доступа: <https://ru.dsisolar.com/info/electricity-and-energy-storage-80681909.html> /. Дата доступа: 13.04.2024.

УДК 62-03

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ
INNOVATIVE TECHNOLOGIES: TRANSFORMATION AND USE OF
HYDROGEN IN ENERGY**

Д.А. Бабак, А.С. Гребень

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru

D. Babak, A. Greben

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

***Аннотация:** в статье представлено исследование инновационного проекта, представленного на Петербургском международном экономическом форуме, о способах использования водорода в энергетике и условиях его производства, хранения, транспортировки и использования в промышленных масштабах.*

***Abstract:** the article presents a study of an innovative project presented at the St. Petersburg International Economic Forum on methods of using hydrogen in the energy sector and the conditions for its production, storage, transportation and use on an industrial scale.*

***Ключевые слова:** водород, водородсодержащие вещества, электрические ресурсы, тепловые ресурсы, преобразование.*

***Keywords:** hydrogen, hydrogen-containing substances, electrical resources, thermal resources, transformation.*

Введение

В нынешние дни человечество ставит глобальные задачи в области энергетики: нахождение новых энергоресурсов и способы их получения; сохранение и поддержание экологического баланса мира.

Ответом на данные задачи могут быть использование новой энергетической стратегии или реализация инновационных идей.

Рассмотрим, одну из инновационных идей, которая была предложена в докладе “10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет” ассоциацией “Глобальная Энергия” на Петербургском международном экономическом форуме, а именно как реализовать преобразование электричества в водород посредством электроники [1].

Сравним несколько способов обратного преобразования и накопления водорода, а также их эффективность и влияние на экологическую структуру энергетической промышленности. Также мы проанализируем почему нынешнее хранение в электрических батареях не достаточен и какие альтернативные методы существуют.

Для сравнительного анализа нескольких способов выработки энергоресурса из первичного материального источника в водородосодержащие вещества и наоборот, неизбежно потребуется использовать стандартизированные свойства и показатели. Выдвигается идея по оценке энергетических потерь водородосодержащих субстанций от момента их преобразования до момента их эксплуатации, как для постоянных, так и для кратковременных проектных задач.

Для более простого анализа учитывается энергия, использованная для преобразования водорода, например, на точке выхода из электролизера.

Как единицу измерения предлагается использовать свободную энтальпию водорода и водородосодержащих веществ, но с учетом сложности ее применения в расчетах, можно использовать разность свободных энтальпий между водородом и материалом его эксплуатации. Также можно принимать в учет условные величины системы: теплота сгорания и теплота сгорания.

Потери при использовании энергетической способности водородосодержащих веществ от “Источника” до места назначения (в пример взята энергетическая энергия, подаваемая в сеть) должны быть взяты в учет затрат при пополнении ресурса “Источника”, убыль и прибыльность эксплуатационной деятельности водорода от “Источника”-Tank-to-Wheel(ТТВ) [2].

Схожим образом, при производстве водорода необходимым фактором является взятие во внимание не только персональных убытков производственного и хранящего оборудования, но и убытки при транспортировочных работах начальной энергии для производственной деятельности и потери в ходе распределения энергетических носителей(сжижение, сжатие, транспортировка по трубопроводным системам и распределительным сетям, включающие изменения в параметрах напряжения и деятельность по стабилизации подающей мощности сети)-Weel-to-Tank(WТТ) [2].

Предполагается, что сжатие или его сжижение происходит на месте его эксплуатации, также в учет не берется потеря сети даже при преобразовании требуемой электрической энергии.

Хранилище водородосодержащих веществ имеет малый коэффициент потери при дозаправке и сливных работ, а также в режиме застоя производства, что различно от аккумуляторных батарей имеющие убытки энергии при своей эксплуатации. При необходимости механической или электрической энергии, требуемым является учет эффективности ее производства.

Также для более удобного подсчета не учитывается базовая затратность производства (транспортировочная деятельность для первичного энергоресурса и коэффициент эффективности станции).

По итогу данный анализ показывает необходимые экономические показатели, которые в большей степени ограничены [1].

Дальше рассмотрим водород как предлагаемый источник получения энергии, а именно рассмотрим ряд проблем использования его в виде энергоносителя. Хранение водорода в сжиженном или сжатом состоянии

требует экономических вложений и оборудования (криогенные емкости), из-за его весьма низкой плотности, температуры кипения и критической температуры.

Самым распространенным способом получения водорода на производстве является его выработки из природного газа (метана) паровым риформингом при поддержании достаточно высокой температуры. В ходе этого способа мы получаем “серый” водород. Однако проблемой данного метода является выбросы углекислого газа в атмосферу. Одной из альтернатив является производство “зеленый” водород основой для получения которого является газификация биомасс, в ходе которой из-за нехватки содержания кислорода образуется равноценная смесь “водного” газа. Низкую перспективность способ получил из-за того, что данная смесь водорода и монооксида углерода имеет мало вариативности эксплуатации. Производство водорода из водной среды при электролизе не получает распространения из-за того, что такое преобразование потребует больше энергозатрат, чем полученный водород. Если же первичным продуктом будет энергия из восстанавливаемых или атомных источников, то итогом станут совершенно новые виды водородных смесей: “зеленый” и “синий” водород; побочным продуктом таких реакций является кислород, что является довольно выгодным с точки зрения затрат материальной и ресурсной базы [2].

Эффективность электролиза в большей части зависит от проводимого по электродам токам и созданному в электролизере давлению, по статистическим данным коэффициент таких установок колеблется от 60% до 80%. Именно по этой причине большинство используемого оборудования имеет большой конструктивный размер и стоимость.

Для решения данной проблемы предлагается делать электролизеры с протонопроводящей мембраной, то есть использовать “инверсивный” контроль топливных веществ. Преимуществом данного решения станет то, что их установка будет возможна в точках преобразования и эксплуатации водорода, а тепловая энергия, сопутствующая процессу электролиза, может быть использована, то есть мы объединяем выработку водорода с когенерацией.

С экономической точки зрения сложностью производства “зеленого” и “синего” водорода является тот фактор, что для работы электролизеров требуется бесперебойная и постоянная подача электричества, которая очень сложно реализуема при нынешних возобновляемых источниках энергии. По предварительным расчетам КПД установок при использовании в качестве источника энергии ВЭС составляет менее 50%, а для СЭС менее 20%. Данный фактор ставит энергетические, материальные и инвестиционные условия для конструирования данных установок.

Также не малой важностью является расчет энергетических потерь при хранении водорода, так как плотность энергетического ресурса в сжиженном и сжатом водороде довольно низка по сравнению с другими доступными аналогами. При хранении сжатого водорода необходим учет материального состава хранилища и его герметичности в связи с тем, что молекулы водорода имеют довольно малые размеры, что может привести к ослаблению стенок

баллонов. Предлагается использование никелевого сплава, так как он менее подвержен водородной коррозии, в отличие от своих альтернатив: строительной стали и алюминиевых сплавов. При хранении сжиженного водородного вещества необходимым условием является учет его низкой критической температуры и температуры кипения при атмосферном давлении [2].

Вода при использовании установок на основе электролиза должна соответствовать нескольким данным: температура, давление, относительная чистота. Так как в процессе эксплуатации могут возникать нежелательные побочные продукты: щелочные металлы, гидроксиды и анионы, которые уменьшают срок службы оборудования.

Также было выдвинуто предложение использования водорода для получения тепловой энергии, путем непосредственного его сжигания в смесях с другими газами (метаном), но данное нововведение потребует дополнительных экономических затрат на хранение, так как смеси водорода с метаном при имении большей теплотворной способности имеют более низкую плотность из-за большей газовой постоянной водорода.

Заключение

Водород и водородосодержащие вещества могут быть использованы для переработки в электро- или теплоэнергетические ресурсы при поддержке топливных смесей, необходимым условием которых является работоспособность в системах с низкой и высокой температурой режимов. Также есть возможность использования водородосодержащих веществ в качестве топлива для транспорта с двигателем внутреннего сгорания.

Литература

1. «10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет» были презентованы на ПМЭФ-2021 [Электронный ресурс] / «10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет» были презентованы на ПМЭФ-2021 – Режим доступа: <https://energo-union.com/ru/a/10-proryvnyh-idey-v-energetike-na-sleduyushchie-10-let-byli-prezentovany-na-pmef-2021> /. – Дата доступа: 13.04.2024.

2. Водород в энергетике и транспорте: ключевые перспективы и вызовы [Электронный ресурс] / Водород в энергетике и транспорте: ключевые перспективы и вызовы. – Режим доступа: <https://electrik.info/article/1931-vodorod-v-energetike-i-transporte-perspektivy-i-problemy.html> /. – Дата доступа: 13.04.2024.

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ В БЫТУ
USING STEAM GENERATORS AT HOUSEHOLD**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
levshin@bntu.by

V. Novikova, A. Snapkova

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье будут рассмотрены некоторые виды парогенераторов, которые применяются в быденной жизни человека, в таких отраслях, как пищевая и текстильная.

Abstract: this article will discuss some types of steam generators that used in everyday human life, in industries such as food and textiles.

Ключевые слова: парогенераторы, бытовое использование, увлажнение воздуха, приготовление пищи, очистка паром, уход за одеждой, дезинфекция паром, уход за кожей, стерилизация, паровая уборка, использование в сауне, бытовая очистка, пылеудаление, инструкция по использованию.

Key words: steam generators, household use, air humidification, cooking, steam cleaning, clothing care, steam disinfection, skin care, sterilization, steam cleaning, use in a sauna, household cleaning, dust removal, instructions for use.

Введение

Парогенераторы могут эксплуатироваться в быту для различных целей, к примеру, увлажнение воздуха, приготовление пищи, паровая обработка одежды, очистка разного рода поверхностей. Парогенераторы предлагают различные возможности и функции, в том числе дезинфекцию паром, устранение запахов, уборку и многое другое.

Парогенераторы также могут использоваться в уходовой косметологии, для создания атмосферы в сауне или ванной комнате, для стерилизации инструментов, игрушек и посуды. В качестве очистки мягкой мебели и ковров от пыли и бактерий точно также могут использоваться некоторые парогенераторы.

Основная часть

Пищевая промышленность. Пар зачастую рассматривается как идеальный стерильный и незагрязненный источник энергии. Однако, как и с любой средой, которая находится во взаимодействии с процессом, следует принять меры предосторожности, чтобы минимизировать потенциальный риск возникновения загрязнения, что в свою очередь может представлять значительную опасность во время потребления продукта человеком или повлиять на его запах, вкус или качество. Выработка чистого пара устраняет

любые возможные загрязнения, находящиеся в паре, и обеспечивает его чистоту и качество в течение всего технологического процесса.

Для осуществления процесса генерации чистого пара питательная вода без химикатов, а именно обратный осмос, проходит через вторичный генератор из нержавеющей стали для обеспечения требуемого качества пара. При этом генератор, контролируя качество питательной воды в источнике, устраняет зависимость от фильтрованного пара, что лишь частично понижает риск попадания загрязнений в конечный продукт [1].

В связи с повышением заинтересованности продавцов и потребителей к вопросам гигиены и безопасности, связанными с применением растительного и фильтрованного пара при непосредственном контакте с пищевыми продуктами и напитками или для стерилизации, производители продуктов питания могут попытаться уменьшить данные опасения путём перехода на производство чистого пара.

Чистый пар может значительно повлиять на действительно важные для потребителя показатели, а именно на безопасность и вкус конечного продукта. Компания Spirax Sarco, используя свой опыт в области паровой инженерии и тесно сотрудничая с производителями в области пищевой промышленности, смогла разработать новый компактный генератор чистого пара, специально для продуктов питания и напитков. Различные испытания и исследования рынка позволили разработать решение, которое сможет обеспечивать безопасный и стабильный пар для пищевых продуктов.

Установки для подготовки «чистого» пара производства Spirax Sarco изготовлены из нержавеющей стали, имеют производительность от 70 до 3 800 кг/ч и вырабатывают пар из деминерализованной воды, используя в качестве греющей среды обычный технический пар [1]. В стандартную комплектацию такой установки входят система регулирования уровня воды и система контроля подачи технического пара, а также вспомогательное оборудование для эффективной работы системы.



Рисунок 1 – Установка для подготовки «чистого» пара от Spirax Sarco [1]

Уход за одеждой. Для быстрой и эффективной глажки белья была разработана система с парогенератором, которую можно использовать автономно, что повышает мобильность ее применения. Основным достоинством такой системы является также высокая скорость подачи пара, что ускоряет процесс глажки.

Наряду с автономностью, дополнительным фактором преимущества новой системы является сверхбыстрый запуск и разогрев. Как известно, именно высокая инерционность запуска является основным недостатком традиционных систем, использующих парогенераторы, как источника тепловой энергии. Данный фактор можно использовать при проектировании систем на базе парогенераторов в энергетике в будущем.

Автономность применения парогенераторов позволяет повысить мобильность и использовать их там, где ранее это было затруднено или вовсе недоступно, к примеру, для отпаривания штор или постельного белья непосредственно на месте. Это стало возможным благодаря запатентованной технологии мини-бойлера Strix. Система использующая данную технологию совместно с гибридным разъемом для электропитания позволяет в кратчайшие сроки переключать режимы с автономной подачей электроэнергии от аккумулятора либо стационарной электросети [2].

Возможность генерирования пара необходимого количества с требуемыми параметрами за малый промежуток времени позволяет выполнять глажку и обработку на деликатных волокнах. Кроме того, отсутствие необходимости охлаждения бойлера перед его повторным наполнением холодной водой повышает производительность данных систем.

Заключение

Применение парогенераторов в бытовых условиях находит все большее применение. Повышение качества продуктов питания, уход за одеждой, очистка, в том числе поверхностей нагрева – одни из немногих способов повседневного применения парогенераторов. Выбор модели, в соответствии с поставленными задачами, своевременное обслуживание при эксплуатации, позволят широко применять парогенераторы в повседневной жизни в бытовых условиях.

Литература

1. New range of steam generators to deliver safe and consistent food quality steam [Электронный ресурс] / New range of steam generators to deliver safe and consistent food quality steam. – Режим доступа: <https://www.spiraxsarco.com/global/en-GB/news/new-range-of-steam-generators-to-deliver-safe-and-consistent-food-quality-steam/>. – Дата доступа: 18.11.2020.
2. The World's First Cordless Steam Generator [Электронный ресурс] / The World's First Cordless Steam Generator. – Режим доступа: <https://strix.com/strix-technology-the-world-s-first-cordless-steam-generator.html> /. – Дата доступа: 11.06.2012.

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ ENERGY USE OF MUNICIPAL SOLID WASTE

М.Д. Синько, С.Д. Руденко

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
irina.yevseyenko@yandex.by

M. Sinko, S. Rudenko

Supervisor – I. Yevseyenko, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: одна из проблем охраны окружающей среды – обращение с твердыми бытовыми отходами (ТБО). Решение этой проблемы достаточно сложное, т.к. многие подходы несут лишь убытки и требуют больших денежных вложений. Однако такие подходы, как сжигание ТБО с целью получения тепловой энергии и получение биогаза из пищевых отходов могут принести не только экологический, но и экономический эффекты.

Abstract: one of the problems of environmental protection is the management of solid household waste. The solution to this problem is quite complex, since many approaches only cause losses and require large financial investments. However, approaches such as burning solid waste to produce thermal energy and producing biogas from food waste can bring not only environmental, but also economic effects.

Ключевые слова: ТБО, сортировка, низшая теплота сгорания, метановое брожение, биогаз.

Keywords: SMW, sorting, fuel lower heating value, methane fermentation, biogas.

Введение

Обращение с твердыми бытовыми отходами – достаточно актуальная проблема для современного общества. На сегодняшний день большая часть ТБО складывается на свалках, однако такой способ обращения с ТБО не эффективен и не экологичен. Непродуманное обращение с ТБО может привести к серьезным экологическим последствиям. В то же время их энергетическое использование, переработка или получение удобрений и биогаза с использованием ТБО могут принести экономическую выгоду.

Основная часть

Один из наиболее важных шагов к оптимизации процесса обращения с отходами – это их сортировка. Несмотря на то, что сама по себе сортировка отходов не может принести какой-либо прибыли и требует значительных затрат, включающих развертывание целой инфраструктуры (контейнеры для раздельного сбора мусора, пункты сбора мусора, логистические системы), в дальнейшем такой подход положительно влияет на окончательную переработку ТБО.

Существует несколько принципиальных методов окончательной переработки мусора, выделим два основных [1]:

- сжигание;
- аэробная ферментация (получение удобрений или биогаза).

Сжигание бытовых отходов позволяет не только снижать его количество, но и получать электрическую и тепловую энергию. На сегодняшний день такой способ переработки ТБО получил большое распространение во многих странах мира, и доля сжигаемых бытовых отходов во всем мире продолжает расти.

В качестве альтернативного энергетического топлива может служить лишь определенная часть ТБО, эту часть называют RDF-топливом (англ. refuse-derived fuel, топливо, полученное из отходов). Отделение RDF-топлива от общей массы отходов производится путем сортировки, обезвоживания и измельчения. Также важны последние два этапа производства – это магнитная сепарация и гранулирование. В сжигаемую для получения энергии часть ТБО входят древесина, бумага, картон, тетрапаки, текстиль, кожа и резина, полимеры и т.п. Размер частиц в таком топливе допускается от 5 до 20 мм, а влажность составляет 10-15 %. Низшая теплота сгорания RDF-топлива может составлять 10-45 МДж/кг в зависимости от его класса, что соответствует теплоте сгорания твердых топлив [2].

В мировой практике RDF-топливо используют по двум направлениям. Первое – это сжигание его на цементных и металлургических заводах для получения тепловой энергии, используемой в производственных процессах. Второй – это использование такого топлива на теплоэлектроцентралях. Помимо этого, практикуется создание специальных установок по сжиганию RDF-топлива.

Хотя использование RDF позволяет решить, как экономические, так и экологические вопросы, у экологов все еще остаются к нему вопросы. Некоторые исследования показывают, что при сжигании такого вида топлива выделяется большое количество вредных веществ. Для снижения вредного воздействия предлагается более тщательная сортировка ТБО, сжигание только топлива при высоких температурах и создание обязательной санитарно-защитной зоны.

Альтернативой или дополнением энергетическому сжиганию ТБО может стать производство биогаза. Биогаз – это смесь газов, состоящая по большей части из метана и углекислого газа. Сырье для производства биогаза – органические отходы различных отраслей. Биогаз получается в процессе метанового брожения в биореакторе. Т.к. многие компоненты ТБО являются органическими веществами, возможно их использование для получения биогаза с предварительной сортировкой. При этом остатки, полученный по окончании процесса получения биогаза, можно использовать в качестве удобрений, что также даст свой экономический эффект. Низшая теплота сгорания биогаза составляет 20-25 МДж/м³, что составляет 70 % от низшей теплоты сгорания метана, т.е. биогаз можно использовать в качестве источника энергии и назвать достойной альтернативой природному газу.

Заключение

Один из путей решения проблемы накопления твердых бытовых отходов – это их использование в энергетических целях. Возможно два варианта такого использования: непосредственно сжигание горючих частей ТБО с выделением тепловой энергии и синтез биогаза с дальнейшим его использованием в энергетике. Обязательный предварительный этап для обоих решений – это сортировка ТБО. Такой подход к обращению с отходами имеет сразу несколько положительных сторон: экологическую, экономическую и энергетическую.

Литература

1. Хорошавин, Л.Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: учеб. пособие / Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков, Е.А. Свалов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 220 с.
2. Кувшинов, В.В. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / В.В. Кувшинов, Н.В. Морозова, И.Ю. Софийский. – М.: Спутник, 2018. – 277 с.

УДК 621.029

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА РАБОТУ
ЕМКОСТНОГО УРОВНЕМЕРА
INVESTIGATION OF WATER HARDNESS INFLUENCE
ON OPERATION OF CAPACITIVE LEVEL GAUGE**

А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.И. Назаров, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
nazvi57@mail.ru

А. Medvedeva

Supervisor – V. Nazarov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье представлено устройство емкостного уровнемера, его характеристики, а также результаты исследования влияния показателя жесткости воды на качество работы измерительного прибора, что необходимо учитывать при его выборе и эксплуатации.

Abstract: this article presents the device of capacitive level gauge, its characteristics, as well as the results of the study of the influence of the water hardness index on the quality of operation of the measuring instrument, which must be taken into account when selecting and operating it.

Ключевые слова: уровень, датчик уровня, емкостный уровнемер, жесткость воды.

Keywords: level, level gauge, capacitive level meter, water hardness.

Введение

Уровень представляет собой высоту наполнения рабочего тела технологической установки, например, жидкостью. Информация об этом параметре необходима для управления производственным процессом или для контроля деятельности технологического аппарата. Применение этого вида устройств позволяет контролировать расход сырья на предприятии, избегать переполнения бака или работы оборудования в холостом режиме из-за отсутствия сырья [1].

Измерительная система состоит из электрических элементов, которые обрабатывают сигналы, поступающие от датчика уровня. Далее они конвертируются в показания уровнемера, то есть в информацию о текущем уровне жидкости в баке или системе. Маркировка с единицами измерения расположена на шкале прибора – поплавков или электроды движутся вверх и вниз в соответствии с уровнем жидкости, при этом меняются показания уровнемера в соответствии с нанесенной шкалой. Результаты измерений могут быть переданы на пульт управления или компьютер для последующего мониторинга и преобразования.

Уровнемеры делят на виды по принципу назначения, по характеру измеряемой среды, по принципу взаимодействия датчиков с управляемой средой, по степени влияния рабочей среды и по функциональному назначению.

Основная часть

Для исследования мы рассматриваем емкостный уровнемер Nivo Capa NC 8100. Он является электрическим прибором для измерения уровня (рисунок 1). Принцип его функционирования основывается мостовой схеме индуктивно-емкостного типа: по мере изменения уровня среды и изменения электрической емкости возникает разбаланс. В приборах такого типа используется прямо пропорциональная зависимость электрической емкости чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя от изменения уровня рабочей среды вдоль оси зонда. Уровнемер состоит из двух электродов, которые расположены внутри бака с контролируемой средой, изменения в емкости регистрируются датчиком. После данные преобразуются в сигнал, который может быть использован для отображения уровня жидкости на индикаторе или для управления процессом заполнения емкости жидкостью [2].

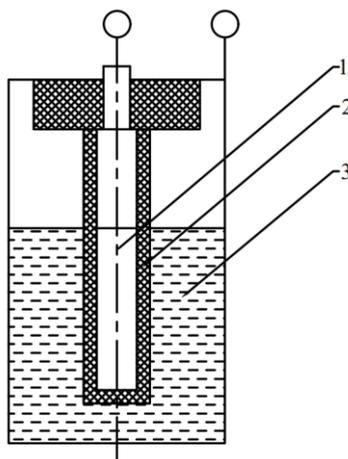


Рисунок 1 – Схема электрического емкостного уровнемера, где 1 – электрод, 2 – изоляция, 3 – контролируемая среда

В качестве рабочей среды для исследования взяли 10 литров воды. Для начала сняли показания уровнемера без примесей, следовательно, исходный показатель жесткости – 0 %.

Таблица 1 – Параметры зависимости емкости от уровня воды

Процент жесткости, %	Показание емкости С, пФ	Уровень воды, мм			
		40	64	83	112
0		35,95	51,82	64,09	85,27
20		29,04	43,11	54,2	71,27

Жесткость воды – это показатель концентрации примесей солей в воде, главным образом, магния и кальция. После добавили в качестве примеси 2 килограмма поваренной соли, следовательно, получили 20 % соляной раствор. Снятые показания для наглядности занесли в таблицу (таблица 1), и по этим характеристикам построили график зависимости показаний емкостного уровнемера от процента жесткости воды (рисунок 2).

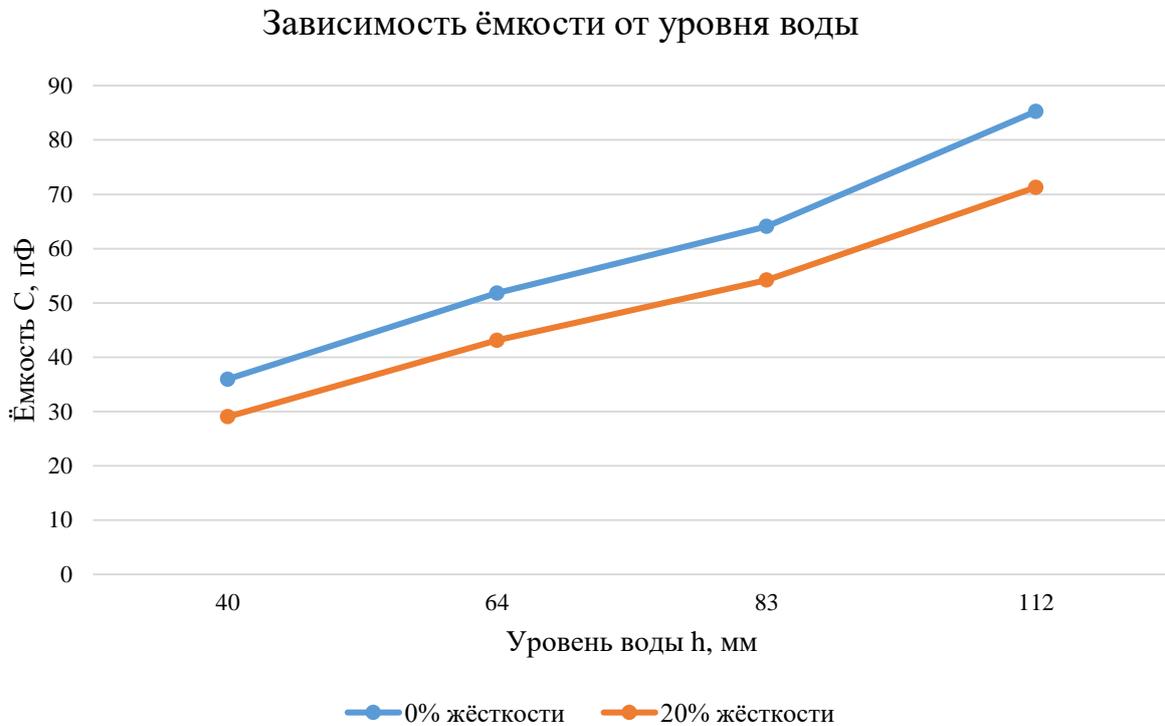


Рисунок 2 – Графики зависимости показаний емкостного уровнемера от жесткости воды

По полученным данным эксперимента можно сделать вывод о том, как жесткость воды влияет на работу уровнемера. При увеличении содержания примесей соли в воде показания ёмкости снижаются, таким образом кривая зависимости параметров смещается вниз. Следовательно, при увеличении показателей жесткости может ухудшиться работа уровнемера. При воздействии солей на прибор будут образовываться накипь и осадок, которые будут создавать дополнительный слой, а следовательно, и дополнительное сопротивление на электродах уровнемера, способных препятствовать нормальному функционированию.

Заключение

Жесткость воды может оказывать влияние на работу емкостного уровнемера в случае, если элементы уровнемера подвергаются накипи или отложениям из-за высокого содержания минеральных солей в воде. Это может вызвать снижение чувствительности и точности измерений, а также привести к неисправностям в работе устройства. Кроме того, жесткая вода может снизить точность измерений уровня воды из-за образования осадков или мутности воды.

Для решения проблем, связанных с нарушениями работы емкостного уровнемера в условиях жесткой воды, необходимо регулярно проводить очистку элементов устройства от налета и техобслуживание. Также можно использовать специальные средства для смягчения воды, чтобы предотвратить образование накипи. Еще одним способом решения данной проблемы является создание прибора, способного учитывать поправочный коэффициент на показатель жесткости воды.

В целом, жесткость воды не должна сильно влиять на работу емкостного уровнемера, если обеспечены правильное обслуживание и контроль за качеством воды.

Литература

1. Назаров, В.И. Теплотехнические измерения и приборы: учеб. пособ. / В.И. Назаров. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 280 с.
2. Nivo Саpa 8100 [Электронный ресурс] / Емкостный уровнемер. – Режим доступа: <https://uwtlevel.ru/catalog/nivocapar-8100-emkostnoy-urovner> /. – Дата доступа 16.04.2024.

УДК 621.352.6

**КОНСТРУКЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
DESIGN AND APPLICATION OF FUEL ELEMENTS**

В.В. Куделко, В.А. Фомина

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru
V. Kudelko, V. Fomina

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

***Аннотация:** в статье рассматривались преимущества и недостатки топливных элементов, их устройство. Сравнение характеристик топливных элементов.*

***Abstract:** the article discusses the advantages and disadvantages of fuel cells, their structure. Comparison of fuel cell performance.*

***Ключевые слова:** топливные ячейки, электролиз воды, мембрана, протон, катод, анод, химическая реакция.*

***Keywords:** fuel cells, water electrolysis, membrane, proton, cathode, anode, chemical reaction.*

Введение

Энергия уже давно стала неотъемлемой частью жизни каждого человека. Потребление энергии растет с каждым годом и мотивирует людей принимать решения и предпринимать немедленные действия к ее разумному потреблению и распределению. Все люди, задействованные в энергетике, заинтересованы в разработке инноваций и инновационных технологий в этой сфере, совершенствовании способов и методов передачи энергии, в снижении затрат на ее производство, повышении надежности оборудования, которое ее производит, создании комфортных условий труда, надежности и бесперебойности работы энергетического оборудования.

Основная часть

В качестве таких источников возможно использование топливных элементов (топливных ячеек), энергозапас которых в несколько сотен раз больше, чем у других источников. Ранее топливные ячейки использовались только в лабораторных исследованиях, а также в космических аппаратах. В настоящее время такие альтернативные источники энергии распространились повсеместно и глубоко проникли в нашу жизнь.

Топливные элементы – это оборудование преобразовывающее в электроэнергию энергию химической реакции топлива. Этот процесс сопровождается протеканием электрохимической (рисунок 1). Топливные ячейки отличаются от традиционных технологий отсутствием необходимости сжигать такие источники природного топлива, как уголь, газ и нефть.

Следовательно, исключается негативная сторона: выхлопы, вибрации, громкие звуки, запах и другие экологические проблемы [1].

Топливные ячейки немного схожи с гальваническим элементом (проще – «батарейка»). Они являются источниками одноразового действия. Различие топливных элементов и батарей таковы: топливные элементы вырабатывают электрическую энергию и тепло, пока к ним подается топливо. Батареи имеют отрицательную сторону – разрядка и последующая зарядка. Схожесть в том, что по принципу работы батареи и топливные элементы относятся к категории электрохимии и имеют схожий принцип работы. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что для использования топливных элементов необходимо применять различное вспомогательное оборудование.

Также в топливных ячейках происходит преобразование энергии химической реакции непосредственно в тепловую энергию, а также в воду или электрическую энергию. При этом даже на неполной мощности не происходит снижения коэффициента полезного действия (КПД).



Рисунок 1 – Топливные элементы [2]

Принцип работы топливных элементов

Топливный элемент является устройством, в котором химическая реакция преобразуется в электрический ток. Топливные ячейки не аккумулируют, а преобразовывают энергию топлива в электрическую и тепловую.

Топливный элемент содержит электроды с отрицательным зарядом (анод) и положительным (катод), разделенные электролитом. При этом на анод поступают молекулы водорода (H_2), а на катод переходят молекулы кислорода (O_2), в результате чего протекает химическая реакция, для ускорения которой добавляют катализатор. Необходимый элемент, который помогает превратить химическую энергию в электрическую, называется мембраной (PEFC). Она существует для разделения двух камер элемента (место, где происходит подача топлива). Из-за этого между камерами может проходить лишь протонам. Протоны получают из-за расщепления топлива. Когда протоны смогут попасть во вторую камеру, то неизбежно соединятся с электронами и кислородом (его атомами). В результате получается вода или водяной пар (рисунок 2).

Происходящие реакции [3]:

Реакция на аноде: $2H_2 \Rightarrow 4H^+ + 4e^-$.

Реакция на катоде: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \Rightarrow 2H_2O$.

Общая реакция элемента: $2H_2 + O_2 \Rightarrow 2H_2O$.

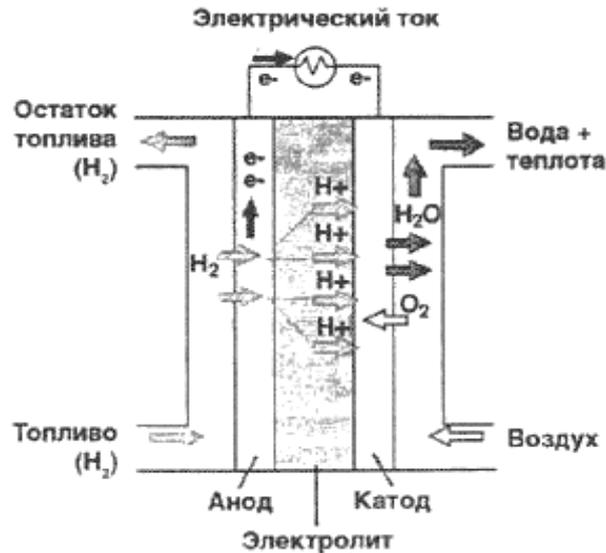


Рисунок 2 – Принцип работы топливных элементов [3]

Водород в данной ситуации – самое подходящее топливо. Он химически активен, его легко подвести в топливные ячейки, так же легко отвести.

Области применения

Топливные ячейки применяются не только на промышленных предприятиях. Из-за простоты в использовании, надежности и удобства их стали применять по всему миру. Почти в каждой сфере топливные элементы необходимы, хоть и цена на них до сих пор разнится. В настоящее время топливные ячейки применяются:

- в жилых или коммерческие зданиях;
- в логистике (горное оборудование, подводные лодки и другие военные корабли, электромобили, железнодорожный транспорт);
- в энергетике (ТЭЦ, другие электростанции);
- в мобильных устройствах (порты, питание для телефонов);
- в техническом обслуживании (морские суда, авиация и космические корабли).

Топливные элементы были признаны человечеством и в данный момент применяются даже на Западе: США, Япония, страны Евросоюза используют низкотемпературные и среднетемпературные топливные элементы.

Достоинства и недостатки топливных элементов

Коэффициент полезного действия у топливных ячеек (50%) выше и не имеет ограничений (теоретических), в отличие от тепловых машин, двигателей внутреннего сгорания. В обычных генераторных установках топливо проходит этап сжигания, далее пар вращает турбину или вал. Они уже вращают генератор. Суммарный КПД не превысит 50-60%, в то время как у топливных элементов он составляет 60% и более [5].

Таблица 1 – Типы топливных элементов [4]

Тип элемента	Рабочие температуры, °С	Выход электрической энергии), %	Суммарный КПД, %
Топливные элементы с протонообменной мембраной (PEMFC)	60–160	30–35	50–70
Топливные элементы на основе ортофосфорной (фосфорной) кислоты (PAFC)	150–200	35	70–80
Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (MCFC)	600–700	45–50	70–80
Твердотельные оксидные топливные элементы (SOFC)	700–1 000	50–60	70–80

Топливные элементы экологичны. Выбросы в атмосферу действительно малы, поэтому во многих странах для установки топливных ячеек не требуется разрешение от органов, которые контролируют качество воздуха. Единственная проблема – использование емкостей с топливом, но она не наносит значительный урон экологии.

Долговечность, надежность и простота в использовании, доступность. В топливных элементах нет движущихся частей.

Первый недостаток – высокая стоимость. Этот недостаток скоро можно будет оспорить. Ведь экономика сделает свое дело. Компании активно выпускают образцы топливных элементов. Спрос рождает предложение.

Второй недостаток – использование как топлива чистого водорода. Для этого необходимо создавать специальные условия транспортировки и выработки. Если произвести замену на бензин, то данное решение приведет к ядовитым выбросам в атмосферу [6].

Большинство недостатков перекрывает этот факт: достоинством топливных элементов является возможность почти моментального возобновления их энергоресурса даже при отсутствии электропитания. Также топливные элементы имеют большой срок службы.

Как сказано ранее, идея была подхвачена множеством стран. Американская фирма United Technology и фирма из Японии создали корпорацию International Fuel Cells (Международные топливные элементы). В Бельгии и Нидерландах создана фирма Elenco, в Германии – Siemens.

Заключение

Проанализировав представленную информацию, можно сделать вывод о важности использования топливных элементов (ячеек). Воплощение данной идеи в жизнь проходит успешно. Учтено множество факторов: надежность, экономичность, рациональность. Делается упор на экологичность и

безопасность для людей и природы. Развитие топливных элементов может поменять в лучшую сторону будущее энергетики.

Литература

1. Коровин, Н.В. «Топливные элементы и электрохимические энергоустановки». – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.
2. Топливные водородные элементы [Электронный ресурс] / Топливные водородные элементы. – Режим доступа: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/hydrogen-datacenters/> /. – Дата доступа: 30.03.2024.
3. Топливные элементы, превращение химической энергии в электричество [Электронный ресурс] / Топливные элементы, превращение химической энергии в электричество. – Режим доступа: <https://powercoup.by/elektroenergetika-v-mire/toplivnyie-elementyi/> /. – Дата доступа: 30.03.2024.
4. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий [Электронный ресурс] / Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий. – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2340/ /. – Дата доступа: 28.03.2024.
5. Топливные элементы [Электронный ресурс] / Топливные элементы. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/energeticheskoe-oborudovanie/801128-toplivnye-elementy/> /. – Дата доступа: 28.03.2024.
6. Топливный элемент – электрохимический генератор [Электронный ресурс] / Топливный элемент – электрохимический генератор. – Режим доступа: https://energobelarus.by/articles/ekologiya/toplivnye_elementy/ /. – Дата доступа: 29.03.2024.

УДК 662.753.325:621.311.22:502.55(203)

**МАЗУТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ТЭЦ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ВОЗДУХА
FUEL OIL MANAGEMENT OF CHP AS SOURCE OF AIR
POLLUTION**

Н.А. Петруша

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

leo07@tut.by

N. Petrusa

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

***Аннотация:** в данной статье оценивается влияние мазутного хозяйства на воздушную среду прилегающей территории.*

***Annotation:** this article assesses the impact of the fuel oil industry on the air environment of the surrounding area.*

***Ключевые слова:** мазутное хозяйство ТЭС, загрязнение воздуха, санитарно-защитная зона.*

***Key words:** fuel oil management of thermal power plants, air pollution, sanitary protection zone.*

Введение

В настоящее время осложняется вопрос экологии при взаимном размещении города и подразделений ТЭЦ, в частности, мазутного хозяйства. Это объясняется, с одной стороны, расширением города и увеличением потребности в энергии, а с другой – ростом масштабов сжигания топлива и ликвидацией мелких котельных.

Основная часть

Произведем оценку влияния отдельных участков мазутного хозяйства на воздушную среду прилегающей территории. Выбросы учитывались при переливе мазута из цистерн в лотки эстакады разгрузки, заполнении мазутохранилища, а также очистке цистерн.

Количество нефтепродуктов (M , кг/с), испаряющихся с поверхности лотков в единицу времени, определено по [1]:

$$M = S\rho h,$$

где S – площадь поверхности лотков, м²;

ρ – плотность насыщенных паров углеводородов, кг/м³;

h – коэффициент массопереноса (м/с), $h = \alpha / (C_y \rho)$;

α – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

C_y – теплоемкость паров нефтепродуктов, кДж/(кг·К).

Так как уровень мазута в лотках ниже поверхности земли примерно на 0,5 м, влияние ветра на процесс теплоотдачи незначительно. Поэтому расчет

коэффициента теплоотдачи произведен для режима свободного движения газовой смеси над поверхностью лотков [2]. Плотность насыщенных паров углеводородов при среднем значении температуры наружного воздуха и мазута в лотках $T_c = 273 + (t_n + t_m)/2$ найдена из уравнения состояния идеального газа:

$$\rho = \frac{\mu p_n}{RT_c},$$

где средний молекулярный вес углеводородов мазута и давление насыщенных паров приняты соответственно равными $\mu = 200$ кг/кмоль и $p_n = 1000$ Па [3]. Тогда, например, при $T_c = 308$ К плотность $\rho = 7,8 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

При перекачке мазута в хранилище, в предположении наибольшей загазованности, исходили из того, что заполняется только один резервуар. Вытесняемая через патрубок цистерны масса летучих нефтепродуктов M_c (кг/с) равна:

$$M_c = Q \rho_1,$$

где Q – количество паров нефтепродукта (по объему), м³/с;

ρ_1 – плотность насыщенных паров углеводородов при T_c , кг/м³.

В соответствии с правилами технической эксплуатации температура мазута в расходных резервуарах поддерживается на уровне 70°C. Тогда, например, при $Q = 500$ м³/ч, $\rho_1 = 0,007$ кг/м³, $M_c = 1,0 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

При оценке выбросов углеводородов в процессе очистки цистерн полагаем, что пар равномерно подается ко всем внутренним участкам и температура в любой точке ее поверхности одинакова; пар при этом полностью конденсируется.

Считаем также, что пленка мазута полностью покрывает стенки данной емкости. При истечении паровых струй происходит интенсивное перемешивание газовой смеси, что ведет к уравниванию концентраций паров углеводородов внутри цистерны. Выброс нефтепродуктов (по массе) и объем газовой смеси определяется при решении системы уравнений:

$$M = S_1 h (\rho_{\text{нас}} - C);$$

$$M = C (V_a + V_y) \approx C V_B;$$

$$V_y + V_B = \mu_1 S_2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{\text{см}}}} = \mu_1 S_2 \sqrt{2gH \frac{\rho_n - \rho_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}};$$

$$M = \rho_{\text{нас}} V_y;$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{C(V_B + V_y) + \rho_B V_B}{V_B + V_y},$$

где S – площадь внутренней поверхности цистерны, м

$\rho_{\text{нас}}$ – плотность насыщенных паров углеводородов при температуре стенки цистерны 100°C, кг/м³;

V_B, V_y – соответственно объем выходящего через верхний патрубок воздуха и газов, м³/с;

C – концентрация нефтепродуктов внутри цистерны;

Δp – движущий напор циркуляции, Па;

μ_1 – коэффициент расхода, принимается равным 0,5-0,7;

S_2 – эквивалентное сечение, оказывающее такое же сопротивление циркуляции воздуха через цистерну как последовательно расположенные площади ее нижнего и верхнего патрубка (S_3 и S_4);

$$\frac{1}{S_2} = \frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_4}.$$

При диаметрах нижнего и верхнего патрубков соответственно 0,15 и 0,4 м, диаметре цистерны $H = 2$ м, температуре наружного воздуха $t_n = 20^\circ\text{C}$ получаем $M = 0,48 \cdot 10^{-5}$ кг/с, $V_y = 0,075$ м³/с, $V_B = 0,062$ м³/с, $C = 3,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Общее количество пропариваемых цистерн – n , при условии, что ими полностью заполнена эстакада равно:

$$n = (L \cdot K)/l,$$

где l – железнодорожная длина цистерны, м; K – число путей; L – длина эстакады, м.

Заключение

Результаты расчетов, проведенных по математической модели рассеивания, разработанной Главной государственной обсерваторией им. А. И. Воейкова, показали, что основную долю в загазованности прилегающей площадки вносят выбросы из лотков. Содержание летучих нефтепродуктов в воздухе от цистерн и резервуаров на порядок ниже.

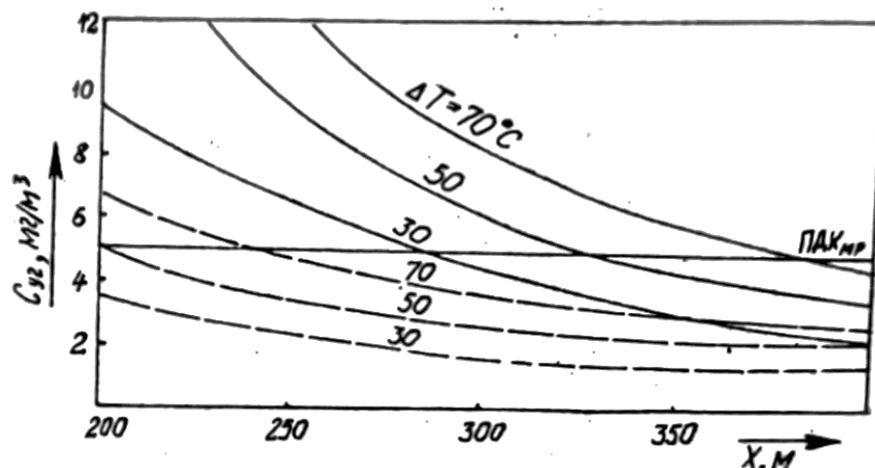


Рисунок 1 – Распределение приземных концентраций углеводородов при движении мазута в лотках по длине сливной эстакады [1]:

— — — и _____ поперечное и продольное направление ветра относительно продольной оси лотков;

ΔT – разность температур наружного воздуха и сливаемого мазута

Графики, приведенные на рисунке 1, показывают, что при выбросе из лотков возможно превышение концентраций углеводородов над предельно допустимой максимально разовой (5 мг/м³) на расстоянии примерно 260 м от края эстакады. Для практических расчетов в зависимости от различной длины

эстакады L , разности температур наружного воздуха и сливаемого мазута ΔT , числа подъездных путей K составлены номограммы (рисунок 2 а, б), с помощью которых определяется необходимый размер санитарно-защитной зоны. Например, для ТЭЦ 500 МВт с числом путей $K = 4$ и длине эстакады $L = 200$ м санитарно-защитная зона в поперечном направлении примерно равна 240 м, в продольном – от центра эстакады – 370 м, т.е. в среднем 250 м от края эстакады в обоих направлениях.

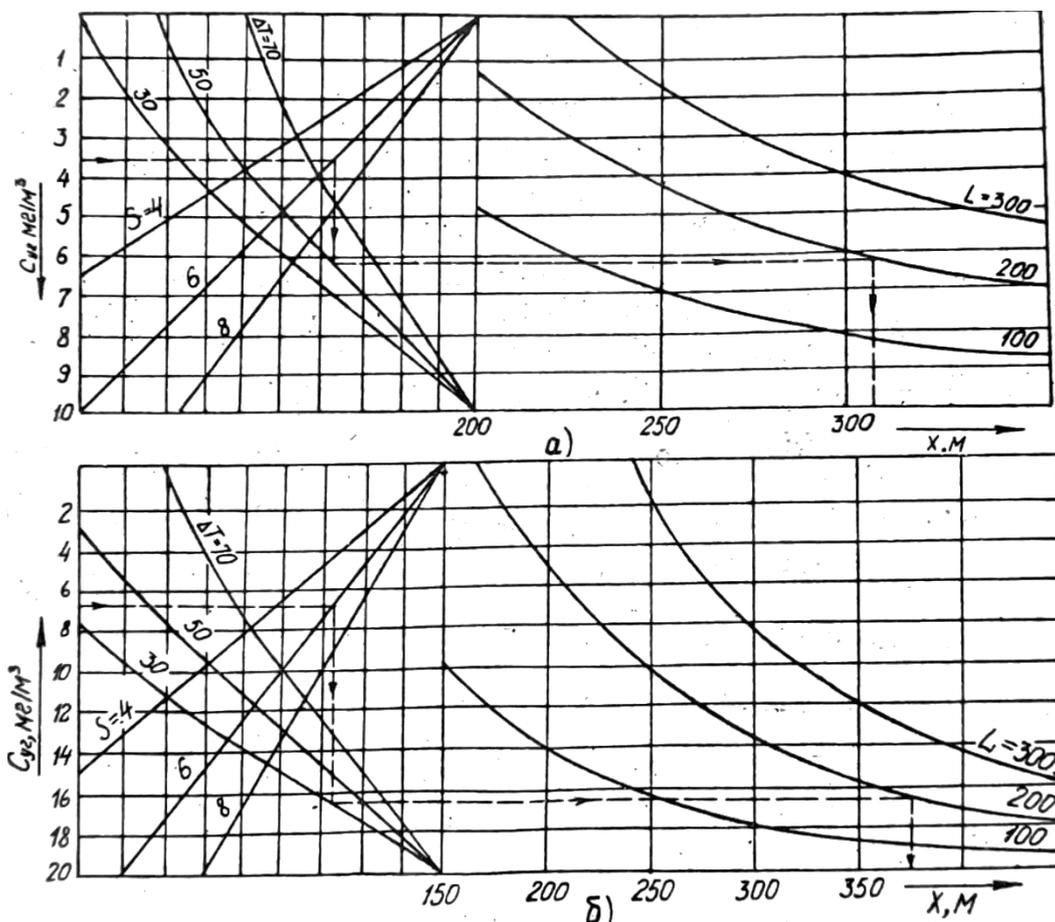


Рисунок 2 – Номограмма определения приземных концентраций при рассеивании углеводородов, (а) – по продольной (б) – по поперечной осям относительно центра сливной эстакады [1]

Литература

1. Эккерт, Э.Р. Теория тепло- и массообмена: Пер. с англ. / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк // Под ред. А.В. Лыкова. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 681 с.
2. Краснощеков, Е.А. Задачник по теплопередаче: Учебное пособие для вузов / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 144 с.
3. Белосельский, Б.С. Топочные мазуты / Б.С. Белосельский. – М.: Энергия, 1976. – 256 с.

УДК 621.165

**НАСОСЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И СМАЗКИ
ТУРБОУСТАНОВОК
PUMPS OF THE TURBINE CONTROL AND OIL SYSTEM**

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов

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

V. Bakalova, N. Samsonov

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

Аннотация: в данной статье представлены виды насосов системы регулирования и смазки турбоустановок, а также их принцип работы. Отдельно рассмотрены типы насосов, их достоинства и недостатки. Особое внимание в статье уделяется тому, как правильно выбрать насос исходя из поставленной задачи. В заключении делается вывод о значимости насосов представленного в статье назначения.

Annotation: this article presents the types of pumps of the turbine control and oil system, as well as their principle of operation. The types of pumps, their advantages and disadvantages are considered separately. Special attention is paid in the article to how to choose the right pump based on the task. In conclusion, it is concluded that the pumps of the purpose presented in the article are important.

Ключевые слова: насос, клапан, маслосистема, инжекторы, ротор, система зазоров.

Key words: pump, valve, oil system, injectors, rotor, clearance system.

Введение

Уникальность системы регулирования и смазки турбоустановки обеспечивается использованием специально разработанных насосов, таких как зубчатые и винтовые насосы, центробежные насосы и струйные насосы-инжекторы. Эти насосы обеспечивают эффективное функционирование маслосистемы даже для маломощных турбин.

Основная часть

Зубчатые насосы представляют собой уникальное техническое изобретение, основанное на принципе взаимодействия ведущей и ведомой шестеренок, которое обеспечивает надежную циркуляцию жидкости (рисунок 1). Они работают с частотой вращения от 1000 до 1500 оборотов в минуту, обладая высокой эффективностью и отсутствием срывов при малых частотах вращения. Благодаря этому зубчатые насосы обеспечивают стабильную работу системы регулирования и смазки турбоустановки даже в условиях повышенной нагрузки. В то же время, уникальная конструкция насосов позволяет им достичь высокой высоты самовсасывания и обеспечивает долгий срок службы без необходимости частого обслуживания.

Феномен неограниченного увеличения давления за насосом, обусловленный возрастанием сопротивления в системе, представляет собой значительный недостаток использования объемных насосов в маслосистемах. Для преодоления этой проблемы применяются предохранительные и регулирующие клапаны, которые направляют излишний объем жидкости обратно в систему смазки. Однако процесс установки и использования регулирующих клапанов может привести к нежелательным гидравлическим эффектам, таким как удары и вибрации. Они могут вызвать аварийные ситуации и снизить надежность системы, особенно зубчатых насосов, которые являются ключевыми компонентами многих промышленных систем. Зубчатые насосы известны своей способностью создавать вакуум на входе, даже когда там присутствует воздух. Эта особенность позволяет им эффективно перекачивать масло из бака при малых оборотах ротора, без добавления подпитывающих линий. Для минимизации этих проблем, важно правильно установить и использовать регулирующие клапаны, а также обеспечить надлежащую герметизацию системы. Кроме того, регулярное техническое обслуживание и осмотр насосов и клапанов помогут предотвратить возможные проблемы и обеспечить долгосрочную надежную работу оборудования.

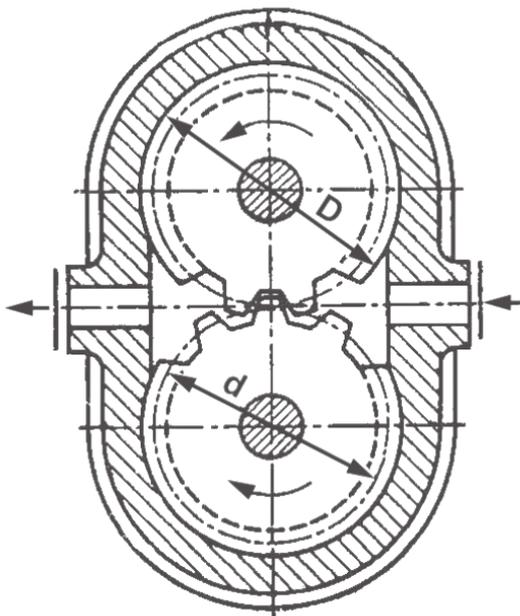


Рисунок 1 – Зубчатый насос [1]

Центробежные насосы широко применяются в современных турбинах и делятся на два типа: те, что расположены в собственных подшипниках и соединены с ротором зубчатой муфтой, и те, что укреплены консольно и установлены близко к упорному подшипнику. Жидкость, которую использует насос, играет важную роль в его работе. Например, масло отличается от воды повышенной вязкостью, которая учитывается при проектировании насоса. Температуру масла можно повысить до 20–50 °С для снижения его вязкости. Важно избегать попадания воздуха в масло, так как это может привести к

потерям в насосе, падению давления и прекращению подачи. Поддержание минимального содержания воздуха необходимо для сохранения высокой эффективности работы насоса. Центробежные насосы могут выполнять одностороннего и двустороннего всасывания. Первые имеют простую конструкцию и выполняют функции как силового насоса, так и датчика частоты вращения. На рисунке 2 представлена группа центробежных насосов, где датчик частоты вращения 1 и основной маслонасос 2 жестко связаны с ротором турбины через общий вал [1].

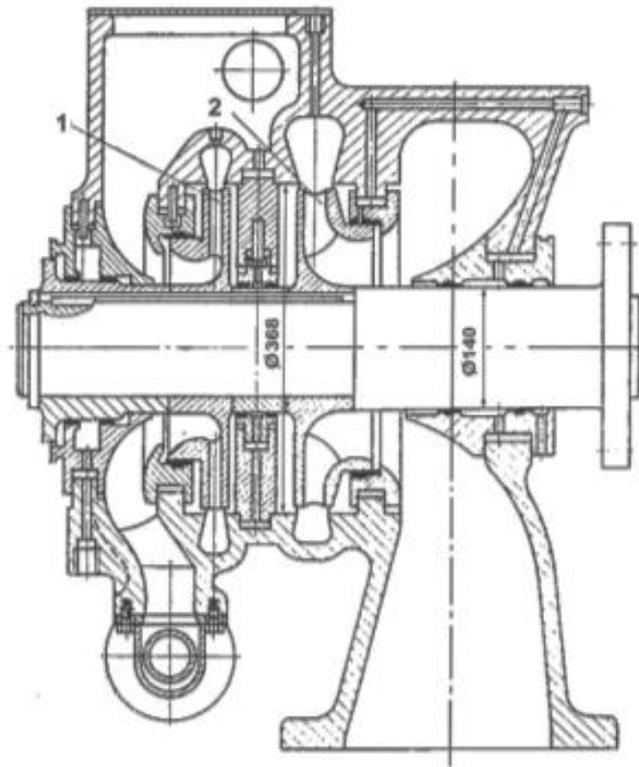


Рисунок 2 – Центробежный насос [1]

Струйные насосы представляют собой инновационное устройство, способное создавать подпор на всасывании насосов. В их конструкции предусмотрено использование сопла в приемной камере, которое направляет поток силовой жидкости из напорной камеры, установленной под уровнем жидкости в баке. Этот поток силовой жидкости смешивается с основным потоком в камере смешивания под действием струи из сопла, а затем проходит через диффузор для коррекции скорости и увеличения давления.

Масляные инжекторы объединены в группу на верхней части масляного резервуара. Они доставляют масло от главного масляного насоса к форсункам инжекторов, и для высвобождения воздуха из системы предусмотрена постоянная вентиляция через трубку, которая опущена на 1 метр ниже поверхности масла.

Конструкция насосов в системе регулирования в основном идентична, с одним существенным отличием в числе ступеней. Турбинные агрегаты ХТЗ в

этой системе оборудованы центробежными насосами типов МВ для регулировки и насосами типов КМ и МКВ для подачи масла. Насосы МВ имеют сборный цилиндр с опорой, в то время как у насосов МКВ цилиндрическая часть крепится к опорной поверхности через прокладку, которая также является крышкой масляного резервуара. На турбинах ЛМЗ используются насосы собственной конструкции типа НВР. Это центробежные, вертикальные, десятиступенчатые насосы, которые имеют сварной двусторонний корпус, опирающийся на раму через фланец [2].

Заключение

Находящиеся в центре внимания насосы системы регулирования и смазки турбоагрегатов играют важнейшую роль в обеспечении бесперебойной работы маслосистемы и турбин. Разнообразие типов насосов, включая зубчатые, винтовые, центробежные и струйные, каждый из которых обладает уникальными особенностями в зависимости от мощности турбины и специфики требований к системе маслоснабжения. Связь насосов с валом через систему зазоров не только защищает вал от колебаний ротора турбины, но и гарантирует надежность и долговечность всей маслосистемы.

Литература

1. Насосы паротурбинных установок ТЭС – это очень просто [Электронный ресурс] / насосы паротурбинных установок ТЭС – это очень просто. – Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/115940> /. – Дата доступа: 20.03.2024.
2. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций [Электронный ресурс] / вспомогательное оборудование тепловых электростанций. – Режим доступа: <https://energoworld.ru/files/2014/01/Rihter-Elizarov-Lavyigin-Vspomogatelnoe-oborudovanie-teplovyih-e%60lektrostantsiy> /. – Дата доступа: 24.03.2024.

УДК 621.438

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ФИРМЫ GENERAL ELECTRIC SOME DESIGNING PRINCIPLES OF GENERAL ELECTRIC'S GAS TURBINES

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедевич

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

T. Pozharitsky, S. Krutsikau, I. Lebedevich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: рассмотрены основные принципы проектирования газотурбинных установок фирмы General Electric. Приведены основные характеристики энергетических газотурбинных установок и комбинированных парогазовых установок этой фирмы.

Abstract: the basic principles of designing of General Electric's gas turbine units are considered. The main characteristics of gas turbine units and combined cycle units of this company are given.

Ключевые слова: газотурбинные установки, парогазовые установки, принципы конструирования, показатели.

Keywords: gas turbine units, combined cycle units, designing principles, indicators.

Введение

Газотурбинные технологии за последние полвека получили интенсивное развитие. Мощность и эффективность газотурбинных (ГТУ) и парогазовых (ПГУ) установок на их основе непрерывно и последовательно возрастают; совершенствуются основные компоненты установок. На примере ГТУ фирмы General Electric (GE) рассмотрим некоторые базовых принципы проектирования этих энергоустановок, позволившие им занять достойное место на энергетическом рынке.

Основная часть

Рассмотрим значение некоторых принятых фирмой GE за основу принципов, соблюдаемых при конструировании газотурбинных установок, и целей, преследуемых при их разработке, применительно ко всему семейству газовых турбин.

К основным принципам относятся:

- постепенное совершенствование конструкции,
- масштабное изменение геометрических размеров и
- тщательная проработка до запуска в производство.

Подход по принципу постепенного совершенствования конструкции оказался весьма плодотворным и еще послужит основой для будущих разработок.

В результате применения эволюционного подхода, составляющего суть первого принципа, создано, в частности, семейство осевых компрессоров, технические данные которых, такие как расход воздуха, степень сжатия и КПД, улучшались для каждого следующего аппарата в семействе, сохраняя надежность на уровне прежнего испытанного устройства.

Еще одним успешным результатом использования эволюционного подхода является усовершенствование турбины MS7001. Ее эксплуатационные характеристики улучшили поэтапно, последовательно создав пять модификаций, А, В, С, Е, ЕА и F.

Второй чрезвычайно плодотворный руководящий принцип разработки изделий фирмы GE заключается в масштабном изменении геометрических размеров как компрессоров, так и самих турбин.

Использование масштабного изменения геометрических размеров основано на возможности уменьшать или увеличивать физические размеры машины, одновременно увеличивая или уменьшая число оборотов с целью получения аэродинамически и механически подобных компрессоров и турбин.

Применение принципа масштабного изменения размеров позволило создать семейство компрессоров и турбин на базе уже испытанных конструкций.

Такие агрегаты, как MS1002, MS5001, MS6001 и MS9001, спроектированы по принципу масштабного изменения геометрических размеров одноименных компонентов конструкции агрегатов MS3002 и MS7001 с сохранением геометрического подобия упомянутым компонентам.

Благодаря этому обеспечена неизменность температур, давлений, углов установки лопаток и напряжений. Кроме того, не изменяют своих значений такие важные параметры циклов, как степень сжатия и КПД.

Если коэффициент масштабного преобразования выразить через отношение диаметров валов, то число их оборотов изменяется обратно пропорционально этому отношению.

Линейные размеры изменяются прямо пропорционально коэффициенту масштабного преобразования; изменение расхода воздуха и мощности пропорционально квадрату коэффициента масштабного преобразования; изменение массы пропорционально кубу коэффициента масштабного преобразования как показано в таблице 1 [1].

Отношения частот вибрации лопаток к частоте оборотов и напряжениям, вызванным действием центробежных сил, имеют постоянное значение для всех компрессоров и турбин с подобными геометрическими размерами. Из вышесказанного следует, что применение принципа масштабного преобразования геометрических размеров допускает максимальное использование ранее накопленного опыта.

Суть третьего руководящего принципа конструирования, соблюдаемого фирмой GE, состоит в тщательной опытно-конструкторской проработке. Такая

проработка включает в себя анализ конструкции, высокое качество изготовления, испытания и учет опыта эксплуатации. Свидетельством неуклонного соблюдения фирмой GE данного принципа являются ее крупные инвестиции в оборудование, необходимое для проведения опытно-конструкторских работ и испытаний.

Большое значение имеют также проблемы компактности, обеспечения гибкости в использовании различных видов топлива и снижения требований к техническому обслуживанию.

Таблица 1 Коэффициенты масштабного преобразования размеров [1]

Коэффициент масштабного преобразования размеров	0,5	1	2
Степень сжатия	1	1	1
КПД	1	1	1
Об/мин	2	1	0,5
Линейные скорости	1	1	1
Расход воздуха	0,25	1	4
Мощность	0,25	1	4
Масса	0,125	1	8
Напряжения	1	1	1
Частота/диапазон изменения скорости вращения	1	1	1
Скорость конца лопатки	1	1	1

Для наглядности в таблице 2 приведены основные показатели линейки ГТУ фирмы GE и ПГУ на их основе.

Таблица 2 – Основные показатели ГТУ фирмы GE и ПГУ на их основе [2]

Тип ГТУ	Вид установки	Мощность, МВт	Частота, Гц	КПД, %
MS9001H	ПГУ	520	50	58,0
MS7001H	ПГУ	400	60	57,4
MS9001FB	ПГУ	412,9	50	54,7
MS7001FB	ПГУ	280,3	60	54,6
MS6001FA	ПГУ	117,7	50	35,0
	ПГУ	118,1	60	34,8
	ГТУ	75,9	50	56,0
	ГТУ	75,9	60	36,5
MS7001FA	ПГУ	262,6	60	56,7
	ГТУ	171,7	60	36,9
MS9001FA	ПГУ	390,8	50	51,9
	ГТУ	255,6	50	33,8
MS9001E	ПГУ	193,2	50	50,2
	ГТУ	126,1	50	32,7
MS7001EA	ПГУ	130,2	60	54,0
	ГТУ	85,1	60	54,0
MS6001B	ПГУ	62,8	50	36,3
	ПГУ	62,8	60	36,3
	ГТУ	42,3	50	49,0

MS6001C	ГТУ	42,3	60	49,0
	ПГУ	64,3	50	32,1
	ПГУ	64,3	60	58,0
	ГТУ	42,1	50/60	57,4

Заключение

Рассмотренные принципы конструирования в значительной степени обеспечили постоянное совершенствование газовых турбин соответственно уровню современной технологии, ими и в настоящее время продолжают руководствоваться при выполнении научно-технических и опытно-конструкторских работ.

Литература

1. Brandt, D. Принципы конструирования газовых турбин фирмы GE / D. Brandt, R. Wesorick // GE Industrial & Power Systems Schenectady, NY.
2. GE Energy Gas turbine and combined cycle products [Электронный ресурс] / GE Energy Gas turbine and combined cycle products. – Режим доступа: <https://generalequipment.info/FRAME%209.pdf> /. – Дата доступа: 01.03.2024.

УДК 662.6:621.18:542.63

НЕТОПЛИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕЙ NON-FUEL USE OF COALS

Н.А. Петруша

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

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

***Аннотация:** в данной статье рассматривается использование угля не только в качестве энергетического топлива.*

***Annotation:** this article discusses the use of coal not only as an energy fuel.*

***Ключевые слова:** уголь, энергетическое топливо, гидрогенизация угля.*

***Key words:** coal, energy fuel, coal hydrogenation.*

Введение

Каменные и бурые угли продолжают занимать большую долю в мировых запасах топливных ресурсов и в основном используются как энергетическое топливо. В настоящее время примерно одна четверть добываемого угля идет на коксование. Расширяются обогащение углей и получение сортового топлива. Вместе с тем имеются объективные предпосылки для «нетопливного использования углей», т.е. использования малозольного угля в основном как химико-технологического сырья с созданием схем его переработки для извлечения химических продуктов и материалов [1].

Основная часть

Предпосылки для организации новых процессов переработки углей обеспечиваются широкой гаммой их видов: от сапропелитов (получивших название от греческих слов сапрос – гнилой и пелос – ил) и богхедов, бурых и каменных углей до тощих углей и антрацитов. Установлено, что основными химическими элементами углей являются гуминовые кислоты, битумы и нерастворимые в водных щелочных растворах так называемые остаточные угли или гумины. Битумы горючих ископаемых условно делятся на восковую и смоляную части, которые отличаются по химическому составу и качеству. Восковая составляющая битумов получила широкое применение в разных отраслях хозяйства. Гуминовые кислоты, являющиеся основным компонентом бурых углей, составляют группу аморфных, высокомолекулярных кислот, связанных общим типом строения, и имеющих склонность к различного вида конденсациям и окислительно-гидролитическому расщеплению.

В последние десятилетия созданы и проходят проверку в промышленных условиях новые перспективные технологические схемы и процессы, позволяющие на основе углей производить продукцию различного назначения. При этом предусматриваются как крупномасштабные производства, так и

получение небольших по тоннажу продуктов и веществ, например, адсорбентов, углеграфитовых – углеродных материалов из углей, сажи из углей, угольного порошка для литейного производства, буроугольного воска и т.п. Иногда неизбежно параллельное получение и химических и топливных продуктов, например, посредством гидрогенизации и газификации углей.

Химические свойства углей допускают в окислительных процессах производить из них технологические газы, например, водород, а в восстановительных – жидкое (моторное) топливо, смазочные масла и т.п. Важной для энергетики страны является при этом возможность получения малосернистого котельного топлива, поскольку удаление серы при сжигании сернистого топлива становится обременительно для экономики страны.

Возможность получения синтетического жидкого топлива (СЖТ) из угля известна с начала XX столетия. Существуют два различающихся способа его производства: деструктивная гидрогенизация и каталитический синтез из оксида углерода и водорода. В настоящее время о механизме и кинетике обоих процессов имеются главным образом эмпирические представления.

Сущность гидрогенизации (деструктивной гидрогенизации) основывается на разрыве молекулы базового продукта по связи между атомами углерода под влиянием температуры, поскольку эта связь наиболее слабая (300-340 кДж/моль), т.е. происходит крекинг – разрыв C-C связи [2]. Получившиеся при разрыве молекулы свободные связи (неспаренные электроны) насыщаются водородом. Высокая энергия связи между атомами водорода (430 кДж/кг) требует для осуществления процесса использования катализаторов (помимо термического воздействия). Процесс осуществляется в несколько стадий, каждая из которых энергетически меньше связи *H-H*.

При гидрогенизации твердого топлива решаются две задачи: перевод в жидкую форму исходного топлива и наполнение его водородом в степени, зависящей от целевого назначения продуктов процесса. Например, для выделения бензина необходимо приблизить химический состав применённого угля и бензина по водороду (количество водорода в бензине высокое – 17-18 мас. %, а в углях водорода меньше – от 9 до 3,5 мас. %). Первая и частично вторая задачи решаются на промышленных установках в жидкофазной ступени процесса под давлением водорода 300-700 кгс/см² и температуре 480-490°С, в присутствии катализаторов и растворителей – доноров водорода, например, нафтеноароматических углеводородов.

Товарные продукты получают после гидрогенизационного облагораживания оживленного угля. В зависимости от протекания процесса и качества превращения органической массы угля способ гидрогенизации обеспечивает превращение твердого топлива в высококачественное моторное горючее (дизель, бензин, реактивное и малосернистое котельное топливо) и сырьё для органического синтеза, в том числе моно- и полициклические ароматические углеводороды, фенолы, азотистые основания и др.



Рисунок 1 – Схема жидкофазной гидрогенизации угля
 1 – приготовление топливно-масляной пасты;
 2 – гидрогенизация пасты; 3 – переработка продуктов процесса [1]

Современная схема жидкофазной гидрогенизации твердого топлива (рисунок 1) состоит из следующих этапов: приготовление топливно-масляной пасты, гидрогенизацию пасты и переработку продуктов процесса.

Особенностью первой стадии процесса является пропитка твердого топлива класса 20-30 мм раствором сернокислого железа $FeSO_4$ (1,2-1,8%), измельчение до размера зерен 1 мм, подсушка до влажности 2-3%, смешивание угля с пастообразователем – продуктами ожигения угля с температурой кипения 300-325 °С в шаровой мельнице и дополнительное измельчение.

Выход химических продуктов, например, из битуминозного каменного угля, следующий (%): фенол – 1,9; крезолы – 2,6; ксилолы – 1,6; бензол – 8,2; толуол – 13,9; ксилолы – 15,4; этилбензол – 2,8; нафталин – 3,7; растворители – 6,8; бензин – 26,7.

Эффективность процесса гидрогенизации в значительной степени определяется активностью применяемого катализатора. В промышленности в качестве катализатора применяются триоксид молибдена MoO_3 , соединения никеля, более дешевые соединения, содержащие оксиды железа и сернокислого железа, гидрат оксида олова или хлористое олово и т.п.

Содержание золы в углях, поступающих на переработку, составляет обычно 4-6, редко 10-15% (бурые угли).

Оптимальная мощность гидрогенизационных заводов составляет ~ 150 тыс. т бензина в год. Важное значение в стоимости гидрогенизационного

бензина имеют затраты на производство водорода, полный расход которого на процесс составляет 8-10%. Стоимость электролитического водорода высока, поэтому водород обычно получают из водяного газа или из углеводородных газов.

Заключение

За время первой мировой войны с помощью гидрогенизации в Германии получали 15-20% бензина от органической массы угля (при общем количестве жидких продуктов 50%). В последствии синтез бензина был доведен до 60%.

Исследования по разработке новых методов превращения углей в жидкие продукты проводятся в РФ, Польше, США, Германии, Индии, Англии и других странах в основном в связи с проблемой переработки углей на месте добычи в высококалорийные сорта топлива.

Литература

1. Росляков, П.В. Экологически чистые технологии использования угля на ТЭС: учеб. пособие. / П.В. Росляков, М.А. Изюмов. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 124 с.
2. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): справочник / В.С. Вдовченко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.

УДК 620.193

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ В ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ LOW-TEMPERATURE CORROSION IN GAS-AND-OIL BOILERS

В.И. Хамицкая

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

V. Khamitskaya

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

Аннотация: в данной статье рассматриваются низкотемпературная коррозия поверхностей нагрева и причины ее образования, а также факторы, способствующие развитию коррозии, предлагаются методы ее предотвращения.

Annotation: this article discusses the low-temperature corrosion of heating surfaces and the causes of its formation, as well as factors contributing to the development of corrosion, and suggests methods to prevent it.

Ключевые слова: коррозия, газомазутные котлы, поверхность нагрева, сернистые соединения, конденсация.

Key words: corrosion, oil and gas boilers, heating surface, sulfur compounds, condensation.

Введение

Борьба с коррозией является одним из важных вопросов безопасности и эффективной эксплуатации энергетического оборудования. На сегодняшний день на основе результатов анализа и экспериментов сообщается о различных видах коррозии.

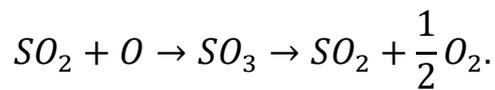
Паровые котлы являются важной частью энергетической отрасли, обеспечивая производство тепла и электроэнергии. Однако, они подвержены различным видам коррозии, что может привести к серьезным проблемам с их надежностью и безопасностью. Коррозия в паровых котлах может быть вызвана как высокими, так и низкими температурами, агрессивными средами, содержанием серы в топливе и другими факторами. Это может привести к повреждениям структурных элементов котла, образованию коррозионных отложений, уменьшению эффективности его работы и даже к возникновению аварийных ситуаций. Контроль коррозии в паровых котлах играет решающую роль в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации.

Основная часть

Низкотемпературная коррозия – это процесс разрушения металлических поверхностей, который происходит при низких температурах. Она обусловлена химическими реакциями между металлом и агрессивными химическими компонентами, которые присутствуют в продуктах сгорания.

Процесс образования SO_3 на поверхности нагрева котла может быть описан следующим образом. Топливо, содержащее серу, подается в котел и сжигается, выделяя при этом серу в виде сероводорода (H_2S) и других сернистых соединений. Сернистые соединения взаимодействуют с кислородом, что приводит к образованию серного ангидрида (SO_3) [1].

Общий процесс образования и разложения SO_3 в зоне факела:



В газомазутных котлах низкотемпературная коррозия может быть вызвана следующими факторами:

- 1) содержание серы в топливе (газ и мазут могут содержать серу, при сгорании топлива сера превращается в сероводород (H_2S) и другие агрессивные соединения);
- 2) влажность (наличие влаги в продуктах сгорания может ускорить процесс конденсации агрессивных компонентов на поверхности металла);
- 3) температурные перепады (резкие изменения температуры могут создать условия для конденсации влаги);
- 4) материалы конструкции (использование неподходящих материалов или отсутствие защитных покрытий на металлических поверхностях котла также может увеличить низкотемпературную коррозию).

Эти факторы в совокупности или по отдельности могут способствовать развитию низкотемпературной коррозии в котлах.

При воздействии конденсирующих паров серной кислоты на поверхности нагрева происходит коррозия. Пары серной кислоты (H_2SO_4) конденсируются на этих поверхностях при высоких температурах, которые в свою очередь превышают температуру конденсации водяных паров на 50–100 °С. Температура начала конденсации влаги на поверхности есть температура точки росы. При взаимодействии серной кислоты с металлом образуются сульфаты железа $FeSO_4$ и $Fe_2(SO_4)_3$, которые являются причиной коррозионных повреждений. Необходимо поддерживать температуру стенок поверхностей нагрева выше температуры точки росы дымовых газов, чтобы предотвратить их коррозию.

Низкотемпературная коррозия может негативно влиять на работу котла. Образование коррозионных отложений на поверхности теплообменников и трубопроводов снижает эффективность передачи тепла, что приводит к уменьшению КПД котла из-за потери тепла. А постоянное воздействие низкотемпературной коррозии может ускорить износ и старение металлических поверхностей, что приведет к сокращению срока службы котла и его компонентов. Предотвращение низкотемпературной коррозии играет важную роль в обеспечении экономической и энергоэффективной работы производственных процессов.

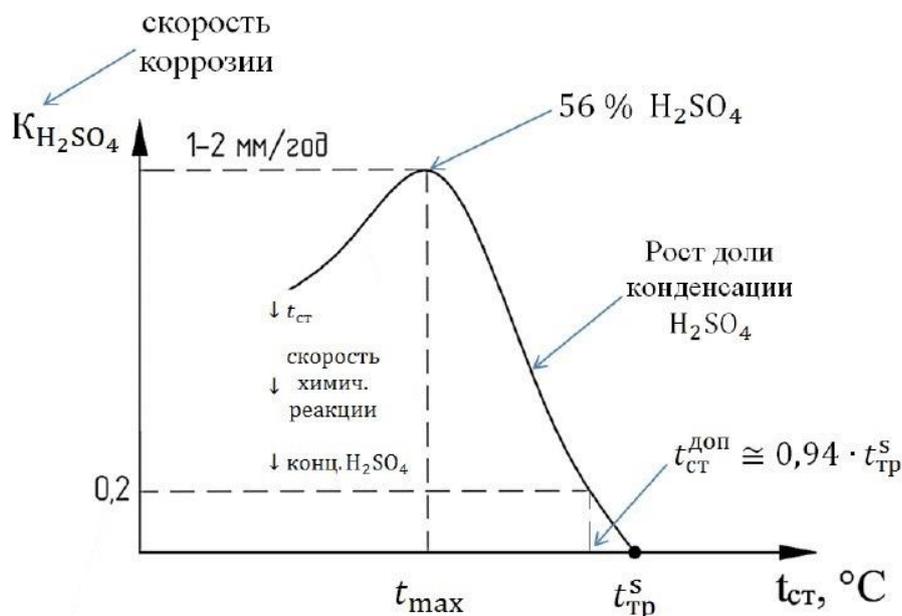


Рисунок 1 – Зависимость скорости коррозии от температуры стенки [2]

Методы борьбы с низкотемпературной коррозией:

- использование топлива с низким содержанием серы;
- предварительный подогрев воздуха;
- уменьшение коэффициента избытка воздуха;
- применение коррозионностойких материалов.

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что низкотемпературная коррозия представляет серьезную проблему для работы котлов, так как процесс коррозии может привести к значительным эксплуатационным проблемам, включая снижение коэффициента полезного действия (КПД) котла, увеличение затрат на обслуживание и ремонт, а также сокращение срока службы оборудования. Необходимо применять комплексные подходы для более эффективной борьбы с низкотемпературной коррозией.

Литература

3. Жихар, Г.И. Физико-химические процессы в газомазутных котлах / Г.И. Жихар. – Минск: Тэхналогія, 2002. – 326 с.
4. Низкотемпературная коррозия, подогрев воздуха перед воздухоподогревателем [Электронный ресурс] / Низкотемпературная коррозия. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/16425165/page:4/>. – Дата доступа: 14.04.2024.

УДК 621.184.44

**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА
LOW-TEMPERATURE HEATING SURFACES**

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
levshin@bntu.by

V. Bakalova, N. Samsonov

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье подробно описаны низкотемпературные поверхности нагрева и их принцип работы. Отдельно рассмотрен принцип работы экономайзера и воздухоподогревателя. Особое же внимание уделяется методам предотвращения коррозии и абразивного износа поверхностей нагрева. В заключении делается вывод о значимости последних для эффективной работы электростанций.

Annotation: this article describes in detail the low-temperature heating surfaces and their principle of operation. The principle of operation of the economizer and the air heater is considered separately. Special attention is paid to methods of preventing corrosion and abrasive wear of heating surfaces. In conclusion, it is concluded that the latter are important for the efficient operation of power plants.

Ключевые слова: экономайзер, воздухоподогреватель, перетоки, уплотнения, экраны, коррозия, абразивный износ.

Key words: economizer, air heater, overflows, seals, screens, corrosion, abrasive wear.

Введение

Низкопотенциальные поверхности нагрева, основной задачей которых является повышение эффективности топливоиспользования, такие как экономайзер и воздухоподогреватель, играют ключевую роль при эксплуатации паровых и водогрейных котлов. Эти поверхности находятся в нижней части котла и являются последними рабочими поверхностями в тепловом процессе. Они работают при температурах от 400 до 120 °С, что делает их важными звеньями в обеспечении оптимальной работы котлоагрегата.

Основная часть

Экономайзеры. Экономайзеры с змеевиковой конструкцией, выполненные аналогично пароперегревателям, имеют широкий диапазон рабочих давлений и конструктивно определяют основной тип экономайзеров, который наиболее часто используется в конструкции котлов. Основные конструктивные параметры экономайзеров при проектировании и изготовлении в основном предопределяется видом используемого топлива. Наиболее сильным загрязнением поверхности нагрева подвергаются при использовании твердых видов топлива. Поэтому, с целью предотвращения загрязнения поверхности

нагрева, змеевики экономайзеров изготавливают со следующими параметрами: стальные трубы наружным 28 до 35 мм и толщиной стенки от 2,5 до 3,5 мм. Геометрия трубного пучка, как правило, имеет компоновку шахматного порядка поперечного омывания продуктами сгорания. С целью интенсификации процесса теплообмена змеевики труб располагаются как горизонтально, так и вертикально относительно котла. Входные и выходные коллектора, соединяющие концы змеевиков имеет как правило неразъемное соединение с помощью сварки. С целью исключения присосов воздуха коллекторы размещаются в теплоизолирующих камерах. Пакетирования стандартной высотой до 1 метра является типовым решением при проведении ремонтных работ и обслуживании экономайзеров.

В паровых котлах экраны экономайзеров размещаются с двух сторон, создавая симметричную форму. Их укладываются вдоль боковых стенок, что обеспечивает оптимальный теплообмен. В случае, когда температура выходящей воды не достигает необходимой температуры для обеспечения процесса испарения, экраны называют «некипящими». Если же на выходе образуется пар, экраны называют «кипящими». Уникальная конструкция экономайзеров позволяет им эффективно функционировать в обоих режимах, обеспечивая оптимальные условия для теплообмена.

Недостатки низкотемпературных поверхностей нагрева – высокая степень коррозии со стороны газового потока, загрязнение золой и износ металла. Для борьбы с этими проблемами разрабатываются компактные элементы. Особую сложность представляет кислородная коррозия и расслоение паровой смеси, вызванные пузырьками, образующимися из-за недостаточной скорости воды при нагреве. Для предотвращения этих проблем необходимо правильно подбирать скорость движения воды. Для некипящих экранов требуется скорость не менее $500 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, а для кипящих – не менее $1000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Увеличение скорости движения воды повышает надежность работы металла, однако параллельно увеличивает энергозатраты.

Следующий вид экономайзеров – мембранный. Эти устройства представляют собой змеевики, где гладкие трубы соединены с листами стали. Основным преимуществом данного типа экономайзеров по сравнению с традиционным гладкотрубным решением является более высокая надежность при эксплуатации и лучшие весогабаритные характеристики при их изготовлении.

Воздухоподогреватели. Различают следующие виды воздухоподогревателей:

1) *Рекуперативные воздухоподогреватели.* Уникальным аспектом здесь является использование неподвижной поверхности нагрева, обеспечивающей непрерывный теплообмен между продуктами сгорания и воздухом. Наибольшее распространение получили трубчатые воздухоподогреватели. Наиболее широкое применение получили трубчатые воздухоподогреватели, в которых стальные трубы расположены вертикально в шахматном порядке. В воздухоподогревателях данного типа продукты сгорания движутся по трубам, а в межтрубном пространстве нагреваемый воздух. Надежность и простота

компоновочных решений являются их основными преимуществами. Основным же недостатком применения данного типа воздухоподогревателей является их сравнительно слабая способность противостоять сквозной коррозии, что приводит к росту присосов, повышению объема продуктов сгорания и, как следствие, снижению экономичности работы котла за счет увеличения потери теплоты с уходящими газами q_2 .

2) *Регенеративные воздухоподогреватели.* Уникальность данного типа воздухоподогревателей состоит в возможности их размещения за пределами котла, а также конструктивном исполнении, которое основано на принципе аккумуляции теплоты гофрированными стальными пластинами при их поочередном перемещении в продукты сгорания и нагреваемый воздух. Вращающиеся регенеративные воздухоподогреватели получили наиболее широкое применение. Основным рабочим элементом РВП являются специальные стальные листовые гофрированные секции-набивки, образующие каналы диаметром от 8 до 9 мм для передачи тепла между продуктами сгорания и воздухом. Основным недостатком РВП является высокие присосы воздуха, что создает дополнительную нагрузку на тягодутьевые механизмы котла и снижает эффективность его работы за счет роста объемов продуктов сгорания. Для их исключения используют уплотнения следующих типов, в зависимости от места их размещения:

- 1) периферическое кольцевое (внешняя поверхность ротора);
- 2) внутреннее кольцевое (вокруг вала РВП);
- 3) радиальные (разделяют воздушные и газовые потоки).

Кроме того, для уменьшения присосов воздуха в качестве конструктивного решения на крупных РВП используются отсосы воздуха.

Условия работы низкотемпературных поверхностей нагрева

Способность противостоять разрушению металла поверхности воздухоподогревателя в следствии коррозии в области низких температур является основным определяющим фактором надежности его работы. Данный тип коррозии вызван взаимодействием металла и серной кислоты, если металлическая поверхность покрыта пленкой влаги. При сжигании топлив с содержанием серы образуется оксид SO_2 , который в последующем в зоне высоких температур доокисляется до SO_3 . Далее по мере снижения температуры происходит образование паров серной кислоты при взаимодействии SO_3 с водяными парами. Процесс завершается при достижении температуры равной 260 °С.

Методы повышения коррозионной стойкости воздухоподогревателей:

- 1) обработка металла специальными материалами, замедляющими процесс коррозии;
- 2) использование специальных материалов при изготовлении;
- 3) снижение концентрации коррозионно активных веществ в продуктах сгорания;
- 4) предварительный подогрев воздуха.

Загрязнение и абразивный износ поверхностей. В зоне низких температур газового потока для поверхностей труб наиболее частой проблемой являются

сыпучие отложения. Они образуются преимущественно по направлению движения потока на тыльной стороне трубы и параллельно ухудшают процессы теплообмена.

Факторы, влияющие на загрязнение поверхностей нагрева:

1) вид топлива. Так, например, при сжигании антрацитов поверхности нагрева загрязняются быстрее, нежели при сжигании другого вида топлива. Это обусловлено тем, что антрациты размалывают до более тонкого помола в отличие от других видов топлива;

2) тип пучка труб. При равных условиях коридорный пучок загрязняется в 2-3 раза сильнее, нежели шахматный;

3) скорость газов. При низкой скорости (3-4 м/с и меньше) степень загрязнения увеличивается.

Суть абразивного износа в том, что крупные твердые и/или острые частицы золы, ударяясь о стенки труб, постоянно стесывают с их поверхности слои металла. В силу чего в этом месте наблюдается уменьшение толщины стенки трубы.

Заключение

Хотя процессы, протекающие в экономайзере и воздухоподогревателе, отличны друг от друга, имеет место быть взаимосвязь тепловой работы вышеуказанных поверхностей нагрева. В заключении можно отметить, что низкопотенциальные поверхности нагрева существенно повышают экономичность топливоиспользования, интенсифицируют процесс воспламенения и горения топлива, имеют умеренные весогабаритные и стоимостные характеристики.

Литература

1. Котельные установки электростанций [Электронный ресурс] / Котельные установки электростанций. – Режим доступа: <https://teplota.org.ua/2013-08-30-reznikov-lipov-parovye-kotly-teplovyyh-elektrostantsii.html> /. – Дата доступа: 20.03.2024.

2. Комплексное исследование труб змеевика экономайзера котла [Электронный ресурс] / Комплексное исследование труб змеевика экономайзера котла. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-trub-zmeevika-ekonomayzera-kotla-de-25-24-250gm-0/viewer> /. – Дата доступа: 25.03.2024.

УДК 621.3

**ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ЖИДКОГО
ТОПЛИВА****FORMATION OF NITROGEN OXIDES DURING THE COMBUSTION
OF LIQUID FUELS**

В.И. Хамицкая

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

V. Khamitskaya

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

***Аннотация:** в данной статье рассматриваются вопросы снижения концентрации оксидов азота при сжигании жидкого топлива, различные методы и технологии, направленные на уменьшение выбросов оксидов азота в атмосферу.*

***Annotation:** this article discusses the issues of reducing the concentration of nitrogen oxides during the combustion of liquid fuels, various methods and technologies aimed at reducing emissions of nitrogen oxides into the atmosphere.*

***Ключевые слова:** оксиды азота, горение, жидкое топливо, рециркуляция газов, ступенчатое сжигание.*

***Key words:** nitrogen oxides, burning, liquid fuel, gas recirculation, stepwise combustion.*

Введение

Сжигание топлива является важным источником энергии, однако его воздействие на окружающую среду требует серьезного внимания. Выбросы загрязняющих веществ при сжигании топлива зависят от нескольких факторов, в том числе от типа и качества сжигаемого топлива, эффективности процессов сгорания и наличия технологий контроля выбросов. Развитие и внедрение чистых и эффективных технологий, а также переход к более экологически устойчивым источникам энергии являются ключевыми шагами в направлении сохранения окружающей среды и обеспечения устойчивого развития.

Продукты сгорания тепловых электрических станций и котельных являются источниками загрязнения атмосферы. Их выбросы могут содержать оксиды азота (NO_x), оксиды серы (SO_x), углеводороды, тяжелые металлы и твердые частицы (пыль). Оксиды азота являются одним из основных токсичных компонентов при сжигании природного газа и мазута, их выбросы имеют серьезное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Основная часть

Сжигание жидкого топлива – сложный процесс, включающий ряд физических и химических стадий. Основным принципом сгорания жидкого топлива является быстрая химическая реакция между топливом и окислителем, обычно атмосферным кислородом, с образованием тепла и продуктов сгорания.

Эта реакция сильно экзотермична, что означает выделение значительного количества тепла. При сжигании топлива в топках паровых котлов образуется оксид азота NO_x , который в свою очередь состоит из оксида NO и диоксида NO_2 . Содержание оксида NO на выходе из дымовых труб составляет до 95% общего количества оксидов азота ($NO_x = NO + NO_2$). Доокисление оксида NO до NO_2 происходит в атмосфере [1].

Оксиды азота образуются при сгорании топлива тремя возможными способами:

- 1) топливные – образуются в основном при низких температурах в результате реакций азота, содержащегося в топливе, с кислородом;
- 2) термические – образуются при высоких температурах в результате реакции между кислородом и азотом в воздухе;
- 3) быстрые – образуются в начальной фазе горения топлива в результате быстрых химических реакций между азотом и кислородом.

Высокие температуры в горении, увеличение кислородного числа, более длительное время пребывания при высоких температурах, концентрация азота (N_2) в воздухе и в самих топливах – все это способствует образованию большего количества NO_x .

Существует множество способов снижения выбросов NO_x [2].

1. На стадии подготовки топлива:

- высокотемпературный подогрев мазута;
- получение «чистого» топлива.

2. На стадии сжигания топлива:

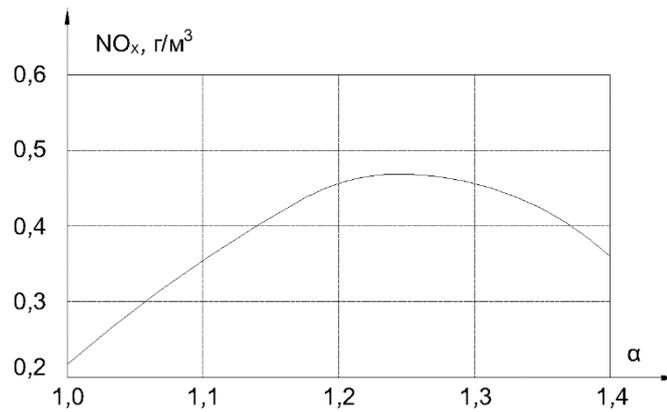
- режимные мероприятия, такие как снижение избытка воздуха, рециркуляция дымовых газов, снижение температуры горячего воздуха, впрыск влаги;
- конструктивные мероприятия, такие как сжигание в кипящем слое, усовершенствование конструкции топок, ступенчатое сжигание, усовершенствование конструкции горелок.

3. На стадии очистки газов:

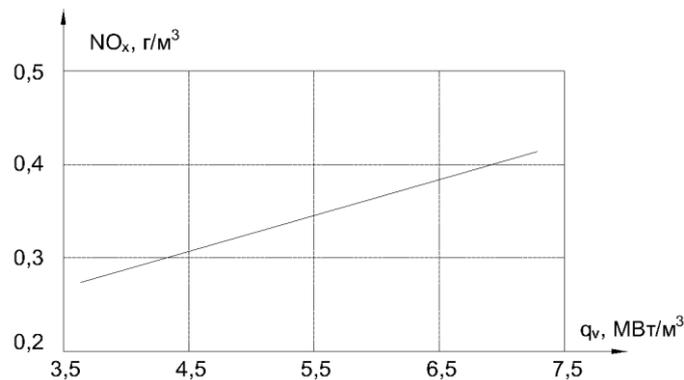
- восстановление NO_x до N_2 ;
- очистка дымовых газов.

Рассмотрим результаты исследования влияния коэффициента избытка воздуха, нагрузки, доли аксиального воздуха, степени рециркуляции газов, ступенчатого сжигания на концентрацию оксидов азота при циклонном сжигании жидкого топлива [1]. Концентрация оксидов азота измерялась в сечении за циклонной камерой.

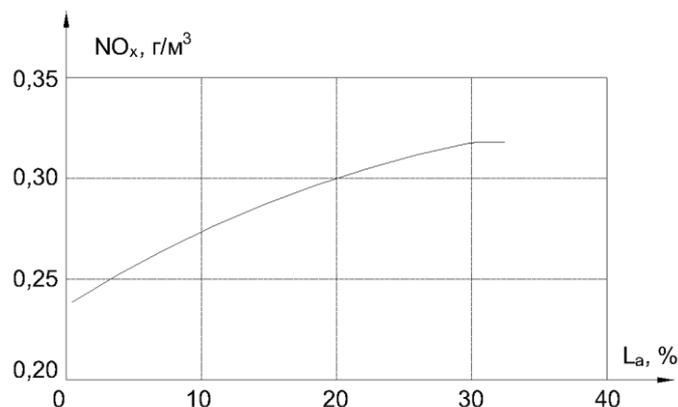
Зависимость NO_x от коэффициента избытка воздуха представлена на рисунке 1. Исходя из полученной зависимости видно, что максимум концентрации NO_x наблюдается при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,23-1,25$.

Рисунок 1 – Зависимость NO_x от коэффициента избытка воздуха

Зависимость NO_x от нагрузки представлена на рисунке 2. Концентрация NO_x возрастает с увеличением теплового напряжения объема циклона.

Рисунок 2 – Зависимость NO_x от нагрузки

Зависимость NO_x от доли аксиального воздуха представлена на рисунке 3. Можно сделать вывод, что аксиальный подвод воздуха способствует увеличению концентрации NO_x .

Рисунок 3 – Зависимость NO_x от доли аксиального воздуха

Зависимость NO_x от степени рециркуляции газов представлена на рисунке 4. При рециркуляции дымовых газов происходит уменьшение концентрации кислорода в зоне горения, что в свою очередь снижает концентрацию NO_x . Данная зависимость хорошо аппроксимируется выражением: $\frac{NO_x^{рец}}{NO_x} = e^{-2,71 \cdot r_{рец}}$.

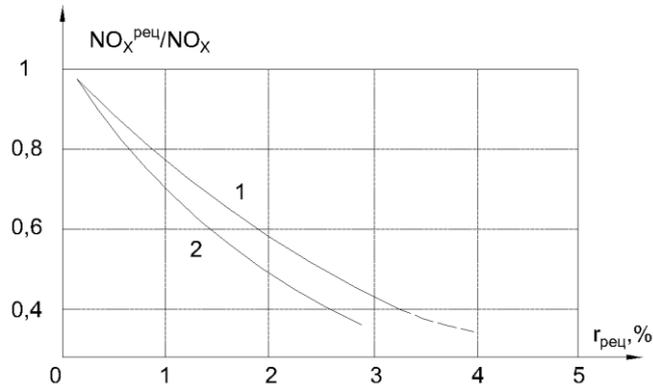


Рисунок 4 – Зависимость NO_x от степени рециркуляции газов (1 – экспериментальная кривая, 2 – расчетная кривая)

Зависимость NO_x от ступенчатого сжигания представлена на рисунке 5. Поскольку образование оксидов азота в основном зависит от высоких температур горения, ступенчатое сжигание позволяет снизить температуру в зоне горения и, следовательно, снизить образование оксидов азота. Чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем эффективнее ступенчатое сжигание и как следствие снижение концентрации NO_x .

Данная зависимость хорошо аппроксимируется выражением:

$$\frac{NO_x^{ступ}}{NO_x} = 1 - (7 - 4,8\alpha_{ц})\beta,$$

где $\beta = \frac{V_{втор}}{V_{общ}}$.

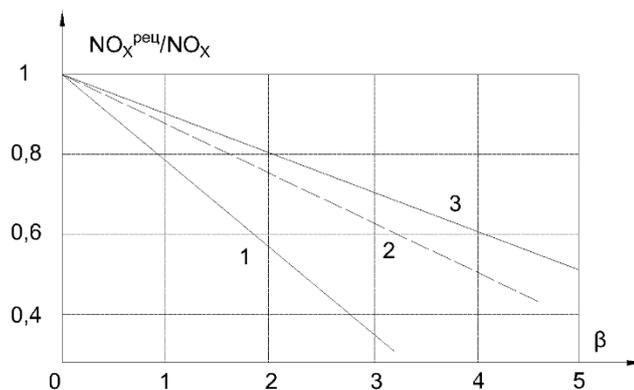


Рисунок 5 – Зависимость NO_x от доли вторичного воздуха (1 – $\alpha = 1,04$; 2 – $\alpha = 1,21$; 3 – $\alpha = 1,25$)

В результате исследования влияния различных факторов на снижение оксидов азота при сжигании жидкого топлива можно сделать вывод, что данные методы могут быть использованы для снижения концентрации NO_x . Выбор оптимального метода требует комплексного подхода и учета специфических условий каждой конкретной ситуации.

Заключение

Крупнейшим источником выбросов оксида азота являются котельные агрегаты. Уменьшить концентрацию оксидов азота можно режимными и конструктивными мероприятиями. Кроме того, постоянное исследование и разработка новых технологий позволят улучшить процессы сжигания и снизить их воздействие на окружающую среду.

Литература

5. Жихар, Г.И. Физико-химические процессы в газомазутных котлах / Г.И. Жихар. – Минск: Тэхналогія, 2002. – 326 с.
6. Методы снижения NO_x [Электронный ресурс] / Оксиды азота. – Режим доступа: <https://raadmanburner.com/ru/academy/nox-reduction-methods/>. – Дата доступа: 07.04.2024.

УДК 621.321

**ОПИСАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ОАО «БМЗ –
УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»
DESCRIPTION OF COGENERATION INSTALLATION AT OJSC "BMZ -
MANAGEMENT COMPANY OF THE HOLDING "BMK"**

В.Д. Лукьяненко, В.В. Бакалова

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

V. Lukyanenko, V. Bakalova
Scientific supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассмотрим принцип работы когенерационной установки и подробно опишем ее технические характеристики.*

***Annotation:** in this article, we will consider the operating principle of a cogeneration unit and describe in detail its technical characteristics.*

***Ключевые слова:** картер, установка, цикл, турбина, двигатель.*

***Key words:** crankcase, installation, cycle, turbine, engine.*

Введение

Когенерационная установка, также известная как теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), представляет собой установку, которая одновременно вырабатывает электроэнергию и полезное тепло из одного и того же источника энергии. Она предназначена для повышения эффективности использования энергии за счет улавливания и использования отходящего тепла, которое чаще всего теряется при традиционном производстве электроэнергии.

Основная часть

Существует множество видов когенерационных установок, каждая из которых использует разные источники энергии и технологии[1]:

1. Газовые когенерационные установки: работают на природном газе, биогазе, сниженном нефтяном газе (пропане) или других газообразных топливах.

2. Электростанции комбинированного цикла. Эти электростанции сочетают в себе газовую и паровую турбины для выработки электроэнергии. Газовая турбина использует природный газ или другое топливо для производства электроэнергии, а отходящее тепло рекуперировано для производства пара, который приводит в действие паровую турбину для дополнительной выработки электроэнергии.

3. Паровые когенерационные установки: используют паровые турбины или паровые двигатели для производства электроэнергии и тепла. Они могут работать на различных видах топлива, включая природный газ, уголь, древесину и другие.

4. Системы рекуперации отработанного тепла. Эти когенерационные установки улавливают отходящее тепло промышленных процессов, например, отработанные газы печей, котлов или другого оборудования. Отходящее тепло затем используется для выработки электроэнергии или обеспечения отопления/охлаждения объекта.

Конкретно на ОАО БМЗ используется когенерационная установка, которая вырабатывает электроэнергию путем отвода пара через рекуперационную установку от котельной. Основными составляющими такой установки являются: 4-тактный газовый мотор с водяным охлаждением, работающий на смеси, подготавливаемой турбонагнетателем. Используется смесь с увеличенной долей воздуха, которая позволяет уменьшить содержание вредных веществ в выхлопе уже в процессе горения.

Приведем описание когенерационной установки, используемой на ОАО БМЗ:

1. Картер. Важный элемент, который обеспечивает защиту и смазку двигателя или турбины. Картер отлит из специальной стали и имеет по бокам крышки. Он выполняет несколько функций [2]:

А) защита двигателя. Картер избавляет двигатель от внешних воздействий: пыли, грязи, влаги, которые могут негативно сказаться на работе данного устройства;

Б) сбор масла. Картер служит для сбора и хранения масла, которое смазывает двигатель. Он имеет специальные отверстия для слива масла;

В) охлаждение. Если в картер подается охладитель, то он может использоваться для охлаждения двигателя;

Г) уменьшение вибрации. Картер служит для снижения шума двигателя и вибраций.

2. Масляная ванна. Масляная ванна является частью системы смазки двигателя или турбины. Она представляет собой емкость, наполненную маслом, в которую погружены определенные части двигателя для обеспечения их смазки и охлаждения. В масляной ванне масло поддерживается при постоянной температуре и циркулирует через систему смазки, обеспечивая надлежащее смазывание и охлаждение двигателя. Она состоит из сварного стального листа и закрывает картер снизу.

3. Корпуса цилиндров. Представляют собой часть двигателя, в которой располагаются цилиндры и поршни. Этот компонент играет ключевую роль в процессе сжигания топлива и передачи энергии от сгорания к рабочему органу двигателя. Влажные, независимо друг от друга заменяемые втулки цилиндров сделаны методом центробежного литья и вставлены сверху в блок цилиндров. Кольца с круглым сечением, посаженные снаружи втулок, отделяют наполненные водой объемы от камеры сгорания (рисунок 1).

4. Коленчатый вал. Преобразует линейное движение поршня во вращательное движение, передавая энергию от сгорания топлива к рабочему органу двигателя, такому как генератор электроэнергии. Коленчатый вал выкован в штампе, сбалансирован статически и динамически ввинчиваемыми противовесами и опирается на 11 подшипников. Поверхности шеек опорных

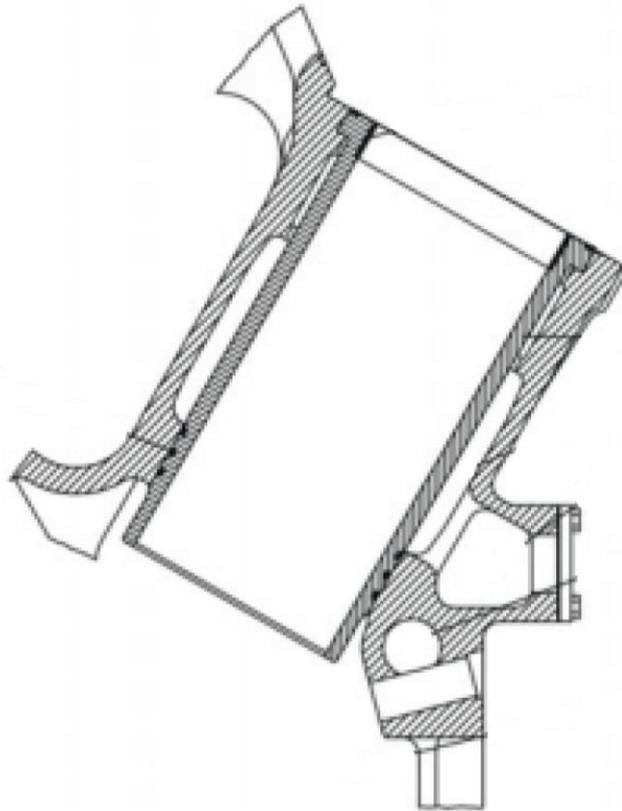


Рисунок 1 – Втулка цилиндра подшипников закалены и тонко отшлифованы. Коренной подшипник принимает на себя осевую нагрузку коленчатого вала. Смазка коренного подшипника происходит через масляные каналы в картере. На одном конце коленчатого вала установлен сбалансированный маховик с зубчатым колесом стартера, на другом конце – виброглушитель (рисунок 2).

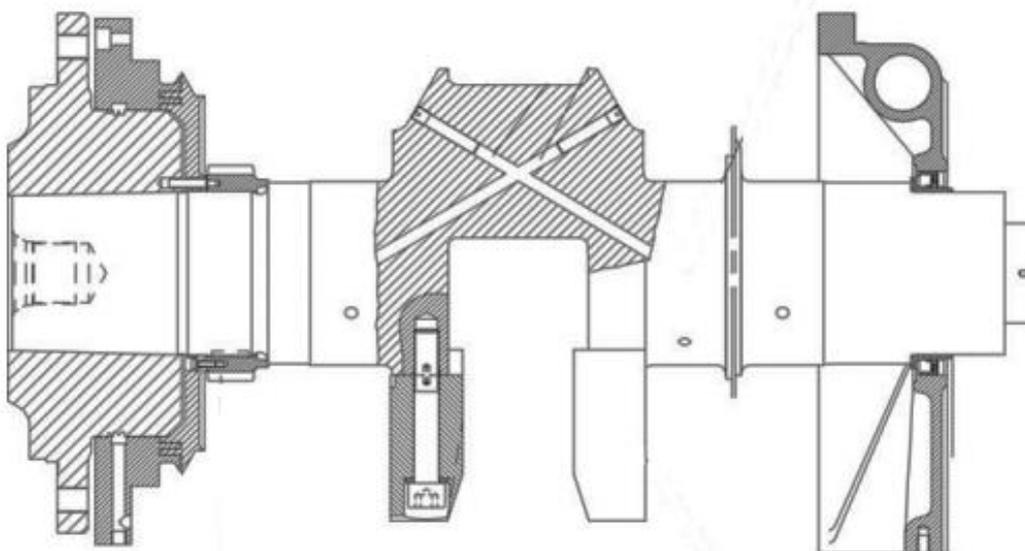


Рисунок 2 – Коленчатый вал в разрезе

5. Шатун. Важный элемент внутреннего сгорания двигателя, включая когенерационные установки. Шатун соединяет поршень с коленчатым валом и передает движение поршня на коленчатый вал, обеспечивая преобразование линейного движения поршня во вращательное движение. Для максимальной стабильности шатуна его поперечное сечение имеет I-образную форму. Смазка подшипников осуществляется через масляные каналы коленчатого вала. Поршневые пальцы получают масло из форсунок охлаждения поршня (рис 3).

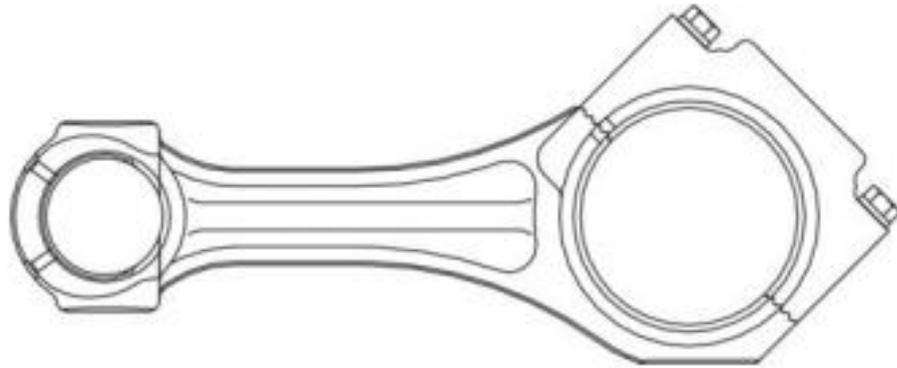


Рисунок 3 – Шатун

6. Виброглушитель. Служит снижению вибраций при вращении коленчатого вала. Он состоит из корпуса, закрытого со всех сторон, в котором установлен маховик. Пространство между корпусом и маховиком заполнено вязким силиконовым маслом (рисунок 4).

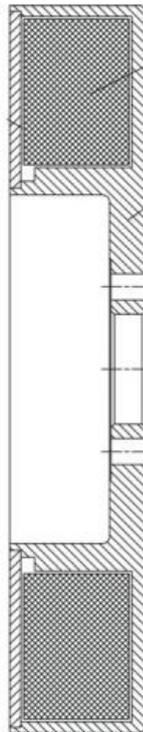


Рисунок 4 – Виброглушитель в разрезе

7. Поршни. Поршни сделаны из лёгкого металлического сплава, имеют канал для охлаждения, по одному кольцу с прямоугольным сечением, по два кольца с фасованным сечением и по одному кольцу, сидящему на гибкой шлангообразной пружине и имеющему желоб на наружной стороне. Охлаждающее масло поступает через форсунки, жестко монтированные на картере.

8. Турбонагнетатель. Выхлоп, входя в корпус турбины, вращает колесо турбины и через него – уплотняющее колесо, сидящее на том же валу. Уплотняющее колесо втягивает газоздушную смесь из смесителя и выжимает её через охладитель смеси (теплообменник смесь/вода) и дроссельные заслонки в мотор, туда, где всасывается топливо. Турбонагнетатель смазывается через систему смазки мотора.

Заключение

Когенерационные установки широко применяются в различных отраслях, включая промышленность, коммерцию, жилой сектор и другие. Они являются одним из способов повышения энергоэффективности и снижения экологического воздействия производственных процессов.

Литература

1. Устройство и принцип работы когенерационной установки [Электронный ресурс] / Устройство и принцип когенерационной установки. – <https://aieenergy.ru/kogeneracija/ustrojstvo-i-princip-raboty-kogeneracionnoj-ustanovki/>. Режим доступа: – Дата доступа: 12.04.2024.

2. Когенерационная установка на основе парогазовых систем [Электронный ресурс] / Когенерационная установка на основе парогазовых систем. –Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=96/>. – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 681.5.01

ОТИМАЛЬНОЕ СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА С КОРРЕКЦИЕЙ ПО СО
OPTIMAL FUEL COMBUSTION WITH CO CORRECTION

А.Ю. Какорина

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by
А. Какорина

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

Аннотация: существует множество различных методик энергосбережения. Одна из них, наиболее действенная, – это автоматизация процессов сжигания горючего в котельных. Безупречность процесса сжигания горючего определяет эффективность работы котельной, а также содействует охране окружающей среды от всевозможных загрязнений.

Abstract: there are many energy-saving methods. One of the most effective ones is automation of fuel burning processes in boiler houses. The perfection of the fuel burning process determines the efficiency of boiler house operation and also helps to protect the environment from various pollutants.

Ключевые слова: углекислый газ, монооксид углерода, топливо, вредные вещества, выбросы.

Keywords: carbon dioxide, carbon monoxide, fuel, hazardous substances, emissions.

Введение

Полное сжигание какого-либо вида органического топлива происходит под действием такого количества кислорода, которое полностью окисляет это топливо, образуются при этом продукты сгорания, такие как вода и углекислый газ. Оптимальное соотношение между топливом и воздухом во время процесса горения играет ключевую роль. Это гарантирует, что весь материал сгорает полностью, без избытка кислорода, что в конечном итоге сокращает выбросы вредных веществ в окружающую среду и максимизирует энергетическую эффективность топлива.

Повышение эффективности сжигания топлива и уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу представляет собой сложную задачу. Необходимо точно регулировать подачу топлива и воздуха, чтобы обеспечить полное сгорание горючих материалов. Решение такой задачи называется управление качеством сжигания органического топлива.

Основная часть

Для повышения эффективности сжигания органического топлива важно максимально использовать его потенциальную тепловую энергию. Одна из основных причин потери тепла заключается в неполном сгорании топлива из-за нехватки окислителя, что приводит к химическому недожогу. Для предотвращения этого можно следить за уровнем кислорода или монооксида

углерода (CO) в выхлопных газах и соответственно корректировать коэффициент избытка воздуха α в процессе сжигания топлива.

В системах управления котельными установками широко распространен метод параллельного регулирования, основанный на контроле давлений регулируемых потоков и настройке оптимального соотношения "топливо-воздух" при номинальной нагрузке. Это соотношение поддерживается постоянным независимо от изменений нагрузки котла. Тем не менее, такой подход может снижать КПД котла при работе на низких нагрузках (рисунок 1) [1].

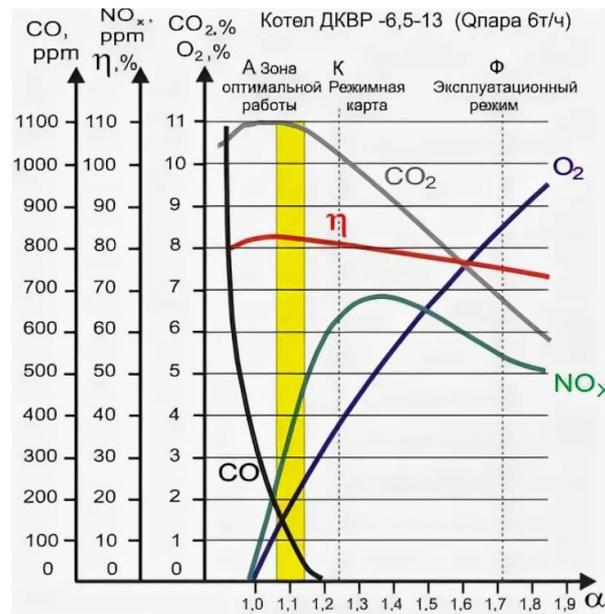


Рисунок 1 – Зависимость показателей качества сжигания топлива от коэффициента избытка воздуха [1]

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что для регулирования соотношения "топливо-воздух" в широком диапазоне нагрузок необходимо использовать косвенное измерение коэффициента избытка воздуха и последующую его корректировку.

Вот несколько ключевых моментов:

1) Оптимизация процесса горения: для достижения оптимального сжигания необходимо обеспечить правильное соотношение воздуха и топлива. Это достигается путем контроля подачи воздуха и топлива в камеру сгорания. Правильное соотношение позволяет полностью окислить топливо, минимизируя при этом образование вредных веществ, таких как CO .

2) Автоматическая система управления: современные системы сжигания топлива часто оснащены автоматическими системами управления, которые контролируют процесс горения и корректируют его в режиме реального времени. Эти системы используют датчики для измерения различных параметров, включая содержание CO в дымовых газах, и регулируют подачу воздуха и топлива для поддержания оптимальных условий горения.

3) Преимущества оптимизации: оптимизация процесса сжигания топлива с коррекцией по содержанию CO имеет ряд преимуществ. Во-первых, это

позволяет снизить потребление топлива, что приводит к экономии затрат. Во-вторых, это снижает вредные выбросы в атмосферу. В-третьих, это повышает эффективность работы оборудования, при этом увеличивая его срок службы и уменьшая вероятность поломок.

Коррекция по содержанию угарного газа (CO) является одним из способов контроля процесса оптимального сжигания топлива. Она заключается в том, чтобы поддерживать определенный уровень содержания CO в продуктах сгорания. Если содержание CO превышает норму, то это может свидетельствовать о недостаточном количестве кислорода для полного окисления топлива. В этом случае необходимо увеличить подачу воздуха или изменить режим работы горелки.

Для контроля уровня CO используются специальные датчики, которые позволяют отслеживать качество сгорания в режиме реального времени. На основе полученных данных система управления процессом сгорания автоматически корректирует подачу воздуха и топлива, чтобы достичь оптимального соотношения.

Такой подход позволяет повысить эффективность использования тепловой энергии от сжигания топлива, снизить затраты на его приобретение и уменьшить вредное воздействие на окружающую среду. Кроме того, оптимизация процесса сгорания помогает продлить срок службы оборудования и снизить расходы на его ремонт.

Однако стоит отметить, что коррекция по содержанию CO не всегда является достаточной для достижения оптимального сжигания топлива. Необходимо также учитывать другие параметры, такие как температура горения, скорость подачи топлива и воздуха, а также состав самого топлива. Поэтому для достижения наилучших результатов рекомендуется проводить комплексную оптимизацию процесса сжигания топлива.

Заключение

Мониторинг уровня монооксида углерода в отходящих газах играет важную роль в оптимизации работы котельной установки. Анализ этих данных позволяет достичь оптимального соотношения воздуха и топлива, минимизируя избыток воздуха при возникновении химического недожога. Диапазон концентраций CO , используемых для корректировки избытка воздуха, может варьироваться в зависимости от конкретного агрегата.

Литература

1. Автоматическое управление качеством сжигания топлива [Электронный ресурс] / Автоматическое управление качеством сжигания топлива. – Режим доступа: https://www.kb-agava.ru/avtomaticheskoe_upravlenie_kachestvom_szhiganiya_topliva/. – Дата доступа: 04.04.2024.
2. Контроль эффективности и качества промышленного сжигания топлива [Электронный ресурс] / Контроль эффективности и качества промышленного сжигания топлива. – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/kontrol-effektivnosti-i-kachestva-promyshlennogo-zhiganiya-topliva/neft/2024/13/04/>. – Дата доступа: 04.04.2024.

УДК 621.577

**ПАРОКОМПРЕССИОННЫЕ И АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ
НАСОСЫ. ИХ СРАВНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ
VAPOR COMPRESSION AND ABSORPTION HEAT PUMPS.
THEIR COMPARISON AND EFFICIENCY**

Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич

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

N. Rudakov, I. Cherenkevich

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

Аннотация: в работе рассмотрены тепловые насосы парокомпрессионного и абсорбционного типа. Произведено сравнение текущих затрат для тепловых насосов двух типов при увеличении тепловой мощности ТЭЦ за счет утилизации сбросных тепловых потоков.

Abstract: vapor-compression and absorption-type heat pumps are considered. A comparison of two types heat pumps operating costs is given for a variant with increasing the heating capacity of a combined heat and power plant plant due to the waste heat flows utilization.

Ключевые слова: тепловой насос, текущие затраты, отопительный коэффициент.

Keywords: heat pump, operating costs, coefficient of performance.

Введение

Как известно, тепловые насосы (ТН) позволяют полезно использовать низкотемпературные тепловые потоки: теплоту воздуха, грунта, подземных, открытых незамерзающих водоемов, сточных и сбросных вод, а также низкопотенциальную теплоту технологических предприятий, в том числе тепловых электростанций. Широкое распространение получили тепловые насосы парокомпрессионного (ПКТН) и абсорбционного (АБТН) типа.

Основная часть

Тепловой насос совершает обратный термодинамический цикл, что означает передачу теплоты от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой. Для этого необходимо затратить внешнюю энергию: в ПКТН затрачивается работа парового компрессора, в АБТН – теплота.

Мерой энергетической эффективности тех и других принято считать энергетический КПД, именуемый в отечественной литературе как отопительный коэффициент (μ), а за рубежом – коэффициент преобразования (COP_{hp}). Данный коэффициент рассчитывается по формулам:

$$\mu_{\text{ПКТН}} = \frac{Q_{\text{ПКТН}}}{W_{\text{привода}}}; \quad (1)$$

$$\mu_{\text{АБТН}} = \frac{Q_{\text{АБТН}}}{Q_{\text{привода}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ПКТН}}$ – теплота, вырабатываемая ПКТН;

$W_{\text{привода}}$ – электрическая энергия, подводимая к ПКТН;

$Q_{\text{АБТН}}$ – теплота, вырабатываемая АБТН;

$Q_{\text{привода}}$ – тепловая энергия, подводимая к АБТН.

Проведем сравнение текущих денежных затрат при эксплуатации каждого из типов ТН. В качестве примера рассмотрим применение ТН на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) для увеличения отпускаемой тепловой мощности за счет утилизации теплоты обратной воды конденсатора.

На рисунках 1 и 2 приведены принципиальные схемы включения соответственно АБТН и ПКТН в тепловую схему ТЭЦ [1]. В схемах теплота нагретой в конденсаторе паровой турбины циркуляционной воды сообщается обратной сетевой воде.

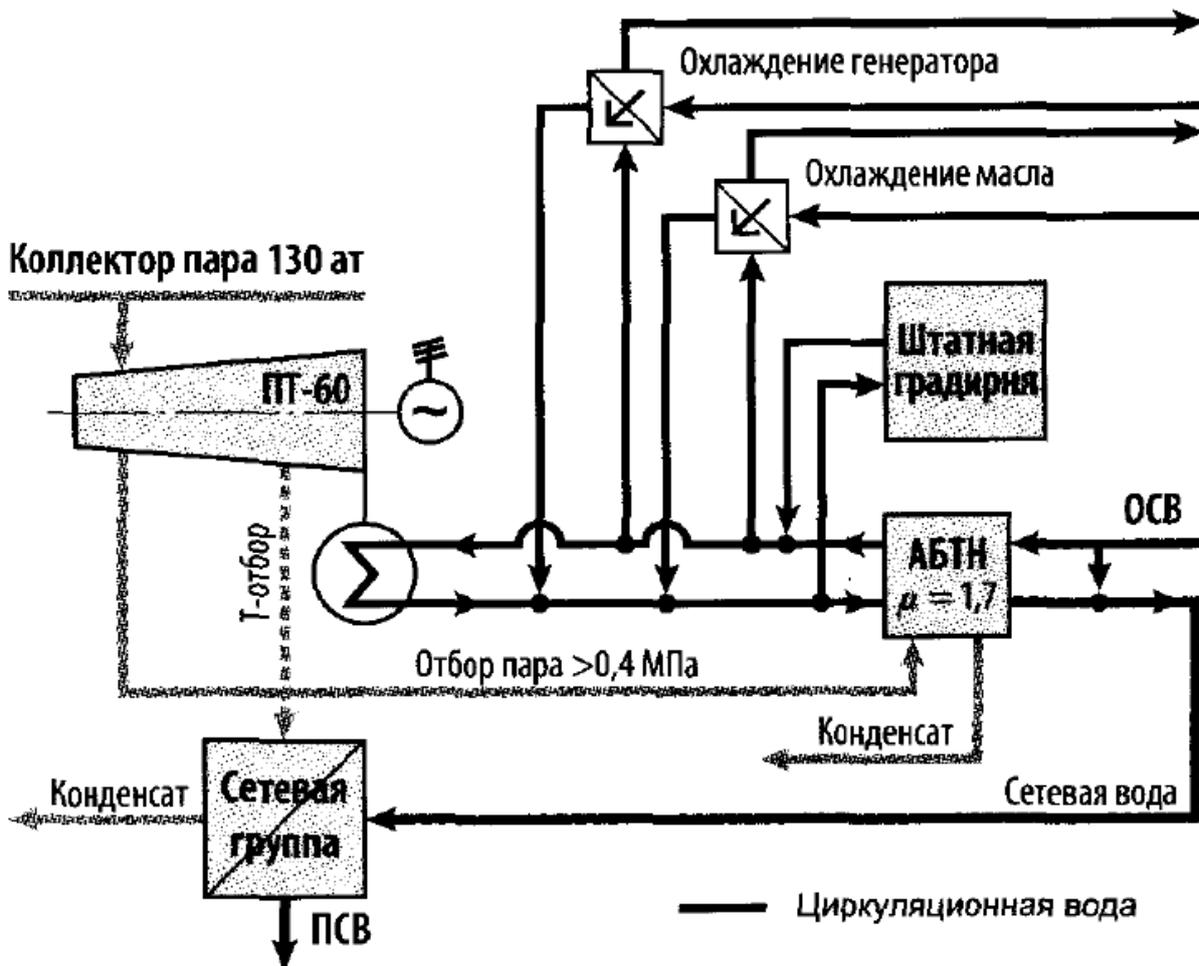


Рисунок 1 – Принципиальная схема включения АБТН на ТЭЦ [1]

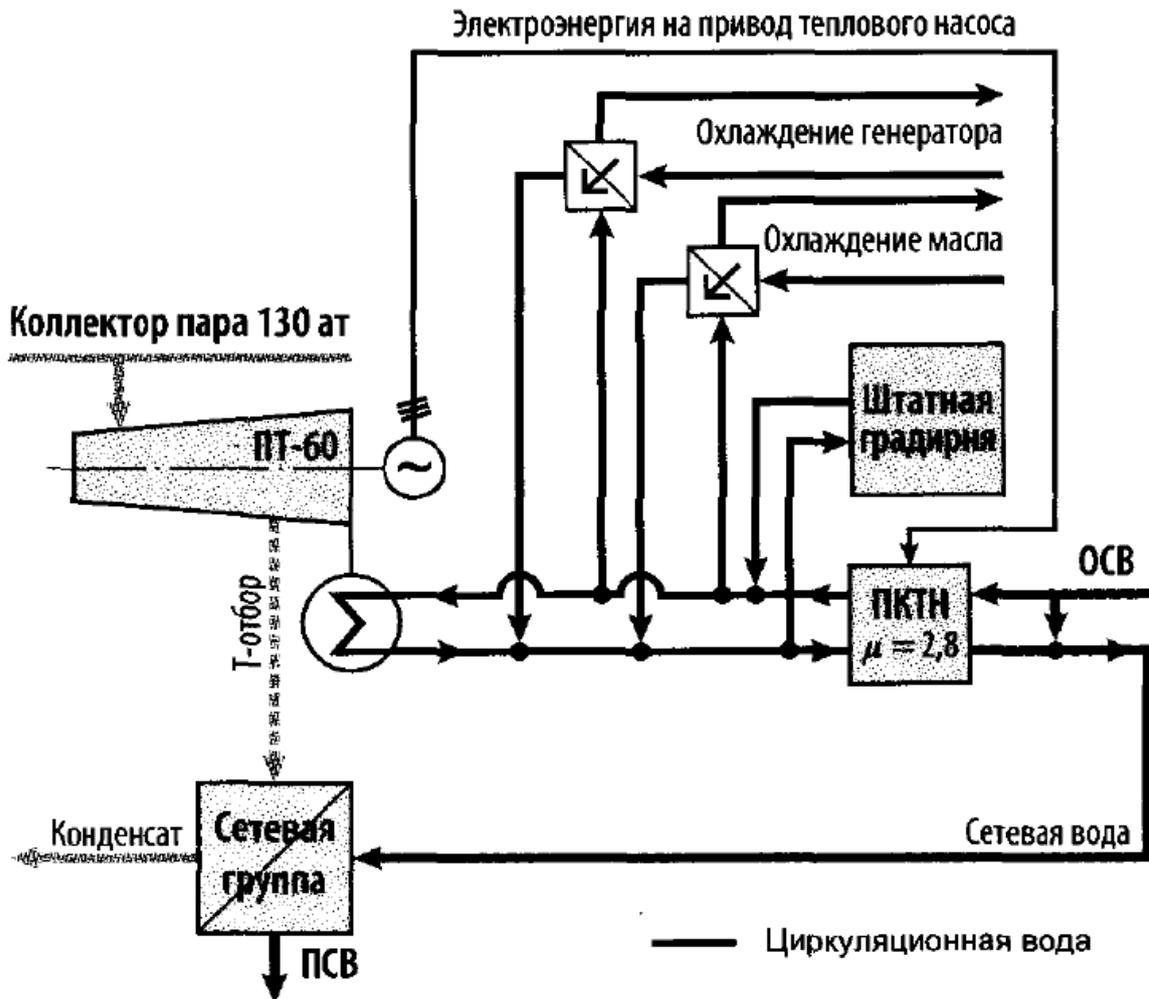


Рисунок 2 – Принципиальная схема включения ПКТН на ТЭЦ [1]

По данным [1] для схем, представленных на рисунках 1, 2, в интервале температур утилизируемой теплоты циркуляционной воды от 18 до 22°C отопительный коэффициент равен:

- для ПКТН $\mu_{\text{ПКТН}} = 2,8$;
- для АБТН $\mu_{\text{АБТН}} = 1,7$.

Допустим, что потребителю тепловой энергии в обоих вариантах отпускается одинаковое количество теплоты, равное 1 Гкал/ч и постоянное в течение суток.

Из формулы (1) и (2) получим затраты энергии на привод каждого типа ТН:

$$Q_{\text{привода}} = \frac{Q_{\text{АБТН}}}{\mu_{\text{АБТН}}} = \frac{1 \text{ Гкал/ч}}{1,7} = 0,588 \frac{\text{Гкал}}{\text{ч}};$$

$$W_{\text{привода}} = \frac{Q_{\text{ПКТН}}}{\mu_{\text{ПКТН}}} = \frac{1 \text{ Гкал/ч}}{2,8} = 0,415 \frac{\text{Гкал}}{\text{ч}}.$$

Согласно тарифам Республики Беларусь на тепловую энергию, цена на потребление для юридических лиц и предприятий составит 145 руб/Гкал.

На потребление электроэнергии для привода тепловых насосов – 205 руб/(МВт·ч) (с 23 до 6 часов) и 439 руб/(МВт·ч) (в остальное время суток). Считая, что ТН работает круглосуточно, получаем среднесуточный тариф 322 руб/(МВт·ч) [2], что в Гкал составляет 375 руб/Гкал.

Получаем соответственно затраты на привод АБТН, работающего на высокопотенциальной тепловой энергии и на привод ПКТН, потребляющего электроэнергию:

$$Q_{\text{АБТН}} = Q_{\text{привода}} \cdot T_{\text{ТЭ}} = 0,588 \cdot 145 = 85,26 \frac{\text{руб}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{ПКТН}} = W_{\text{привода}} \cdot T_{\text{ЭЭ}} = 0,415 \cdot 375 = 155,63 \text{ руб/ч},$$

где $T_{\text{ТЭ}}$ – тариф на тепловую энергию, руб/Гкал;

$T_{\text{ЭЭ}}$ – тариф на электроэнергию, руб/Гкал.

Как видно из расчета, для ПКТН плата за потребляемый энергоресурс на единицу отпускаемой теплоты почти в два раза выше, чем для АБТН. Это показывает, что тепловой насос абсорбционного типа экономически выгоден с точки зрения текущих затрат для условий Беларуси.

Заключение

Тепловые насосы являются довольно энергоэффективным теплогенерирующим оборудованием и хорошей альтернативой использования природных ресурсов планеты, так как снижают их использование за счет утилизации низкопотенциальных тепловых потоков, которые зачастую рассеиваются в окружающую среду. Следовательно, ТН снижают загрязнение окружающей среды. Анализируя полученные результаты, сделаем вывод, что на основании сравнения текущих затрат на производство тепловой энергии с применением ТН более эффективен вариант с абсорбционным тепловым насосом.

Литература

1. Романюк, В.Н. Абсорбционные или пароконденсационные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, С.В. Мальков // Энергия и менеджмент. – 2013. – № 4–5. – С. 18–21.
2. РУП «Минскэнерго», филиал «Энергосбыт» [Электронный ресурс] / РУП «Минскэнерго», филиал «Энергосбыт». – Режим доступа: <https://www.energosbyt.by/ru/>. – Дата доступа: 03.11.2023.

УДК 621.311.22

**ПИКОВО-РЕЗЕРВНЫЙ ЭНЕРГОИСТОЧНИК НА ЛУКОМЛЬСКОЙ
ГРЭС****PEAK-RESERVE ENERGY SOURCE AT LUKOML GRES**

Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vladmir70@rambler.ru

D. Danilovich, D. Chuiko

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

***Аннотация:** в статье представлен один из пиково-резервных энергоисточников питания на базе газовой турбины SGT-800 расположенный на Лукомльской ГРЭС, который принесёт значительную пользу электроэнергетической системе Республики Беларусь, улучшив её работу, повысив надёжность и обеспечив стабильное энергоснабжение объекта в периоды пиковых нагрузок.*

***Abstract:** the article presents one of the peak-standby power sources based on the SGT-800 gas turbine located at the Lukomlskaya State District Power Plant, which will bring significant benefits to the electric power system of the Republic of Belarus, improving its operation, increasing reliability and ensuring a stable power supply to the facility during periods of peak loads.*

***Ключевые слова:** пиково-резервные энергоисточники, газовая турбина SGT-800, Лукомльская ГРЭС, эксплуатация, энергия.*

***Keywords:** peak-standby energy sources, gas turbine SGT-800, Lukomlskaya GRES, operation, energy.*

В соответствии с приказом ГПО «Белэнерго» № 181 «О некоторых вопросах закупки пиково-резервных энергоисточников для внедрения Белорусской атомной электростанции в объединенную электроэнергетическую систему Республики Беларусь и сервисного обслуживания этих ПРЭИ» между РУП «Витебскэнерго» и компанией «SIEMENS» заключен контракт на поставку для Лукомльской ГРЭС ПРЭИ мощностью не менее 150 МВт.

Пиково-резервный источник представляет собой совокупность [1]:

- энергетических установок;
- технического оборудования;
- технологических материалов;
- изделий;
- конструкций.

Всё вышеперечисленное устанавливается в сооружениях, которые находятся в пределах участка, отведённого для строительства пиково-резервного энергоисточника, и используются для выработки определённого количества электрической энергии. Пиково-резервные энергоисточники

образовывают полное накопление нагрузок после запуска, длительностью не более 15 минут. В длительность этого времени входит синхронизация с Белорусской энергосистемой. Энергоисточники предназначены для обеспечения необходимого резервирования мощности энергосистемы в период пиковых нагрузок объединенной энергетической системы Республики Беларусь и в случае выключения энергоблоков Белорусской атомной электростанции.

В комплект поставки компании «SIEMENS» входят: технологические установки; система сжатого воздуха; кабельное оборудование; система дизельного топлива; установки вспомогательной системы; телемеханика; шеф-наладка; электротехническое оборудование; конструкции и сооружения; шеф-монтаж.

В объеме данного проекта предусматривается прокладка наружных технологических трубопроводов [2]:

- между площадкой ГТУ и существующим главным корпусом (ГК);
- между площадкой ГТУ и хозяйством дизельного топлива;
- на территории площадок ГТУ и хозяйства дизельного топлива.

Основными видами ресурсов, необходимых для нормального функционирования ПРЭИ являются следующие ресурсы: для выработки электрической - природный газ/дизельное топливо; для обеспечения нормального функционирования систем смазки и регулирования газовой турбины - минеральное масло; для подготовки растворов в систему промывки компрессора, на заполнение и восполнение потерь замкнутого контура охлаждения и замкнутого контура подогрева жидкого топлива и - химобессоленная вода и химические реагенты.

Газовая турбина типа SGT-800 установлена на ПРЭИ, которая произведена компанией «SIEMENS», мощностью 150 МВт. В их комплект входят: приборы КИПиА; трубопроводы связи; системы автоматизации; вспомогательное оборудование.

ПРЭИ на Лукомльской ГРЭС планирует использовать свои объекты и системы, включая электрические подстанции, чтобы помочь обеспечить энергией Беларусь в периоды повышенного потребления. Она может производить от 15 до 150 мегаватт электроэнергии, чтобы покрыть пиковую нагрузку в энергосистеме страны. Режимы работы ПРЭИ состоят из: аварийного резервирования; покрытия ежедневных пиков в сети; пикового изменения мощности; пиковых колебаний.

Газотурбинная установка SGT-800 может функционировать как на газообразном, так и на жидком топливе. Благодаря этой особенности на ГТУ возможен переход с газообразного топлива на жидкое в автоматическом режиме в диапазоне нагрузок, который задается автоматически. Газообразное топливо, которое соответствует ГОСТ 5542-2014 «Межгосударственный стандарт. Газы горючие и природные промышленного назначения. Технические условия», поступает на площадку ПРЭИ и имеет расход на ЛГРЭС (пиковый) – 46000 нм³/ч.

Дизельное топливо поступает на площадку ПРЭИ ЛГРЭС железнодорожным транспортом и перекачивается в два резервуара хранения

дизельного топлива $V=1500 \text{ м}^3$, а затем в расходный резервуар $V=100 \text{ м}^3$. Расход дизельного топлива на ПРЭИ ЛГРЭС (максимальный) – 34,56 т/час.

Газовая турбина SGT-800 является одноцилиндровым устройством с компрессором, состоящим из 15 ступеней, который приводит в действие электрогенератор. Она представляет собой модульную конструкцию с одновальным конфигурацией и ротором, имеющую частоту вращения 6500 об/мин. В работе генератора участвует редуктор, который уменьшает частоту вращения турбины до 1500 об/мин. В турбине компрессора и генераторе используется общий вал, который установлен на стандартных подшипниках. Генератор приводится в движение от холодной стороны турбины, что обеспечивает удобное расположение выхлопных газов. Газовая турбина реализована так, что её обслуживание не вызывает трудностей. Она выполнена в трехступенчатой форме единым модулем и крепится к валу компрессора. Фланцы статора турбины имеют воздушное охлаждение для сокращения рабочих расстояний и повышения эффективности. Вся конструкция обеспечивает доступ к камере сгорания и горелкам. Все турбины SGT-800 оснащены системой контроля выбросов сухих выхлопов для минимизации выбросов NO_x и CO .

Основные технические характеристики газотурбинной установки при 100% [3]:

1. Мощность на клеммах генератора – 51,6 МВт.
2. Напряжение – 10,5 кВ.
3. Частота тока – 40/50 Гц.
4. Частота вращения вала в ГТУ – 6500 об/мин.
5. Частота вращения вала в генераторе – 1500 об/мин.
6. Температура газов на выходе ГТУ – 560 °С.
7. Расход газов на выходе из ГТУ – 137,6 кг/с.

Чтобы запустить газовую турбину SGT-800 нужно прибегнуть к помощи электрической системе пуска. В этой системе двигатель, который является пусковым, соединяется с валом ведущей шестерни, располагающимся в системе понижающего редуктора, посредством самосинхронизирующейся муфты обгонного типа. Два противопомпажных клапана, которые в процессе запуска турбины открываются и закрываются, расположены в ступенях компрессора под номером 5 и 10.

При разгоне ГТУ до частоты вращения продувки используют электрическую систему пуска. Газовая турбина имеет специальную систему продувки, которая используется для очистки выхлопных газов перед началом работы. После продувки вскоре запускается топливный процесс, зажигание и последующее увеличение скорости вращения до уровня холостого хода. Когда достигнута необходимая скорость вращения, пусковой двигатель начинает снижать обороты и разгружаться постепенно. Отключение пускового двигателя происходит через самосинхронизирующуюся муфту, когда скорость вращения превышает его уровень.

Для контроля мощности газовой турбины в обычном режиме используют входной аппарат компрессора и регулируют температуру воздуха,

поступающего в турбину. При работе на более чем половину мощности воздух из третьей ступени компрессора не подвергается давлению и клапаны открыты. Скорость турбины остается постоянной при любой нагрузке. Угол открытия входного аппарата изменяется в зависимости от температуры окружающей среды при полной нагрузке. При температуре ниже плюс 30 °С осуществляется номинальное открытие ВНА и его постепенное закрытие при росте температуры выше этого значения.

Нагрузка изменяется за счет регулирования входного направляющего аппарата компрессора, температуры горения и температуры на выходе турбины. Скорость и нагрузка газовой турбины управляется системой автоматического управления при помощи подаваемого в камеру сгорания топлива и входного направляющего аппарата. Входными сигналами для системы управления среди прочих являются величина мощности и параметры окружающего воздуха.

Вспомогательное снабжение установленное на ПРЭИ [1]:

- пункт для подготовки газа перед запуском в систему;
- система водяного охлаждения, которая замкнута;
- система сжатого воздуха;
- дизель-генераторная установка;
- оборудование площадки хозяйства дизельного топлива.

Заключение

Проанализировав представленную информацию, можно сделать вывод о важности заключения между РУП "Витебскэнерго" и SIEMENS договора на поставку электроэнергии с пиковым восстановлением на Лукомльскую ГРЭС. Этот шаг является ключевым для успешной интеграции Белорусской АЭС в общую энергосистему Республики Беларусь и повышения эффективности и надежности электроснабжения.

Пиковый резервный источник питания SGT-800 от SIEMENS – это современное и высокоэффективное оборудование, которое обеспечивает стабильную работу энергосистемы, компенсирует колебания нагрузки и позволяет плавно переходить от одного режима работы к другому. Установка на Лукомльской ГРЭС позволит покрыть пиковые нагрузки и обеспечить непрерывную работу по обеспечению необходимого электроснабжения.

Литература

1. Обновленная версия SGT-800 [Электронный ресурс] / Обновленная версия SGT-800. – Режим доступа: <http://www.turbine-diesel.ru/rus/node/2778/> . – Дата доступа: 12.04.2024.
2. Газовая турбина Siemens - SGT-800 [Электронный ресурс] / Газовая турбина Siemens - SGT-800. – Режим доступа: <https://manbw.ru/analytics/siemens-SGT-800.html> / . – Дата доступа: 12.04.2024.
3. На Лукомльской ГРЭС приступили к строительству пиково-резервного энергоисточника [Электронный ресурс] / На Лукомльской ГРЭС приступили к строительству пиково-резервного энергоисточника. – Режим доступа: https://belenergo.by/content/infocenter/news/na-lukomlskoy-gres-pristupili-k-stroitelstvu-pikovo-rezervnogo-energoistochnika__11678/ / . – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 621.029

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТНОГО ГИДРОТУРБИННОГО НАСОСА
НА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
THE USE OF A CONDENSATE HYDRO TURBINE PUMP AT A NUCLEAR
POWER PLANT**

Е.М. Хаецкий, Р.С. Пучинский

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

irina.yevseyenko@yandex.by

E. Khayetski, R. Puchinsky

Supervisor – I. Yevseyenko, Assistant

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: текст рассматривает сложности, возникающие при переносе жидкости в условиях, приближенных к кипению, в турбоустановках атомных электростанций. Он предлагает использовать насосы с гидротурбинным приводом вместо расширителей, что позволяет эффективнее использовать тепло потоков. Анализируется конструкция и преимущества гидротурбинных насосов, подчеркивается их компактность, низкий уровень шума и возможность утилизации потерь энергии. Описывается конструкция и преимущества насоса с гидротурбинным приводом, а также приводится пример его успешного использования на атомных электростанциях с реакторами ВВЭР-1000.

Abstract: the text examines the challenges arising from liquid transfer under conditions approaching boiling in turbocharger units of nuclear power plants. It suggests using pumps with a hydro-turbine drive instead of expanders, which allows for more efficient utilization of heat from the flows. The design and advantages of hydro-turbine pumps are analyzed, emphasizing their compactness, low noise level, and potential for energy loss utilization. The construction and benefits of a pump with a hydro-turbine drive are described, along with an example of its successful use in nuclear power plants with VVER-1000 reactors.

Ключевые слова: энергия, эксплуатация, конденсат, насос, АЭС, агрегат.

Keywords: energy, exploitation, condensate, pump, nuclear power plant (NPP), unit.

Введение

В ходе эксплуатации турбоустановок атомных электростанций возникает сложность переноса жидкости, которая находится в условиях, приближенных к кипению. Применение расширителей при отводе теплоты от потоков является проблематичным, ибо происходит усложнение схемы, тем самым увеличивает количество обвязочных труб. По этой причине одним из простейших и эффективных решений является использование схемных решений, которые в данном случае позволяют использовать тепло рабочей среды с максимальной эффективностью.

Многолетнее изучение тепловых схем АЭС (атомная электрическая станция) дало достаточно новой информации, чтобы спроектировать новое оборудование. Одним из таких перспективных нововведений является применение насосов с гидротурбинным приводом, включённых в схему станции (рисунок 1).

На атомных электростанциях, как и на тепловых, в работе находятся большие объемы воды. Для перемещения этой воды используются насосы. Из-за того, что достаточно сложно создать насос, который был бы одновременно компактным, обладал низким уровнем шума, низкими вибрациями и при этом оптимальной частотой вращения, стали применять насосы, в которых привод представляет собой гидротурбину. Уплотнения между насосом и приводом в таких насосных агрегатах конструктивно просты, это также дает определенные преимущества. Потери энергии в таких насосах минимальны или равны нулю: вся вода, которая служит рабочим телом турбины привода, возвращается обратно в цикл. Регулируется насос изменением частоты вращения гидротурбинного привода.

Основная часть

Функция конденсатного гидротурбинного насоса – перемещение воды из конденсатосборников сепаратора-пароперегревателя (СПП), куда сливается конденсат греющего пара, в линию питательной воды. Он может работать в диапазоне мощностей турбоустановки от 20% до номинальной. Данный насосный агрегат «висит» на трубах обвязки, т.е. не нуждается в опоре с фундаментом. Рабочее тело в гидроприводе насоса – питательная вода. Она подается прямо из напорного коллектора питательных электронасосов [1].

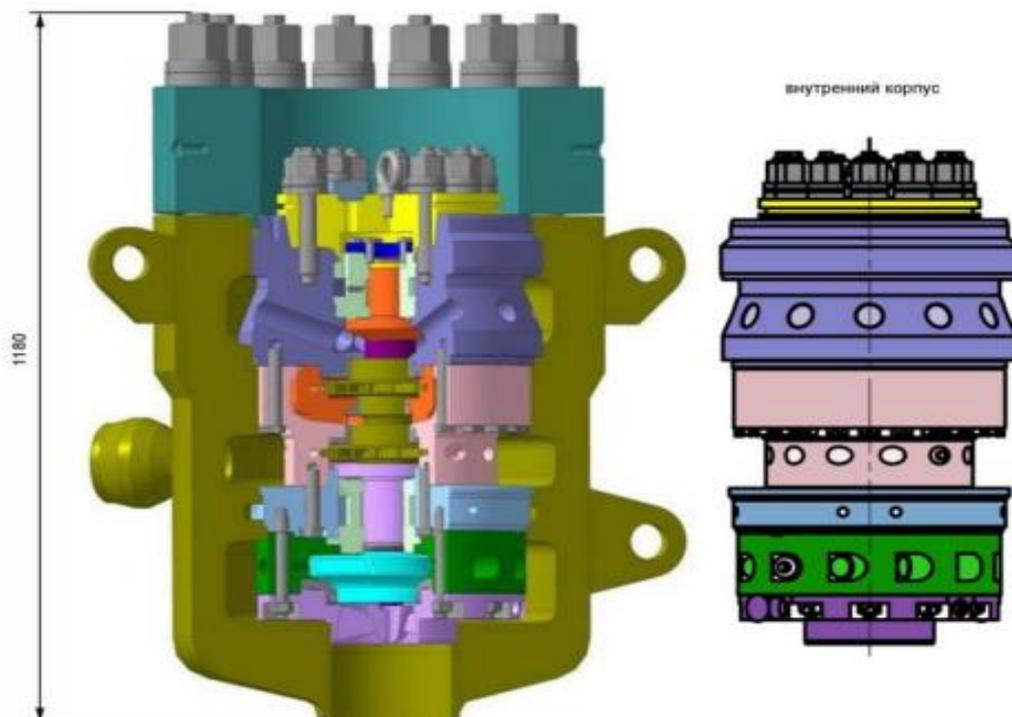
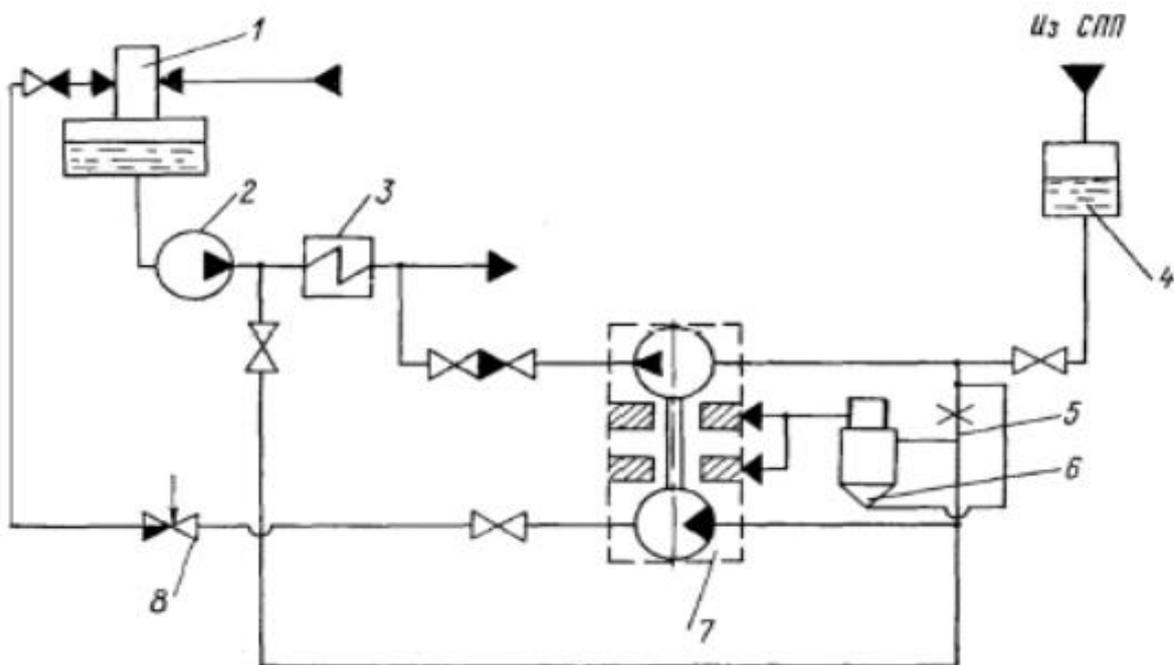


Рисунок 1 – Конструкция КГТН [2]

Сам насосный агрегат – вертикальный. Корпус КГТН (конденсатный гидротурбинный насос) ковано-сварной. Внутри корпуса вварены турбинный и насосный партубки. Также внутри корпуса находится нажимное кольцо и ротор. Корпус и камера турбины находятся в внутреннем корпусе агрегата. Колеса турбины первой и второй ступени располагаются на валу привода, на нем же расположено и рабочее колесо насоса. На валу они устанавливаются на шпонках, закрепляются гайками, которые в свою очередь фиксируются винтами. Как становится понятно из описания, КГТН – это моноблочный герметичный агрегат. Схема насосной установки показана на рисунке 2.



1 – деаэратор, 2 – ПН (питательный насос), 3 – ПВД (подогреватель высокого давления), 4 – конденсатосборник, 5 – линия захолаживания, 6 – блок фильтров очистки воды, подаваемой на подшипники турбонасоса, 7 – турбонасос типа КГТН, 8 – регулирующий клапан

Рисунок 2 – Принципиальная схема закачки конденсата греющего пара СПП в напорную линию ПН [3]:

Основная проблема насосов с электроприводами – необходимость в дополнительной системе электроснабжения. Помимо этого такие насосы требуют отвода и охлаждения протечек в уплотнениях. Для насосов с электроприводами необходима система смазки подшипников, а сам электронасос становится более громоздким и сложным в конструкции, что усложняет и удорожает установку. Всех этих минусов конденсатный гидротурбинный насос не имеет.

Заключение

При использовании КГТН в тепловых схемах АЭС с реакторами ВВЭР-1000 мощность энергоблока увеличивается на 7 МВт, что подтверждают многочисленные данные с таких атомных электростанций как Калининская, Южно-Украинская, Ровенская АЭС. Очевидно, что подобный эффект

появляется и на более мощных блоках, что подтверждает эффективность применения КГТН на АЭС с ВВЭР-1200.

Литература

1. Энергия: насосное оборудование [Электронный ресурс] / Энергия: насосное оборудование. – Режим доступа: <https://www.mnz.ru> /. – Дата доступа: 10.04.2024.
2. Паротурбинная установка К-1200-6,8/50 / В.П. Поваров [и др.]. – Воронеж: Диамат, 2021. – 499 с.
3. Опыт использования насосов с гидротурбинным приводом на энергоблоках АЭС [Электронный ресурс] / Опыт использования насосов с гидротурбинным приводом на энергоблоках АЭС. – Режим доступа: <https://www.mnz.ru/stati/12-opyt-ispolzovaniya-nasosov-s-gidroturbinnym-privodom-na-energoblokakh-aes> /. – Дата доступа: 10.04.2024.

УДК 621.565.954

**ПРОВЕРКА ПЛОТНОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
DENSITY TEST OF PLATE HEAT EXCHANGERS**

А.В. Верич

Научный руководитель – И.А. Некало, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
nekalobntu.by

A. Verich

Supervisor – I. Nekalo, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в докладе рассмотрены современные и эффективные методы проверки плотности разборного пластинчатого теплообменника.*

***Abstract:** the report discusses modern and effective methods for checking the density of a collapsible plate heat exchanger.*

***Ключевые слова:** плотность, пластинчатый теплообменник, методы, проверка, уплотнители, температура, утечка, гидравлический тест, газовый тест, дефектоскопия, замена, экономическое преступление, обслуживание, срок службы.*

***Keywords:** density, plate heat exchanger, methods, inspection, seals, temperature, leakage, hydraulic test, gas test, defectoscopy, replacement, economic crime, maintenance, service life.*

Введение

Пластинчатый теплообменник – это высокоэффективное устройство, состоящее из нескольких пластин теплопередачи, закрепленных неподвижной и подвижной прижимной пластиной, образующих комплексный узел. Каждая пластина теплопередачи оснащена системой уплотнителей, которая образует две независимые сети каналов. Расположение уплотнителей обеспечивает сквозной поток в отдельных каналах, облегчая противоток первичной и вторичной среды, одновременно предотвращая их смешивание благодаря конструкции прокладки. Турбулентность, создаваемая гофрированными пластинами при прохождении жидкости через узел, увеличивает эффективный коэффициент теплопередачи, обеспечивая эффективный теплообмен (рисунок 1). Самое большое преимущество пластинчатого теплообменника заключается в его небольших размерах, но при этом он имеет огромную площадь теплообмена. Поэтому область применения довольно широка: частные дома и коттеджи, нефтедобывающая отрасль, машиностроение и металлургия, химическая промышленность, энергетика. Несмотря на множество преимуществ, пластинчатый теплообменник имеет и некоторые недостатки. Во-первых. Существенным недостатком пластинчатого теплообменника является то, что в нем крайне сложно обнаружить утечку. Во-вторых. Ограниченная рабочая температура. Рабочая температура пластинчатого теплообменника сильно ограничена из-за особенностей конструкции. В-

третьих. Уплотнители пластинчатых теплообменников со временем могут ухудшиться. Происходит это из-за условий эксплуатации пластины.

Таблица 1– Технические характеристики пластинчатого теплообменника

КПД, %	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	$P_{\max}, \text{бар}$	$P_{\max}, \text{МВт}$	Срок службы, лет
95	200	25	75	20

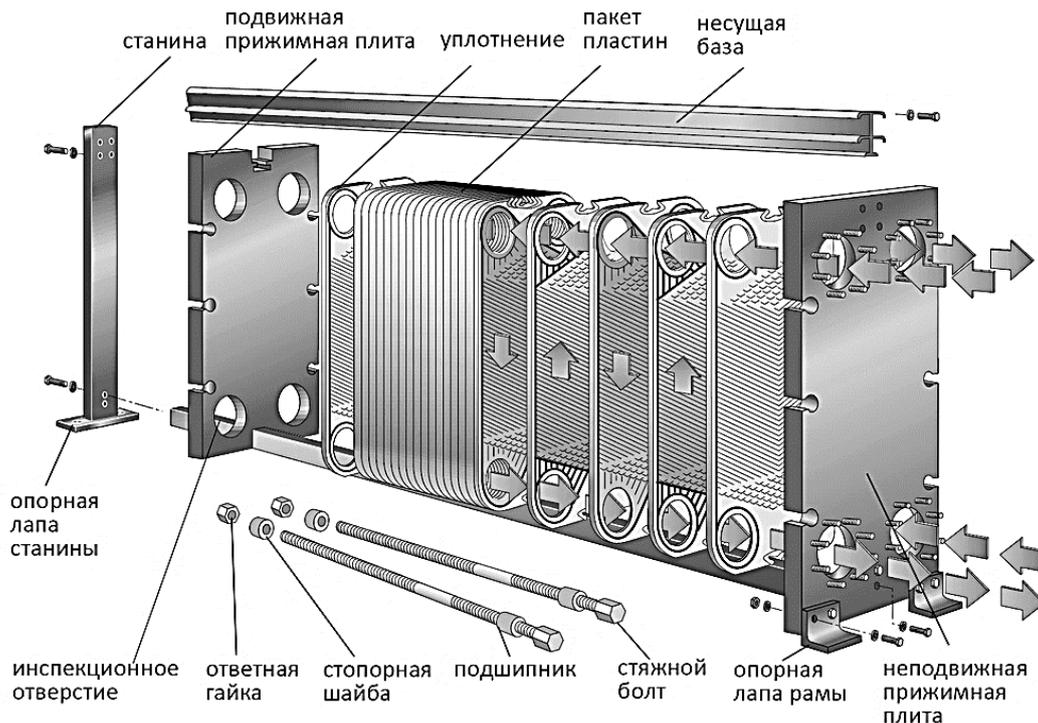


Рисунок 1 — Конструкция пластинчатого теплообменника [1]

Основная часть

У пластинчатого теплообменника (далее – ПТО) нарушение плотности можно разделить на два вида: внутреннее и наружное. Для определения наружного достаточно визуального осмотра. Куда сложнее обнаружить внутреннее нарушение плотности, так как визуальный осмотр разобранного ПТО вряд ли что-либо даст. И важно не просто обнаружить утечку, а определить ее точное место, так как это дает возможность сэкономить на расходном материале (уплотнителях), и чаще всего самих пластинах. На данный момент существует несколько методов обнаружения данного рода неисправности, которые, к сожалению, практически не используются.

Первый метод. Гидравлический тест. ПТО охлаждается до температуры окружающей среды. Из одного контура сливается теплоноситель. Выходные каналы обоих контуров перекрываются арматурой. На контур с теплоносителем аккуратно подается давление. Давление не должно превышать значения, заявленного в эксплуатационных характеристиках (при температуре внешней

среды около 20 °С). Нижний канал контура без теплоносителя осматривается на наличие протечек. Далее контуры меняются местами. Для более точной проверки, давление на каждый контур должно подаваться минимум 30 минут. Важно убедиться, что затяжные болты надежно затянуты непосредственно перед испытанием, поскольку испытание на герметичность теплообменника можно проводить только при полной герметичности системы [2].

Второй метод; испытание газом H_2N_2 (10% водорода + 90% азота). В одном контуре газовая смесь H_2N_2 находится под давлением. В другом контуре циркулирует сжатый воздух. Если в секции возникает нарушение плотности, газовая смесь перемещается в контур с воздухом. Прибор регистрирует размер и скорость утечки, на основании чего определяется размер дефекта. Методы испытаний с использованием смеси газов водорода и азота дают результаты с погрешностью всего 1 %. Это наиболее точное измерение. Микроскопические молекулы водорода быстро диффундируют в воздух, а высокочувствительные приборы сводят к минимуму риск ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Смесь водорода и азота невоспламеняемая и нетоксична. Она не загрязняет оборудование. Поэтому газовый тест H_2N_2 используется в пищевой промышленности и не нарушает состояние оборудования. Данный вид испытания не требует дополнительного расхода воды, как в случае с другими неразрушающими методами испытаний. Время простоя теплообменников минимально по сравнению с демонтажем; тестирование и подготовительные работы занимают по 1,5 часа [3].

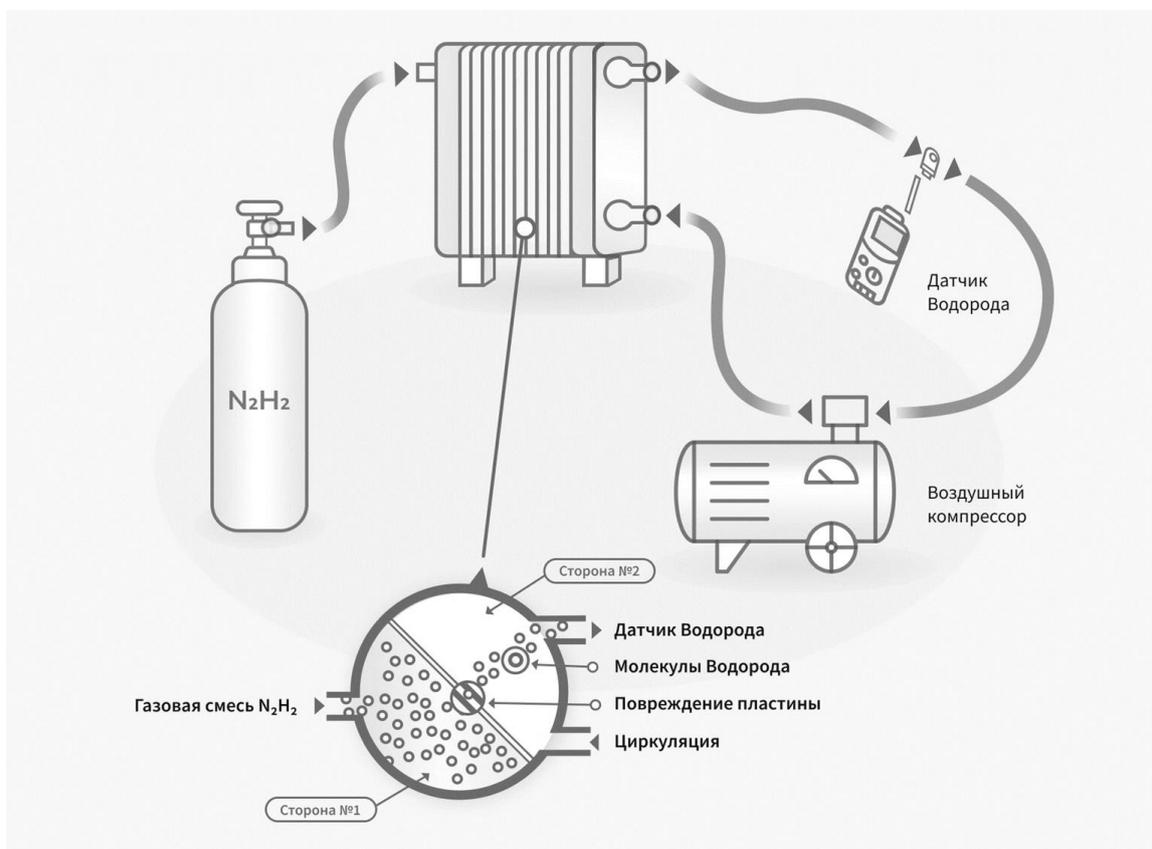


Рисунок 2 – Схема газового метода диагностики ПТО [3]

Третий метод. Детальная дефектоскопия (далее – ДФД) – определение местоположения дефектов. Если в ПТО обнаружен дефект, следующим шагом является определение местоположения дефекта. Для этого используется ДФД-тестирование, ручное акустическое зондирование. К одному контуру ПТО подключается компрессор для поддержания давления 0,2-0,3 МПа, а в другой подается вода. Затем с помощью акустического зонда определяются вибрации. Вибрации вызываются пузырьками воздуха, проходящими через поврежденные пластины в процессе испытания теплообменника. Если возникают нетипичные звуковые колебания, значит, пластина или прокладка повреждены. Хотя для замены поврежденной пластины необходимо разобрать теплообменник, этот метод позволяет обнаружить неисправности в диапазоне одной или двух пластин собранного ПТО, и значительно сокращает время простоя по сравнению с гидравлическим методом испытаний. Испытательное оборудование ДФД легкое, портативное, благодаря чему испытания можно проводить в самых труднодоступных местах [4].

Заключение

Методов диагностики плотности ПТО существует немало, но рассмотренные методы являются практически самыми эффективными. К сожалению, если возникает внутреннее нарушение плотности ПТО, то чаще прибегают к полной диагностике с разбором теплообменника, а вместе с ней происходит замена уплотнителей, а иногда и вовсе пластин, что сильно влияет на стоимость ремонтных работ. Поэтому рассмотренные методы довольно слабо изучены, и на данный момент не существует никаких баз данных для ДФД метода, например. Применение данных методов поможет сократить расходы на обслуживание ПТО, и продлить их срок службы.

Литература

1. Системы безопасности АЭС-2006 / В.П. Поваров [и др.]. – ООО «Всрок». – Тула, 2020. – 540 с.
2. Как проверить теплообменник на утечку [Электронный ресурс] / Как проверить теплообменник на утечку. – Режим доступа: <https://teploobmen.ru/blog/kak-proverit-teploobmennik-na-utechku> /. – Дата доступа: 20.03.2024.
3. Неразрушающий метод проверки на протечки без разборки аппарата с помощью газового теста [Электронный ресурс] / Неразрушающий метод проверки на протечки без разборки аппарата с помощью газового теста. – Режим доступа: <https://viravix.tech/gaztest/> . – Дата доступа: 20.03.2024.
4. Селиванов, И.В. Новый метод тестирования пластинчатых теплообменников [Электронный ресурс] / Новый метод тестирования пластинчатых теплообменников. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-metod-testirovaniya-plastinchatyh-teploobmennikov> /. – Дата доступа: 01.04.2024.

УДК 621.311

**ПРОЗРАЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ: ИННОВАЦИИ В
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**
TRANSPARENT SOLAR PANELS: INNOVATIONS IN SOLAR ENERGY

Е.Д Жабров, Д.В. Кукса

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
egorzhabrov21@gmail.com

E. Zhabrov, D. Kuksa

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

***Аннотация:** в статье рассматривается инновационная технология прозрачных солнечных панелей, позволяющая генерировать электроэнергию с сохранением высокой прозрачности материала.*

***Abstract:** the article explores the innovative technology of transparent solar panels, which allows generating electricity while maintaining high material transparency.*

***Ключевые слова:** прозрачные солнечные панели, солнечная энергия, инновации в энергетике, энергетика.*

***Keywords:** transparent solar panels, solar energy, innovations in energy, energy industry.*

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос об использовании устойчивых источников энергии. На сегодняшний день, одним из наиболее инновационных способов решения проблемы является использование прозрачных солнечных панелей. Главной отличительной особенностью данных устройств является их способность генерировать электроэнергию, при сохранении прозрачности. Данная статья посвящена технологии и преимуществам использования таких панелей, а также их потенциалу для создания экологически чистых и энергоэффективных городских пространств.

Основная часть

Прозрачные солнечные панели используют солнечный свет для преобразования его в электричество. Эта технология используется как прозрачный солнечный концентратор и может поглощать не только определенные длины волн ультрафиолета, но и инфракрасный диапазон [1]. Основной особенностью данной технологии является то, что видимый свет проходит через солнечную панель, тем самым может заменить обычные окна зданий и домов. Основным компонентом таких панелей – фотоэлектрическая ячейка, состоящая из аморфного кремния, который является полупроводниковым материалом. Аморфный кремний должен обеспечивать высокую прозрачность. Данный результат можно получить с помощью специальных пленок состоящий из этого материала, которые наносятся на

сложные подложки кремния путем тонкопленочного осаждения. Это позволяет получить эффективность от 4% до 10%. Как правило, прозрачные солнечные панели состоят из нескольких слоев пленки, количество зависит от производителя. Эти слои позволяют панелям вырабатывать электричество, пропуская тем самым солнечный свет.

В последние годы активно ведутся разработки по производству новых типов покрытий для прозрачных солнечных панелей, которые позволяют поглощать различные формы электромагнитного излучения и преобразовывать их в энергию. Панели используют в качестве основы полупроводниковые соединения, такие как органические полимеры. Преимуществом таких панелей является их высокая прозрачность, гибкость и доступное производство, что делает данную технологию универсальной. Однако существенным недостатком такой технологии является низкий КПД, что в несколько раз уступает традиционным солнечным панелям.

Прозрачные солнечные панели имеют огромный спектр применений в различных сферах деятельности человека, за счёт своих характеристик. Это связано с способностью их внедрения в различные конструкции и сооружения, тем самым, не нарушая их функциональности. Как пример, прозрачные солнечные панели могут применяться в автомобилестроении, в качестве панорамного окна, благодаря этому запас хода электромобиля возрастет, приблизительно, на 10-15%. Другим интересным применением, стоит выделить, внедрение в устройства мобильной связи, смартфона или планшета, где они смогут стать дополнительным источником энергии, если нанести панель поверх экрана устройства, что позволит, хоть немного, но увеличить автономность работы устройств [2]. Также, панели можно внедрить в различные сферы общественной инфраструктуры. К примеру, как: элементы автобусных остановок, светофоров, дорожных знаков или навесов. Такое применение имеет ряд преимуществ, оно позволяет уменьшить затраты для поддержания работоспособности объектов, а также инфраструктура города станет менее зависимой от электроэнергии. Еще одним интересным применением это внедрение солнечных панелей в конструкцию теплиц, что позволит растениям получать солнечный свет и вырабатывать электроэнергию для обеспечения работы самой же теплицы.

Самым распространенных способов использования данной технологии является ее использование в архитектуре. Солнечные панели имеют прозрачную структуру и могут быть интегрированы в окна, крыши и фасады зданий, что позволит получить дополнительный источник энергии для зданий и при этом пропускать свет для естественного освещения помещений. Такое применение приведет к снижению затрат на электроэнергию и увеличению энергоэффективности.

Заключение

Прозрачные солнечных панели, в настоящий момент времени, все еще находятся в стадии интенсивного исследования и разработки. Однако они имеют огромный потенциал для будущего использования в солнечной энергетике. У них есть возможность не только создавать и накапливать

энергию, но и интегрировать их в повседневные предметы, такие как оконные стекла и фасады зданий, для того чтобы обеспечивать энергией даже там, где раньше это было невозможно. Такие панели могут стать основой для создания новых технологий, которые помогут решить проблемы изменения климата и обеспечить безопасность использования энергии.

Литература

1. Transparent Solar Panels [Электронный ресурс] / GREENLANCER. – Режим доступа: [https://www.greenlancer.com//post/transparent-solar-panels /](https://www.greenlancer.com//post/transparent-solar-panels/). – Дата доступа 10.04.2024.
2. Будущее за прозрачными солнечными панелями [Электронный ресурс] / IT community. – Режим доступа: [https://itc.ua/blogi/budushhee-za-prozrachnyimi-solnechnyimi-batareyami /](https://itc.ua/blogi/budushhee-za-prozrachnyimi-solnechnyimi-batareyami/). – Дата доступа: 11.04.2014.

УДК 621.311

**РАСПРОСТРАНЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
ИСПАРИТЕЛЕЙ
COMMON USES AND APPLICATIONS OF VAPORIZERS**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

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

V. Novikova, A. Snapkova
Supervisor – A. Pronkevich, Senior lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматривается применение различных видов испарителей в энергетике как метод повышения эффективности процессов теплопередачи и производства энергии.*

***Abstract:** this article discusses the use of various types of evaporators in the energy sector as a method for increasing the efficiency of heat transfer and energy production processes.*

***Ключевые слова:** испарители, рекомпрессия, пар, технология, энергосбережение, концентрирование, фазовый переход, утилизация отходов, термическая обработка, энергоэффективность.*

***Key words:** evaporators, recompression, steam, technology, energy saving, concentration, phase transition, waste disposal, heat treatment, energy efficiency.*

Введение

Испарители широко используются в большинстве отраслей промышленности, которые зависят от постоянной подачи жидкостей или химикатов. Например, в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха используются змеевики испарителя для испарения сжатых охлаждающих химикатов, отводя при этом тепло. В этих системах также используются змеевики конденсатора для отвода тепла наружу, что делает весь процесс намного более эффективным.

Основная часть

Испарители, например, с рекуперацией тепла используются для преобразования морской воды в чистую на опреснительных установках [1]. Коммунальные компании, как правило, предпочитают эти испарители альтернативным решениям из-за их простоты и минимальных требований к энергии. Конечным результатом является снижение эксплуатационных расходов.

Испарители также используются на нефтяных месторождениях для отделения воды и различных других соединений от сырой нефти [1]. Хотя их сложнее использовать, чем другие типы испарителей, они, тем не менее, популярны среди энергетических компаний, поскольку позволяют снизить

эксплуатационные расходы, одновременно соблюдая государственные стандарты.



Рисунок 1 – Атмосферные испарители, используемые на нефтяных месторождениях [1]

В пищевой промышленности также используются испарители: для достижения консистенции продукта (например, кофе); концентрирование жидких продуктов, таких как лапша; получение сгущенного молока – продукта процесса удаления воды из молока. Аналогичным образом фармацевтические компании используют испарители для удаления избыточной влаги из лекарств, тем самым улучшая стабильность продукта.

Еще одна область, в которой широко используются испарители, – это утилизация отходов. Поставщики услуг по управлению отходами полагаются на них при очистке стоков или сточных вод с различных заводов, включая винокуренные заводы, зерновые мельницы, скотобойни, текстильные фабрики, химические реакторы и резервуары для хранения.

Типы испарителей. Выделяют следующие виды испарителей: наиболее часто используемые (испаряет растворитель, чтобы удалить его из раствора, с целью концентрирования инертного растворенного вещества); с падающей пленкой (равномерно распределяет жидкость, и обеспечивает поток тонкой пленки для частичного испарения); с восходящей пленкой (используют восходящую силу пара для создания восходящего потока жидкости и пара, способствуя эффективному испарению вязких или склонных к загрязнению продуктов); с принудительной циркуляцией (предотвращает кипение или кристаллизацию на поверхности теплопередачи); пластинчатые (в качестве

поверхностей нагрева используются пластины с рамкой, обеспечивающие большие проходы для пара и равномерное распределение жидкости).

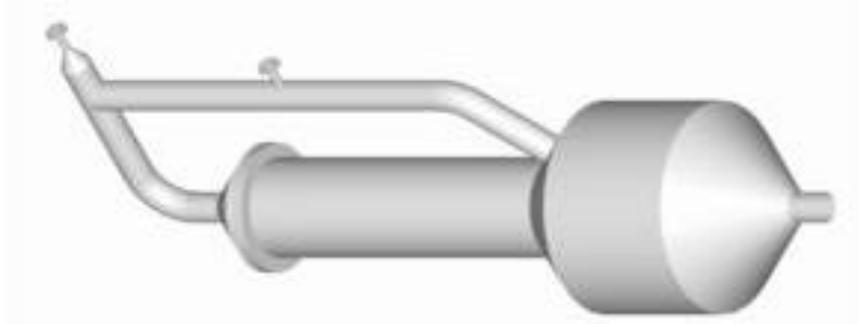


Рисунок 2 – Испаритель с восходящей пленкой [2]



Рисунок 3 – Испаритель с принудительной циркуляцией [2]

Технологии испарения. Термическая рекомпрессия пара или TVR – это технология, в которой используется принцип Вентури для восстановления низкотемпературных паров продукта путем их повторного сжатия паром котла высокого давления. Таким образом, потребление котлового пара снижается вдвое при условии повышения температуры повторно сжатого пара на 10°C.

Механическая рекомпрессия пара или MVR по-прежнему остается наиболее энергосберегающей технологией в испарителях для пищевой промышленности. MVR основан на повторном использовании вторичного пара и его скрытого тепла, вырабатываемого самой системой испарения, в качестве источника тепла для испаряющейся жидкости. Температура пара, образующегося при концентрировании, повышается за счет его механического сжатия в условиях насыщения. Таким образом, повторно сжатый пар (примерно на 6–8°C) можно рециркулировать через теплообменник, достигая двойной цели: нулевой расход пара котла, почти полное снижение потребности в градирнях для конденсации избыточного пара.

Различные технологии выпаривания можно комбинировать для достижения дополнительных преимуществ в области энергосбережения.

Чтобы максимизировать эффективность испарителя MVR, входящий продукт должен иметь температуру выше внутренней точки кипения 75°C. Это позволит начать процесс испарения с верхней части пучка труб, сводя к минимуму потери энергии. Именно это происходит, когда продукт поступает в испаритель MVR после термической обработки Hot Break, тогда как, если он поступает после другой обработки и имеет температуру ниже температуры концентрации, его необходимо предварительно нагреть [3].

Заключение

Испарители играют важную роль в обеспечении эффективной теплопередачи между средами и находят широкое применение в таких отраслях, как холодильное оборудование, пищевая промышленность, фармацевтика и производство электроэнергии. Они выполняют ключевые функции, такие как концентрирование, фазовый переход и повышение энергоэффективности.

Литература

1. Common Uses and Applications for Evaporators [Электронный ресурс] / Common Uses and Applications for Evaporators. – Режим доступа: <https://thermalkinetics.net/common-uses-applications-evaporators/>. – Дата доступа: 28.03.2024.
2. Испаритель – Evaporator [Электронный ресурс] / Испаритель – Evaporator. – Режим доступа: <https://ru.wikibrief.org/wiki/Evaporator/>. – Дата доступа: 28.03.2024.
3. Испарительные технологии для энергосбережения [Электронный ресурс] / Испарительные технологии для энергосбережения. – Режим доступа: <https://www.cft-group.com/evaporation-technologies-for-energy-saving/>. – Дата доступа: 29.03.2024.

УДК 62.368

РЕКУПЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА RECOVERY PLANT

А.В. Геут

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

A. Geut

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

***Аннотация:** в данной статье рассмотрен принцип работы рекуперационной установки, разобраны его основные виды, а также описаны его конструктивные особенности.*

***Abstract:** this article discusses the operating principle of a recovery unit, examines its main types, and also describes its design features.*

***Ключевые слова:** рекуператор, теплообмен, энергия, теплота.*

***Keywords:** recuperator, heat exchange, energy, heat.*

Введение

Рекуператор – это вид теплообменника, представляющий собой необычную конструкцию. Суть его работы заключается в следующем: воздух, удаляемый из помещения, проходит через теплообменник и выбрасывается в окружающую среду, отдавая свое тепло поступающему воздуху. Данный принцип экономит энергию и снижает затраты на топливо.

Основная часть

Рекуперационная установка предназначена для теплообмена между уходящей и поступающей средой. Главным условием такого теплообмена является недопущение смешивания этих сред. В противном случае возникает риск загрязнения различными примесями поступающей среды выходящей. Рекуператоры разделяют на следующие виды: роторный, пластинчатый, с промежуточным теплоносителем, камерный и фреоновый.

Роторный (ротационный) рекуператор – это устройство, повышающее энергоэффективность системы, в частности процессов кондиционирования и отопления. Главная его особенность заключается в наличии большого вращающегося колеса или ротора, где одна часть предназначена для вытяжного воздуха, а вторая для выходящего. Они обладают высокой эффективностью в местах с ограниченным пространством.

Пластинчатый рекуператор представляют собой пластинчатые теплообменники, которые применяются для теплообмена между двумя потоками жидкости. Он состоит из множества металлических пластин с промежутками между ними для прохождения двух жидкостей (рисунок 1).

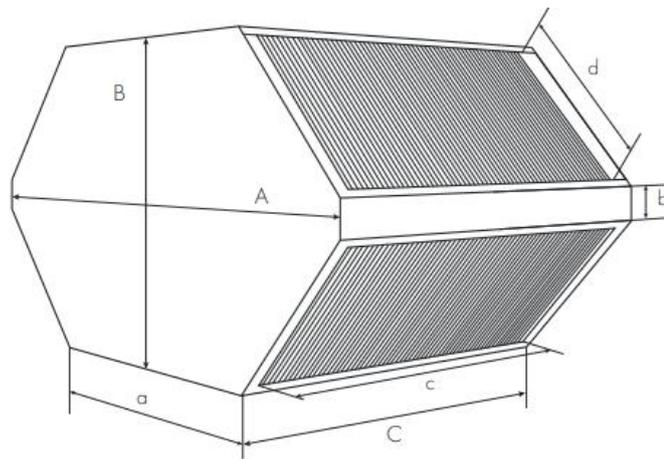


Рисунок 1 – Схема пластинчатого рекуператора [1]

Отличительной особенностью рекуператора данного типа является вспомогательная секция, по которой будет проходить холодная среда для обмена теплом со средами, между которыми она находится. Его в основном используют в местах, где присутствует значительная разница температур между холодной и горячей жидкостью.

Камерный рекуператор – это система рекуперации тепла, в котором стенка играет роль теплопередающей поверхности. Основным элементом служит заслонка, которая разделяет камеру напополам. Принцип работы таков, что поток, проходя через данную заслонку, раздваивается. Верхний поток проходит через более нагретую стенку и тем самым нагревается сам. В свою очередь нижний поток, проходя через вторую более остывшую половину камеры, передает свое тепло уже стенке. После этого заслонка возвращается в исходное положение и процесс повторяется. Рекуператоры данного типа обеспечивают эффективную вентиляцию и сводят к минимуму потери тепла.

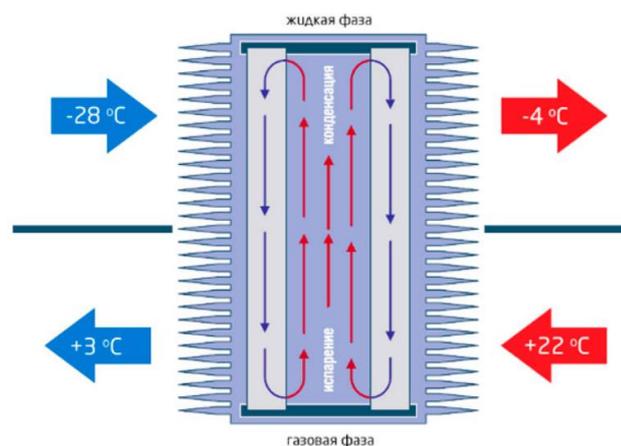


Рисунок 2 – Схема фреонового рекуператора [2]

Фреоновые рекуператоры или рекуператоры хладагента - это теплообменники, созданные для рекуперации отходящего тепла из холодильных систем. Здесь присутствуют сразу два агрегатных состояния:

жидкость и пар. Так как вода имеет большую плотность, то она оказывается в нижней части агрегата. Эти рекуператоры используются для повышения общей энергоэффективности процесса охлаждения за счет передачи тепла от горячего хладагента к поступающему холодному хладагенту (рисунок 2).

Рекуперационные установки имеют множество преимуществ, которые делают их наиболее эффективными в различных областях применения. Основные достоинства рекуперационных установок [2]:

1. Основным преимуществом данных устройств является их конструкция, обеспечивающая задержку теплоты внутри, что позволяет интенсифицировать процессы теплообмена. Также к преимуществам конструкции можно отнести их меньший теплообмен с внешней средой.

2. За счёт работы при вторичных параметрах (например, вторичный воздух) установка способствует уменьшению расхода сред в циклах.

3. Увеличение эксплуатационного периода оборудования путём использования предварительного нагрева или охлаждения поступающего потока.

Перейдём к отрицательным сторонам рекуперационных установок:

1. Высокая стоимость обусловлена сложностью конструкции, высоким качеством материалов.

2. В случае, когда среда содержит агрессивные химические вещества, требуется применение специальных, устойчивым к агрессивным химическим реакциям материалов.

3. Чем больше будет снижаться эффективность процессов теплообмена в такой установке, тем меньше будет разница между температурой среды внутри рекуператора и температурой внешней среды.

Заключение

В процессах, протекающих на тепловых станциях рекуперативный теплообменник работает в качестве вспомогательного оборудования. Наибольшее распространение получили пластинчатый и фреоновый рекуператоры. Их конструкция, в сравнении с остальными видами, наиболее проста и более распространена, ведь применяется во многих теплообменных устройствах. В рекуператорах данных типов процесс теплообмена наиболее эффективен.

Литература

1. Рекуперация [Электронный ресурс] / Рекуперация. – Режим доступа: <https://merakom.ru/technology/recuperators/#:~:text=Фреоновый%20рекуператор%20представляет%20собой%20теплообменник%2C,забирать%20теплоту%20от%20вытяжного%20воздуха/>. – Дата доступа: 17.04.2024.

2. Рекуператоры воздуха. Виды и принципы их работы. [Электронный ресурс] / Рекуператоры воздуха. Виды и принципы их работы. – Режим доступа: <https://dantex.ru/articles/rekuperatory-vozdukha-vidy-i-printsip-raboty/>. – Дата доступа: 17.04.2024.

УДК 62.69

ТИПЫ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ TYPES OF ECONOMIZERS

Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
levshin@bntu.by

E. Stelmak, V. Bezhelev

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: одним из важнейших элементов котла является экономайзер. Экономайзер – это теплообменное устройство, основной функцией которого является подогрев питательной воды до температуры близкой к температуре насыщения и охлаждения продуктов сгорания. Параметры экономайзера, его характеристики, типы и принцип работы будут детально рассмотрены в данной статье.

Abstract: one of the most important elements of the boiler is the economizer. An economizer is a heat exchange device, the main function of which is to heat feed water to a temperature close to the saturation temperature and cool the combustion products. The parameters of the economizer, its characteristics, types and principle of operation will be discussed in detail in this article.

Ключевые слова: экономайзер, котел, питательная вода, трубки, температура.

Keywords: economizer, boiler, feed water, tubes, temperature.

Введение

Рабочий цикл котла начинается с подачи питательным насосом в экономайзер питательной воды. Затем она поступает в барабан, где происходит сепарация, и часть воды превращается в сухой насыщенный пар, поступающий потребителю или в пароперегреватель и далее на турбину, а оставшаяся часть воды под действием естественной циркуляции (движение по контуру естественной циркуляции) направляется в экранные трубы, и проходя нижние коллекторы и ряды плотно расположенных подъемных труб, возвращается в барабан в виде пара. В котлах прямоточного типа вода после экономайзера поступает сразу в экранные трубы. Такой водяной путь называется пароводяным трактом котла.

Основная часть

Для барабанных или прямоточных котлов экономайзеры одинаковы. Форма компоновки – П-образная. Трубки экономайзеров, как правило, изготавливаются диаметров 28–32мм, длиной два либо три метра и находятся между друг другом на расстоянии 60–65 см.

Из приведенных ниже рисунков 1 и 2 видно, что потери тепловосприятия в экономайзере с ростом давления увеличиваются, и диапазон изменения

потерь – 15–40%, а диапазон изменения температуры, при выше оговорённых условиях, составляет около 270°C.

Среднее тепловосприятие экономайзера – 10–20% от располагаемой теплоты котла:

$$Q_{\text{ЭК}}^{\text{CP}} = (10 - 20\%)Q_{\text{P}}^{\text{P}}, \quad (1)$$

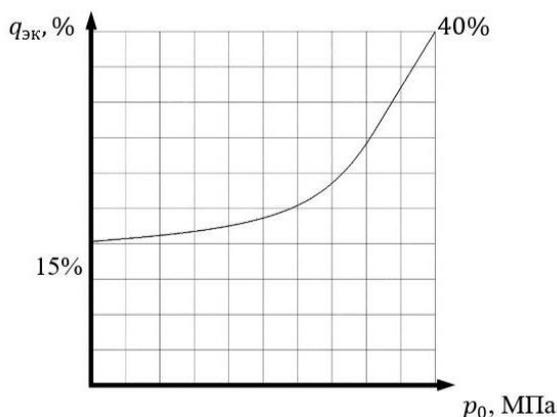


Рисунок 1 – Зависимость потерь тепловосприятия в экономайзере от давления $q_{\text{ЭК}} = f(p_0)$

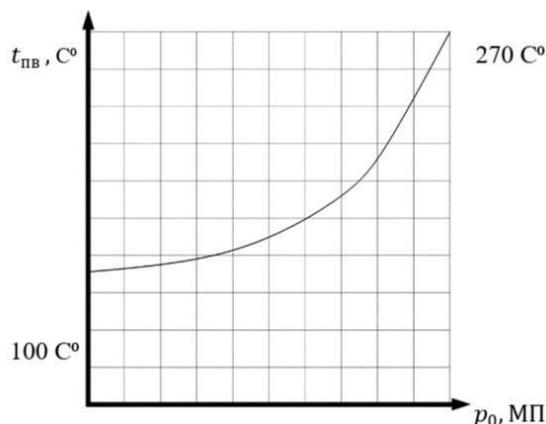


Рисунок 2 – Зависимость температуры питательной воды от давления $t_{\text{пв}} = f(p_0)$

В основном, экономайзеры подразделяют на два типа: кипящий и не кипящий. *Кипящий* и *не кипящий* экономайзеры в конструктивном исполнении не имеют различий.

Кипящий экономайзер – это экономайзер, который подогревает питательную воду до температуры выше температуры насыщения. Около 20% воды в кипящем экономайзере превращается в пар.

Не кипящий экономайзер – это экономайзер, который подогревает питательную воду до температуры меньше температуры насыщения при данном давлении на 30–40°C. При применении такого типа экономайзера вода в пар вообще не обращается. Также экономайзеры классифицируются по материалу изготовления. Бывают *чугунные* и *стальные*.

Чугунные экономайзеры [3] конструктивно подходят и чаще всего устанавливаются в котлах малой мощности. Чугунные экономайзеры никогда не выполняются кипящими, недогрев до температуры насыщения составляет не менее 20°C , во избежание кавитации питательного насоса, чтобы предотвратить парообразование и внутренние гидравлические удары. К достоинствам экономайзера данного типа можно отнести его устойчивость к газовой и кислородной коррозии, а также долгий срок службы. Зато они имеют ряд недостатков: громоздкость и боязнь напряжения изгиба. Трубы экономайзера соединяются друг с другом на торцевой стороне с помощью дуги. Расположение труб в чугунном экономайзере – шахматное.

Конструкцию чугунного экономайзера рассмотрим на примере экономайзера ЭБ-330 [1]:

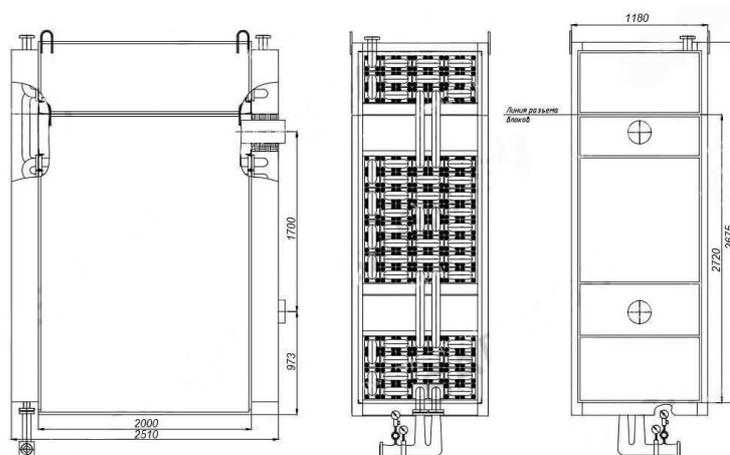


Рисунок 3 – Чугунный экономайзер ЭБ-300 [1]

Стальные экономайзеры, в отличие от чугунных, устанавливаются в котлах большой мощности. Выполняются из стали Ст. 3 или Ст.20. Стальные экономайзеры бывают: гладкотрубными, ребристыми, плавниковыми и мембранными. У стальных гладкотрубных экономайзеров поверхность нагрева представлена гладкими согнутыми трубками в виде змеевиков. У стальных экономайзеров нагреваемые трубки имеют ребра, способствующие интенсификации процесса теплопередачи. Данные трубки имеются также у чугунных экономайзеров.

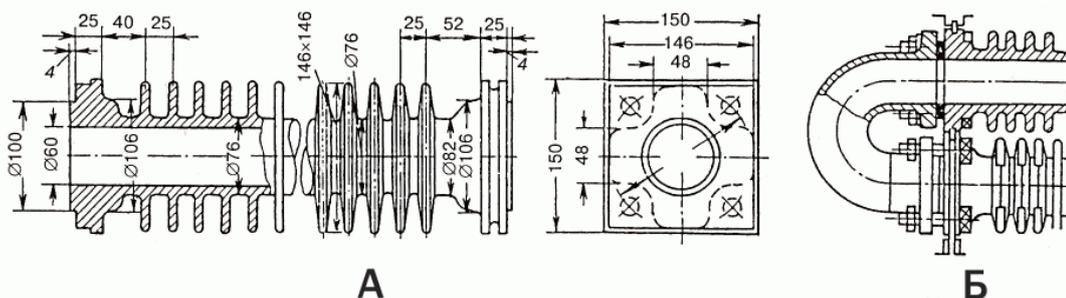


Рисунок 4 – Ребра трубок экономайзера. Вид А и вид Б [3]

У стальных гладкотрубных плавниковых экономайзерах объем поверхности нагрева на 25–30% меньше за счет плавников, задерживающих тепло. Эти трубки бывают с приварными плавниками и плавниковым профилем.

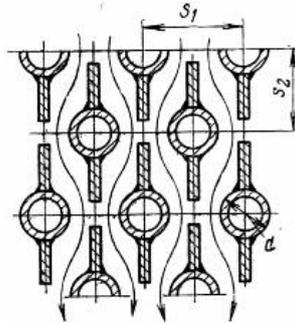


Рисунок 5 – трубки с приварными плавниками [4]

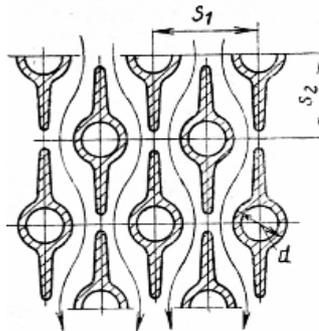


Рисунок 6 – трубки с плавниковым профилем [4]

У стальных мембранных экономайзеров имеются перегородки толщиной 2–3 мм. Экономайзеры с такими трубками эффективнее по сравнению с гладкотрубными и требуют меньше металла на производство.

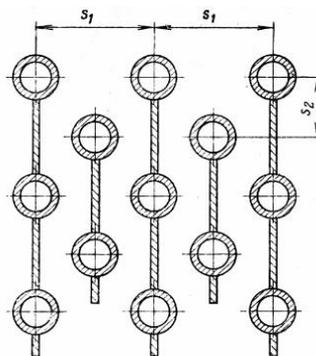


Рисунок 7 – трубки мембранные [4]

Только стальные мембранные экономайзеры имеют коридорное расположение труб. Конструкцию стального экономайзера рассмотрим на примере экономайзера БВЭС-V-1[2]:

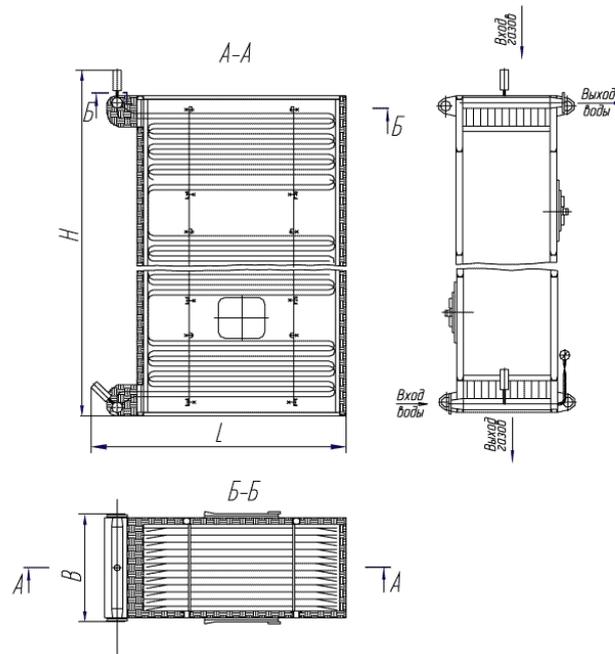


Рисунок 7 – Стальной экономайзер БВЭС-V-1 [2]

Для наглядного сравнения характеристик экономайзеров в качестве чугунного экономайзера будем рассматривать ЭБ-330, применяемый в одно- или двух барабанных котлах с комбинированной и естественной циркуляцией, а в качестве стального экономайзера рассмотрим БВЭС-V-1 – блочный водяной стальной экономайзер с типоразмером V, применяемый в одно- или двух барабанных котлах с естественной циркуляцией.

В таблице 1 приведено сравнение чугунного и стального экономайзера.

Таблица 1 – Сравнение чугунного и стального экономайзера

Характеристические элементы	Единицы измерения	Чугунный экономайзер ЭБ-330	Стальной экономайзер БВЭС-V-1
Площадь поверхности нагрева	м ²	330,4	239
Температура на входе в экономайзер	°С	100	100
Температура на выходе из экономайзера	°С	140	140
Давление воды	МПа	2,5	2,5
Габаритные размеры LxВxН, мм	мм	2530x1328x3525	2500x2100x4800
Масса	кг	11420	8222

Экономайзеры разделяются еще по степени охлаждения дымовых газов и *бывают конденсационные и не конденсационные* [5].

Принцип конденсационных экономайзеров заключается в охлаждении дымовых газов, в результате которого водяной пар, находящийся в этих газах конденсируется. Затем образовавшийся конденсат выносится из экономайзера. Экономайзеры такого типа могут устанавливаться при параметрах котла, указанных ниже в таблице 2:

Таблица 2 – Параметры конденсационного экономайзера [5]

Характеристические элементы	Единицы измерения	Значение величины
Максимальная мощность	МВт	300
Температура дымовых газов	°С	80–250
Рабочее давление	бар	2–16

Все остальные экономайзеры, в которых вышеописанной процесс конденсации не предусмотрен, являются не конденсационными.

Заключение

В статье рассмотрены различные типы экономайзеров, которые позволяют повысить эффективность топливоиспользования с учётом их весогабаритных и стоимостных характеристик в широком диапазоне паро- и теплопроизводительности котлов.

Литература

1. Экономайзер чугунный ЭБ1-300 [Электронный ресурс] / Экономайзер чугунный ЭБ1-300. – Режим доступа: <https://alteps.ru/ekonomajzer-chugunnuu-eb-1-300.html> /. – Дата доступа: 27.03.2024.
2. Экономайзер стальной БВЭС-V-1 [Электронный ресурс] / Экономайзер стальной БВЭС-V-1. – Режим доступа: <https://alteps.ru/bves-v-1.html> /. – Дата доступа: 27.03.2024.
3. Чугунные экономайзеры [Электронный ресурс] / Чугунные экономайзеры. – Режим доступа: <https://dlyakotlov.ru/catalog/kotelnoe-oborudovanie/ekonomajzery-chugunnye/> /. – Дата доступа: 27.03.2024.
4. Типы экономайзеров [Электронный ресурс] / Типы экономайзеров. – Режим доступа: <http://taketop.ru/articles/energetika/teplosnabgenie/kotelnue-ystan/ekonomajzeru/> /. – Дата доступа: 27.03.2024.
5. Конденсационные экономайзеры для котлов [Электронный ресурс] / Конденсационные экономайзеры для котлов. – Режим доступа: https://keepwarmeurope.eu/fileadmin/user_upload/Learning_Centre/Ukraine/T2.3-2_ENESTENA_ekonomajzeri_llight.pdf /. – Дата доступа: 27.03.2024.

УДК 338.984

ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ EJECTION COOLING TOWERS

В.Р. Бежелев, Е.М. Стельмак

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pronkevichAV@mail.ru
V. Bezhelev, E. Stelmak
Supervisor – A. Pronkevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматривается принцип работы эжекционных градирен, кратко описаны основные преимущества и недостатки данного типа.*

***Abstract:** this article discusses the operating principle of ejection cooling towers and briefly describes the main advantages and disadvantages of this type.*

***Ключевые слова:** охлаждение, вода, паровые эжекторы, энергия, пар.*

***Keywords:** cooling, water, steam ejectors, energy, steam.*

Введение

Градирни являются неотъемлемой частью теплоэлектростанции. Градирня — это сооружения для охлаждения воды теплоносителя, циркулирующей в оборотной системе теплоснабжения. Оборотная система водоснабжения — это система в которой вода используется в качестве хладагента для охлаждения теплообменного оборудования. Использование градирен позволяет сэкономить природную воду в отличии от прямоточных систем и исключают тепловое загрязнение водоемов. Башни служат для создания естественной тяги, благодаря разности давлений в воздухе. В самой башне располагаются оросители и водосборный резервуар. За счет высоты башни, одна часть испаренной воды уходит в атмосферу, а другая обратно в цикл.

Основная часть

Градирни, по способу подачи воздуха, разделяют на несколько типов: башенные, вентиляторные, брызгальные и эжекционные (таблица 1). Эжекционные градирни – это специальные устройства, в основе которых лежит принцип эжекции. Эти паровые эжекторы используются для создания тяги и охлаждения воды. Суть этого эффекта заключается в том, что происходит перемешивания потоков с большими скоростями. Т.е. среда с высоким давлением и более высокой скоростью ухватывает за собой среду с более низкими параметрами, такой поток называется эжектируемым. При смешивании этих сред происходит уравнивание скоростей. Паровые эжекторы — устройства, использующие пар под высоким давлением, чтобы создать вакуум. Эти эжекторы, в свою очередь, состоят из диффузоров и насадок для ускорения пара и создают зону низкого давления. Также паровые

эжекторы создают вакуум, который всасывает воздух из окружающей среды в воздухооборник градирни.

Таблица 1 – Сравнение характеристик разных типов градирен [1]

№	Показатель	Ед. изм.	Тип градирни		
			башенная	вентиляторная	эжекционная серии НТ
1	Расход оборотной воды через модуль/секцию	м ³ /ч	1500-50000 /и более	15-50000 /и более/	5*-50000 /и более/
2	Потребное давление	кгс /см ³	1,2	1,5	1,2-5 (от давления зависит глубина охлаждения)
3	Перепад температур/без рециркуляции/*	°С	7-10	8-15	8-15
4	Макс. глубина охлаждения/без рециркуляции/разница между температурой охлажденной воды и температурой воздуха по влажному термометру	°С	7-9	4-6	3-4
5	Потери воды: -испарение - каплеунос	%	0,9 0,1	1 0,01	1 0,01
6	Удельная электрическая Р насосов и вентиляторов на охлаждение 1м ³ воды	кВт	0,133	0,183	0,175
7	Удельные капитальные затраты на градирню, включая бассейн/поддон и фундамент /на 1 м ³ воды/	тыс. руб.	21-22	13-14	6-7
8	Шумовое воздействие (вплотную / на 10м от градирни)	дБ	70/60	85-90/75	75/60 и менее
9	Срок окупаемости	год	более 5	2-3	1-2
10	Срок эксплуатации без капремонта	год	10-20	2-4	до 25
11	Гарантийный срок эксплуатации	год	5	5	5

Этот воздух проходит через специальные отверстия в основании башни и далее идет к распылителям воды, называемые форсунками, которые равномерно распыляют воду по поверхности башни. Когда воздух, подсосываемый из окружающей среды, проходит через распыляемую воду, тепло передается от горячей холодному воздуху. Тем самым происходит остывание воды. Охлажденная вода в виде капель падает вниз в резервуар или отстойник. Оттуда она возвращается обратно в цикл для последующего охлаждения. Горячий воздух через вентилятор или отверстие в башне уходит в атмосферу [1].

Использование эжекционных градирен в промышленности имеет ряд преимуществ [2]:

1) основным преимуществом градирни данного типа является охлаждение воды с высокой температурой (иногда свыше 60 °С), что обеспечивает универсальность в разных промышленных процессах;

2) очень важна простота конструкции. Эжекционные градирни состоят из нескольких элементов: систем распыления воды, паровых эжекторов и отстойников для сбора охлажденной воды, что упрощает их обслуживание в случае неисправности;

3) за счет описанного выше пункта появляется еще одно достоинство этой градирни – экономичность. Упрощенная конструкция может с течением времени привести к снижению эксплуатационных расходов;

4) эжекционные градирни за счет систем распыления воды удаляют и вымывают частицы, различные примеси, химикаты и другие вещества. В следствии чего рециркуляционная вода становится более чистой.

Также присутствуют и некоторые недостатки эжекционные градирен:

1) не смотря на простоту, эжекционные градирни весьма требовательны по потреблению энергии, в частности паровые эжекторы. Это может привести к повышенному потреблению энергии по отношению к другим видам градирен;

2) в эжекционных градирнях процесс теплопередачи менее эффективен, в результате процесс охлаждения происходит не так активно и это может потребовать несколько больших размеров башен для достижения требуемой охлаждающей способности;

3) из-за использования паровых эжекторов, движения воздуха и воды эжекционные градирни создают некоторый шум. Это может стать проблемой, в случае близкого расположения градирни с жилыми районами.

Заключение

В общем и целом, градирни данного типа являются наиболее эффективным решением по охлаждению воды. Они становятся популярным выбором для разных отраслей промышленности за счет их многофункциональности и экономической эффективности. Но для выбора того или иного типа градирен, важно учитывать следующие условия: энергоэффективность, начальную стоимость, воздействие на окружающую среду и требования к техническому обслуживанию.

Литература

1. Эжекционные градирни – энергоэффективное, современное решение [Электронный ресурс] / Эжекционные градирни – энергоэффективное, современное решение. – Режим доступа: <https://isguru.ru/wp-content/uploads/2017/05/статья-с-изменениями-на-верстку-1.pdf> /. – Дата доступа: 04.04.2024.

2. Опыт внедрения эжекционных градирен в системах оборотного водоснабжения с нестандартными условиями эксплуатации [Электронный ресурс] / Опыт внедрения эжекционных градирен в системах оборотного водоснабжения с нестандартными условиями эксплуатации. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/119362/30-33.pdf?sequence=1&isAllowed=y> /. – Дата доступа: 01.04.2024.

УДК 621.181.253

ЭЛЕКТРОКОТЛЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ELECTRIC BOILERS AND FEATURES OF THEIR APPLICATION

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедевич

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

T. Pozharitsky, S. Krutsikau, I. Lebedevich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрены основные достоинства и недостатки применения электродкотлов, их конструктивные и технические особенности, принцип работы. Перечислены технологические инновации по улучшению эффективности, управляемости и экологичности электродкотлов.*

***Abstract:** the main advantages and disadvantages of using of electric boilers, their design and technical features, and operating principles are considered. Technological innovations to improve the efficiency, controllability and environmental friendliness of electric boilers are listed.*

***Ключевые слова:** электродкотлы, конструктивные и технические особенности, принцип работы, технологические инновации.*

***Keywords:** electric boilers, design and technical features, operating principles, technological innovations.*

Введение

Электродкотлы (ЭК) – это устройства, которые используют электроэнергию для нагрева воды и являются альтернативой котлам на органическом топливе. Часто ЭК используются для отопления малых помещений, например, квартир или домов, позволяя обеспечить тепло и горячую воду в бытовых условиях. Электродкотлы можно устанавливать, как основную систему отопления, так и дополнительным оборудованием к существующим системам. Однако, ЭК обычно требуют больше электроэнергии в сравнении с газовыми котлами, поэтому их использование может быть более затратным. Тем не менее, в некоторых регионах электродкотлы являются более удобным и доступным вариантом отопления.

Основная часть

На рисунке 1 приведена принципиальная схема водонагревательной установки с электродкотлом, а на рисунке 2 – пример конструкции трехфазного ЭК [1].

Центральной частью электродкотла является нагревательный элемент, сделанный из высокоомных материалов, таких как нихром (хромоникелевый сплав), при пропуске тока через который выделяется теплота, передаваемая теплоносителю, обычно воде.

Эффективность преобразования электроэнергии в теплоту в ЭК превышает 99%. При этом важно, чтобы ЭК и трубопроводы были хорошо изолированы для минимизации потерь теплоты: качественная изоляция уменьшает потери, и, как следствие, снижает потребность в постоянном обогреве.

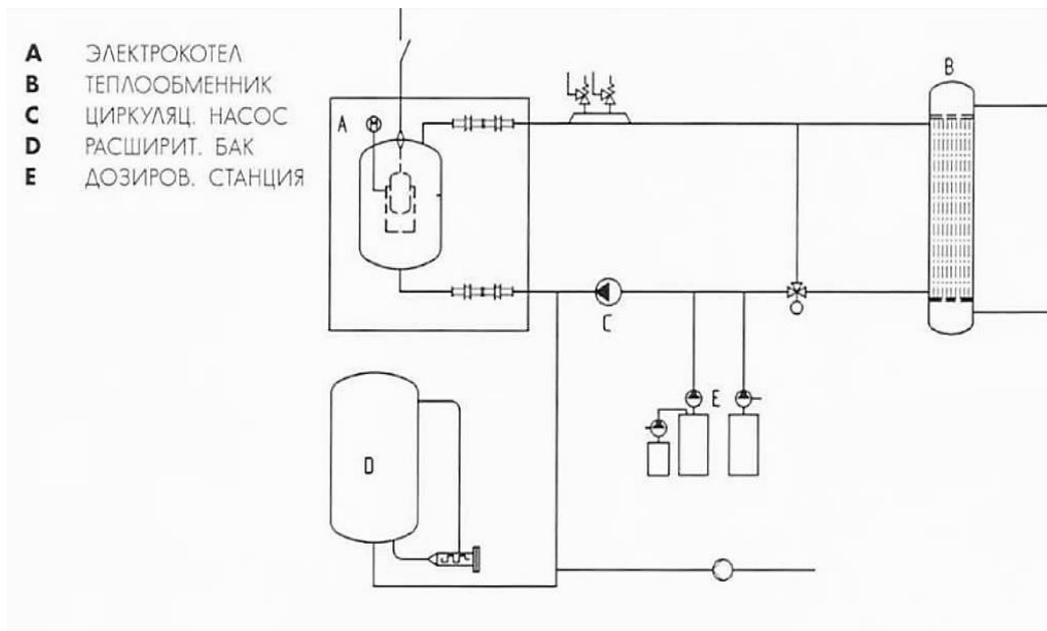


Рисунок 1 – Принципиальная схема водонагревательной установки с электродом



Рисунок 2 – Конструкция трехфазного электродного котла [1]

Современные ЭК оснащены системами автоматического регулирования (САР), которые за счет изменения теплопроизводительности (по мере необходимости), снижают потребление электроэнергии в периоды, когда теплота требуется в меньших количествах. То есть САР оптимизируют работу

ЭК с учетом внешних факторов, таких как температура наружного воздуха и потребление энергии в помещении.

Систематическое техническое обслуживание и контроль состояния ЭК позволяют находить и устранять дефекты и, за счет этого, поддерживать высокую эффективность электродкотлов.

Ниже приведены некоторые технологические инновации, которые играют важную роль в повышении экономичности, управляемости и экологичности ЭК.

1. Интеллектуальные системы управления: термостаты и САР ЭК позволяют управлять отоплением дистанционно, с помощью компьютеров и смартфонов.

2. Использование высокоэффективных материалов с высокой теплопроводностью и теплоемкостью позволяет улучшить теплопередачу и удержание теплоты внутри ЭК.

3. Применение тепловых насосов, которые, будучи встроенными в контур ЭК, могут использовать теплоту из окружающей среды и делать систему еще более эффективной и экономичной.

4. Аккумуляторы тепла, интегрированные в контур ЭК, способны запасать нагретую воду в тот период суток, когда электроэнергия имеет более низкую стоимость, а затем использовать эту теплоту в часы пика потребления.

5. Объединение ЭК с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные батареи или ветроустановки, снижает зависимость от традиционных энергоисточников.

6. Встроенные датчики и системы мониторинга позволяют операторам ЭК и их обслуживающему персоналу следить за состоянием ЭК, предвидя возможные проблемы и выполняя техническое обслуживание более быстро и эффективно.

Электродкотлы, благодаря их удобству, экологичности и эффективности, широко распространены в различных сферах, указанных ниже.

1. Отопление: ЭК можно использовать для обогрева домов, квартир и нежилых зданий (рисунок 3 [2]). Монтаж электрического отопления является экономически наименее затратным, поэтому владельцы частных домов зачастую выбирают электрическое отопление, характеризующееся простотой и удобством в эксплуатации, отлаженной работой САР и отличающуюся высоким уровнем безопасности. Значимым недостатком электрического отопления является высокая стоимость потребляемой электроэнергии.

Отметим, что электроотопление частного дома можно осуществляться за счет следующего оборудования:

- электрический котел с контуром отопления;
- электроконвекторы;
- системы «теплый пол»;
- электрические обогреватели, тепловентиляторы, масляные радиаторы (как дополнительный источник) и другое.

2. Подача горячей воды в бытовых системах горячего водоснабжения. При этом ЭК могут использоваться для точечного применения, например, для подогрева воды в душе или другом сантехническом оборудовании.



Рисунок 3 – Схема установки электродкотла для домашнего отопления [2]

3. Промышленные предприятия, на которых ЭК используются для производственных процессов.

4. Коммерческие и общественные здания, в том числе водные бассейны и объекты агропромышленности. Так, ЭК могут использоваться для отопления и кондиционирования больших общественных зданий, таких как офисы, школы, больницы и магазины, животноводческие помещения и тепличные комплексы.

Также ЭК удобны для временного и (или) сезонного применения.

Заключение

В заключение отметим, что электродкотлы – это гибкое и надежное решение для разнообразных тепловых потребностей, и их применение может быть настроено в соответствии с конкретными требованиями в разных отраслях и областях. Они являются безопасными, экологически чистыми и достаточно экономичными устройствами. Благодаря своей компактности и простоте установки, электродкотлы легко интегрируются в любую систему отопления. Большой выбор моделей и производителей позволяет подобрать котел, соответствующий потребностям и предпочтениям каждого пользователя. Разумное использование электроэнергии и системы управления позволяют оптимизировать работу электродкотлов и снизить расходы на отопление.

Литература

1. Электрические котлы [Электронный ресурс] / PROИнжиниринг. – Режим доступа: <https://pro-engineering.by/katalog/kotly-otopleniya/elektricheskie-kotly/>. – Дата доступа: 10.03.2024.

2. Электродкотел для отопления: как установить в частном доме [Электронный ресурс] / Отопление дома. – Режим доступа: <https://gaz-pgo.ru/podkluchenie-elektrokotla-k-sisteme-otoplenia-montaz-i-shema/>. – Дата доступа: 10.03.2024.

УДК 621.182

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЮ
ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ
POWER PLANT USING CIRCULATING FLUIDIZED BED
TECHNOLOGY**

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков, И.А. Лебедевич

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

T. Pozharitsky, S. Krutsikau, I. Lebedevich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрены основные характеристики первого в мире энергоблока с котлом с циркулирующим кипящим (псевдоожигненным) слоем на сверхкритические параметры пара. Описаны этапы строительства энергоблока. Указаны показатели тепловой эффективности и экологичности.*

***Abstract:** the main characteristics of the world's first power unit with a boiler with a circulating fluidized bed for supercritical steam parameters are considered. The stages of construction of the power unit are described. Indicators of thermal efficiency and environmental friendliness are shown.*

***Ключевые слова:** котел, циркулирующий кипящий (псевдоожигненный) слой, сверхкритические параметры пара, эффективность, экологичность.*

***Keywords:** boiler, circulating fluidized bed, supercritical steam parameters, efficiency, environmental friendliness.*

Введение

Прошло почти пол века со дня подачи основного патента на технологию сжигания с циркулирующим кипящим (псевдоожигненным) слоем (ЦКС) для тепловых электростанций (ТЭС) [1]. Быстрое промышленное развитие котлов с ЦКС для ТЭС началось с небольших стационарных установок и дошло до современного уровня энергоблоков электрической мощностью до 600–800 МВт [1]. В данной работе рассмотрим некоторые характеристики самого мощного в Европе энергоблока с ЦКС мощностью 460 МВт, построенного Foster Wheeler Power Group (FW).

Основная часть

Энергоблок начал коммерческую эксплуатацию в 2009 году, открыв новый период в развитии технологии ЦКС. Центральный элемент электростанции Āagisza – крупнейший на тот момент в мире котел с циркулирующим кипящим (псевдоожигненным) слоем, который также является первым в мире котлом с ЦКС прямоточного типа, производящим пар сверхкритических параметров (таблица 1) [2].

Новый энергоблок мощностью 460 МВт (брутто) заменил старые энергоблоки электростанции Āagisza, расположенной на юге Польши.

Существующие 7 блоков (от 110 до 125 МВт каждый) были возведены в 1960-е годы. Двое из них были остановлены после ввода в эксплуатацию нового энергоблока. Котел с ЦКС был построен рядом со старыми котлами, при этом многие существующие системы, такие как обработка угля и очистка воды, были отремонтированы и использованы для нового блока ЦКС.

Таблица 1 – Параметры генерируемого пара при 100% нагрузке котла [2]

Параметры пара	Размерность	Значение
Острый пар:		
- расход	кг/с	361
- давление	МПа	27,5
- температура	°С	560
Пар промперегрева:		
- расход	кг/с	306
- давление	МПа	5,48
- температура «холодного» промперегрева	°С	315
- температура «горячего» промперегрева	°С	580
Температура питательной воды	°С	290

Рассмотрим некоторые уникальные особенности конструкции и работы данного котла (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Котел с ЦКС Áagisza [2]

Основным топливом для котла является битуминозный уголь, который добывается на 10 местных угольных шахтах с широким диапазоном параметров угля, что учитывает топливная гибкость технологии ЦКС. Конструкция котла дополнительно оптимизирована для сжигания других видов топлива, в том числе угольной суспензии, которую в больших количествах можно приобрести на местных угольных шахтах. ЦКС предназначен для сжигания влажного угольного шлама, доля которого составляет до 30% от общего количества теплоты топлива. Также можно сжигать отходы обогащения угля в виде сухих гранулятов угольного шлама. Кроме того котел предназначен для использования топлива из биомассы в количестве до 10% от массы исходного топлива [2].

Параметры генерируемого пара, выбранные для этого котла, были проверены на других сверхкритических установках, поэтому использовались обычные котельные стали. Отметим, что в нем применена технология BENSON с вертикальными трубами испарителя по лицензии Siemens AG, Германия [2].

Технология ЦКС не имеет горелок или пламени внутри топки. Вместо этого используется технология псевдооживления для смешивания и циркуляции частиц топлива с известняком, которые сгорают при сравнительно низкой температуре. Известняк улавливает оксиды серы по мере их образования, а низкая температура горения сводит к минимуму образование оксидов азота (NO_x).

Частицы топлива и известняка снова и снова возвращаются в топку, что приводит к высокой эффективности сжигания топлива, улавливанию загрязняющих веществ и передаче теплоты пару, подаваемому к паровой турбине.

Топливо поступает в котел с циркулирующим псевдооживленным слоем из угольных бункеров (слева), а очищенные дымовые газы выходят из электрофильтра (справа) к дымовой трубе установки (рисунок 1).

Расчетная эффективность нетто электростанции для Āagisza составляет 43,3% по нижней теплоте сгорания (LHV) или 41,6% по высшей теплоте сгорания (HHV). Полезная выходная мощность – 439 МВт. Это заметное увеличение по сравнению с 35%-ной эффективностью исходных установок электростанции. В сравнении с ними выбросы оксидов азота (NO_x) на новом блоке ЦКС снижены на 71%, а выбросы углекислого газа (CO_2) – на 28% [2].

Электростанция также имеет много других инновационных конструктивных особенностей, которые еще больше повышают надежность, эксплуатационную гибкость, а также общую эффективность производства электроэнергии. К ним относятся компактные сепараторы твердых частиц, пароперегреватели INTREX и низкотемпературная система рекуперации тепла дымовых газов, в которой они охлаждаются до 85°C [2].

Конструкция Āagisza также включает в себя компактные сепараторы для циркуляции твердых частиц внутри топки. Вместо горячих циклонов с тяжелой огнеупорной футеровкой в установке используются компактные сепараторы с паровым охлаждением. Преимущества этой конструкции включают снижение затрат на техническое обслуживание, более короткое время запуска и меньшую

площадь котла, что важно, поскольку новый котел должен был вписаться в существующую площадку.

Конструкция установки была дополнительно усовершенствована за счет INTREX (интегрированного теплообменника), который извлекает тепло из горячего циркулирующего материала, возвращаемого из сепаратора, или из твердых частиц, отбираемых непосредственно из нижней части печи. Непрерывный поток плотных твердых частиц обеспечивает высокие коэффициенты теплопередачи в небольшом физическом пространстве и предотвращает образование отложений на поверхности труб. Для управления тепловой нагрузкой INTREX не требуется никаких механических устройств, что достигается за счет псевдооживления горячих твердых частиц воздухом.

Объем работ, произведенный Foster Wheeler, содержит котельный остров «под ключ», включая проектирование, общестроительные работы и фундамент котла, ограждение котельной со стальными конструкциями, части котла, работающие под давлением, вспомогательное оборудование, главный трубопровод пара к турбине и трубопроводы промежуточного перегрева пара, угольные бункеры, оборудование подачи топлива, электрофильтр и система рекуперации тепла дымовых газов, средства управления котлом, контрольно-измерительные приборы, а также строительство, монтаж и пуско-наладочные работы.

Заключение

Отметим положительный опыт эксплуатации первого в мире котла ЦКС на сверхкритические параметры пара. Стабильная и легко регулируемая работа блока на ТЭС Āgisza позволил компании Foster Wheeler наработать ценную базу знаний, чтобы в ближайшем будущем предложить технологию ЦКС со сверхкритическими параметрами пара для электростанций мощностью до 800 МВт, обеспечивая современную эффективность электростанций.

Литература

1. Leuschke, F. 40 years of circulating fluidized bed (CFB) power plant technology / F. Leuschke, T. Becker, G. Heiermann // Conference: Power Gen India. – May 2017.
2. Giglio, B. World's Largest Circulating Fluidized Bed Boiler Begins Commercial Operation [Электронный ресурс] / POWER. – Dec 10, 2009. – Режим доступа: <https://www.powermag.com/worlds-largest-circulating-fluidized-bed-boiler-begins-commercial-operation/>. – Дата доступа: 05.04.2024.

УДК 621.311.22

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПИКОВО РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
METHODS OF UTILIZATION OF FLUE GASES OF PEAK BACKUP POWER SOURCES

Н.В. Лях

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

N. Liakh

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе будут рассмотрены способы утилизации дымовых газов ГТУ, используемых в качестве пиково-резервных источников электроэнергии.*

***Abstract:** in this paper, the methods of utilization of flue gases of GTU used as peak backup sources of electricity will be considered.*

***Ключевые слова:** утилизация дымовых газов, газотурбинная установка, ГТУ, пиково-резервные источники электроэнергии, ПРЭИ, котёл-утилизатор.*

***Keywords:** flue gas disposal, gas turbine unit, GTU, peak-reserve power sources, waste heat boiler.*

Введение

В связи с относительно скорым вводом АЭС в белорусскую энергосистему, неизбежно появляется необходимость в строительстве большого аварийного резерва электрогенерирующих мощностей. В качестве последнего чаще всего выступают газотурбинные установки (ГТУ). Поэтому вопрос утилизации дымовых газов от ГТУ, с целью повышения энергоэффективности строящихся ПРЭИ является весьма актуальным.

Основная часть

В соответствии с «Комплексным планом развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции» утвержденным Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.03.2016 №169 для оптимизации структуры быстродействующего резерва мощности предусматривается строительство пиково-резервных энергетических источников на базе газотурбинных установок суммарной мощностью 800 МВт [1].

Кроме резервирования мощности, в виду высоких маневренных характеристик ГТУ, предусматривается функция покрытия ими пиковых нагрузок. Пиково-резервные энергетические источники ежедневно будут пускаться в часы максимума графика электрических нагрузок. Число часов работы в пиковом режиме за год составит около 700, т.е. в среднем за день энергоисточник отработает 2 часа в основном для покрытия пиков электрической нагрузки.

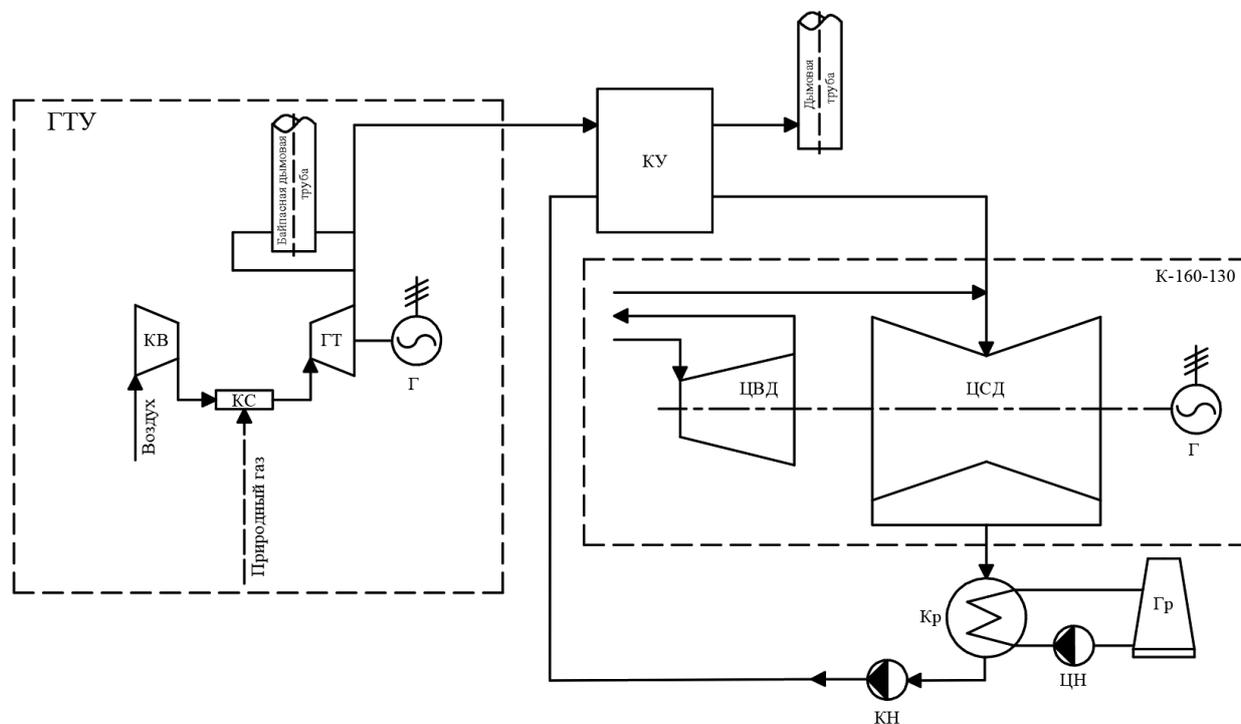
Ввод таких больших мощностей на базе ГТУ без рационального использования отработанных дымовых газов может привести к большим денежным потерям. Поэтому рассмотрим несколько вариантов схем утилизации дымовых газов от ГТУ:

Вариант 1 – установка парового котла-утилизатора и сброс пара в существующую турбину.

Вариант 2 – установка парового котла-утилизатора и паровой турбины специально для ГТУ.

Вариант 3 – установка водогрейного котла-утилизатора, тем самым замещая тепловую выработку существующей паровой турбины и переводя её в конденсационный режим.

Вариант 1 наименее капиталоемкий из рассматриваемых, но требует вмешательства в существующую схему работы стационарной турбины, необходимо рассматривать каждую турбину индивидуально и учитывать параметры пара необходимые для исправной работы турбины.



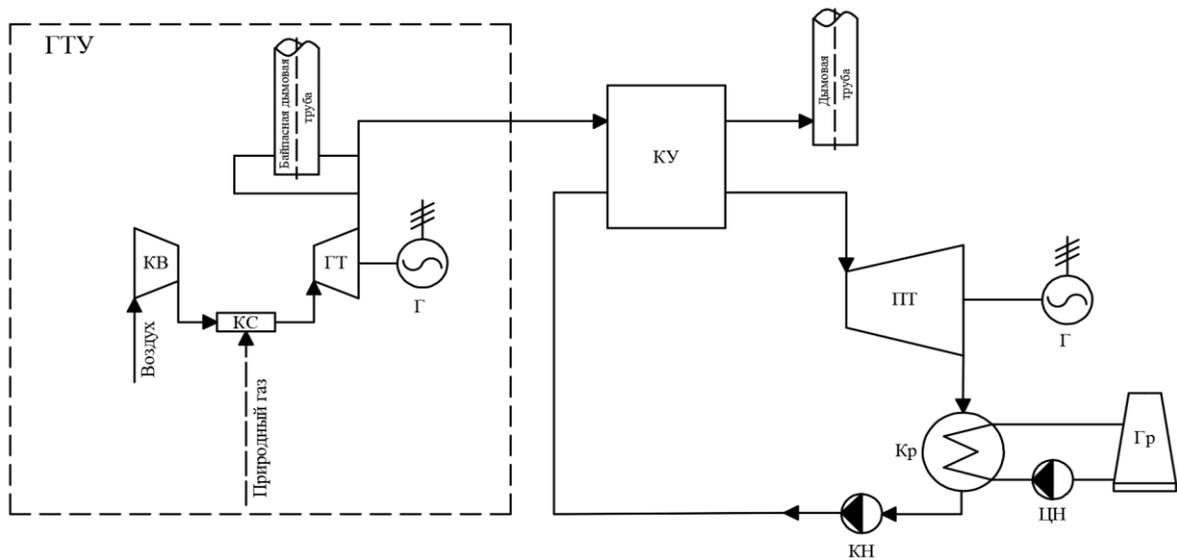
КВ – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Г – генератор,
 КУ – котёл-утилизатор, ЦВД – цилиндр высокого давления, ЦСД – цилиндр среднего
 давления, Кр – конденсатор, Гр – градирня, ЦН – центральный насос, КН – котловой насос.

Рисунок 2 – Схема реализации 1 варианта

Вариант 2 наиболее капиталоемкий из рассматриваемых, но его реализация не зависит от технологической схемы объекта, на котором данный вариант будет реализован. Также этот вариант позволяет максимизировать выработку электроэнергии ПРЭИ.

Вариант 3 средне капиталоемкий из рассматриваемых, также, как и 1 вариант необходимо вмешиваться в существующую схему работы стационарной турбины, однако данный вариант позволяет перевести стационарную турбину в

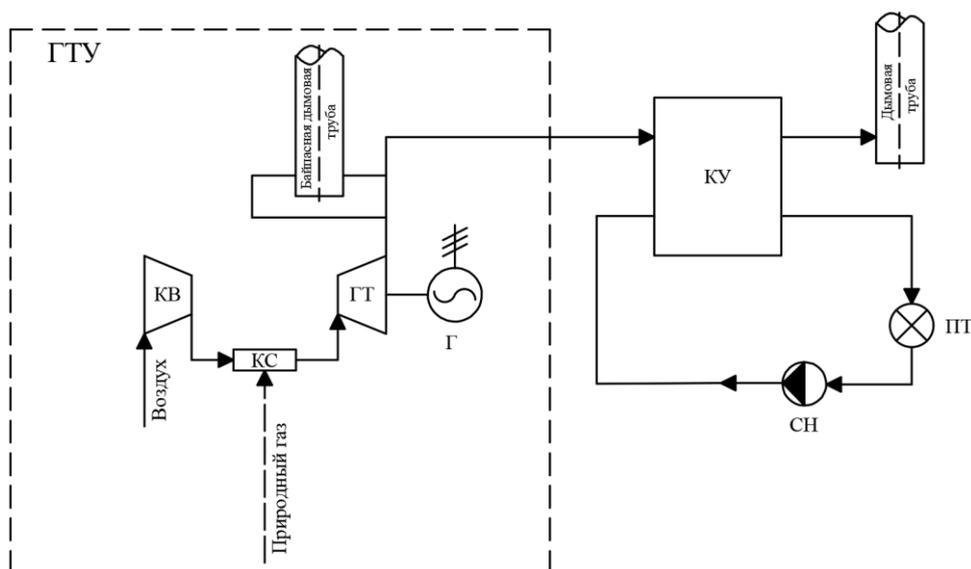
конденсационный режим, у которой КПД выше, чем у индивидуальных паровых турбин из варианта 2.



КВ – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Г – генератор, КУ – котёл-утилизатор, ПТ – паровая турбина, Кр – конденсатор, Гр – градирня, ЦН – центральный насос, КН – котловой насос.

Рисунок 3 – Схема реализации 2 варианта

Очевидными недостатками данного варианта являются его применимость только в связке с теплофикационными турбинами и непостоянство тепловой нагрузки в течении года. Данный вариант, конечно, можно использовать и с конденсационными турбинами, замещая выработку тепла котельных на нужды населённого пункта, но такой вариант является крайне экономически не целесообразным.



КВ – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Г – генератор, КУ – котёл-утилизатор, ПТ – потребитель теплоты, СН – сетевой насос.

Рисунок 3 – Схема реализации 3 варианта.

Заключение

В данной статье было предложено несколько вариантов утилизации дымовых газов ГТУ и приведены их принципиальные схемы. На каждом конкретном предприятии необходимо учитывать множество факторов для принятия правильного решения: установленное оборудование, существующие нагрузки как электрические, так и тепловые, наличие денежных средств на реализацию мероприятия и т.д.

Утилизация дымовых газов от ГТУ позволяет существенно повысить эффективность работы устанавливаемых ПРЭИ, что, конечно, благоприятно отразится как на экономическое состояние предприятия, на котором будет реализовано мероприятие по утилизации, так и на сокращении импорта ископаемого топлива в рамках страны в целом.

Литература

1. Постановление совета министров республики беларусь 1 марта 2016 г. № 169 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600169&p1=1>. Дата доступа: 10.11.2023

Парогазовая установка EconoFlex на базе ГТУ SGT-800 компании Siemens [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.turbine-diesel.ru/sites/default/files/n1-2015/EconoFlex.pdf>. Дата доступа: 10.11.2023

УДК 621.438

**МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИН ИЛИ ТРУБОК
ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА
MATERIAL FOR THE MANUFACTURE OF PLATES OR TUBES OF A
HEAT EXCHANGER**

А.С. Лукашук, Д.И. Мицкевич, В.Н. Бублей

Научный руководитель – Л.И. Качар, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

A. Lukashuk, D. Mitskevich, V. Bublely
Supervisor – L. Kachar, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Целью данной статьи является определение наиболее выгодного материала для изготовления теплообменных аппаратов.*

***Abstract:** The purpose of this article is to determine the most advantageous material for the manufacture of heat exchangers.*

***Ключевые слова:** теплообменный аппарат, коэффициент теплопроводности, материал, эксплуатация.*

***Keywords:** heat exchanger, thermal conductivity coefficient, material, operation.*

Введение

Теплообменный аппарат – это устройство, осуществляющее передачу тепла между средами с разными температурами. Для обеспечения тепловых потоков различного количества изготавливаются разные теплообменные устройства.

Основная часть

Существует множество разновидностей теплообменников, но наиболее распространенными являются кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменники. Как кожухотрубные, так и пластинчатые теплообменники работают по одним и тем же принципам, обмениваясь теплом между двумя средами посредством теплопроводности, но с очень разными методами конструкции.

Кожухотрубные устройства состоят из кожуха, внутри которого располагается пучок труб, через которые проходит одна из сред, в то время как другая среда циркулирует в межтрубном пространстве для обеспечения теплообмена.

Пластинчатые теплообменники имеют теплообменную поверхность, состоящую из пластин, которые соединены уплотнителями, способными выдерживать как высокие, так и низкие температуры.

Поскольку основной целью теплообменных устройств является передача тепла, для их производства используются материалы с хорошей теплопроводностью, устойчивые к коррозии, гидроударам, высокому и низкому давлению. Наиболее распространенными материалами являются:

Латунь. У данного материала высокий коэффициент теплопередачи, что позволяет делать теплообменники с такой «начинкой» более

компактными. Латунь также обладает стойкостью к соленой воде и коррозии. Коэффициент теплопроводности латуни составляет 85,5 Вт/(м·К).

Медь. Пластичный материал, который позволяет создавать легкие и компактные теплообменники. Медные теплообменники эффективны и могут быть установлены в различных системах. Коррозия может быть проблемой, но с правильной эксплуатацией этого можно избежать. Коэффициент теплопроводности меди составляет 389,6 Вт/(м·К).

Нержавеющая сталь. Обладает высокой стойкостью к коррозии и агрессивным средам. Нержавеющие трубки имеют долгий срок службы. Теплопроводимость нержавеющей стали около 15 Вт/(м·К).

Алюминий. Мягкий и пластичный материал с отличной теплопроводностью и коррозионной стойкостью. Легко формуется и сваривается, что делает его популярным выбором для изготовления теплообменников различных форм и размеров. Коэффициент теплопроводности алюминия составляет 209,3 Вт/(м·к).

Исходя из данных фактов более предпочтительными являются металлы с наиболее высоким коэффициентом теплопроводности, ведь коэффициент теплопроводности отражает свойство вещества проводить тепловую энергию. Чем больше значение коэффициента теплопроводности материала, тем лучше он проводит тепло. По данному критерию наиболее предпочтительными являются два материала: медь и алюминий, так как эти два металла имеют наибольший коэффициент теплопередачи. Достоинством теплообменников, изготовленных из медных сплавов, является: быстрый нагрев, легкий вес, термостойкость, ремонтпригодность, сопротивляемость давлению, сроки эксплуатации 30-50 лет. Недостатком: высокая цена, необходимость в регулярной промывке. Плюсами теплообменников из алюминия являются: доступная цена, легковесность, термостойкость, ремонтпригодность, продолжительность эксплуатации 3-5 лет – минусами: необходимость в регулярной промывку, нарастание труднорастворимого осадка.

Заключение

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что при выборе материала для теплообменника необходима ссылка не только на физические свойства материала, но также и следует подбирать с материал с учетом экономических затрат.

Литература

1. Режим доступа: <https://kvip.su/blog/sovety-pokupatelyam/sravnenie-plastinchatyh-i-kozhuhotrubchatyh-teploobmennikov/> – Дата доступа: 28.03.2024.

Режим доступа: <https://teplob6.ru/publikacii/kakie-materialy-primenyayutsya-dlya-teploobmennyh-trub-v-kozh-1/> – Дата доступа: 28.03.2024.

Режим доступа: http://zaozmi.ru/polezno/tablica_teploprovodimosti_metallov.html – Дата доступа: 28.03.2024.

УДК 62-5

ДАТЧИК ПЛАМЕНИ НА ОСНОВЕ ИОНИЗАЦИИ FLAME SENSOR BASED ON IONIZATION

А.Н. Жданович

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

pte@bntu.by

A. Zhdanovich

Supervisor – M. Yarmolchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Ионизационный стержень – это металлический прут, который подгружается в пламя, для контроля подачи газа в горелку.

Abstract: An ionization rod is a metal rod that is loaded into the flame to control the flow of gas to the burner.

Ключевые слова: ионизация, двигатель, ионизационный стержень, ионизационный зонд.

Keywords: ionization, motor, ionization rod, ionization probe.

Введение

Ионизация – эндотермический процесс образования ионов из нейтральных атомов или молекул.

Ионизационный стержень – это не что иное, как металлический прут, который подгружается в пламя. Если между горелкой и ионизационным стержнем приложить переменное напряжение, то через ионизационный стержень и пламя к горелке начинает течь постоянный ток. Пламя действует как выпрямитель (см. рисунок 1). Этот постоянный ток может быть усилен, пока он не будет в состоянии возбудить реле пламени. Несовершенная изоляция между ионизационным стержнем и землей имеет следствием токи утечки. Само собой разумеется, что это переменные токи



Рисунок 1 – Принцип действия датчика ионизации.

Включенный перед усилителем фильтр заботится о том, чтобы эти токи утечки были эффективно отделены от собственно ионизационного стержня. В случае короткого замыкания между горелкой и ионизационным стержнем эффект пламенного выпрямителя больше не может работать, тогда система дает сигнал "Flamme AUS" ("Пламя ВЫКЛ").

Основная часть

Датчик ионизации устанавливается исключительно на газовые водонагреватели или котлы с электрическим принципом розжига, так как он контролирует колебания давления и энергоэффективность агрегата. Так же при прохождении тока ионизации через газ и окислитель происходит более тщательное перемешивание газообразного топлива и окислителя. Такая функция позволяет предотвратить несчастные случаи, связанные с затуханием огня или плохим розжигом.

Ионизационный зонд, работающий по принципу пламенного выпрямителя, по своей природе высокая степень надёжности. Возможность симулирования эффекта выпрямителя отсутствует. Старение ионизационного стержня в смысле его ненадежности маловероятно. Ионизационный датчик контролирует пламя в том месте, где вы пожелаете. Недостатком ионизационного зонда является проблема его целесообразного размещения при модулируемых или многоступенчатых горелках. Выходная мощность ионизационного зонда не очень высокая, что делает необходимым довольно значительное усиление. Ионизационный зонд поставляет очень мало энергии. Электропроводка датчика должна быть как следует изолирована и не слишком длинной. Обычный электрический монтаж при помощи проводов в полихлорвиниловой изоляции в любом случае отвечает этим требованиям. Надёжность проводки ионизационного датчика абсолютна. Неисправность в изоляции приводит к возникновению переменного тока, который со стороны реле пламени не распознается как сигнал пламени. Контроль основывается на инфракрасном проблесковом принципе, т.е. происходит контроль за тепловым излучением, которое изменяется с определенной частотой (частота пламени).

Датчик пламени на основе ионизации имеет преимущество в цене и надёжности по сравнению с датчиками пламени на основе ультрафиолетового излучения(UV) и инфракрасного излучения(IRD).

Заключение

Данное изделие весомое и нужное. Как известно, повышенная экономичность и надёжность являются известными признаками датчиков пламени.

Литература

1. Конспект семинара фирмы ГИРШ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://smartflam.by/> – Дата доступа: 09.04.2024.
2. Райзер Ю. П. Физика газового разряда, 3-е изд. - Москва, 1999 г., 536 с.

УДК 621.651

**МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ПРОЕКТИРУЕМЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**
**THE METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF THE PROJECTED
PIPELINES**

А.В. Шунькевич

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

A. Shunkevich

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

***Аннотация:** В данной статье приведена методика по гидравлическому расчёту проектируемых трубопроводов.*

***Abstract:** This article presents a methodology for the hydraulic calculation of the projected pipelines.*

***Ключевые слова:** уравнение неразрывности, стандартный типоразмер, приведенная длина, эквивалентная длина, критерий Рейнольдса, полные потери давления.*

***Keywords:** continuity equation, standard standard size, reduced length, equivalent length, Reynolds criterion, total pressure loss.*

Введение

В настоящее время невозможно обойтись без трубопроводов. Они встречаются абсолютно в каждой отрасли, созданной человечеством, и являются одним из ключевых этапов проектирования канализационных систем, систем вентиляции и водоснабжения. Увидеть их также можно в системах кондиционирования и вентиляции воздуха, в металлургической и химической промышленности по которым переносится теплоноситель или другой промышленный продукт, в энергетике, в сельском хозяйстве, на космических и судоходных кораблях. На основании гидравлического расчёта конструируются трубчатые теплообменные аппараты, используемые на производствах.

Гидравлический расчёт проектируемого трубопровода обычно выполняют на основании дисциплины гидрогазодинамики, а именно, на уравнениях газовой динамики. При помощи данных уравнений возможно устанавливать связь между расходом теплоносителя, диаметрами трубопроводов, перепадом давления теплоносителя по движению внутри трубопровода, длинами трубопровода и его конструкции. По данным уравнениям возможно определить необходимый параметр по уже известным. Минимальное количество известных параметров для определения неизвестных является – 2. Также необходимо учитывать, что при расчёте диаметров трубопровода нужно пользоваться стандартными размерами, приведенных в нормативных документах.

Основная часть

Гидравлический расчёт проектируемых трубопроводов заключается в определении оптимальных диаметров трубопроводов, которые способны обеспечить необходимое количество теплоносителя при допустимых перепадах давления.

По уравнению неразрывности потока определяется требуемый диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega_1}} \cdot 1000, \text{ мм} \quad (1)$$

где G – массовый расход теплоносителя, кг/с;

ρ – плотность теплоносителя при температуре в трубопроводе, кг/м³;

ω_1 – скорость теплоносителя в первом приближении, принимается равной для воды – 1,5 м/с и для пара 60 м/с [1].

По рассчитанному диаметру подбираются трубы стандартных типоразмеров D_y , фактическая скорость теплоносителя пересчитывается и далее используется в расчётах:

$$\omega_\phi = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot (D_y/1000)^2}, \text{ м/с} \quad (2)$$

Приведенная длина трубопровода рассчитывается как сумма фактической длины и условного эквивалентного участка, гидравлическое сопротивление которого равно сумме местных сопротивлений участка:

$$l_{\text{пр}} = l_\phi + l_{\text{экв}}, \text{ м} \quad (3)$$

Эквивалентная длина местных сопротивлений определяется:

$$l_{\text{экв}} = \frac{\varepsilon_{\text{сумм}} \cdot (D_y/1000)}{A}, \text{ м} \quad (4)$$

где A – коэффициент гидравлического трения, определяется исходя из режима течения:

$$A = \begin{cases} \frac{1}{(1,14 \cdot 2 \cdot \lg(\frac{D_y}{h}))^2} & \text{при } Re > Re_{\text{пр}}, \\ 0,11 \cdot (\frac{h}{D_y})^{0,25} & \text{при } Re \leq Re_{\text{пр}}. \end{cases} \quad (5)$$

где h – эквивалентная шероховатость трубы, для воды – 0,0005 м, для паропровода – 0,0002 м [2].

Re – критерий Рейнольдса, определяется по формуле:

$$\text{Re} = \frac{D_y \cdot \omega_\phi}{\nu}, \quad (7)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости среды при температуре в трубопроводе, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\text{Re}_{\text{пр}}$ – предельное значение критерия Рейнольдса, определяется по формуле:

$$\text{Re}_{\text{пр}} = \frac{D_y \cdot 560}{h}, \quad (8)$$

$\varepsilon_{\text{сумм}}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{сумм}} = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i \cdot n_i, \quad (9)$$

где ε_i – коэффициент местного сопротивления i -го вида;

n_i – количество сопротивлений i -го вида на участке.

Удельные потери давления на погонный метр приведенной длины трубопровода определим по формуле:

$$\Delta p_y = 6,27 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{A \cdot G^2}{(D_y/1000)^5 \cdot \rho}, \text{ Па/м} \quad (10)$$

Полные потери давления на участке составят:

$$\Delta p = \frac{l_{\text{экв}} \cdot \Delta p_y}{10^6}, \text{ МПа} \quad (11)$$

На основании полученных полных потерь давления для каждого участка проектируемого трубопровода можно оценить его эффективность и определить его пригодность для конкретных случаев установки.

Заключение

Таким образом, по составленной методике гидравлического расчёта проектируемых трубопроводов можем рассчитать и подобрать необходимый приведенный диаметр, его приведенную длину и полные потери давления на участках трубопровода. Методика гидравлического расчёта проектируемых трубопроводов является главным звеном для оптимизации работы системы и дальнейшего её улучшения. Правильно рассчитанный и подобранный трубопровод позволяет добиться оптимальной производительности и его напора.

Литература

1. СН 4.02.04-2019 «Строительные нормы». Котельные установки.
2. СН 4.02.01-2019 «Строительные нормы». Тепловые сети.
3. Борисов С.Н. Гидравлические расчёты газопроводов / С.Н. Борисов, В.В. Даточный. – Москва: Издательство «Недра», 1991. – 108 с.

УДК 662.7

ВОДОРОСЛИ КАК БИОТОПЛИВО ALGAE AS BIOFUEL

А.В. Казейка

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

А. Kazeika

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lectures
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассмотрены виды микроводорослей, которые отлично подходят для получения биотоплива. Описаны наиболее перспективные виды водорослей с высоким содержанием масел.

Abstract: This article examines the types of microalgae that are excellent for producing biofuels. The most promising types of algae with a high oil content are described.

Ключевые слова: биотопливо, микроводоросли, масла, липиды, углеводороды.

Keywords: biofuels, microalgae, oils, lipids, hydrocarbons.

Введение

Сжигание ископаемого топлива способствует изменению климата, выделяя в атмосферу парниковые газы, и потребность в альтернативных источниках топлива становится все более актуальной. Биомасса, как наземная, так и водная, считается потенциальным возобновляемым источником энергии для производства биотоплива. Считается, что микроводоросли или морские водоросли превосходят наземные растения с точки зрения накопления солнечной энергии, усвоения питательных веществ и потенциала для производства биотоплива благодаря их более высокой эффективности фотосинтеза, более высокому выходу биомассы. Ожидается, что использование водорослей для производства биотоплива сыграет важную роль в обеспечении энергоснабжения в ближайшие десятилетия. Энергия, получаемая из биомассы, обеспечит более половины общего объема энергии для достижения желаемой цели. [1]

Основная часть

В принципе, идея использования микроводорослей в качестве энергетического сырья не нова, но лишь в настоящее время стала актуальной из-за прогнозируемого дефицита и высокой стоимости нефтепродуктов, а также проблемы глобального потепления в результате сжигания ископаемых видов топлива.

В настоящее время биотопливо производят из растительных и животных масел. Некоторые виды водорослей содержат до 80 % масел. В зависимости от вида микроводоросли содержат различные типы липидов, углеводов и

сложных масел. В таблице 1 представлены виды микроводорослей и содержание в них масла. [2]

Таблица 1 – Содержание масла в некоторых видах водорослей

Микроводоросли	Содержание масла (% от сухого веса)	Микроводоросли	Содержание масла (% от сухого веса)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75	<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Chlorella</i> sp.	28-32	<i>Nannochloris</i> sp.	20-35
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20	<i>Nanochloropsis</i> sp.	31-68
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16-37	<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Dunaliella primolecta</i>	23	<i>Nitzschia</i> sp.	45-47
<i>Isochrysis</i> sp.	25-33	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50-77	<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Рассмотрим виды водорослей в который находится наибольшая процентность масла: *Schizochytrium* sp., *Nitzschia* sp., *Nanochloropsis* sp.

Schizochytrium – это гетеротрофная морская водоросль, которая содержит от 50% до 70% липидов, выращенных с использованием минералов и органических солей. Жирные кислоты водорослей *Schizochytrium* состоят из докозагексаеновой кислоты, омега-3 жирных кислот, тетрадекановой кислоты, общих липидов, пальмитиновой кислоты и докозапентаеновой кислоты, которые являются желательными кислотами, используемыми для производства биотоплива. Таким образом, *Schizochytrium* признан подходящей водорослью для производства биодизеля. Традиционно, переэтерификация является проверенным методом синтеза биотоплива.

Пеннатную диатомовую водоросль *Nitzschia* можно выращивать в фотобиореакторах с вертикальным слоем на открытом воздухе для производства биотоплива. Для оценки производства биомассы и липидов неаксенические культуры *Nitzschia* выращивали на открытом воздухе, и рост этих культур измеряли раз в две недели. В течение годового цикла культивирования водорослей температура культивирования колебалась от 17,3°C до 33,5°C, биомасса в сухом весе колебалась от 0,11 г/л до 0,25 г/л, световая энергия колебалась от 1,94 Вт/м² до 3,9 Вт/м², а содержание внутриклеточных липидов колебалось от 7,1% - 11,4% от массы биомассы после сушки при температуре 60°C. Анализ н-гексановых экстрактов методом газовой хроматографии/масс-спектрологии показал, что внутриклеточные липиды

состоят в основном из миристиновой кислоты C14:0 (9,01%), пентадециклической кислоты C15:0 (8,26%) и двух типов пальмитиновой кислоты C16:0 (41,13%) и пальмитолеиновой кислоты (29,25%). Анализ проницаемости геля показал, что карбоновые кислоты составляют 28,9% липидов, 16,3% моноглицеридов, 27,3% диглицеридов и 24,3% триглицеридов. Алкоголиз липидов приводит к превращению примерно 93,9% жирных кислот в эквивалентные метиловые эфиры жирных кислот (FAME) или биотопливо, которые, в пересчете на масс.%, состоят в основном из C15:0 метилмиристата (8,3%), C16:0 метилпентадеканата (7,2%), C17:1 метилпальмитолеат (28,7%) и метилполиметат (39,8%). [3]

Nanochloropsis – это род микроводорослей, который в последние несколько десятилетий приобрел большой интерес благодаря своему потенциалу в производстве биотоплива. При выращивании в больших открытых водоемах Nanochloropsis может вырабатывать большое количество липидов, или масел, которые могут быть преобразованы в биотопливо. Содержание липидов в Nanochloropsis может варьироваться от 20 до 70% в зависимости от условий окружающей среды, что делает его весьма привлекательным кандидатом для производства биотоплива. Одним из самых больших преимуществ Nanochloropsis как сырья для производства биотоплива является то, что его можно выращивать в самых разных типах воды, включая пресную, морскую и даже сточные воды. Поскольку он быстро растет и его можно собирать несколько раз в год, он потенциально может стать высокоэффективным и экономичным сырьем для производства биотоплива. Nanochloropsis богат белком и может быть использован в качестве сырья для аквакультуры и животноводства. Он также может быть использован в качестве источника омега-3 жирных кислот, которые важны для здоровья человека. [4]

Заключение

В последнее время возникает проблема поиска различных альтернативных ресурсов, которые могли бы заменить ископаемое топливо. Благодаря наличию ряда преимуществ у водорослевого биотоплива, таких как низкая потребность в земле для производства биомассы и высокое содержание масла при высокой производительности, оно считается лучшим ресурсом, который может заменить жидкое нефтяное топливо. Однако одним из его узких мест является низкий уровень производства биомассы, что является препятствием для промышленного производства. Кроме того, другим недостатком является сбор биомассы, который требует больших затрат энергии. Для повышения экономичности процесса по сравнению с другими требуются экономичные и энергоэффективные методы сбора урожая с низкими энергозатратами. Производство недорогого биотоплива из микроводорослей требует более совершенных методов сбора биомассы, высокого производства биомассы с высокой нефтеотдачей за счет генетической модификации, которая станет будущим биологии водорослей. Таким образом, использование стандартной технологии сбора водорослей, концепции биопереработки, достижений в области проектирования фотобиореакторов и других технологий переработки позволит еще больше снизить стоимость производства водорослевого

биотоплива, которое в ближайшем будущем станет конкурентоспособным ресурсом.

Литература

1. Frontiers [Электронный ресурс]/ Tailoring Microalgae for Efficient Biofuel Production. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00382/full>. Дата доступа: 19.04.2024.
2. Argel [Электронный ресурс]/ Микроводоросли для биодизельного топлива. – Режим доступа: <https://www.vo-da.ru/articles/energoeffektivnyelos/mikrovodorosli-v-biotoplive>. – Дата доступа: 19.04.2024.
3. ResearchGate [Электронный ресурс]/ Long-term monitoring of the biomass and production of lipids by *Nitzschia palea* for biodiesel production. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/340640033_Long-term_monitoring_of_the_biomass_and_production_of_lipids_by_Nitzschia_palea_for_biodiesel_production. – Дата доступа: 19.04.2024.
4. IndexBox [Электронный ресурс]/ Nannochloropsis Biofuel Please mention the Source: <https://www.indexbox.io/search/nannochloropsis-biofuel/>. – Режим доступа: <https://www.indexbox.io/search/nannochloropsis-biofuel/>. – Дата доступа: 19.04.2024.

УДК 621.51

**СНИЖЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ПРОПУСКА
ПАРА В ЧНД ТПТУ
REDUCING THE AMOUNT OF STEAM VENTILATION
PASSAGE IN CHND TPTU**

Л.В. Маркевич, Г.М. Кандауров

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
aidarova@bntu.by

L. Markevich, G. Kandaurov
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В работе рассмотрен вопрос снижения вентиляционного пропуска пара и его влияния на работоспособность установки.

Abstract: The paper examines the issue of reducing the ventilation steam passage and its impact on the performance of the installation.

Ключевые слова: пар, турбина, охлаждение, мощность, расщепление.

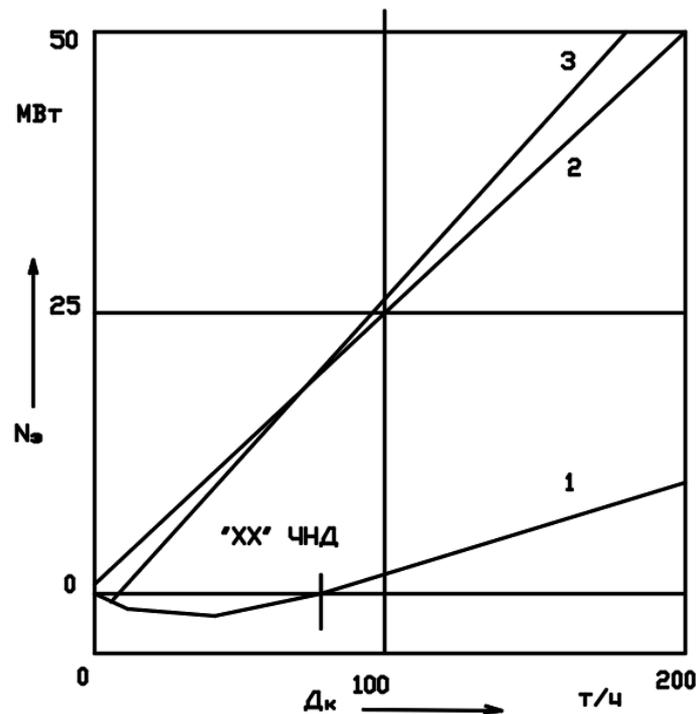
Keywords: steam, turbine, cooling, power, dissipation.

Введение

Методика расщеплённого цикла теплофикационной паротурбинной установки (ТПТУ) удобна для решения поставленных задач по определению экономических характеристик ТПТУ с переменными величинами D_k^{min} в части низкого давления (ЧНД). Такие исследования проведены для трех наиболее распространенных ТПТУ с турбинами ПТ - 60 - 130/13, Т-110/120-130 и Т-250/300-240.

Основная часть

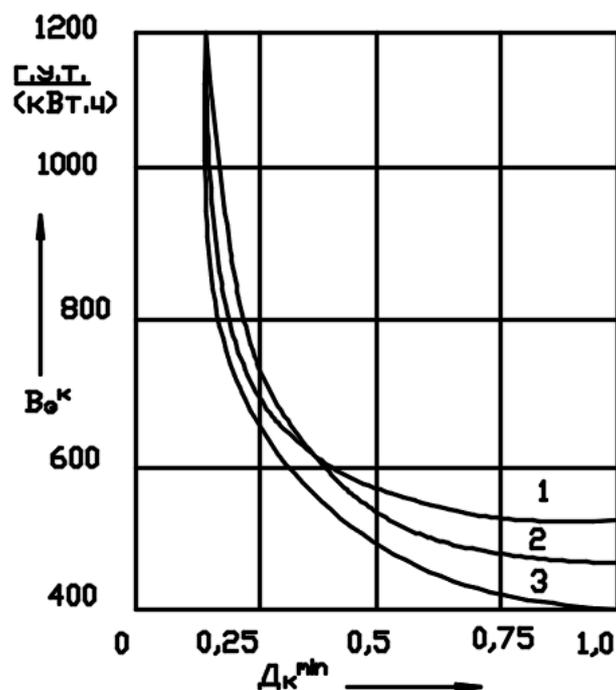
Обращает на себя внимание общий для всех рассмотренных машин характер зависимостей $\eta_3^K = f(D_k^{min})$ и прежде всего, резкое падение экономичности выработки электроэнергии потоком K при уменьшении D_k^{min} . Это иногда может ввести в заблуждение. Не случайно, в среде специалистов бытует мнение, что уменьшать величину D_k^{min} следует до выхода ЧНД на холостой ход, но не ниже. Однако этот вопрос требует более глубокого изучения. Целесообразно проанализировать изменение величин мощностей развиваемые потоком K в ЧВД, ЧСД и ЧНД турбины (рисунок 1).



1 – в ЦНД; 2 – в ЦВСД; 3 – во всей турбине; “XX”ЧНД – $N^{\text{ЧНД}} = 0$.

Рисунок 1 – Величина внутренней мощности, развиваемой вентиляционным потоком пара турбины Т-250/300-240

Анализ показывает вполне очевидную картину: со снижением D_k^{\min} значения величин мощностей для потока K в ЧВСД неуклонно падают, при этом возрастает влияние мощности ЧНД не только на общую мощность потока K в ТПТУ, но и на величину v_{θ}^K (рисунок 2).



1 – ПТ-60-130; 2 – Т-110/120-130; 3 – Т-250-240.

Рисунок 2 – Изменение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии потоком пара вентиляционного пропуса от его величины до турбин

Последняя интенсивно увеличивается при малых значениях D_k^{min} . Это может приводить еще к одному ошибочному выводу, т.е. о нецелесообразности уменьшения D_k^{min} . Тем не менее, эта предпосылка ошибочна и это можно показать. Снижение величины D_k^{min} увеличивает значения ϵ_3^K при одновременном снижении и общей мощности вырабатываемой в турбине потоком $K - N_3^K$. Уменьшение последней автоматически ложится на замещающую КЭС, тогда годовая экономия топлива в энергосистеме от уменьшения D_k^{min} выделится из общеизвестного выражения

$$\Delta B = \Delta N_3^K \cdot (b_3^K - b_{кэс}^{зам}), \quad (1)$$

где ΔN_3^K – величина снижения мощности ТПТУ на потоке K уменьшением D_k^{min} ;

$b_3^K, b_{кэс}^{зам}$ – соответственно, удельный расход топлива на производство электроэнергии потоком K в ТПТУ и на замещающей КЭС

Результаты расчётов по выражению (1) для турбоустановки представлены на рисунке 3.

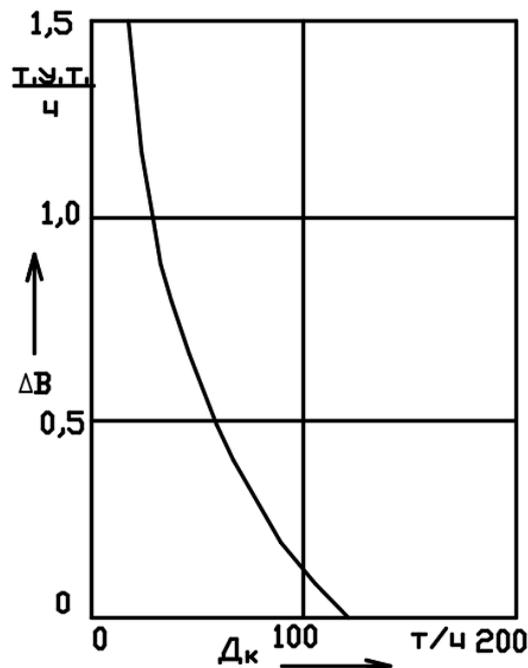


Рисунок 3 – Зависимость величины экономии топлива от уменьшения величин D_k^{min} для ТПТУ с турбиной Т-250/300-240

За точку отсчета здесь принята величины D_k^{min} при которой не требуется дополнительное охлаждение ЧНД турбины.

Анализ не оставляет никаких сомнений в экономической целесообразности снижения вентиляционного пропуска пара в ЧНД ТПТУ. На целесообразность передачи конденсационной выработки с ТЭЦ на КЭС указывал еще в 50-е годы Д.Д. Калафатти. Позже по этому пути пошли заводы, наладочные организации и специалисты ВУЗов.

Заключение

Снижение D_k^{min} обостряет проблему охлаждения ЧНД ТПТУ, то есть вопрос требует комплексного решения: повышения экономичности при одновременном повышении надежности работы ЧНД. Эти требования могут быть реализованы, в значительной мере, на основе применения новой СО ЧНД.

Литература

1. Балабанович В.К. Анализ возможностей повышения эффективности белорусских ТЭС и котельных путём их техпервооружения на основе паротурбинных и газотурбинных установок. Науч. Отчёт БГПА., Мн., 1993 г., с.51.

2. Леонков А.М., Балабанович В.К. Исследование части низкого давления теплофикационных турбин на режимах с минимальными пропусками пара конденсата// Известия вузов СССР. Энергетика. – 1982. – С.8-12.

УДК 621.564

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF MODERN
REFRIGERATION UNITS ON THE ENVIRONMENT**

Е.А. Русакевич, А.П. Каменко

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

Е. Rusakevich, A. Kamenko
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** воздействие современных холодильных установок на окружающую среду. Методы энергосбережения и ресурсосбережения.*

***Abstract:** impact of modern refrigeration units on the environment. Methods of energy saving and resource saving.*

***Ключевые слова:** холодильные установки, хладагенты, фреоны, абсорбционная холодильная машина.*

***Keywords:** refrigeration units, refrigerants, freons, absorption refrigeration machine.*

Введение

На сегодняшний день наблюдается тенденция все большего использования кондиционеров и холодильных машин. Эти установки работают по одному и тому же обратному термодинамическому циклу – циклу Карно, который был изобретен Сади Карно в начале 19 века. Для реализации этого цикла в один момент времени нужно подвести тепловую энергию, а в другой момент времени отвести энергию. Эта энергия отводится в окружающую среду и негативно влияет на атмосферу.

Современные кондиционеры представляют собой сплит-системы. Это означает, что летом кондиционеры работают на охлаждение и увлажнение воздуха, циркулирующего во внутреннем объеме помещения, а ранней весной или поздней осенью они могут использоваться в качестве теплового насоса, для того чтобы подогреть воздух.

По статистике, в настоящее время во всем мире насчитывается чуть более миллиарда кондиционеров, что говорит о том, что на каждые семь человек на Земле приходится примерно одна установка. Из-за того, что возрастает количество холодильных установок, то уже в ближайшее время эта проблема выйдет на первый план. По прогнозам ученых, к 2055 г. количество кондиционеров во всем мире превысит 5 миллиардов единиц. При этом кондиционеры будут использовать около 14,3% всей произведенной электроэнергии в мире и производить 2,5 миллиарда тонн двуокиси углерода в год. Все это в значительной степени повлияет на глобальное потепление.

Поэтому необходимо уже сейчас принимать меры для улучшения существующей ситуации в мире. [1]

Основная часть

Холодильные установки применяются во многих отраслях промышленности. У них довольно обширная область применения. Они используются для охлаждения продуктов, необходимы при производстве овощей и фруктов, а также в их хранении и упаковке. Холодильные установки очень часто связаны с применением эффекта непосредственного испарения или влажного охлаждения. Это позволяет достигать больших показателей качества при поддержании постоянной температуры.

Во всех старых и части современных холодильных установках в качестве хладагента применяются фреоны. С экологической точки зрения многие фреоны негативно влияют на озоновый слой. Они содержат молекулы, которые проходят долгий путь в течение 12-26 месяцев и в итоге попадают в стратосферу, где разрушаются под действием ультрафиолетовых лучей и, не растворившись, остаются там. Эти вещества могут оставаться в таком виде более 80 лет.

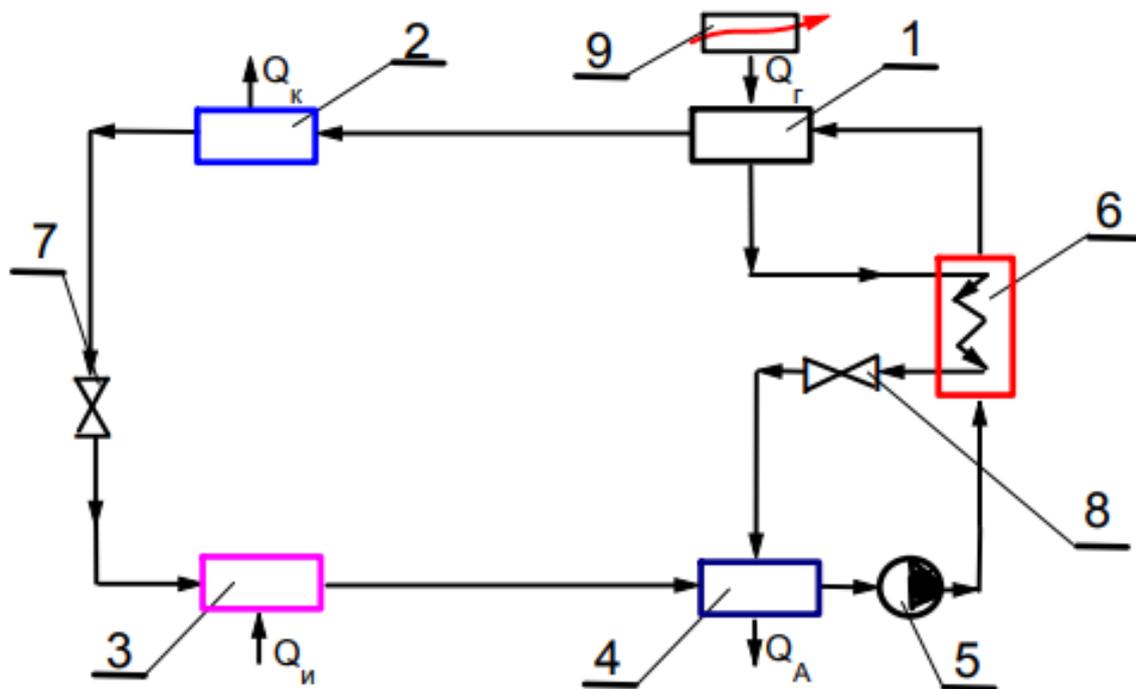
Способность хладагента разрушать озоновый слой в атмосфере называется потенциалом разрушения озона. Хлорфторуглероды (ХФУ) и гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) – это два распространенных хладагента, которые могут серьезно навредить озоновому слою. Поскольку атомы хлора, которые содержатся в составе ХФУ, выбрасываются в атмосферу, то дальше они высвобождаются и могут каталитически разрушать молекулы озона, что впоследствии может вызвать образование дыр в озоновом слое. Хладагенты второго типа также негативно влияют на озоновый слой, поскольку в их составе содержатся атомы хлора и фтора, но они менее опасны чем хладагенты ХФУ. Именно эти фреоны негативно влияют на окружающую среду. [3]

В современных холодильных установках применяют хладагенты, которые менее опасны. Они применяются в коммерческих и производственных климатических типах оборудования. Одним из таких безопасных хладагентов является ГФУ-134а. Он считается однокомпонентным и может снижать производительность устройств, однако наносит меньше вреда, по сравнению с вышеупомянутыми видами фреона.

Также безопасными хладагентами считаются фреоны R134a, R125, R152a, R32, R23, смеси R404A, R407C, R410A, R507, R508. Из-за специальной структуры и метода изготовления эти фреоны не разрушают озоновый слой. [2]

Наряду с использованием безопасных хладагентов, для снижения загрязнения окружающей среды и разрушения озонового слоя, необходимо разрабатывать и внедрять эффективные энергосберегающие холодильные установки. Одной из которых является бромисто-литиевая абсорбционная холодильная установка, использование которой может свести к минимуму загрязнение почвы, окружающего воздуха и разрушение озонового слоя. Для модернизации существующих бромисто-литиевых абсорбционных холодильных установок можно использовать возобновляемые источники энергии. К ним можно отнести солнечную энергию, которую допустимо использовать для получения холода с помощью абсорбционных холодильных

машин. На рисунке 1 представлена принципиальная схема бромисто-литиевой абсорбционной холодильной установки.



1 – генератор, 2 – конденсатор, 3 – испаритель, 4 – абсорбер, 5 – насос,
6 – теплообменник, 7, 8 – дроссельный вентиль.

Рисунок 1 Принципиальная схема бромисто-литиевой абсорбционной холодильной установки [1]

В представленной установке отсутствует мотор-компрессор, а давление в системе повышается сначала при растворении хладагента в слабом растворе в абсорбере 4, а затем с помощью насоса 5.

Заключение

Кондиционеры и холодильные установки в целом оказывают сильное влияние на окружающую среду. Помимо того, что они выделяют в атмосферу тепловую энергию, они выбрасывают двуокись углерода, в следствие чего нарушается общий энергетический баланс. Если количество холодильных установок и систем кондиционирования воздуха будет и далее возрастать, то это еще больше усугубит ситуацию с глобальным потеплением и может привести к экологической катастрофе. Поэтому стоит уделять особое внимание модернизации холодильных установок, с целью уменьшения воздействия на окружающую среду.

Стоит отметить важность безопасности используемого хладагента холодильных установок. Он должен быть не токсичен и пожаробезопасен, чтобы предотвратить несчастные случаи при работе с холодильной установкой.

Литература

1. Cyberleninka [Электронный ресурс] / Улучшение характеристик параметров холодильной установки как один из способов уменьшения негативного влияния на окружающую среду. – Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-harakteristik-parametrov-holodilnoy-ustanovki-kak-odin-iz-sposobov-umensheniya-negativnogo-vliyaniya-na-okruzhayuschuyu/>. – Дата доступа: 21.04.2024.

Frigorus [Электронный ресурс] / Экологические аспекты использования холодильных агрегатов. – Режим доступа: <https://frigorus.ru/poleznye-stati/ekologicheskie-aspekty-ispolzovaniya-kholodilnykh-agregatov/>. – Дата доступа: 21.04.2024.

Cwejournal [Электронный ресурс] / Environment-Friendly Refrigerants for Sustainable Refrigeration and Air Conditioning: A Review. – Режим доступа: <https://www.cwejournal.org/vol3no3/penvironment-friendly-refrigerants-for-sustainable-refrigeration-and-air-conditioning-nbspa-reviewp/>. – Дата доступа: 21.04.2024.

УДК 620.91

**СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ
СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ
WAYS TO ENSURE THE EFFICIENT OPERATION OF
THE SOLAR PANEL**

А.В. Чернушевич, Е.В. Емельянов

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

A. Chernushevich, E. Emelyanov
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассматриваются методы достижения максимальной эффективности при неизменных параметрах солнечной панели

Abstract: This article discusses methods for achieving maximum efficiency with constant parameters of the solar panel.

Ключевые слова: Солнечная панель, солнечный модуль, солнечный концентратор.

Keywords: Solar panel, solar module, solar concentrator.

Введение

Солнечные панели – это инновационное и экологически чистое решение для генерации энергии. В последние десятилетия солнечная энергия стала одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии, способствуя уменьшению зависимости от ископаемых ресурсов и снижению выбросов углекислого газа в атмосферу. Однако в силу различных обстоятельств солнечные панели обладают весьма незначительным коэффициентом преобразования энергии светового потока в электрическую энергию.

Основная часть

Мы предлагаем следующие способы для обеспечения максимальной эффективности солнечной панели:

Правильный монтаж солнечных батарей.

Если правильно установить солнечные модули, можно добиться максимального поглощения солнечного излучения. Таким образом панели способны увеличить количество вырабатываемой ими электроэнергии.

Угол и ориентация являются двумя основными факторами, которые необходимо учитывать при монтаже. В большинстве случаев солнечные модули получают наилучшее воздействие солнечного света, когда угол между ними составляет 18-36 градусов. Для тех, кто живет в северном полушарии, солнечные панели должны быть расположены на южном склоне. В южном полушарии солнечные батареи следует устанавливать на склонах, обращенных на север. Основная идея – максимально увеличить воздействие солнечного света для повышения КПД и эффективности солнечной панели.

Поддержание чистоты солнечных панелей.

Детали солнечной панели фиксированы, поэтому она не требует особого ухода. Но грязь имеет тенденцию скапливаться на поверхности, снижая эффективность. Конечно, если на поверхности есть грязь, поглощение солнечного света также уменьшится.

Несколько факторов определяют, как часто вам следует чистить солнечные панели. Во-первых, подумайте, как часто в вашем районе идут дожди. Дождевая вода смывает пыль, а значит, вам не придется ее чистить. Кроме того, стоимость очистки солнечных панелей может определять, как часто вы будете выполнять эту работу. Грязь и пыль не сильно влияют на эффективность, но игнорировать ее не стоит, поскольку в течение года она может составлять около 5%. В зависимости от вашего региона доходность может быть ниже более чем на 20%. В зимний период времени необходимо производить очистку снега, потому что он может полностью заблокировать солнечный свет.

Используйте резервную систему хранения энергии.

Солнечные панели обычно производят электричество из энергии солнечных лучей. Это значит, что они могут производить энергию только в течение светового дня. Использование резервной системы хранения позволяет сохранить электрическую энергию, которая не была использована днем. Затем вы можете использовать эту накопленную энергию в ночное время, чтобы снизить потребление электроэнергии. Резервная система хранения помогает повысить эффективность использования солнечного модуля.

Отслеживание положения солнца.

Еще один отличный способ повысить эффективность ваших солнечных панелей – это отслеживание положения солнца. С недавнего времени начали применяться следящие системы, которые уже доказали свою эффективность, увеличивая КПД панелей до 50%. Прямые лучи Солнца несут больше чистой энергии, чем непрямые лучи.

Осуществляется это с помощью специального устройства, называемого солнечным трекером. В стандартном исполнении крепление для солнечной батареи остается неподвижным. Благодаря отслеживанию солнечная панель всегда обращена прямо к входящему лучу света.

Отслеживание позволяет панели подвергаться воздействию большого количества солнечной энергии. Следовательно, производство электроэнергии будет больше за счет преобразования большей части солнечной радиации в электричество. Впрочем, отслеживание является ключом к повышению КПД и эффективности солнечных батарей, поскольку оно увеличивает количество солнечного света, доступного для преобразования.

Установка солнечного концентратора.

Солнечный концентратор помогает концентрировать солнечный свет и преобразовывать его в электричество. Основная причина установки этого устройства – концентрация большей части излучения, попадающего на солнечные батареи.

Этот процесс также включает использование других устройств, например зеркал, для получения двойной выгоды. По этой причине концентраторы можно использовать для повышения эффективности солнечных батарей.

Поддержание оптимальной температуры.

При эксплуатации солнечной панели, она разогревается и её КПД и эффективность очень сильно снижается. Всё дело в том, что под воздействием солнечного света, когда панель вырабатывает электрический ток этот же ток ее разогревает. И если не отводить теплоту, то КПД такой панели на солнечном свете будет снижаться. Поэтому необходимо не допускать нагрева солнечной панели. С этой целью можно установить радиатор, который будет рассеивать теплоту в окружающую среду. Плотное прилегание панели к поверхности, на которой осуществляется монтаж может привести к сильному нагреву. Между поверхностью и панелями должно быть достаточно места, чтобы предотвратить перегрев системы за счет циркуляции воздуха.

Заключение

Без сомнения, наличие солнечной панели является одним из наиболее важных активов, которыми должен владеть любой человек, поскольку она будет хорошо ему служить, производя достаточно энергии. Эту энергию можно легко использовать при выполнении некоторых повседневных дел. Используя приведенные выше советы, вы повысите эффективность своих солнечных батарей. Эти советы также сэкономят деньги на счетах за электроэнергию при выполнении повседневных задач и в то же время у вас будет достаточно энергии для выполнения всех этих задач. Кроме того, вы также уменьшите выбросы углекислого газа, тем самым способствуя созданию более безопасной окружающей среды.

Литература

1. Увеличение эффективности солнечной панели [Электронный ресурс]/ Увеличение эффективности солнечной панели. -Режим доступа: <https://www.beny.com/ru/boosting-solar-efficiency-all-you-need-to-know/>. – Дата доступа: 26.04.2024.
2. Increasing the efficiency of solar panels [Электронный ресурс]/ Increasing the efficiency of solar panels. -Режим доступа: <http://surl.li/szqlf/>. – Дата доступа: 26.04.2024.

ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА MOBILE CHP WITH STIRLING ENGINE

А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич

Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель,
Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
petrovskaya@bntu.by

A. Milyanenko, A. Zhalevich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer, G. Sokolovskaya, physics teacher.
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Изучен принцип работы двигателя Стирлинга, когенерация, применение двигателя Стирлинга на передвижных платформах.*

***Abstract:** The principle of operation of the Stirling engine, cogeneration, and the use of the Stirling engine on mobile platforms have been studied.*

***Ключевые слова:** двигатель Стирлинга, когенерация, Мини-ТЭЦ, чрезвычайные ситуации, передвижение.*

***Key words:** Stirling engine, cogeneration, mini-CHP, emergency situations, movement.*

Введение

В наше время происходит немало ураганов и других чрезвычайных ситуаций, из-за которых обрываются линии электропередач и прорывает трубы отопления. Вследствие чего могут пострадать обычные люди, особенно те, которые лежат в больницах, больше всего в реанимации. А на восстановления электро- и теплоснабжения может уйти немало времени, которого у некоторых может не быть. В таких ситуациях могут помочь передвижные теплоэлектроцентрали, которые будут подключаться к оборванным проводам или трубам. Данные установки смогут сильно облегчить себе жизнь людям живущих в районе, где произошло чрезвычайное происшествие, так как они смогут использовать электричество. А в случае, когда данное население живет в холодных регионах мира, они смогут получать свое временное отопление и не замерзнуть. Все это поможет более эффективно проводить спасательные операции во всем мире и спасти больше людей при различных бедствиях.

Основная часть

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. [1]

Стирлинг-когенерация – новая технология для комбинированного производства электроэнергии и тепла, на основе двигателей Стирлинга, при которой энергия охлаждающей воды и отработанных газов используется для нужд теплоснабжения потребителей. [2]

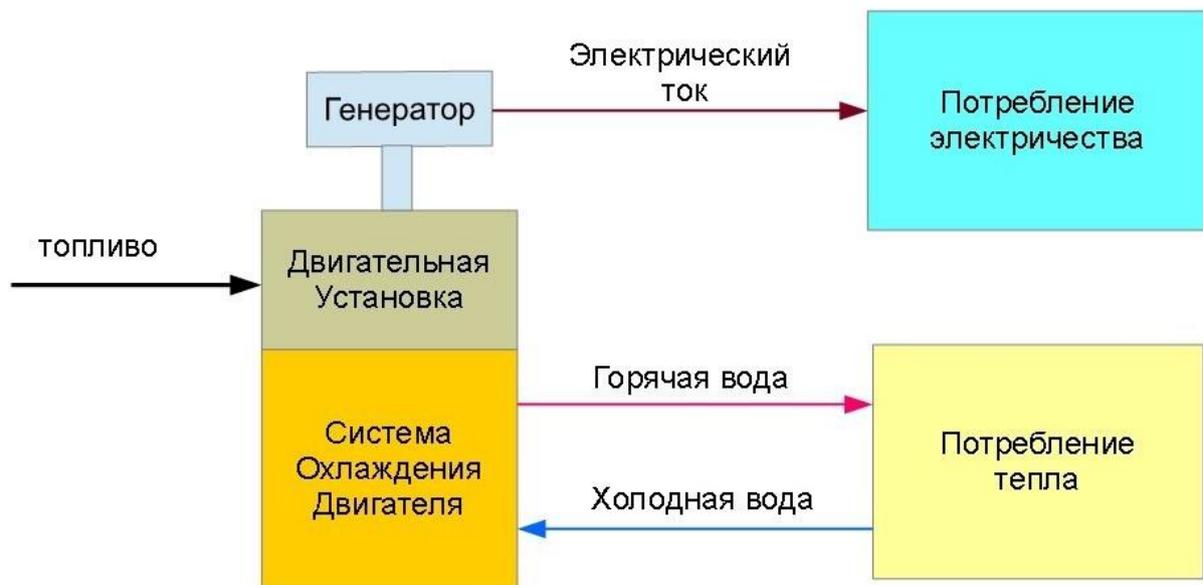


Рисунок 1 – Схема когенерации

Двигатель Стирлинга представляет собой преобразователь энергии, относящийся к типу тепловых двигателей, совершающих механическую работу на выходном валу при подводе к ним тепловой энергии. Полезная работа в рабочем цикле Стирлинга совершается, как и в других тепловых двигателях, посредством сжатия рабочего тела при низкой температуре расширения того же рабочего тела после нагрева при более высокой температуре. [3]

Существует несколько типов двигателя Стирлинга. Основные: Альфа-Стирлинг; Бета-Стирлинг; Гамма-Стирлинг.

Для нашей установки мы использовали 40-футовый контейнер, в который установили 42 двигателя Стирлинга шведского производства V2-6, суммарная электрическая мощность которых около 126 кВт. [4]

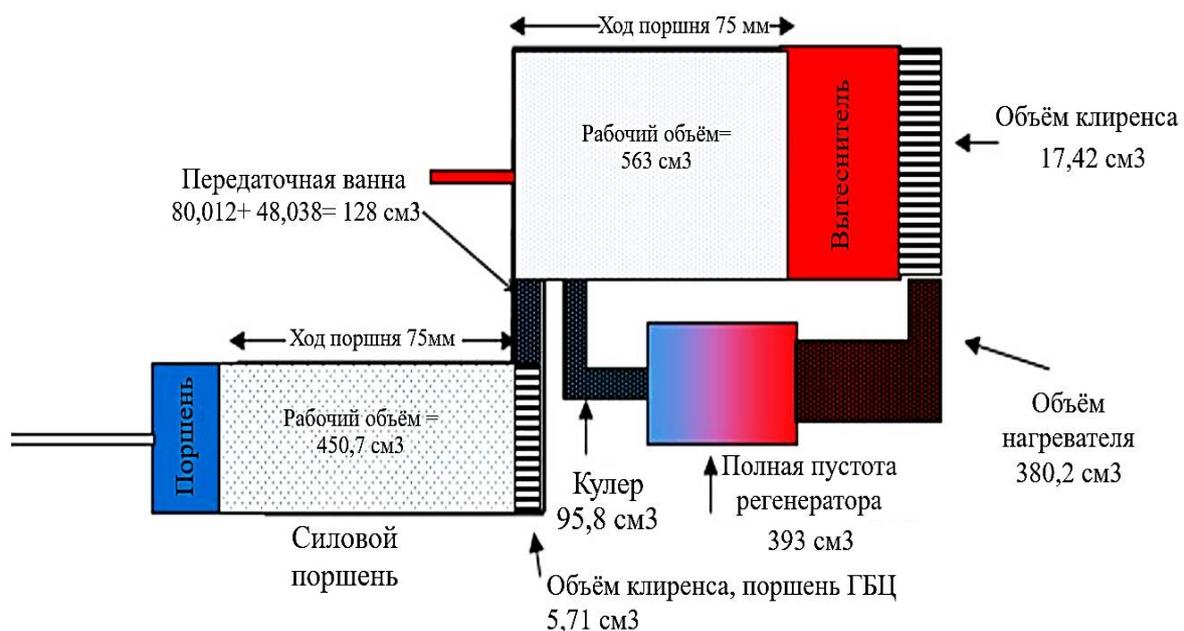


Рисунок 2 – Схема двигателя гамма типа

Таблица 1 – Параметры двигателя V2-6

Диаметр силового цилиндра	8,75 см
Ход силового цилиндра	7,5 см
Пространство сжатия перемещаемого объема	450,7 см ³
Диаметр цилиндра буйка	9,8 см
Ход цилиндра буйка	7,5 см
Пространство расширения объемного пространства	565,3 см ³
Трубки в нагревателе	34
Длина трубок нагревателя	39,2 см
Диаметр трубок нагревателя	6 мм
Трубки в охладителе	231
Длина трубок охладителя	9,71 см
Диаметр передаточной трубки	2,5 см
Длина передаточной трубки	16,3 см
Длина регенератора	6,5 см
Внешний диаметр регенератора	1,40 см
Внутренний диаметр регенератора	1 см
Регенератор пористости	0,91

Данная установка сможет работать за счет сжигания различного газа, жидкого топлива или твердого топлива, например, на пеллетах из различных отходов деревообработки и сельского хозяйства. [5]

Так же на крыше установки могут устанавливаться вакуумные солнечные коллекторы, которые могут вырабатывать тепловую энергию, которая может идти вместо топлива для работы двигателя Стирлинга в солнечное время или для помощи отопительной системы.



Рисунок 3 – Вакуумный солнечный коллектор

Также можно добавить аккумуляторы для запасания дополнительной электроэнергии, которая будет расходоваться в пики нагрузки.

Тепловую энергию установка будет получать от системы охлаждения двигателей и подавать для горячего водоснабжения или отопления.

Вся станция состоит из 5 тягачей с полуприцепами:

Сама установка с Двигателями Стирлинга и аккумуляторами в контейнере;
Второй и третий тягачи подвозят топливо к станции, иногда сменяя друг друга, когда у одного из них заканчивается топливо, в этот момент второй едет за новой партией.

В четвертом полуприцепе устроены жилые помещения для персонала станции.

Пятый полуприцеп загружен запасными запчастями, чтобы в случае поломки оперативно её устранить.

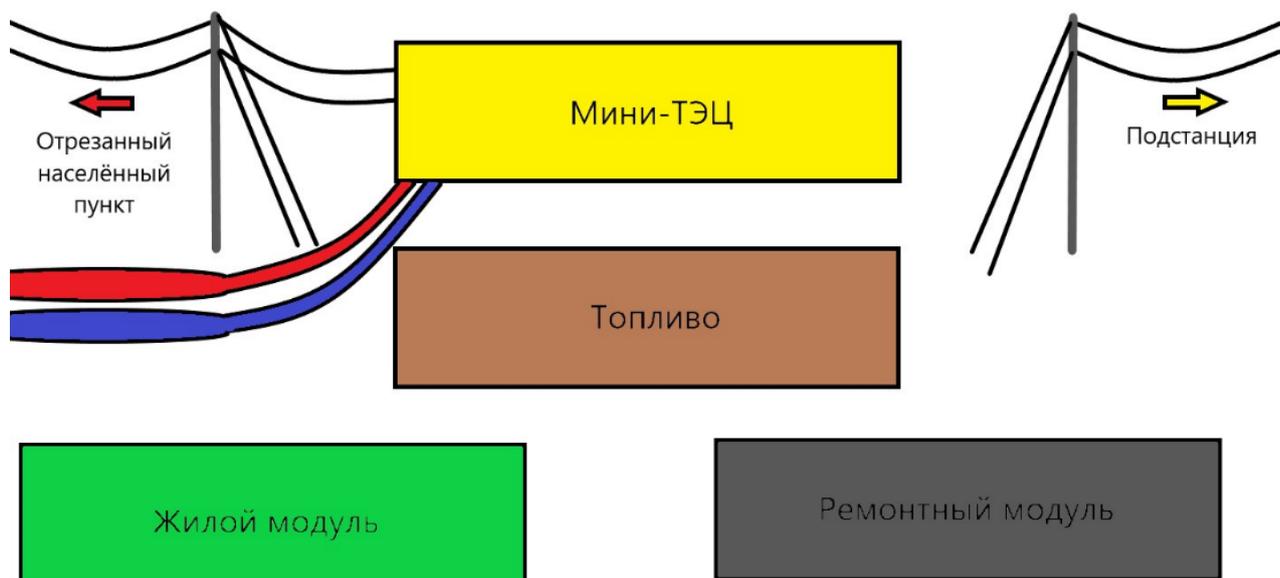


Рисунок 4 – Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

Использование двигателя Стирлинга, выгоднее дизельных генераторов, так как у них выше КПД и они экономичнее, экологичнее. Также за счет модульности конструкции (состоит из большого количества двигателей Стирлинга), при поломке одного модуля, станция продолжит работу, а модуль при наличии такого же сможет быть быстро заменен без выключения станции.

Принцип работы:

- Случается, какое-то бедствие, из-за которого обрываются линии электропередач или прорывает трубы;
- На базу данных электростанций приходит сообщение о случившемся и местонахождение разрыва;
- Станция оперативно выдвигается к этому месту, где разворачивается и начинает подавать электрическую и тепловую энергию на отрезанный населённый пункт;

- При предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и пополняет недостающее топливо и запчасти.

Рассчитаем сколько электроэнергии выработает мини-ТЭЦ за сутки:

$$E = P \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1)$$

где E – электрическая энергия, кВт·ч;

P – мощность, кВт;

T – время, ч.

$E = 201,6 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} = 4838,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, при среднем потреблении 7–8 кВт·ч за сутки одним домом, такой станции хватит, для производства электроэнергии на 575 домов, плюс запас в 238,4 кВт·ч для обеспечения при пиковых нагрузках.

В случае если возле места подключения станции к сети отсутствует трубопровод отопительной системы, надо каким-то образом охлаждать систему двигателей, чтобы не было перегрева двигателей и не падал КПД. Так как Двигатель Стирлинга работает за счёт перепада температур, то с увеличением температуры холодной части двигателя, начнёт падать мощность и КПД. Есть несколько способов охлаждения двигателя Стирлинга:

Вентиляторные (вентиляционные) градирни – это устройства для охлаждения оборотной воды воздухом, нагнетаемым с помощью вентилятора.

Мягкие отопительные устройства нового типа.

Двигатель Стирлинга может работать на различном топливе и в этом заключается одно из его главных преимуществ. Сейчас мы проведем сравнение, чтобы найти самое эффективное топливо для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.

Таблица 2 – Сравнение видов топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга [6]

Сравнение топлива для двигателя Стирлинга			
Природный газ	1 куб. м	0,55 руб	33,08 МДж
Мазут	1 л	0,1 руб	40,61 МДж
Керосин	1л	10 руб	43,5 МДж
Водород	1 куб. м	2925 руб	120 МДж
Каменный уголь	1 кг	0,4 руб	27 МДж
Торф брикеты	1 кг	0,11 руб	17,58 МДж
Древесные пеллеты	1 кг	0,4 руб	17,17 МДж
Щепа	1 кг	0,35 руб	10,93 МДж
Высушенная древесина	1 кг	0,14 руб	14,24 МДж

Из данной таблицы следует, что не всё топливо рентабельно для работы двигателя Стирлинга, например, из-за высокой стоимости. Например, невыгодно использовать керосин и водород из-за их дороговизны. Для расчёта

самого выгодного топлива надо узнать сколько весит 1 кубометр природного газа.

$$m = \rho \cdot V, \text{ кг} \quad (2)$$

где ρ – плотность природного газа, кг/м³;
 V – объём газа, м³;

$$m = 0,72 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,72 \text{ кг}$$

Теперь надо высчитать сколько тепловой энергии выдаёт 1 кг природного газа.

$Q = 33,08/0,72 = 45,94$ МДж — выделяется тепловой энергии из 1 кг природного газа.

Цена 1 кг природного 0,55 руб/0,72 кг = 0,76 руб.

После данных расчётов можно решить какое топливо выгоднее для нашей мини-ТЭЦ. Самым выгодным топливом, более-менее экологичным, являются сухие дрова и природный газ.

Мазут и торф брикетный можно использовать как резервное топливо, но не как основное, потому что они очень загрязняют атмосферу.

Заключение

Использование двигателей Стирлинга для когенерации в мини-ТЭЦ является перспективной веткой развития энергетики, так как у него КПД выше, чем у дизельных генераторов, а также он экономичнее и экологичнее их.

Использование повсеместно мини-ТЭЦ при чрезвычайных ситуациях очень полезно, так как не всегда есть возможность быстро устранить неполадки, и люди могут несколько дней быть без света или отопления, а данные установки смогут временно обеспечить теплом и электричеством много людей, а именно 1 установка = 575 частных домов, а при экономном использовании электроэнергии и больше.

Данные станции можно использовать группами, для выработки большего количества электроэнергии, или комбинированно (одна электрическую энергию, другая тепловую). Могут использоваться военными или для выработки электричества и тепла на северных месторождениях различных полезных ископаемых, а при использовании на местах добычи нефти, для работы станции можно использовать попутный нефтяной газ.

Литература

1. Когенерация [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Когенерация/>. — Дата доступа: 22.04.2024
2. Когенерационные установки с многотопливными двигателями Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://ecoteco.ru/id119/>. — Дата доступа: 22.04.2024
3. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: - http://licpnz.ru/index/dvigatel_stirlinga/0-348/. — Дата доступа: 22.04.2024

4. Company introduction and current V2-6 Products [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22643/4-inresol-introduction-and-products.pdf> /. — Дата доступа: 22.04.2024
5. Design analysis and control of the V2-6 Stirling engine [Электронный ресурс]: Режим доступа: - https://www.researchgate.net/publication/338431073_Design_analysis_and_control_of_the_V2-6_Stirling_engine /. — Дата доступа: 22.04.2024
6. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitسا-teplotvornosti.html> /. — Дата доступа: 22.04.2024

УДК 621.51

**РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ПРОПУСКА ПАРА
DEVELOPMENT OF THEORETICAL CALCULATION OF ECONOMICAL OPERATION EFFICIENCY OF VENTILATION STEAM PASSAGE**

Л.В. Маркевич, Г.М. Кандауров

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
aidarova@bntu.by

L. Markevich, G. Kandaurov
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Теоретический расчет экономичности расчета вентиляционного пропуска пара.*

***Abstract:** Theoretical calculation of the economics of vented steam passage calculation.*

***Ключевые слова:** Пар, турбина, экономичность, мощность, расщепление.*

***Keywords:** Steam, turbine, efficiency, power, splitting.*

Введение

Целью исследований являлось изучение физических явлений в модельных ступенях идентичных ступеням ЧНД, способов повышения их эффективности и получения количественных характеристик ступеней на малорасходном режиме (МР). Основу расчета характеристик схемы охлаждения части низкого давления теплофикационной паротурбинной установки (СО ЧНД ТПТУ) составляет определение мощности ЧНД на МР. Для экспериментального исследования МР, в том числе и с отрицательной мощностью, автором данной работы использовалась экспериментальная воздушная турбина ЭТ-2. Она была оснащена соответствующей измерительной техникой и под неё была разработана соответствующая методика измерений.

Основная часть

Экспериментально была подтверждена основная особенность режимов работы ступеней с отрицательной мощностью, получивших в специальной литературе название режимов чистой вентиляции. Они отличаются тем, что при глубокой разгрузке мощность, потребляемая ступенью определяется

п

р

е

и

м

у

щ

е

с

т

в

е

$$N_{ТВ} = f(D, l, n, \rho), \quad (1)$$

где D – средний диаметр, м;

l – высота рабочей лопатки, м;

n – частота вращения колеса, об/мин;

ρ – плотность потока рабочего тела, кг/м³.

При постоянной частоте вращения колеса, что характерно для ТПТУ, величина $N_{ТВ}$ определяется только геометрией ступени, которая также остаётся постоянной для ТПТУ, тогда

$$N_{ТВ} = f(C/v) \quad (2)$$

где C - критерий обобщающий геометрию ступени $[C] = [N] \cdot [v]$;
здесь $v = 1/\rho$ - удельный объём рабочего тела в ступени.

Так как удельный объём идеальных газов, к которым может быть отнесен и водяной пар, подчиняется уравнению Менделеева $P \cdot V = R \cdot T$, то выражение (2) целесообразно переписать в виде:

$$N_{ТВ} = C \cdot P \quad (3)$$

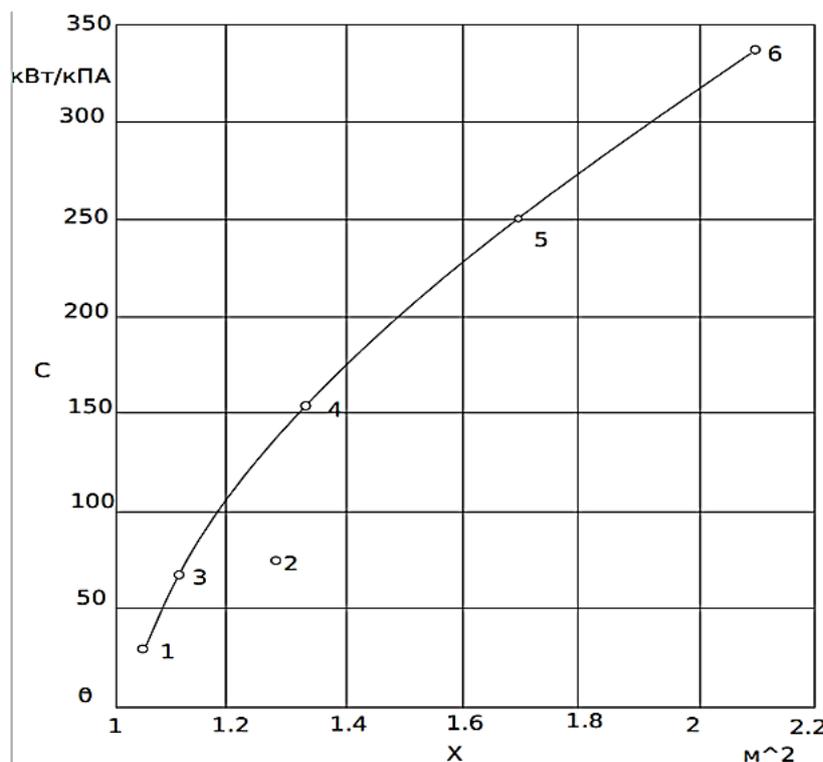
где P – давление рабочего тела за ступенью на режимах чистой вентиляции.

Для группы ступеней, например, ЧНД ТПТУ на режимах чистой вентиляции зависимость (3) также будет универсальна. В этой связи, практическую ценность имеет поиск обобщающего критерия для C в выражении (3). В качестве такого критерия удобно использовать для ЧНД основные геометрические характеристики последней ступени турбины в виде:

$$X = Dz \cdot lz, \quad (4)$$

где Dz и lz – соответственно, средний диаметр и длина рабочей лопатки последней ступени ЧНД.

Универсальность этого критерия подтверждается (рисунок 1).



1-Т-5090; 2-ПТ-60-130; 3.4.5-Т-180-130

Рисунок 1 – Зависимость удельной мощности, потребляемой ЧНД на режимах чистой вентиляции от комплекса X по данным ряда организаций

Аналитически кривая описывается полиномом третьей степени вида:

$$C = -1125.65 + 1840.25 \cdot X - 848.01 \cdot X^2 + 143.55 \cdot X^3 \quad (5)$$

По геометрии последней ступени ЧНД рассчитывается критерий X а затем по выражению (5) вычисляется численное значение коэффициента C . Так для ЧНД турбин ПТ - 60 - 130/13, Т - 110/120-130 и Т - 250/300 - 240 численное значение C составляет, соответственно: 60, 79 и 340 кВт/кПа. Удобство выражения (3) для расчёта отрицательной мощности ЧНД ТПТУ очевидно и эта зависимость использовалась в нашей работе при теоретических исследованиях характеристик СО ЧНД ТПТУ.

Надёжность работы ЧНД ТПТУ всегда стояла на первом месте, особенно, при работе на МР. Требования повышения их экономичности обусловили потребность создания простой и надёжной методики оценки эффективности работы ЧНД и всей ТПТУ на малорасходных режимах. Без такой методики невозможно ответить на такие вопросы как целесообразность снижения величины D_k^{\min} и возможного нижнего его предела, получить надёжные характеристики ТПТУ в том числе и нормативные. Не имея универсального «инструмента» невозможно вести речь об обеспечении более высокого уровня решения всех вопросов, касающихся работы ЧНД на малорасходных режимах. Попытка создания такой методики излагается ниже. Термодинамический цикл ТПТУ в общем случае может быть представлен двумя составляющими. Чисто противодействующей частью (ТР) и чисто конденсационной - (К) (далее будем называть это методом расцепленных циклов ТПТУ). Для получения количественных характеристик задача должна решаться для обоих потоков пара работающих в турбине. Принцип «расцепления», при этом, должен соблюдаться от начала и до конца процесса расширения. Схем выполнения процедуры расцепления может быть две. По первой - рассчитывается тепловая схема ТПТУ сверху вниз обычным способом, но для одной «нужной» части цикла. По второй расчёт ведётся снизу-вверх по процессу расширения. Второй способ удобен для расчёта части цикла K , так как по заданной величине D_k^{\min} могут быть рассчитаны все величины потоков, относящихся к этой части цикла. В результате расчётов расцеплённой тепловой схемы ТПТУ определяется расход пара в «голову» машины относящийся к потоку K - D_o^k , расходы пара в регенеративные подогреватели идущие исключительно на регенеративный подогрев конденсата и питательной воды части цикла K - $D_{отб}^k(1)$. Материальный баланс по рассматриваемому потоку K может быть записан:

$$D_k^{\min} = D_o^k - \sum_{i=1}^n D_{отб}^k - \sum_{j=1}^m D_{ум}^k, \quad (6)$$

где $\sum_{j=1}^m D_{ум}^k$ - часть утечек через концевые уплотнения турбины, штоков регулирующих и стопорного клапанов определяется из общего баланса пропорционально расходу пара в рассматриваемом месте.

Например, утечки штоков клапанов могут быть рассчитаны как:

$$D_{шт}^k = \frac{D_0^k}{D_0} \cdot D_{шт} \quad (7)$$

где $D_{шт}$ - утечка от штоков для всего расхода пара на турбину ($D_0 = D_0^{тр} + D_0^k$).

После расчета всех потоков пара в отборы ТПТУ – $D_{отб(i)}^k$ на политропе определяются значения теплосодержания пара в отборах – $i_{отб(i)}$ и рассчитываются значения мощностей i -х отсеков турбин для потока K , например, для первого начиная с «головой»

$$N_{o-i}^k = D_0^k \cdot (i_o - i_l) \quad (8)$$

где i_o и i_l – соответственно, теплосодержание пара перед турбиной и в первом отборе.

Далее - аналогично для всей турбины вплоть до поворотной диафрагмы, что позволяет рассчитать суммарную внутреннюю мощность турбины для её ЧВД и ЧСД или ЧВСД как:

$$N_{o-i}^k = \sum_{i=1}^n N_i^k \quad (9)$$

где n – число отсеков в ЧВСД турбины.

Мощность ЧНД на МР режимах с достаточной для практики точностью рассчитывается с помощью выражения (3), тогда

$$N_3^k = (N_{i_{чвсд}}^k - N_{i_{чнд}}) \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (10)$$

где произведение КПД механического и генератора ($\eta_m \cdot \eta_g$) принимается по заводским данным или данным испытаний ТПТУ.

Расчет удельных экономических показателей целесообразно выполнить по методу обратного баланса, в частности, удельный расход теплоты на выработку электроэнергии рассматриваемым потоком K определяется как

$$q_{э}^k = \frac{N_3^k}{N_3^k + \sum Q_k} \quad (11)$$

где $\sum Q_k$ - суммарная потеря теплоты в холодном источнике: с паром вентиляционного пропуска – D_k^{min} ; с рециркуляцией конденсата в конденсатор; с теплотой дренажей подогревателей пара и охладителя уплотнений, а также основного эжектора; с паром заднего концевого уплотнения ЧНД турбины.

Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии потоком K может быть рассчитан как

$$b_{\text{Э}}^{\text{К}} = \frac{q_{\text{Э}}^{\text{К}}}{Q_{\text{р}}^{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{ка}} \cdot \eta_{\text{тп}}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{р}}^{\text{Н}} = 29330$, кДж/кг – теплотворная способность условного топлива;

$\eta_{\text{ка}}$ – КПД котлоагрегата ТПТУ;

$\eta_{\text{тп}}$ – КПД теплового потока.

Числовые значения $\eta_{\text{ка}}$ и $\eta_{\text{тп}}$, принимаются по данным завода или по результатам испытаний.

Заключение

Рассмотренная выше методика апробировалась путем сравнения полученных на ее основе результатов с данными других авторов. Совпадение результатов расчетов по нашей методике и другим методикам хорошее.

Литература

1. Неуймин В.М. Повышение эффективности ТЭЦ за счёт оптимизации низкопотенциальной части теплофикационного оборудования. Автореф.дисс.к.т.н., Мн.,1995г., с.20.

2. Леонков А.М., Балабанович В.К. Исследование части низкого давления теплофикационных турбин на режимах с минимальными пропусками пара конденсатора // Известия вузов СССР. Энергетика. – 1982. – С.8-12.

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ КАРЬЕРОВ ДЛЯ
ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
USE OF CLOSED QUARRIES FOR HYDRO STORAGE
OF ELECTRIC ENERGY**

А.А. Мильяненко, Н.Е. Чирич

Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель,
Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
petrovskaya@bntu.by

Supervisor– T. Petrovskaya, Senior Lecturer, G. Sokolovskaya, physics teacher
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе рассмотрено применение закрытых карьеров вместо новых водохранилищ для постройки гидроаккумулирующей электростанции, рассмотрены различные места для постройки данного объекта на территории Республики Беларусь. В практической части произведен ряд расчётов различных характеристик ГАЭС, созданы калькулятор и сайт по данной теме.*

***Abstract:** This paper examines the use of closed quarries instead of new reservoirs for the construction of a pumped storage power station and considers various places for the construction of this facility on the territory of the Republic of Belarus. In the practical part, a number of calculations of various characteristics of pumped storage power plants were made, a calculator and a website on this topic were created.*

***Ключевые слова:** Гидроаккумулирующая электростанция, закрытый карьер, график энергетической нагрузки, мощность, прибыль.*

***Key words:** Pumped storage power plant, closed quarry, energy load schedule, power, profit.*

Введение

Мы живем в мире, где не существует стран с равномерным суточным потреблением энергии. В любом государстве днем появляются пики потребления, а ночью потребление, наоборот, падает. Из-за этого сложнее управлять энергетической системой, особенно возобновляемыми источниками энергии, так как в зависимости от погоды их эффективность может падать. Но использование аккумуляторов не является выходом, так как они не могут запасать большое количество энергии, их невозможно утилизировать и при производстве выделяется большое количество вредных веществ. Для увеличения стабильности энергетики государств можно использовать гидроаккумулирующие электростанции они помогут уровнять энергопотребление в странах и обеспечить стабильную работу энергосистемы.

Основная часть

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) — гидроэлектростанция, состоящая из здания ГАЭС (машинного зала), верхнего и нижнего бьефов, и

используемая для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки.

Принцип работы основан на попеременной перекачке воды между верхним и нижним резервуаром. Вода с нижнего бьефа в ночное время суток, когда нет большой нагрузки в энергосистеме, насосами (отдельными или совмещенными с турбинами) закачивается в верхний объём. А утром и вечером в момент пиков, вода сливается в низ, раскручивая турбины и вырабатывая электроэнергию.



Рисунок 1 – Принцип работы ГАЭС

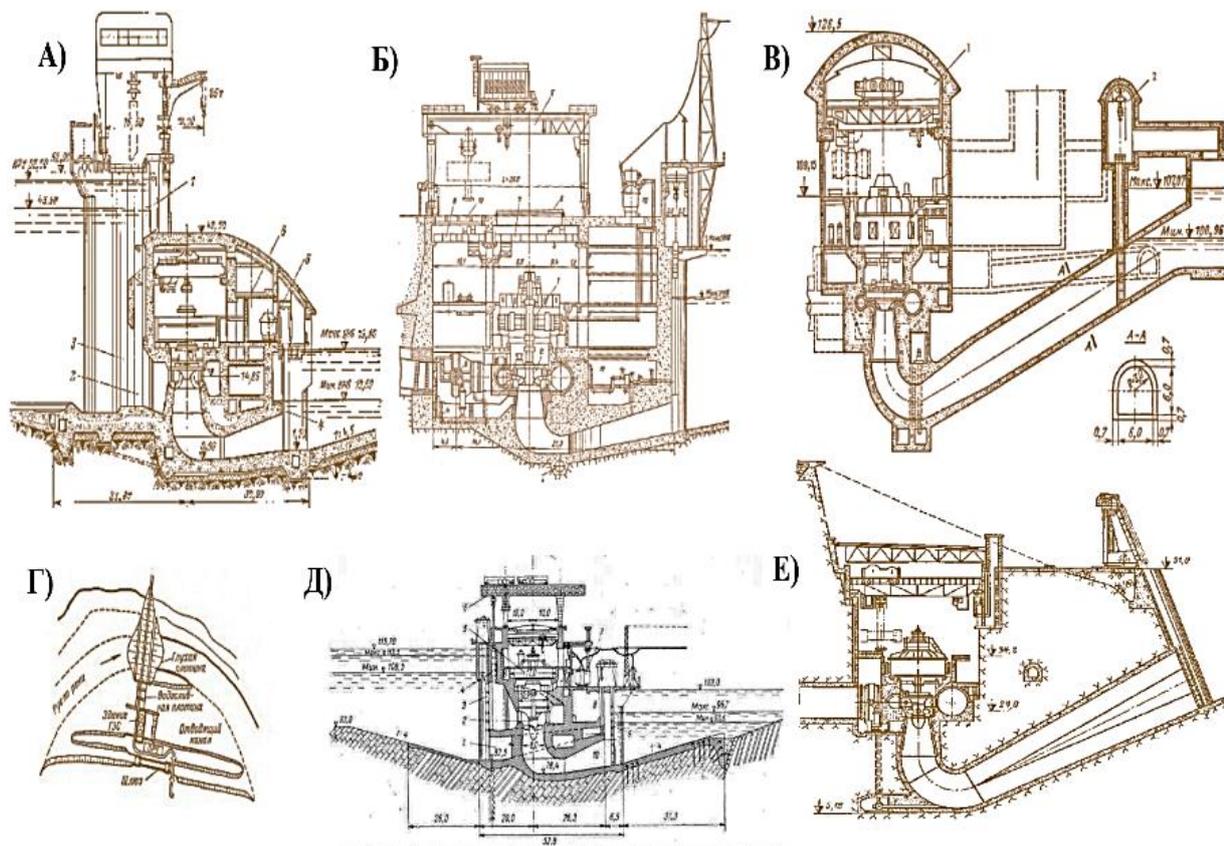
Существует три разновидности ГАЭС: ГАЭС с плотинной схемой, деривационные ГАЭС, ГАЭС с подземными бассейнами.

Здания ГАЭС выполняются по той же схеме, что и здания ГЭС: русловыми, приплотинными, береговыми, открытыми, подземными и полуподземными, но имеют отличительные особенности, связанные с составом и типом основного гидросилового оборудования, которое может выполняться по двухмашинной, трехмашинной и четырехмашинной схемам. [1]

Как ранее было сказано обратимые гидроагрегаты используются для ГАЭС, так как они могут работать в режиме насоса и турбины. Тип агрегата зависит от напора на ГАЭС:

- При низком напоре до 15 метров можно применять горизонтальные капсульные обратимые гидроагрегаты.
- При напорах до 150 м возможно использование диагональных насосотурбин.
- При напорах от 60 до 600–700 м наиболее широкое распространение в мире получили вертикальные радиально-осевые насосотурбины. [6]

Мы рассмотрели различные площадки с закрытыми карьерами на территории всей страны для постройки ГАЭС. Нами были изучены методы постройки гидроаккумулирующих станций по всему миру, и мы пришли к выводу, что самым лучшим решением для нас будет деривационная ГАЭС.



А – русловое; Б – приплотинное; В – подземное; Г – береговое;
 Д – открытое; Е – полуподземное
 Рисунок 2 – Типы зданий ГАЭС

У нас было несколько критериев для выбора площадки:

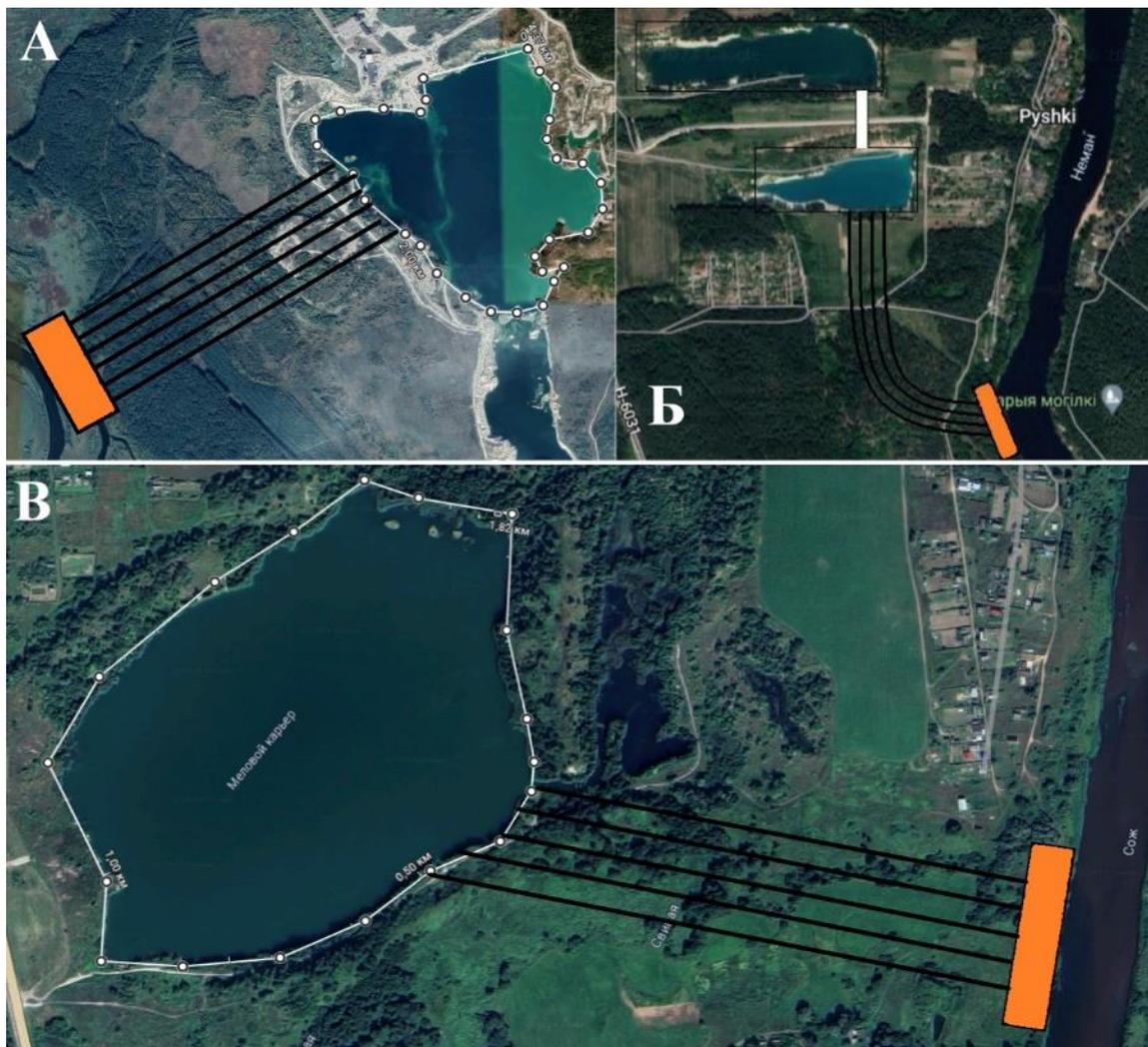
- Близость с водоёмом (рекой или озером) для использования в качестве нижнего водоёма, и чтобы не тянуть далеко водоводы;
- Уклон местности для того, чтобы создавался напор и ГАЭС вырабатывала электроэнергию;
- Достаточный объём карьера, чтобы ГАЭС запасала большое количество электроэнергии.

После тщательного изучения карты Беларуси было найдено несколько перспективных площадок для постройки:

- Площадка возле деревни Пышки, Гродненского района;
- Площадка возле деревень Глушнево и Зуи, Кричевского района;
- Площадка возле деревни Каменка, Кричевского района.

Мы рассчитали площадь данных водоёмов и нашли информацию про их глубину, благодаря чему мы смогли высчитать объём карьеров.

Далее мы рассмотрим каждый карьер по отдельности и более тщательно, рассчитаем характеристики перспективных ГАЭС.



А – Площадка возле деревни Каменка, Кричевского района; Б – Площадка возле деревни Пышки, Гродненского района; В – Площадка возле деревень Глушнево и Зуи, Кричевского района
Рисунок 3 – Карта расположения станций

Таблица 1 – Сравнительная таблица характеристик ГАЭС по нашему проекту

	Площадка у деревни Пышки	Площадка у деревень Зуи и Глушнево	Площадка у деревни Каменка
Объём верхнего бьефа, м ³	6223739, 2	7700000	22500000
Напор в турбинном режиме, м	38	24	35
Напор в насосном режиме, м	42	26	37
Скорость воды в турбинном режиме, м ³ /с	288,136	427,778	892
Время разрядки, с	21600	18000	22500
Мощность в турбинном режиме, МВт	107,411	100,716	306,268
Скорость воды в насосном режиме, м ³ /с	216,102	305,556	694,4
Время зарядки, с	28800	25200	32400
Мощность в насосном режиме, МВт	89,038	77,935	252,046
Теоретический КПД, %	90,48	92,3	84,3
Реальный КПД, %	75–80	77–82	69–74

Мы изучили цены на электроэнергию в различные периоды времени (для расчётов мы использовали дифференцированный тариф по трем временным периодам) и вычислили какую прибыль будет получать предприятие ГАЭС за сутки.

Рассмотрим цены на электроэнергию в различные часы:

Цена электричества с 23:00 до 6:00 – 0,1254 белорусских рубля за 1 кВт·ч;

Цена электричества с 17:00 до 23:00 – 0,3762 белорусских рубля за 1 кВт·ч;

Цена электричества в остальное время суток – 0,1463 белорусских рубля за 1 кВт·ч.[3]

Таблица 2 – Сравнительная таблица прибыли ГАЭС по нашему проекту

	Площадка у деревни Пышки	Площадка у деревень Зуи и Глушнево	Площадка у деревни Каменка
Период зарядки	С 23:00 до 7:00	С 23:00 до 6:00	С 23:00 до 8:00
Зарядка, бел. руб	91183,8158	68411,343	294994,638
Период разрядки	С 17:00 до 23:00	С 17:00 до 22:00	С 16:00 до 23:00
Разрядка, бел. руб	242448,109	189446,796	736115,138
Потери при разрядке, бел. руб	55763,0651	39783,8272	213473,39
Реальная разрядка, бел. руб	186685,044	150262,969	522641,748
Прибыль, бел. руб	95501,2282	81851,626	227647,11

Мы рассчитали прибыль трех ГАЭС и пришли к выводу, что данные проекты рентабельные и принесут дополнительную прибыль и помогут немного выровнять энергетический баланс страны, несмотря на потери при аккумуляции.

Нами был создан калькулятор на базе Microsoft Excel в котором можно теоретически рассчитать различные характеристики ГАЭС, введя всего 5 параметров. Данный калькулятор может помочь в расчётах проектирования новых ГАЭС.

Теоритический расчёт основных параметров ГАЭС					
Введите начальные коэффициенты: Vв.б., Н1, Н2, tраз, tзар					
Vв.б., м3	Н1, м	Н2, м	tраз, ч	tзар, ч	
7000000	40	80	7	9	
Ответ:	$\eta = 90,48\%$		tраз, с	tзар, с	
Pт=	103,55 МВт		25200	32400	
Pн=	89,02 МВт				
Расчёты					
Qt	277,77778				
Pт	103550000				
Нт	38				
Qн	216,04938				
Pн	89016667				
Нн	42				
η	90,48%				

В данной программе рассчитывается теоритический КПД и мощность ГАЭС в разных режимах. Для более реалистичной картинки требуется отнять от КПД около 5-15%, и от мощности 3-5% в следствии погрешностей, неидеального КПД оборудования и выпаривания воды в верхнем бьефе.

$\rho = 1000$ кг/м3

$g = 9,81$ м/с2

Рисунок 4 – Калькулятор расчёта ГАЭС

С помощью сервиса «Сайты Google» мы сделали свой сайт, на котором описан принцип работы ГАЭС, их виды, наши проекты и ссылка на наш калькулятор для расчёта теоретических характеристик ГАЭС. Был создан логотип для нашего сайта.



Рисунок 5 – Общий вид сайта

Мы рассмотрели данные энергопотребления и выдачи электроэнергии в сеть Республики Беларусь и составили график данных параметров до ввода наших ГАЭС и после.

Как видно, благодаря ГАЭС смогли немного стабилизировать потребление ночью, а также смягчить нагрузку на ТЭЦ в вечерний пик, за счёт потребления энергии с 23:00 до 6:00 электроэнергии и отдачи с 17:00 до 23:00.

Также это помогает сэкономить немного топлива на ТЭЦ за счёт уменьшения отдачи электроэнергии в вечерний пик.

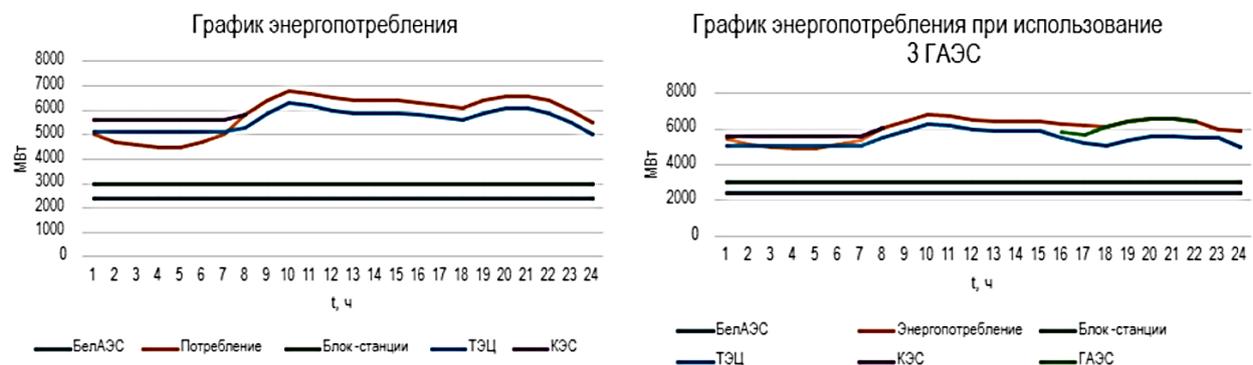


Рисунок 6 – Графики потребления и производства электроэнергии до и после ввода ГАЭС

Заключение

Как доказано выше проекты с ГАЭС на месте закрытых карьеров имеют ряд неоспоримых достоинств. Они характеризуются способностью запасать

большое количество электроэнергии и отдавать её в течение нескольких часов с постоянной мощностью, при не самом плохом КПД в 70–80%, что при получении энергии по ночному тарифу и отдачи во время пиков нивелируется ценами на электроэнергию. Также использование закрытых меловых карьеров поможет избежать несчастные случаи из-за любителей поплавать в данных водоёмах, так как они будут под охраной.

Использование ГАЭС является перспективной технологией, которая поможет Беларуси тратить немного меньше топлива для ТЭЦ, так как с них снимут часть нагрузки, которую будут отдавать ГАЭС, а ночью они будут потреблять энергию, чтобы она не уходила впустую. Данные станции помогут выровнять график энергопотребления в Беларуси и заново использовать карьеры, чтобы не рекультивировать их.

Литература

1. Особенности сооружений ГАЭС [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-4/4-4/>. — Дата доступа: 21.04.2024
2. Гидротурбины и обратимые гидромашины [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2/>. — Дата доступа: 21.04.2024
3. Тарифы на электрическую и тепловую энергию [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://www.energo.grodno.by/tarify-na-elektricheskuyu-i-teplovuyu-energiyu/>. — Дата доступа: 21.04.2024

УДК 62-5

**ЗАВИСИМОСТЬ ДИАМЕТРА ПЛАМЕНИ ПРИ СЖИГАНИИ
ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПКАХ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ
ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТ ИХ МОЩНОСТИ
THE DEPENDENCE OF THE FLAME DIAMETER DURING THE
COMBUSTION OF NATURAL GAS IN THE FURNACES OF THREE-WAY
HEAT-TUBE HOT WATER BOILERS ON THEIR CAPACITY**

А.С. Шенец

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

г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

A. Shenets

Supervisor – Yu. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данном исследовании рассмотрена зависимость диаметра пламени и топки от мощности жаротрубного трехходового котла при сжигании природного газа.*

***Abstract:** This study examines the dependence of the diameter of the flame and furnace on the power of a fire-tube three-pass boiler when burning natural gas.*

***Ключевые слова:** диаметр, топка, факел, мощность.*

***Keywords:** diameter, firebox, torch, power.*

Введение

Как и длина, максимальный диаметр пламени при сжигании газообразного топлива определяет геометрию топки котла. Излишний диаметр топки, очевидно, ведёт не только к дополнительному расходу металла и увеличивает стоимость котельного агрегата, но и понижению теплового потока на теплообменную поверхность. Диаметр топки меньший диаметра пламени, очевидно, приведет к пережогу теплообменной поверхности и к повышенной тепловой нагрузке. Таким образом, определение диаметра пламени в самой широкой части факела при данной мощности котла предопределяет минимальный диаметр топки котла.

Основная часть

Несмотря на развитое турбулентное течение ($Re \sim 8000-10000$) реальной газо-воздушной смеси на выходе из пламенной трубы дутьевой горелки, именно диаметр пламенной трубы во многом определяет диаметр генерируемого факела (рис. 1). Однако, на геометрию факела и на его диаметр, в частности, влияют внешние фактора, обусловленные центробежными и гравитационными силами, локальными реверсивными потоками от местных сопротивлений (особенно при гофрированных топках с переменным диаметром), трением как внутри потока, так и у теплообменных поверхностей.



Рисунок 1 – Образование факела в пламенной трубе горелки на выходе из смесительного устройства.

Целью настоящего исследования было определение максимального диаметра пламени для трехходовых жаротрубных водогрейных котлов средней мощности ($N_k=100-20\,000$ кВт) при сжигании природного газа стандартными дутьевыми (с подаваемым принудительно воздухом на горение) горелками с внутренним смесительным устройством.

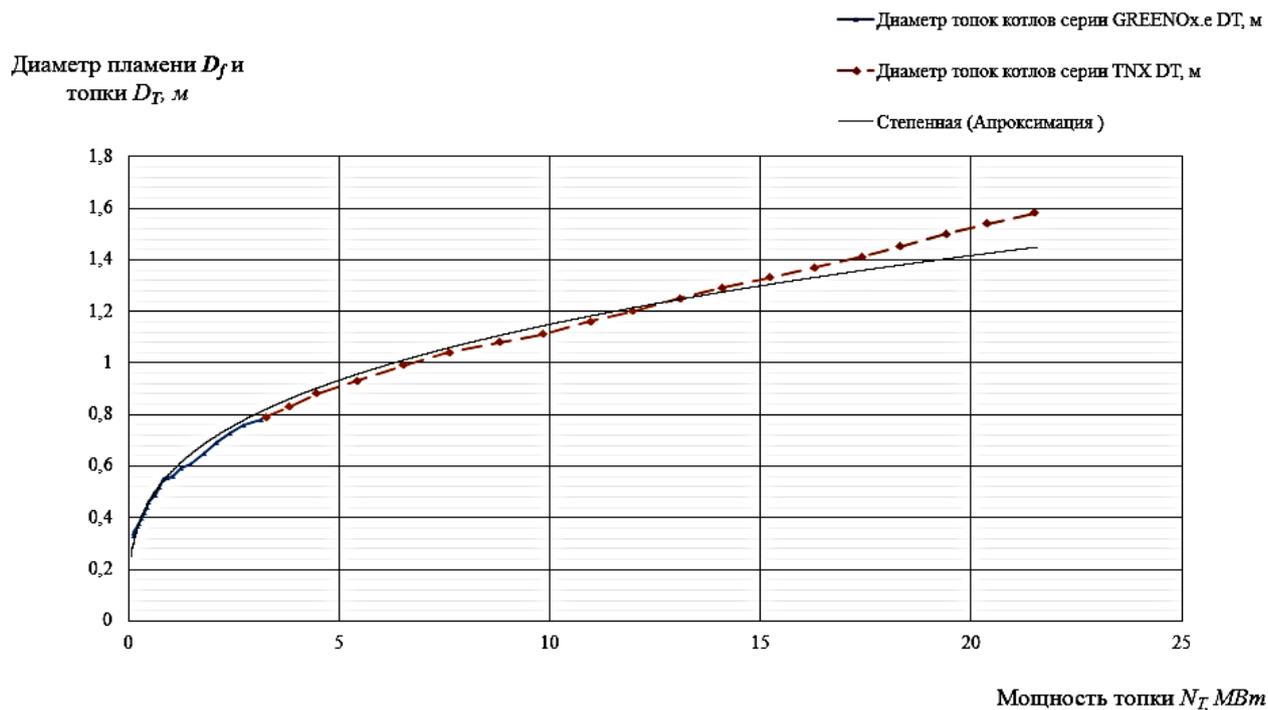


Рисунок 2 – Диаметр пламени дутьевой горелки в зависимости от мощности топки

На рис. 2 представлен пример указанной зависимости для жаротрубных трехходовых водогрейных котлов ICI-Caldaie (Италия) двух серий. В результате исследования была определена зависимость типа:

$$D_f = a \cdot N_T^x, \quad (1)$$

где D_f – максимальный диаметр пламени, м;

N_T – мощность топки, МВт.

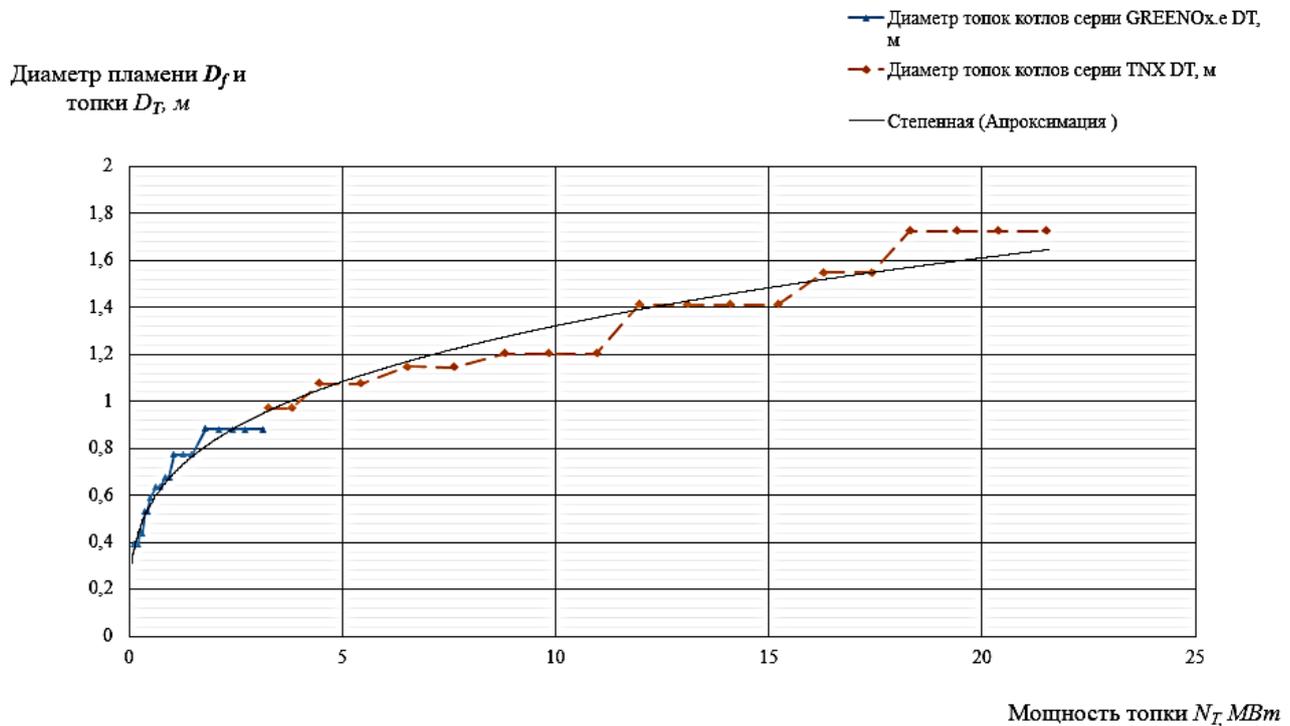
В частности, для указанных серий котлов предложенная зависимость (1)

п

р

и

Очевидно, что диаметр топки должен превышать максимальный диаметр пламени так, чтобы избежать непосредственного контакта с поверхностями теплообмена котла. На рис. 3 представлена зависимость диаметров топок тех же выбранных для исследования серий котлов от мощности их топок.



у

Рисунок 3 – Диаметр топок котлов в зависимости от мощности.

а

Для указанных серий котлов предложенная зависимость (1) для минимальных диаметров топок приняла следующую формулу аппроксимации:

р

о

При сравнении отношений формул (2) и (3) с некоторым запасом (1- 3%) можно утверждать, что для исследованного типа котлов с вентиляторными горелками с внутренним смесительным устройством с подаваемым принудительно воздухом, диаметр топок котлов для выбранного диапазона мощностей должен составлять $\sim +10\%$ к максимальному диаметру пламени.

а

Заключение

ц

и

и

:

T

0

,

2

Полученная формула (3) позволяет определить минимальный диаметр трехходовых жаротрубных водогрейных котельных агрегатов при сжигании природного газа вентиляторными горелками с внутренним смесительным устройством с подаваемым принудительно воздухом. Следует отметить, что малый диаметр топки котла не только понижает его надежность и срок службы, но и генерирует дополнительные реверсивные потоки у теплообменной поверхности и, кроме того, увеличивает объемную тепловую нагрузку топки, что повышает вероятность образования окислов азота [1]. Изучение предполагаемой зависимости позволит унифицировать полученную в данном исследовании формулу (3) в том числе и с точки зрения оптимизации характеристик топки в соответствии с требуемыми нормами загрязняющих веществ [2].

Литература

1. Yarmolchick, Yu. P. Formation Mechanisms and Methods for Calculating Pollutant Emissions from Natural Gas Combustion Depending on the Burner Emission Class / Yu. P. Yarmolchick // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – № 6. – С. 565-582.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Минск: Минприроды, 2017. 139 с.

УДК 621.181.123

**СРАВНЕНИЕ ЖАРОТРУБНЫХ И ВОДОТРУБНЫХ КОТЛОВ
COMPARISON OF FIRE-TUBE AND WATER-TUBE BOILERS**

Д.А. Шевко

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by
D. Shevko

Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассматривается сравнение жаротрубных и водотрубных котлов

Abstract: This article discusses a comparison of fire tube and water tube boilers.

Ключевые слова: Водотрубные котлы, жаротрубные котлы, электроэнергия, тепло, турбины, топливо.

Keywords: Water tube boilers, Fire tube boilers, electricity, heat, turbines, fuel.

Введение

Жаротрубные и водотрубные котлы хотя и выполняют одинаковые функции, но имеют противоположный принцип действия. Чтобы понять, какой из них лучше выбрать, нужно выяснить, как они устроены, и разобраться, какие преимущества и недостатки они имеют. Изначально вся система советского, отопления и горячего водоснабжения была ориентирована на водогрейные котлы водотрубной конструкции – в 1960-х годах прошлого века в СССР специальным решением Госгортехнадзора был введён официальный запрет на производство жаротрубных котлов из-за большого количества связанных с их эксплуатацией аварий.

Поэтому именно водотрубные котлы сформировали менталитет наших проектных, монтажных и эксплуатационных организаций, именно они стали традиционными, так как были не просто адаптированы под местные условия, а создавались специально для них.

Жаротрубные котлы получили широкое распространение на территории РБ лишь в конце 80-х годов.

Основная часть

В жаротрубном котле высокотемпературный дымовой газ, образующийся при сгорании, протекает через дымовую трубу с резьбой, окружённую водой, и нагревает воду, пар или пароводяную смесь вне стенки дымовой трубы, чтобы генерировать пар или горячую воду. Конструктивно такие котлы представляют собой цилиндр, размещённый горизонтально, в середине или в нижней части которого размещена горелка, а над ней дымогарные трубы, переходящие затем в дымоход.

Водотрубный котел работает как раз наоборот, вода циркулирует в трубе котла, а труба окружена высокотемпературным дымовым газом, который нагревает воду внутри трубы, чтобы генерировать пар или горячую воду.

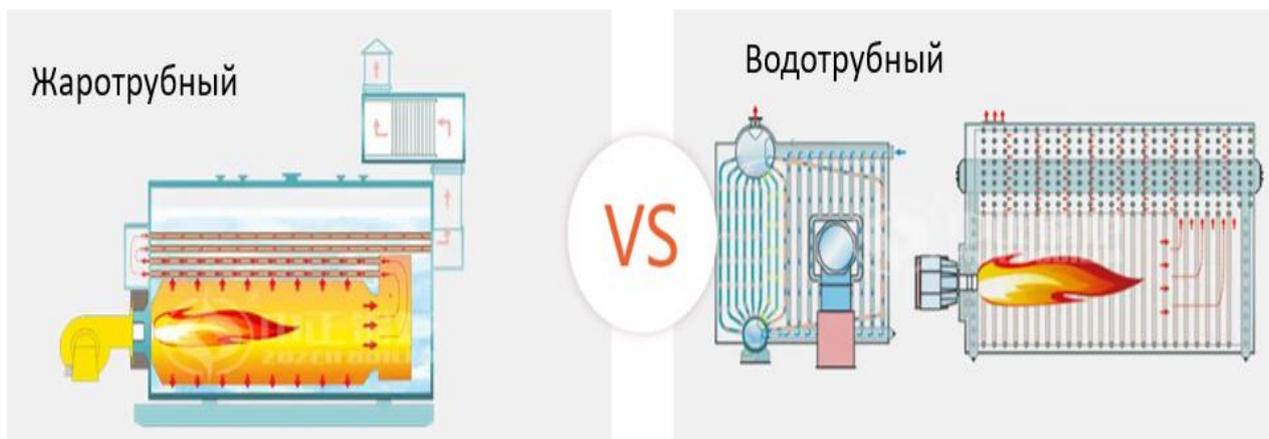


Рисунок 1 – Принципиальная схема жаротрубного и водотрубного котлов

Среди преимуществ жаротрубных котлов выделяют:

- простоту конструкции;
- компактные размеры;
- легкое обслуживание;
- относительно невысокую стоимость.

Котел оснащен высокоэффективной дымовой трубой, которая продлевает время пребывания дымовых газов в топочной камере и эффективно повышает термический КПД

Отрицательными же качествами считаются высокие требования по воде, взрывоопасность и значительное аэродинамическое сопротивление. Из-за большого количества воды он не может быстро реагировать на постоянные большие изменения нагрузки.

Водотрубные котлы также обладают своим набором преимуществ. Среди них: быстрый теплообмен; отсутствие жестких требований по воде; относительно малый вес котла; отсутствие опасности взрыва, может более точно отслеживать колебания нагрузки и обладает лучшей способностью регулирования.

Если же говорить о недостатках водотрубных котлов по сравнению с жаротрубными, то это, в первую очередь, более сложное техническое устройство, настолько же сложное обслуживание и более высокая стоимость на рынке. Влияние накипи на водотрубный котел велико, что может приводить к разрыву водяной трубы.

Жаротрубные и водотрубные котлы имеют свои преимущества и недостатки, каждому предприятию следует выбирать подходящий тип котла в соответствии с фактическими потребностями собственной производственной линии, такими как потребность в паре, площадь котельной, эксплуатационные расходы котла и простота технического обслуживания.

Заключение

Таким образом для мощности по пару 24 т/час (или даже 30 т/час), в зависимости от давления при сжигании качественного газового и жидкого топлива, или твердого топлива с низким содержанием летучих горючих веществ котлы с жаротрубной (дымогарной) конструкцией являются более подходящими. Для сжигания твердого топлива с высоким содержанием

летучих горючих веществ целесообразно использовать сочетание водотрубной топki с жаротрубной конвективной часть. Для высокого давления и для больших мощностей водотрубные котлы являются лучшим решение, несмотря на более высокие инвестиционные затраты.

Литература

1. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики / И.В.Плачков, В.С. Подгуренко, Н.И. Дунаевская – 2011 – № 3. – с. 220 – М.: Энергоатомиздат
2. Паровые и водогрейные котлы / А.К. Зыков – 1987, с. 128 - М.: Энергоатомиздат
3. Котельные установки промышленных предприятий / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев – 1988 – № 3. – с. 528 – М.: Энергоатомиздат

УДК 621.311

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОПЛАВКОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE FLOAT POWER PLANT**

А.А. Телеш

Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

А. Telesh

Supervisor – T. Ryzhova, Candidate of Technical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в докладе рассматривается необходимость использования альтернативных источников энергии в современной энергосистеме, таких как волновая энергия, а также принцип действия поплавковой электрической станции.

Abstract: the report examines the need to use alternative energy sources in a modern energy system, such as wave energy, as well as the principle of operation of a float electric station.

Ключевые слова: энергия, электроэнергия, возобновляемые источники энергии, волны, вода, электростанция, электрогенератор, ветер, колебание.

Keywords: energy, electricity, renewable energy sources, waves, water, power plant, electric generator, wind, oscillation.

Введение

Современный мир столкнулся с такой проблемой, как заметное уменьшение запасов природных ресурсов. Одной из причин этому стало использование огромного количества электростанций в качестве топлива газа, угля или нефтяных продуктов. В связи с этим, на протяжении долгого времени проводятся исследования, а также практические разработки, касающиеся использования альтернативных источников электроэнергии.

В настоящее время внедряются солнечные электростанции, ветряные электростанции и другие энергетические установки. Среди них немало важное место занимают волновые электростанции, которые в свою очередь используют огромные запасы энергии морей и океанов.

Основная часть

Энергия волн – это форма возобновляемой энергии, которая производится за счет движения воды в океанах и морях под воздействием ветра. Энергия волн может быть использована для производства электричества с помощью специальных устройств, называемых поплавковыми (волновыми) энергетическими установками.

Энергия волн имеет ряд преимуществ, таких как постоянность по сравнению с другими источниками возобновляемой энергии, такими как солнечная или ветровая энергия. Кроме того, она не зависит от погодных условий и может работать круглосуточно.

Поплавковая электростанция – это установка, предназначенная для генерации электроэнергии на плавучей платформе с использованием возобновляемых источников энергии, таких как волновая энергия, энергия солнца или ветер. Такие станции могут быть размещены на морской поверхности, озерах или реках.

Принцип действия поплаковой электростанции основан на кинетической энергии движущихся масс воды морей и океанов, а именно использовании плавучей платформы, на которой установлены солнечные панели или ветрогенераторы для генерации электроэнергии. Плавучая платформа оборудована системой управления, которая отслеживает положение солнца или направление ветра, чтобы максимально эффективно использовать возобновляемые источники энергии.

Рассмотрим принцип действия поплаковой электростанции на примере работы с «Колеблющимся телом».

«Колеблющееся тело» в волновой электростанции представляет собой устройство, которое используется для преобразования энергии волн в электрическую энергию. Этот принцип работы основан на использовании колебаний и движения воды для генерации электричества.

«Колеблющееся тело» может иметь различные формы и конструкции, но его основной принцип работы заключается в том, что оно движется в такт с волнами, изменяя свое положение относительно поверхности воды. При этом колебания тела приводят к изменению давления и потока воды, что позволяет преобразовать кинетическую энергию воды в механическую энергию, а затем в электрическую энергию с помощью генератора.

Собранная электроэнергия передается на берег с помощью подводного кабеля или беспроводной передачи данных. Электроэнергия может быть использована для питания удаленных населенных пунктов, островов, а также для поддержания работы морских установок и оборудования.

Такие устройства могут быть установлены как на морском побережье, так и в открытом море, где волны имеют достаточную силу для генерации электроэнергии. Волновые электростанции на базе колеблющихся тел могут быть эффективным способом использования возобновляемых источников энергии и снижения зависимости от ископаемых топлив.

Заключение

Поплавковые электростанции являются одним из инновационных способов использования возобновляемых источников энергии для устойчивого развития и снижения зависимости от традиционных источников энергии, таких как уголь или нефть.

Поплавковые электростанции обладают высокой мобильностью и могут быть легко перемещены в нужное место для генерации энергии. Они также экологически чисты, так как используют возобновляемые источники энергии и не производят выбросов вредных веществ.

Преимущества таких электростанций включают в себя возможность использования возобновляемого источника энергии, низкие эксплуатационные расходы, отсутствие выбросов вредных веществ в окружающую среду и

независимость от погодных условий. Такие устройства могут быть хорошим дополнением к другим источникам возобновляемой энергии, таким как солнечная или ветровая энергия, и способствовать развитию чистой источников энергии.

Литература

1. М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Пронина. «Альтернативные энергоносители» - Изд. Наука, Москва, 2004 г.
2. Энциклопедия электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oovna.ru/volnovye-elektrostantsii-primery-treh-proektov/> – Дата доступа: 01.04.2024.
3. В. И. Сичкарев, В. А. Акуличев. «Волновые энергетические станции в океане». – Изд. Наука, 1989. – 132 с.

УДК 628.336.3

СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОГАЗОВ COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF BIOGAS

А. С. Семененко, М. А. Грушко

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

A. Semenenko, M. Grushko
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Настоящая работа представляет краткий обзор характеристик биогазов, их формирования, состава, применения и перспектив развития.*

***Abstract:** This report provides a brief overview of the characteristics of biogas, their formation, composition, application and development prospects.*

***Ключевые слова:** биогаз, энергия, источник, состав, экология, развитие.*

***Keywords:** biogas, energy, source, composition, ecology, development.*

Введение

Биогаз принято считать экологическим чистым топливом за счет способа его получения. Получение биогаза происходит за счет микробного разложения биомассы, поэтому он является возобновляемым источником энергии и наиболее чистым топливом. Однако при рассмотрении его свойств можно заметить прямую схожесть с природным газом, но его главным плюсом является дешевизна и неисчерпаемость.

Основная часть

В биогаз входят: углекислый газ, метан, сероводород, водород, аммиак. Примерное содержание данных веществ указано на рисунке 1.

К сожалению, определить точные цифры состава биогаза не предоставляется возможности, так как его качество напрямую связано с биомассой, её качеством и составом. Например, протеины и жиры дают больший процент метана в сравнении с углеводистыми компонентами. Высокую концентрацию метана в биогазе обеспечивает сырье, богатое жирами, в зависимости от этого повышается и его энергетическая ценность, но состав сырья нуждается в постоянном контроле, переизбыток жиров может остановить или замедлить процесс преобразования биогаза.

Ключевым компонентом газа также является сероводород. Но зачастую происходит очистка биогаза от серы, так как она обладает агрессивными свойствами и способна вызывать коррозию, что прежде всего наносит вред приборам. Биогаз, который очищен от серы, практически не имеет запаха.

В связи с повсеместным ростом экологических проблемы растет и интерес к производству и использованию биогаза. Его может использовать не только как альтернативное топливо, а, например, для обогащения почвы углекислым газом с целью улучшения плодородия земли.

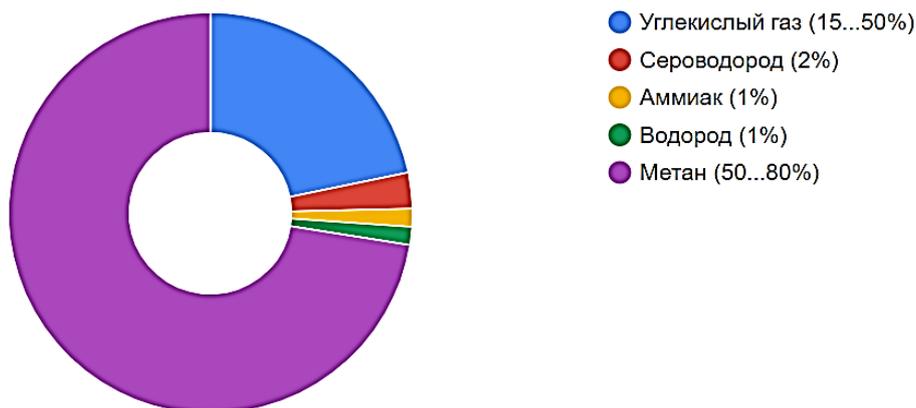


Рисунок 1 – Состав биогаза

Благодаря его свойствам его можно применять для отопления, что приведет к сокращению расходов на энергию и снизит зависимость от привычного топлива. В дальнейшем развитии биогазовой отрасли большое значение будет иметь увеличение эффективности производства биогазов, разработка новых технологий очистки и использования биогазов.

Заключение

Благодаря своей экологической чистоте, биогаз является отличной альтернативой нефти и газу в производстве электроэнергии, тепла и топлива. Кроме того, биогаз может быть использован для производства биоуглерода и удобрений, что делает его универсальным ресурсом. Производство биогаза значительно сокращает зависимость от ископаемых ресурсов, а также способствует уменьшению объемов отходов и повышению уровня их переработки. Применение биогаза способствует сокращению выбросов парниковых газов и уменьшению зависимости от нефтепродуктов. Биогазовые установки создают новые рабочие места в сельском хозяйстве и промышленности, способствуя развитию экономики. Развитие биогазов как источника энергии имеет стратегическое значение для обеспечения устойчивого развития общества. В целом, биогаз является ключевым элементом перехода к более экологически устойчивым и энергоэффективным ресурсам, способствуя сохранению природы для будущих поколений.

Литература

1. Курс лекций по общей микробиологии и основам вирусологии. В 2 ч. Ч. 2 /О.В. Прунтова, М. А. Мазиров; Владим. гос. ун-т. - Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. - 108 с.
2. Биогазовые установки и возможности их модернизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/255/16386.htm> - Дата доступа: 29.03.2024
3. Биогаз: преимущества, технологии производства, использование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.renwex.ru/ru/ii/biogaz/> - Дата доступа: 29.03.2024

УДК 621.311:631.2

КОТЛЫ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ BOILERS FOR GREENHOUSES

В.В. Панцырев

Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by
V. Pansyrau
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в настоящей работе рассматриваются котлы для тепличных хозяйств и решения для улучшения урожайности.

Abstract: The report examines boilers for greenhouses and solutions to improve yields.

Ключевые слова: котлы, теплицы, урожайность, углекислый газ, окиси азота.

Keywords: boilers, greenhouses, yields, carbon dioxide, nitrogen oxides.

Введение

Развитие рынков, связанных с плодоовощной продукцией, ведет к стремительному улучшению технологий, внедряемых в теплицах. Теплицы – сложнейшая система, которая позволяет повышать производительность и качество продукции, а также регулировать все соответствующие параметры.

Теплицы последнего поколения проектируются как высокотехнологические комплексы, требующие больших инвестиций. Котлы для тепличных хозяйств предлагают решения для обеспечения теплиц теплом, а также одним из важнейшего фактора для растений – углекислым газом.

Основная часть

Котлы нужно спроектировать таким образом, чтобы полностью удовлетворять требованиям тепличных хозяйств по показателям:

- Углекислый газ (CO₂) участвующий в процессе фотосинтеза. Для примера, концентрация углекислого газа в воздухе примерно 350-400 ppm, но в теплицах из-за постоянного фотосинтеза концентрация падает примерно в 1,5 раза. Однако увеличив концентрацию до 800-1000 ppm, можно увеличить прирост урожайности до 40%

- Окиси азота NO_x, которые снижают эффективность углекислого газа. Следовательно, нужно уменьшить концентрацию выбросов в дымовых газах, увеличением объема топки и установкой специальных горелок.

- Температура дымовых газов не должны влиять на термические условия теплицы. Котлы оснащают конденсаторами дымовых газов, которые обеспечивают температуру не более 50 °С.

- Совместимость с другим оборудованием и системами управления.

Так же важным фактором является горелка, предназначенная специально для тепличных условий с системой удобрения растений углекислым газом. Горелки должны быть пригодны для сжигания природного газа, дизеля и иметь возможность работы в модульном режиме.

Заключение

Основное преимущество котлов для тепличных хозяйств заключается в увеличении концентрации углекислого газа в теплице, что ведет к увеличению урожайности теплицы. Немаловажным фактором является снижение концентрации окислов азота, которые снижают эффективность углекислого газа. А также поддержание приемлемой температуры дымовых газов, не влияющей на климат теплицы.

Котлы являются одним из примеров развивающихся технологий в отрасли современных тепличных хозяйств, ведущих к повышению производительности и качества сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Котел для отопления теплицы [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://telemetrica.ru/faq/kote-dlya-otopleniya-teplicy/> – Дата доступа: 02.05.2024
2. Уточнено количество углекислого газа, поглощаемого растениями [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://iz.ru/news/474069> – Дата доступа: 02.05.2024
3. Получение CO₂ посредством парогенератора или ТЭЦ (Когенерация) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://royalbrinkman.ru/tsentr-znaniy/zasita-rastenij/uvelicheniye-co2-kontsentratsiya-teplitsa> – Дата доступа: 02.05.2024

УДК 66.0

ОПРЕСНЕНИЕ СОЛЁНОЙ ВОДЫ SALT WATER DESALINATION

В. Р. Мацкевич, Ф. Д. Башура

Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

V. Matskevich, F. Bashura

Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Опреснение воды – это комплекс мероприятий, позволяющих уменьшить концентрацию солей в воде до показателей, соответствующих нормативам питьевого водоснабжения и промышленного водопотребления. Для питьевых целей показатель минерализации воды не должен превышать 1000 мг/л.*

Abstract: *Water desalination is a set of measures to reduce the concentration of salts in water to levels that meet the standards for drinking water supply and industrial water consumption. For drinking purposes, the mineralization rate of water should not exceed 1000 mg/l.*

Ключевые слова: *опреснение, технологический процесс, обратный осмос, испарительная дистилляция, ионообмен.*

Keywords: *desalination, technological process, reverse osmosis, evaporative distillation, ion exchange.*

Введение

С появлением вызовов, связанных с увеличением населения, изменением климата и угрозой истощения пресных водных ресурсов, обеспечение доступа к чистой пресной воде становится одной из важнейших задач современного мира. В этом контексте опреснение соленой воды, т.е. процесс преобразования морской или соленой подземной воды в пресную путем удаления избыточной соли и примесей, становится неотъемлемой частью стратегий обеспечения безопасности водоснабжения.

Опреснение соленой воды является сложным технологическим процессом, который включает в себя применение различных методов и инженерных решений. Эти методы направлены на очистку соленой воды до уровня, пригодного для питьевого, промышленного или сельскохозяйственного использования. Важным аспектом опреснения является не только эффективность удаления солей, но и минимизация энергозатрат, экономическая эффективность и соблюдение экологических стандартов.

В данной статье мы рассмотрим основные методы опреснения соленой воды, их принципы действия, преимущества и ограничения, а также потенциальные перспективы развития этих технологий для решения глобальных проблем доступности чистой воды.

Основная часть

Обратный осмос (ОО)

Обратный осмос основан на принципе использования полупроницаемой мембраны для разделения соленой воды на пресную и концентрированный раствор соли. Процесс обратного осмоса происходит под высоким давлением, которое превышает осмотическое давление соленой воды. Мембрана позволяет проходить только молекулам воды, удерживая соли и другие примеси. Это приводит к тому, что чистая пресная вода проходит сквозь мембрану, оставляя за собой концентрированный раствор соли, который удаляется. Преимуществами метода обратного осмоса являются высокая степень очистки воды и относительно низкий уровень энергопотребления по сравнению с другими методами. Однако процесс требует специального оборудования и поддержания определенного давления, что повышает эксплуатационные затраты.

Испарительная дистилляция

Испарительная дистилляция – это технология, которая использует нагревание соленой воды до температуры испарения, а затем конденсацию пара обратно в чистую воду. В процессе испарения соль остается в отстойнике или фильтруется, оставляя за собой чистую воду. Этот метод эффективен в удалении солей и других примесей, но требует значительных энергетических затрат из-за необходимости нагревания воды до высоких температур. Однако использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, может снизить энергопотребление и улучшить экологические показатели данного метода.

Ионообмен

Ионообменные процессы основаны на замене ионов соли и других примесей на ионы пресной воды на специальных ионообменных смолах или смолоподобных материалах. В процессе ионообмена соленая вода проходит через колонку с ионообменной смолой, где ионы соли заменяются ионами пресной воды. Этот метод может быть эффективен в удалении определенных ионов, но его применение часто сочетается с другими технологиями для достижения желаемой степени очистки.

Заключение

Опреснение соленой воды представляет собой важное направление в обеспечении доступа к пресной воде, особенно в условиях увеличивающегося спроса и угрозы истощения пресных водных ресурсов. Различные методы опреснения, такие как обратный осмос, испарительная дистилляция и ионообмен, предлагают разнообразные подходы к очистке соленой воды.

Обратный осмос часто используется благодаря высокой степени очистки воды и относительно низкому энергопотреблению по сравнению с другими методами. Этот процесс основан на использовании полупроницаемой мембраны, которая позволяет проходить только молекулам воды, удерживая соли и примеси.

Испарительная дистилляция также эффективна в удалении солей, особенно при использовании возобновляемых источников энергии для

процесса нагрева и испарения. Однако этот метод требует значительных энергетических затрат.

Ионообменные процессы могут быть полезны для удаления определенных ионов соли, хотя этот метод часто используется в сочетании с другими технологиями для достижения желаемой степени очистки.

Выбор оптимального метода опреснения соленой воды зависит от множества факторов, таких как доступность ресурсов, требования к качеству воды и экономическая целесообразность. Дальнейшие исследования и инновации в этой области могут привести к разработке более эффективных и экологически устойчивых методов, способных решить проблему доступности чистой воды для всех.

Литература

4. Способы опреснения воды [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://diesel.ru/article/sposoby-opresneniya-vody/> – Дата доступа: 10.04.2024
5. Вывести на чистую воду: как работает система опреснения [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rostec.ru/news/vyvesti-na-chistuyu-vodu-kak-rabotaet-sistema-opresneniya/> – Дата доступа: 10.04.2024

УДК 683.87

**МУЛЬТИТОПЛИВНОЕ ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО
MULTI-FUEL BURNER DEVICE**

К.Г. Кислый

Научный руководитель – М.А. Ярмольчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

К. Kisly

Supervisor – M. Yarmolchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В докладе рассматривается горелка типа IBX DUMAG, конструкция мультитопливной горелки, а также принцип ее работы.

Abstract: The report examines the IBX DUMAG burner, the design of a multi-fuel burner, as well as the principle of its operation.

Ключевые слова: мультитопливная горелка, конструкция, применение.

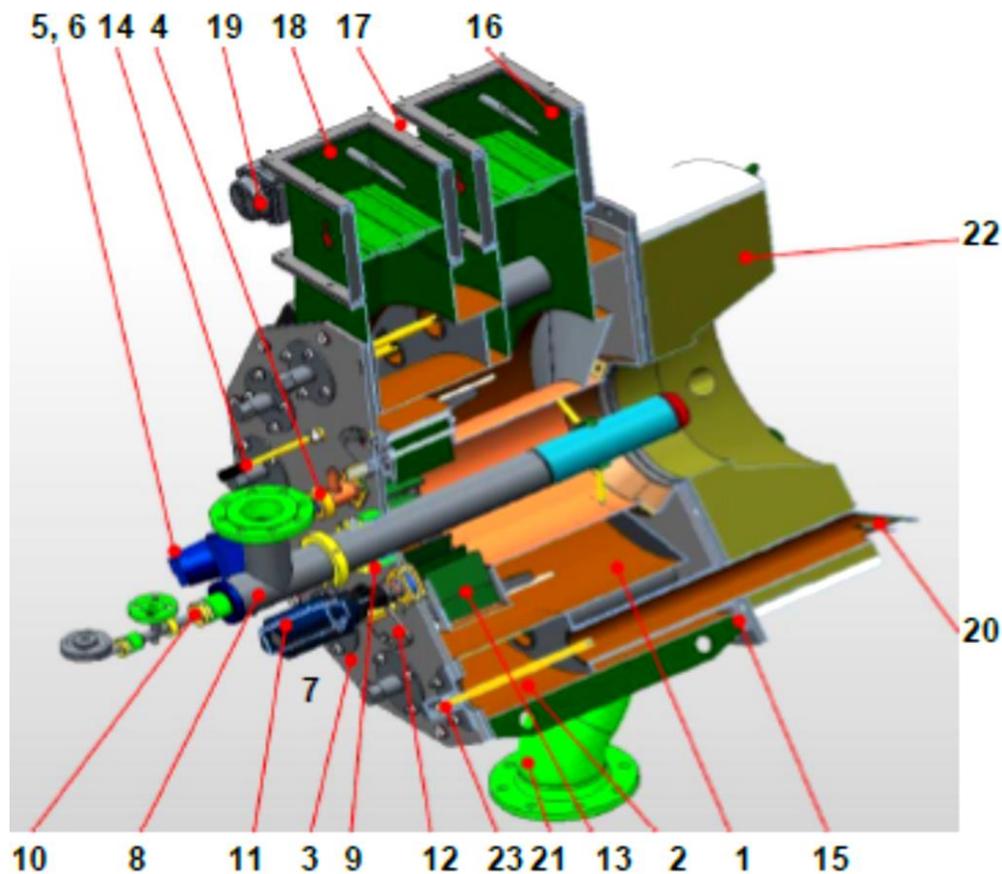
Keywords: multi-fuel burner, design, application.

Введение

Мультитопливные горелки [1] получили широкое распространение из-за своих сравнительно малых размеров, а также из-за своей многофункциональности. Данный тип горелок может работать не только на жидком топливе, но и на газе [2]. Мультитопливные горелки так же можно использовать для полезной утилизации газообразных и жидких отходов предприятий [3]. Что бы решить данную задачу применяются такие оборудования как сама мультитопливная горелка, так и камера сгорания с последующей передачей тепла теплоносителю [4].

Основная часть

На рис. 1 представлен разрез горелки типа IBX DUMAG. Специфика одновременного сжигания нескольких видов топлив в едином горелочном устройстве требует особых конструкционных особенностей. Первая – наличие нескольких патрубков подачи различных видов топлива в голову горелки (рис. 2 позиции 7,8,10). Вторая – два независимых воздуховода (рис. 1 позиции 16 и 18). Первичный воздух, пройдя через завихритель (рис. 1 позиция 13), поступает в периферийную часть потока, а вторичный – в осевую. Изменяя доли первичного и вторичного потоков воздуха можно не только менять геометрию пламени, удлиняя или укорачивая пламя, но и направлять дымовые газы внутри топки, оптимизируя таким образом процессы теплопередачи в первой секции котла.



- 1 – корпус горелки, первичная (внутренняя) часть; 2 – корпус горелки, вторичная (внешняя) часть;
 3 – горелочная плита; 4 – смотровое окно с подключением охлаждающего воздуха;
 5 – пилотная горелка с подключением воздуха и газа; 6 – уплотнение пилотной горелки (не показано); 7 – газовые патрубки GE собраны по кругу вокруг центра (не показаны), смонтированы к плите горелки или во вторичной секции; 8 – газовый патрубок GU;
 9 – уплотнение газового патрубка GU; 10 – патрубок LS..GS с ультразвуковой форсункой GS для жидкого топлива; 11 – сканер пламени / детектор с подключением охлаждающего воздуха и шаровым шарниром; 12 – регулировочный рычаг для завихрителя первичного воздуха;
 13 – завихритель первичного воздуха; 14 – скользящий стержень для первичного воздуха;
 15 – фланец горелки; 16 – заслонка первичного воздуха; 17 – электропневматический или электрический привод первичной воздушной заслонки (не показан); 18 – заслонка вторичного воздуха; 19 – электропневматический или электрический привод заслонки вторичного воздуха;
 20 – сопло вторичного воздуха; 21 – регулировочные стержни для регулировки воздушного сопла;
 22 – блок горелки; 23 – соединение для распределителя газового кольца.

Рисунок 1 – Конструкция мультитопливной горелки с двумя независимыми потоками воздуха

Заключение

Основным преимуществом данной горелки является ультразвуковое сопло, позволяющие эффективно диспергировать высоковязкие жидкие топлива и достигать низкого уровня выбросов загрязняющих веществ, в том числе NO_x. Запатентованная DUMAG насадка сконструирована по принципу генератора Гартмана для обеспечения наилучшего распыления. Необходимо отметить, что именно генератор Гартмана, использующий устойчивый резонатор ультразвуковых колебаний является наиболее эффективным, так как не имеет движущихся частей и способен работать при правильной эксплуатации многие годы без внешних источников энергии, в отличие, например, от ротационного способа распыления, используя только энергию

потока. Для промышленных газов или пара частота колебаний может варьироваться от 20 до 240 кГц простым способом изменением расстояния от форсунки до резонатора, что позволяет получать жидкие частицы такого размера, что при вводе в область горения они полностью выкипают и находятся в газообразном состоянии, что приводит к качественному сжиганию непосредственно в области факела.

Литература

1. DUMAG® INDUSTRIAL BURNER IB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dumag.com/burner-systems/> – Дата доступа: 29.03.2024
2. Комбинированное сжигание потоков различных промышленных отходов в топках котлов. Часть 1 / Ю. П. Ярмольчик [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 3. С. 236–252. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-3-236-252>.
3. Комбинированное сжигание потоков различных промышленных отходов в топках котлов. Часть 2 / Ю. П. Ярмольчик [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 6. С. 524–538. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-6-524-538>
4. Комбинированное сжигание потоков различных промышленных отходов в топках котлов. Часть 3. Энергетика. / Ю. П. Ярмольчик [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2024;67(1):50-65. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-1-50-65>

УДК 62-5

**ЗАВИСИМОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ТОПКИ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ
ОТ ИХ МОЩНОСТИ**

**DEPENDENCE OF THE AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE
FURNACE OF THREE-WAY HEAT-TUBE HOT WATER BOILERS ON
THEIR POWER**

П.Д. Кагочкин

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

pte@bntu.by

P. Kagochkin

Supervisor – Yu. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данном исследовании рассмотрена зависимость аэродинамического сопротивления топки жаротрубного котла от его мощности при сжигании природного газа.*

***Abstract:** This study examines the dependence of the aerodynamic resistance of the furnace of a fire-tube boiler on its power when burning natural gas.*

***Ключевые слова:** аэродинамическое сопротивление, топка, котел, мощность.*

***Keywords:** aerodynamic resistance, firebox, boiler, power.*

Введение

Аэродинамическое сопротивление топки является одной из паспортных характеристик котла. От его значения зависит прежде всего требуемое давление воздуха, подаваемого в топку вентилятором дутьевой горелки для сжигания топлива так, чтобы избыточное давление продуктов сгорания на выходе в дымовую трубу было как можно меньше, в идеале – близкое к нулю. В результате величина сопротивления, помимо основного параметра – требуемой мощности, определяет выбор оптимального горелочного устройства. Эта величина фактически показывает потери давления дымовых газов в топке в зависимости от её геометрии, развитости теплообменных поверхностей, шероховатости материала, качества сварных и прочих соединений, аэродинамических характеристик топки и её отдельных элементов, т.е. совершенства топочного пространства с точки зрения газодинамики.

Основная часть

Потери давления происходят из-за трения потоков дымовых газов о внешние поверхности топки, при этом, чем более развитое турбулентное течение у локальных местных сопротивлений поверхностей элементов топки и их сочленений, тем бóльшие будут потери давления. Однако, диссипация кинетической энергии во многом происходит также за счёт трения отдельных микропотоков внутри топки в результате процессов окисления топлива и последующего «выталкивания» дымовых газов по газовому тракту. Такой

механизм, несомненно, имеет основное влияние на суммарное значение аэродинамического сопротивления для реверсивных топок, как правило, двухходовых котлов. При этом вероятность распада молекул воздуха N_2 и O_2 на атомы с последующим синтезом в молекулы NO и полным окислением до NO_2 (растворимых в воде) значительно увеличивается [1]. Вследствие этого применение котлов с реверсивными топками приводит к превышению лимитирующих значений норм выбросов загрязняющих веществ. Таким образом, в настоящее время в Республике Беларусь в основном применяются трёхходовые котлы, потери давления в топках которых – незначительны. Тем не менее, зависимость аэродинамического сопротивления топки котлов от их мощности представляет собой характеристику, определяющую качество устройства топочного пространства.

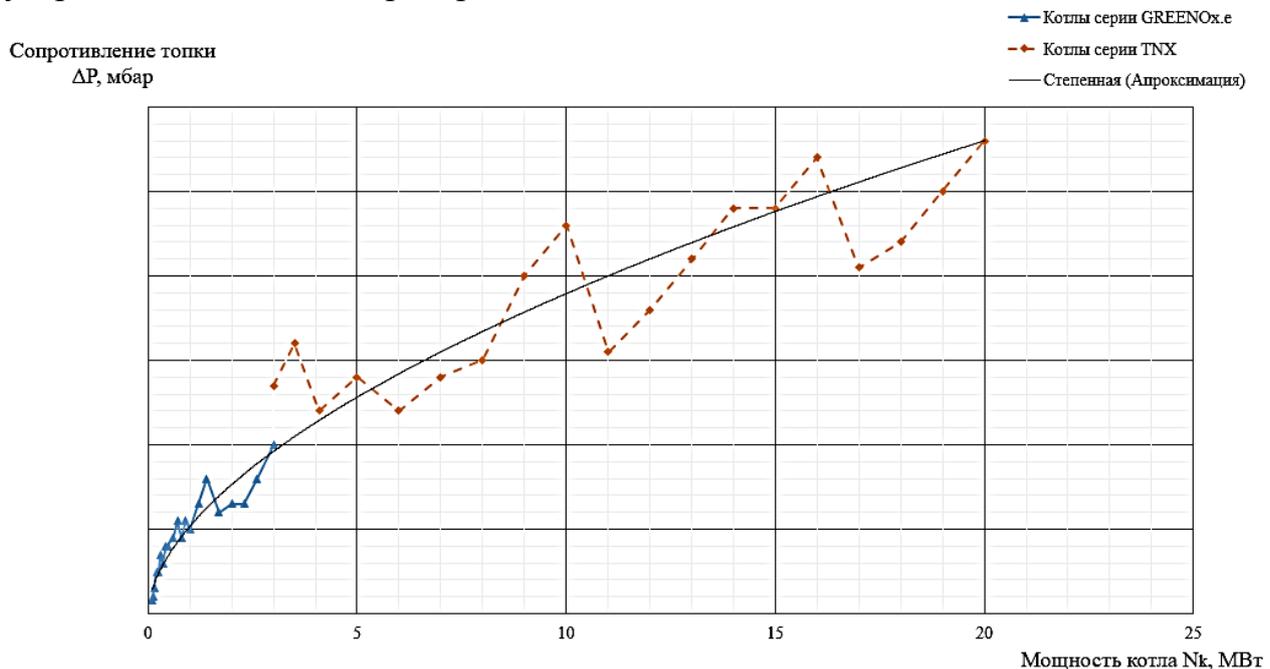


Рисунок 1 – Зависимость аэродинамического сопротивления топки котлов от их мощности.

На рис. 1 представлен пример указанной зависимости для жаротрубных трехходовых водогрейных котлов ICI-Caldiae (Италия) двух серий. В результате исследования более 20 серий подобных котлов различных производителей [2-4] была определена зависимость типа:

$$\Delta P = a \cdot N_k^x, \quad (1)$$

В частности, для указанных серий котлов предложенная зависимость (1) приняла следующую формулу аппроксимации:

$$\Delta P = 5,1741 \cdot N_k^{0,5637}, \quad (2)$$

Заключение

Полученная формула (2) позволяет определить минимальное давление воздуха, подаваемого на горение, в зависимости от мощности котла и, как следствие, минимальную мощность вентилятора. Следует отметить, что

повышенное аэродинамическое сопротивление топки котла генерирует дополнительные турбулентные потоки у поверхностей теплообмена, что влияет на кинетику молекул, участвующих в процессе окисления и, как результат, увеличивает вероятность образования окислов азота. Изучение предполагаемой зависимости позволит унифицировать полученную в данном исследовании формулу (2) в том числе и с точки зрения оптимизации характеристик топки в соответствии с требуемыми нормами загрязняющих веществ [5].

Литература

1. Yarmolchick, Yu. P. Formation Mechanisms and Methods for Calculating Pollutant Emissions from Natural Gas Combustion Depending on the Burner Emission Class / Yu. P. Yarmolchick // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – № 6. – С. 565-582.
2. Пестрак, А.В. Объемная нагрузка и сопротивление топки двухходовых жаротрубных водогрейных котлов ICI CALDAIE серии REX / А. В. Пестрак, А. А. Перехрест; науч. рук. Ю. П. Ярмольчик // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 75-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция Теплоэнергетика / сост. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 147-149.
3. Драенков, И.С. Объемная нагрузка и сопротивление топки двухходовых жаротрубных водогрейных котлов VISSMANN серии VITOPLEX 100 тип PV1 / И. С. Драенков ; науч. рук. Ю. П. Ярмольчик // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс] : материалы 75-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция Теплоэнергетика / сост. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 165-167.
4. Акулич, А.В. Объемная тепловая нагрузка топки двухходового и трехходового жаротрубного котла / А. В. Акулич ; науч. рук. Ю. П. Ярмольчик // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс] : материалы 75-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция Теплоэнергетика / сост. Т.Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 168-169.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Минск: Минприроды, 2017. 139 с.

УДК 621.311:631.2

НИЖНЯЯ ПРОДУВКА КОТЛОВ BOILERS BOTTOM BLOWDOWN

А.А. Егоров

Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by
А. Yahorau

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

Аннотация: в докладе рассматривается нижнее продувание котла.

Abstract: The report examines the bottom purging of the boiler.

Ключевые слова: продувание, уровень воды, давление, порядок.

Keywords: purging, water level, pressure, order.

Введение

В процессе длительного использования котла, в нем будут скапливаться нежелательные компоненты (песок, ил, шлак, масло), которые оказывают влияние на работоспособность оборудования. Чтобы не допустить выхода котла из строя или уменьшения его производственных характеристик, следует периодически осуществлять его продувку.

Продувание котла может быть нижним или верхним. Нижнее продувание служит для удаления песка, ила и других примесей, оседающих в нижней части котла.

Основная часть

Нижнее продувание осуществляется через кран нижнего продувания. Порядок проведения продувания, следующий:

- В котле поднимают уровень воды путем ее подкачки на величину, равную количеству воды, затрачиваемой на нижнюю продувку.
- Открывают бортовой кран (кингстон).
- Производят открытие крана нижнего продувания.
- Закрывают кран в момент, когда уровень воды опустится до рабочего.
- Закрывают бортовой кран.

Нижнее продувание разрешено производить в такой последовательности только в том случае, когда кран нижней продувания-дисковый или в трубопроводе нижнего продувания установлена дроссельная шайба. Если эти условия не выполнены, чтобы уменьшить возможность оголения стенки топочной камеры из-за большого выдувания воды из котла, перед нижним продуванием следует понизить давление в котле на 2-3 бара.

В зависимости от типа котла, качества используемой воды в нем и ее количества, наличия фильтров устанавливается периодичность продувок и уровень воды, который необходимо установить в котле перед нижним продуванием.

На практике несколько коротких продувок удаляют шлам намного эффективнее чем одна непрерывная продувка. Также короткие продувки вызывают менее значительные изменения уровня воды в котле и более безопасны в периоды высокой потребности пара.

Заключение

Нижнее продувание котла несет в себе важную функцию в процессе эксплуатации котла. Отсутствие продувки ведет к росту растворенных вредных веществ внутри котла. Эти вещества, выпадая из раствора образуют отложения, которые ухудшают теплопередачу.

Уменьшение величины продувки ниже критического уровня может привести к проблемам, связанным с пенообразованием и образованием накипи.

Литература

1. Минимизация величины продувки котла [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=88> – Дата доступа: 02.05.2024
2. Оборудование для нижней продувки котлов [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.spiraxsarco.com/global/ru-UA/products/boiler-controls-and-systems/bottom-blowdown-systems> – Дата доступа: 02.05.2024
3. Что такое продувка парового котла и для чего она нужна [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pargarant.ru/spravka/chto-takoe-produvka-parovogo-kotla.html> – Дата доступа: 02.05.2024

УДК 697.35

**БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ РАДИАТОР В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ
BIMETAL RADIATOR IN HEATING SYSTEMS**

В.В. Воропай

Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф-м.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by
V. Voropai

Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе анализируются преимущества и недостатки использования биметаллических радиаторов в отопительных системах.*

***Abstract:** This report describes the advantages and disadvantages of using bimetallic radiators in heating systems.*

***Ключевые слова:** радиатор, биметаллический, алюминиевый, тепло.*

***Keywords:** radiator, bimetallic, aluminum, heat.*

Введение

Тепловые потери – это неотъемлемая часть любого здания. Они происходят через различные ограждающие конструкции, такие как стены, потолок, окна, двери и даже через систему вентиляции. Эти потери могут быть значительными, особенно в холодное время года, и могут привести к снижению комфорта внутри помещения.

В связи с этим, для поддержания постоянной и комфортной температуры внутри помещения, необходимы источники тепла. Радиаторы отопления являются простыми, компактными, быстродействующими источниками тепла. Биметаллические батареи отопления являются одним из наиболее распространенных типов радиаторов в системах отопления, наряду с алюминиевыми вытеснили использование чугунных и стальных радиаторов.

Основная часть

Биметаллические радиаторы отопления состоят из двух слоев металла: стального и алюминиевого.

Стальной сердечник, по которому движется теплоноситель, представляет собой горизонтальные коллекторы и вертикальные колонки внутри секций. Обеспечивает использование теплоносителя высокого давления и температуры, что дает возможность монтажа в многоквартирный жилой дом на замену чугунным и стальным, которые способны противостоять воздействию агрессивного теплоносителя.

Стальной сердечник под большим давлением залит корпусом из алюминий-кремневого сплава, тот уже покрыт порошковой краской. Корпус из алюминия формирует стенки и ребра жесткости.

Биметаллические радиаторы бывают только секционными, собираются из отдельных секций, при этом каждый элемент изготавливается с помощью литья

под большим давлением, после чего секции соединяются между собой с помощью ниппелей и прокладок. Все места соединений обрабатываются специальными прочными герметиками вроде высокотемпературного силикона или другими средствами.

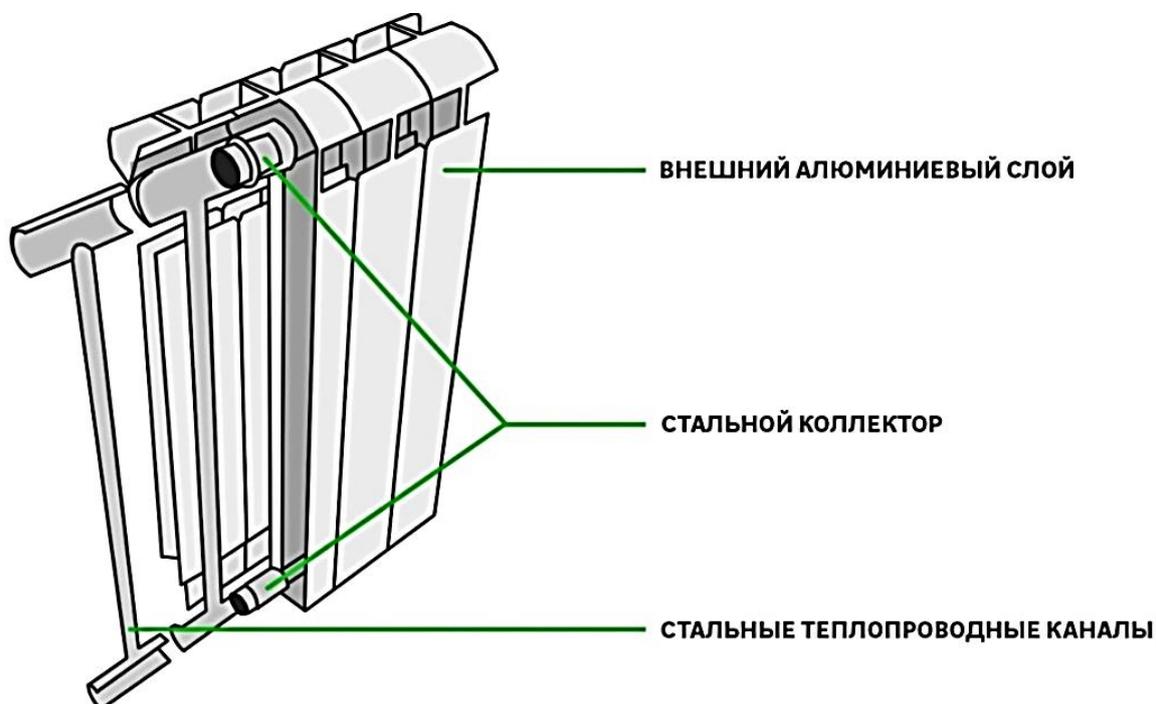


Рисунок 1 – Биметаллический радиатор

Преимущества:

Устойчивость к перепадам температур и давлений: Благодаря особенностям соединения секций, биметаллические радиаторы обладают высокой устойчивостью к перепадам температур и давлений. Это делает их идеальным выбором для систем отопления с высоким давлением. Кроме того, возможность монтажа дополнительных секций позволяет обеспечить полноценное обогревание помещения.

Высокая теплоотдача: Несмотря на то, что коэффициент теплоотдачи биметаллических радиаторов на 15-20% меньше, чем у алюминиевых радиаторов, они все равно обеспечивают отличную теплоотдачу. Это способствует быстрдействию системы отопления, что является преимуществом перед стальными и чугунными радиаторами.

Компактный размер и легкая конструкция: Биметаллические радиаторы отличаются компактным размером и легкой конструкцией, что облегчает их монтаж и обслуживание. Кроме того, их современный дизайн позволяет им гармонично вписываться в любой интерьер.

Малая водоемкость: Биметаллические радиаторы имеют малую водоемкость (0,16-0,18 литров), что способствует меньшей работе насоса. Однако, это также означает меньшую способность аккумулирования тепла.

Высокая прочность: Биметаллические радиаторы обладают высокой прочностью и способностью противостоять гидроударам. Их рабочее давление

составляет от 16 атм. до 40 атм., что значительно выше, чем у алюминиевых радиаторов (от 6 атм. до 16 атм.).

Коррозионные свойства: Использование сплава сталь-алюминий позволило снизить влияние электрохимической коррозии. Это значительно увеличивает срок службы радиаторов.

Долговечность: Срок службы биметаллических радиаторов составляет 25 лет, что на 5 лет дольше, чем у алюминиевых радиаторов.

Все эти преимущества делают биметаллические радиаторы отличным выбором для многих систем отопления. Однако, как и любое оборудование, они имеют свои недостатки, и перед выбором радиаторов всегда стоит тщательно изучить все доступные варианты.

Недостатки:

Малая площадь теплообмена: Биметаллические радиаторы имеют меньшую площадь теплообмена по сравнению с некоторыми другими типами радиаторов. Это означает, что они могут быть менее эффективными при распределении тепла по помещению. Однако, несмотря на это, они все равно обеспечивают отличную теплоотдачу благодаря комбинации двух металлов в их конструкции.

Стоимость на 15-20% выше алюминиевого радиатора: Биметаллические радиаторы обычно стоят на 15-20% дороже, чем алюминиевые радиаторы. Это связано с более сложным процессом производства и использованием двух разных типов металла. Однако, учитывая их долговечность и эффективность, многие считают, что они стоят своих денег.

Биметаллические радиаторы типа медь-алюминий подвержены электрохимической коррозии: Электрохимическая коррозия может произойти, когда два разных металла (в данном случае медь и алюминий) находятся в прямом контакте друг с другом в присутствии электролита (например, воды). Это может привести к разрушению алюминиевых узлов. Однако, во многих современных биметаллических радиаторах используются специальные технологии для предотвращения этого процесса.

Заключение

Применение двух данных материалов в сплаве позволило компенсировать минусы их применения по отдельности. Биметаллические радиаторы отопления в настоящее время занимают лидирующие позиции в сфере систем отопления благодаря своей универсальности. Они могут использоваться как в системах центрального водоснабжения, так и в автономных системах

Литература

1. Правила установки биметаллических батарей отопления [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://santehnika100.ru/pravila-ustanovki-bimetallicheskih-batarej>. Дата доступа: 19.04.2024
2. История биметаллических радиаторов [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ateh.pro/blog/obzory-tovarov/istoriya-bimetallicheskih-radiatorov/>. Дата доступа: 25.04.2024
3. Биметаллические радиаторы [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://forum.abok.ru/index.php?showtopic=121628&ysclid=lvf6fp8ti1889223693>. Дата доступа: 25.04.2024

УДК 62-5

**ЗАВИСИМОСТЬ ДЛИНЫ ПЛАМЕНИ ПРИ СЖИГАНИИ
ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПКАХ ТРЕХХОДОВЫХ ЖАРОТРУБНЫХ
ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТ ИХ МОЩНОСТИ
THE DEPENDENCE OF THE FLAME LENGTH DURING THE
COMBUSTION OF NATURAL GAS IN THE FURNACES OF THREE-WAY
HEAT-TUBE HOT WATER BOILERS ON THEIR CAPACITY**

А.Д. Астренков

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

г. Минск, Республика Беларусь

pte@bntu.by

A. Astrenkov

Supervisor – Yu. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данном исследовании рассмотрена зависимость длины пламени при сжигании природного газа от мощности трехходовых жаротрубных котлов.*

***Abstract:** This study examines the dependence of the flame length when burning natural gas on the power of three-pass fire-tube boilers.*

***Ключевые слова:** длина, топка, пламя, мощность.*

***Keywords:** length, firebox, flame, power.*

Введение

Длина пламени при сжигании газообразного топлива в значительной степени определяет конструкцию топки и, прежде всего, её длину. Излишняя длина топки, очевидно, ведёт к дополнительному расходу металла и увеличивает стоимость котельного агрегата. С другой стороны, недостаточная длина топки приводит к пережогу задней стенки котла и, в конечном итоге, к её разрушению. Следовательно, определение максимальной длины пламени при данной мощности котла позволяет оптимизировать геометрию топки и, как основную конструкционную характеристику, её длину.

Основная часть

В зависимости от значительного числа факторов факел может быть определен как ламинарный или как турбулентный. При ламинарном пламени горючий газ контактирует с кислородом воздуха на поверхности струи. Потoki газа внутри факела не контактируют с кислородом подаваемого с периферии воздуха, что наблюдается как темный участок, окруженный светлой горячей оболочкой. В ламинарном факеле по его сечению фронт горения постепенно приближается к оси струи от периферии вплоть до окончания факела, где происходит полный дожёг горючего газа. При турбулентном пламени выгорание горючего газа происходит во всем объеме струи газо-воздушной смеси. Структура факела приобретает форму конуса. При розжиге турбулентной струи газо-воздушной смеси процесс горения начинается также на периферии. Образующиеся продукты сгорания вместе с воздухом проникают

вглубь струи, перемешиваясь с ещё не окисленным горючим газом. Таким образом, постепенно происходит диффузия очагов горения внутрь конуса факела (рис. 1). Процесс горения из поверхностного превращается в объемный.



Рисунок 1 – Диффузия горения в конус турбулентного пламени.

Распространение пламени по реальной газо-воздушной смеси определяется внешними возмущающими воздействиями, обусловленными полями массовых сил, конвективными потоками, трением, пристеночными турбулентными завихрениями. Поэтому реальные скорости распространения пламени всегда отличаются от теоретических. При этом окислительное пламя расположено в конечной, самой горячей части пламени, где горючие вещества практически полностью превращены в продукты сгорания.

Целью настоящего исследования было определение максимальной длины пламени для наиболее применяемого комплекса котлов средней мощности ($N_k = 100 - 20\,000$ кВт) в Республике Беларусь: трехходовых жаротрубных водогрейных котельных агрегатов с вентиляторными горелками с внутренним смесительным устройством с подаваемым принудительно воздухом.

На рис. 2 представлен пример указанной зависимости для жаротрубных трехходовых водогрейных котлов ICI-Caldaie (Италия) двух серий. В результате исследования была определена зависимость типа:

$$L_{max} = a \cdot N_T^x, \quad (1)$$

где L_{max} – максимальная длина пламени, м;

N_T – мощность топки, МВт.

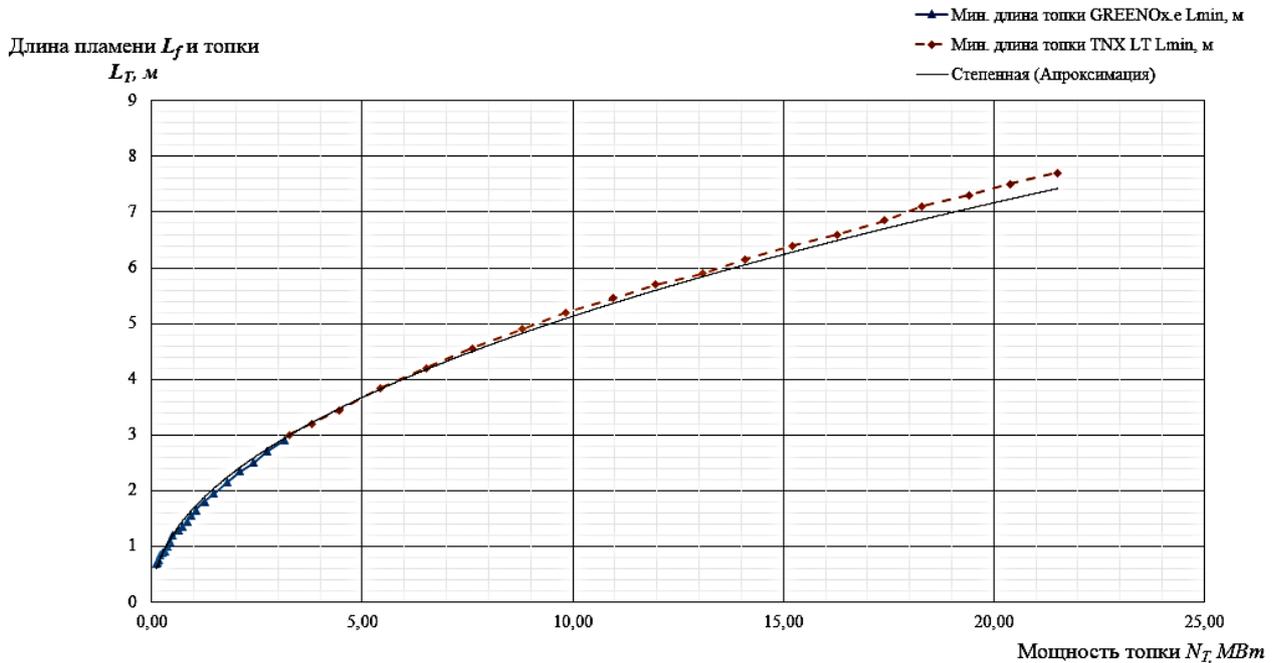


Рисунок 2 – Длина пламени дутьевой горелки в зависимости от мощности топки.

В частности, для указанных серий котлов предложенная зависимость (1) приняла следующую формулу аппроксимации:

Очевидно, что длина топки должна превышать максимальную длину пламени на столько, чтобы избежать непосредственного контакта с задней стенкой котла. На рис. 3 представлена зависимость длин топок тех же выбранных для исследования серий котлов от мощности их топок.

Для указанных серий котлов предложенная зависимость (1) для минимальных длин топок приняла следующую формулу аппроксимации:

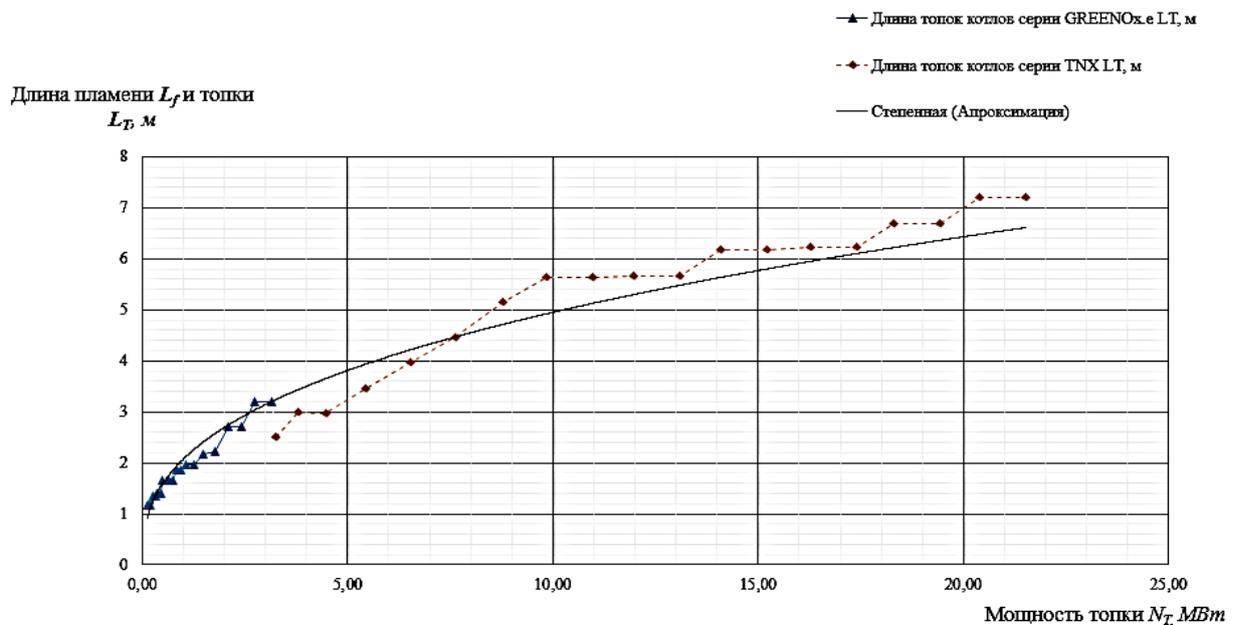


Рисунок 3 – Длина топок котлов в зависимости от мощности.

При сравнении отношений формул (2) и (3) с некоторым запасом (1- 3%) можно утверждать, что для исследованного типа котлов с вентиляторными горелками с внутренним смесительным устройством с подаваемым принудительно воздухом, длина топок котлов для выбранного диапазона мощностей должна составлять +10% к максимальной длине пламени.

Заключение

Полученная формула (3) позволяет определить минимальную длину трехходовых жаротрубных водогрейных котельных агрегатов при сжигании природного газа вентиляторными горелками с внутренним смесительным устройством с подаваемым принудительно воздухом. Следует отметить, что малая длина топki котла не только понижает его надежность и срок службы, но и генерирует дополнительные реверсивные потоки у задней стенки, что увеличивает вероятность образования окислов азота [1]. Изучение предполагаемой зависимости позволит унифицировать полученную в данном исследовании формулу (3) в том числе и с точки зрения оптимизации характеристик топki в соответствии с требуемыми нормами загрязняющих веществ [2].

Литература

1. Yarmolchick, Yu. P. Formation Mechanisms and Methods for Calculating Pollutant Emissions from Natural Gas Combustion Depending on the Burner Emission Class / Yu. P. Yarmolchick // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – № 6. – С. 565-582.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Минск: Минприроды, 2017. 139 с.

УДК 620.92

**АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПИ-ТРУБ
STORING CAPACITY OF POLYPROPYLENE PIPES**

П.Д. Кагочкин

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

P. Kagochkin

Supervisor – V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассмотрены результаты исследования аккумулятивной способности ПИ-труб и ее влияние на тепловые потери.

Abstract: This article discusses the results of a study of the accumulative capacity of pipes with polyurethane foam insulation and its effect on heat losses.

Ключевые слова: аккумулятивное теплоты, распределение температуры, потери, ПИ-труба.

Keywords: heat accumulation, temperature distribution, losses, polypropylene pipe.

Введение

К особенностям развития энергетики Беларуси относится широкое внедрение теплофикации. Разветвленная сеть трубопроводов теплоэнергоцентралей является дополнительным источником значительных потерь тепла через стенки труб тепловых сетей. Величина этих потерь может достигать 13% от общего количества транспортируемого тепла. [1]

Отмеченное обстоятельство заставляет уделять весьма серьезное внимание проблемам экономики тепловых сетей, связанными с теплопотерями в окружающую среду.

Одной из составляющих тепловых потерь является аккумуляция тепловой энергии внутри трубы, определение величины которой и стало целью данной работы.

Основная часть

График потребления тепловой энергии в течение суток весьма неравномерен. Скачки потребления создают недопустимую нагрузку на источники тепла, которая может привести к аварийным ситуациям. С целью сглаживания неравномерности нагрузки на источнике теплоты размещаются баки-аккумуляторы, которые включаются в работу в моменты пиковых нагрузок.

Проектирование баков-аккумуляторов должно выполняться согласно требованиям СН 4.02.04 и СН 4.02.01, что накладывает ограничения на их использование. Тем не менее теплоноситель в процессе транспортирования к потребителю теряет часть своего теплового потенциала. Эти потери идут на нагрев ПИ-труб тепловой сети и в окружающую среду.

После установления стационарного режима можно говорить о том, что труба с аккумулялировала часть тепловых потерь, идущих в окружающую среду.

С целью установления доли с аккумулированной энергии от начального теплового потока был разработан программный комплекс при использовании VBA Excel.

В качестве исходных данных задавались: свойства теплоносителя, температура потока на внутренней стенке трубы и температура грунта на расстоянии 0,5 от внешней оболочки, материалы и их физические свойства, а также диаметры ПИ-трубы по ГОСТ 30732-2006.

Заложенная в грунте ПИ-труба была представлена в виде четырехслойного цилиндра. Первый слой – стальная внутренняя труба; второй – слой изоляционного материала (пенополипропилен); третий – внешняя оболочка трубы; четвертый – окружающий грунт. Пользуясь методом конечных разностей, была построена явная четырехточечная схема. [2, 3]

В качестве примера на рисунке 1 представлен результат определения поля температур для трубы с диаметром проходного сечения $d_{\text{внутр}} = 100$ мм.

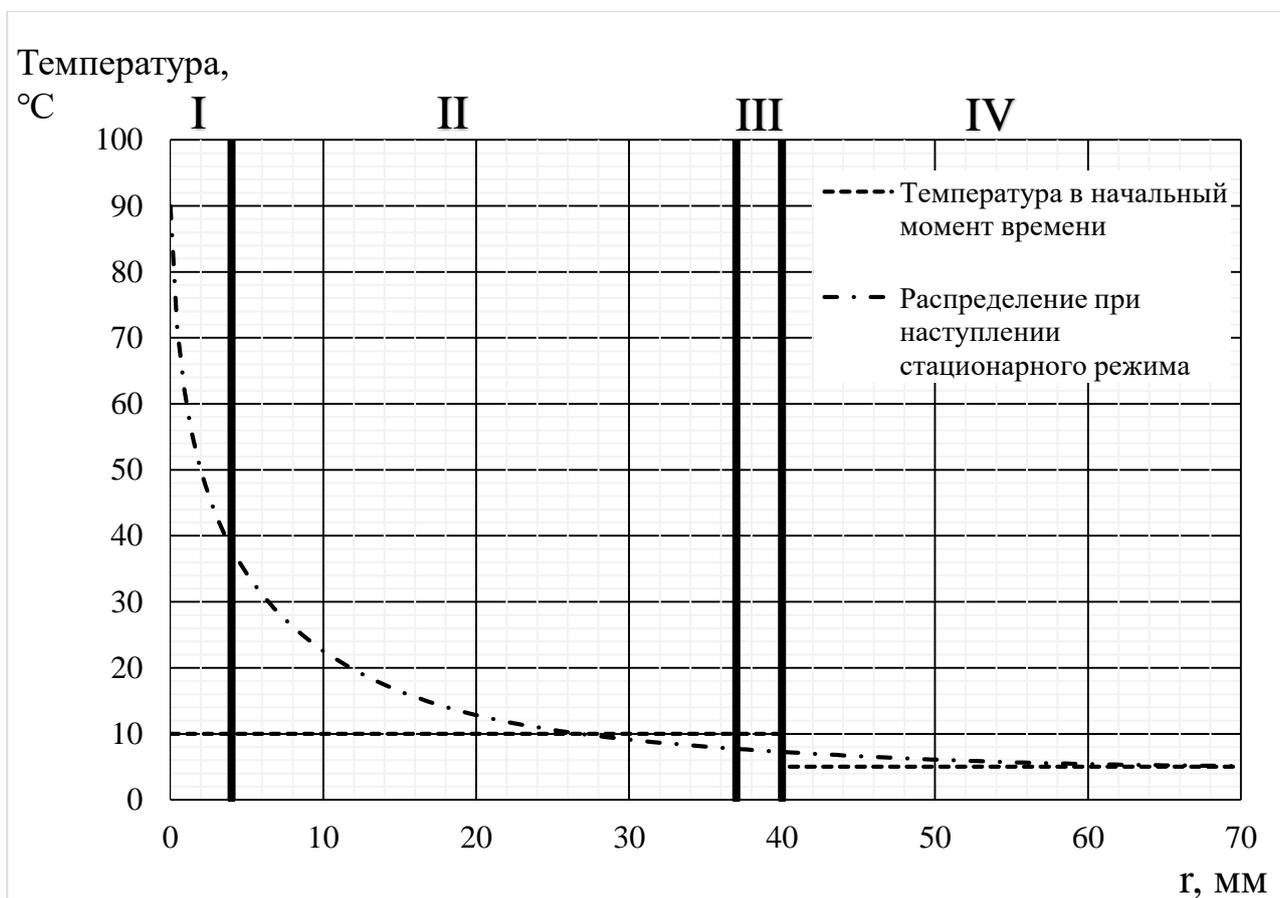


Рисунок 1 – График распределения температуры вдоль радиуса ПИ-трубы

На основе имеющегося поля температур нетрудно определить какое количество тепловой энергии аккумулировала труба и соотнести его к исходной энергии потока

Результаты отношения $Q_{\text{акк}}/Q_{\text{поток}}$ при разных диаметрах проходного сечения трубы сведены в таблицу 1, а их графическая интерпретация на рисунке 2:

Таблица 1 – Результаты расчета

№	Диаметр проходного сечения, $d_{вн}$ мм	Отношение $Q_{акк}/Q_{поток}$, %	Время установления стационарного режима, мин
1	26	0,10200	40
2	32	0,09060	41
3	39	0,07561	43
4	51	0,04915	41
5	70	0,03197	41
6	81	0,03854	42
7	100	0,03049	43

Отношение
 $Q_{акк}/Q_{пот}$, %

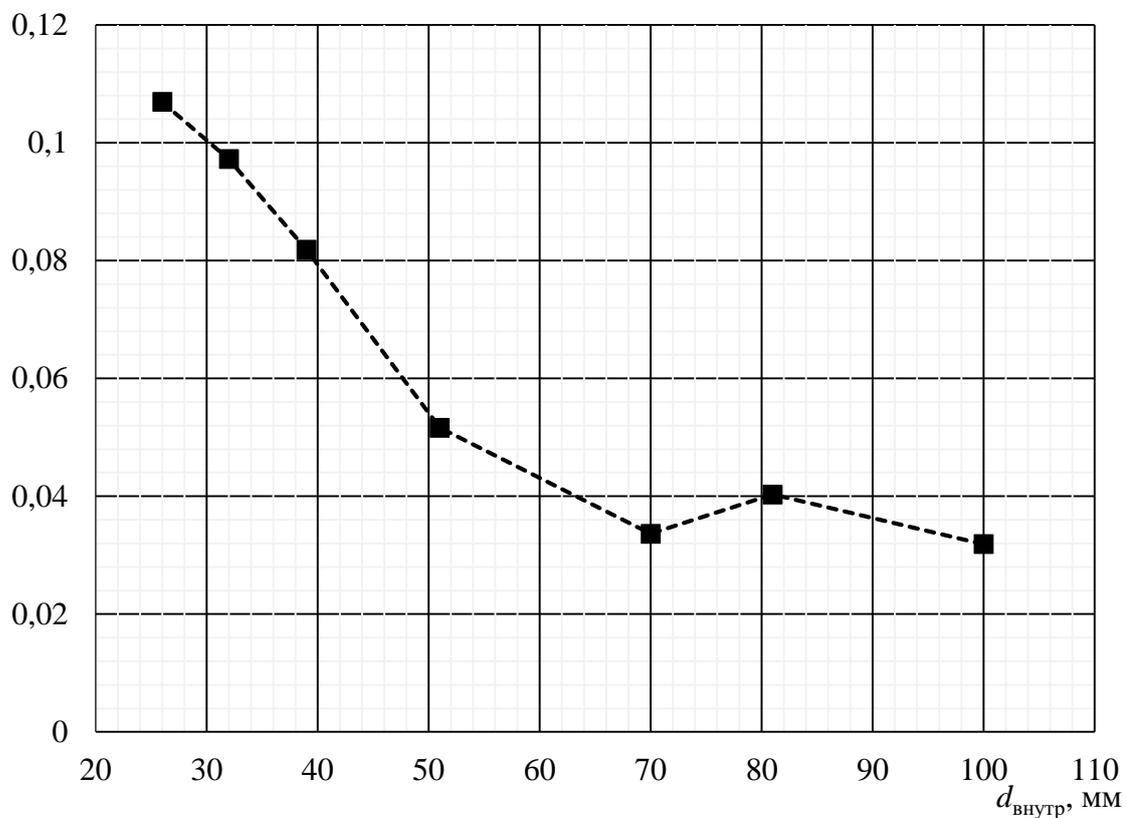


Рисунок 2 – График зависимости аккумуляционной способности от диаметров проходного сечения

Заключение

На основе полученных результатов можно заключить о незначительности величины аккумулируемой трубой энергии по отношению к исходной энергии потока. Анализируя график (рисунок 2) можно заключить, что с увеличением диаметра трубопровода доля с аккумулированной энергии уменьшается, а при наименьших диаметрах, используемых в качестве трубопроводов горячей воды, не достигает и 1%. Возникновение локальных скачков связано с рядом толщин изоляционного слоя по ГОСТ 30732-2006.

Литература

1. Левкович В. В. Потери тепла водяными сетями при неустановившемся режиме. – Мн.:РИО БПИ, 1960.
2. Кузнецов Г. В., Шеремет М. А. Разностные методы решения задач теплопроводности. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
3. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на фортране. – Москва: Изд-во «Мир», 1969.