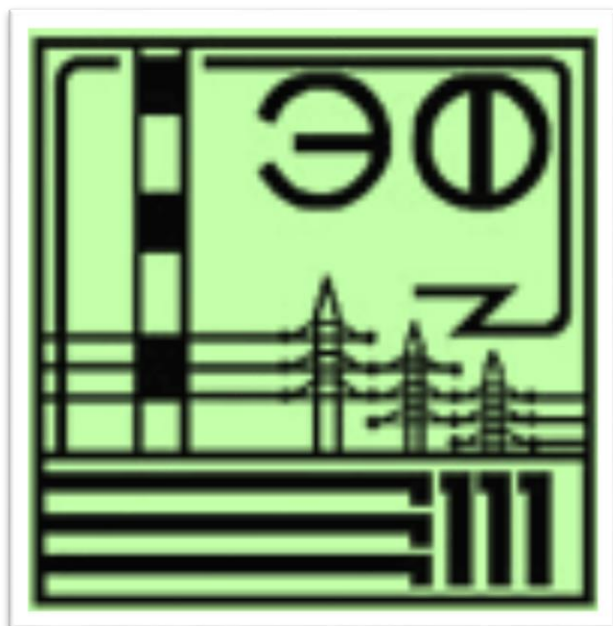


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Материалы 79 – й научно – технической конференции
студентов и аспирантов
«Актуальные проблемы энергетики»
(Апрель 2023г.)

Минск БНТУ 2023

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» 79 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2023 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

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК	6
<i>Е.Е. Калинина, Ю.А. Маргина</i> <i>Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель, С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	
БАШЕННЫЕ И ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ	11
<i>К.О. Филатов, В.И. Хамицкая</i> <i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОТЛЫ С КИПЯЩИМ ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ	17
<i>С.Д. Сытая, К.А. Мельник</i> <i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	
ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НА ЛОПАТКИ ТУРБИН ТЭС И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ	21
<i>С.Д. Крутиков</i> <i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
ВЛИЯНИЕ ТОПОЧНОГО РЕЖИМА НА ВНУТРЕНнюю КОРРОЗИЮ БАРАБАННЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ	25
<i>Д.А. Степанов, М.Д. Сытая</i> <i>Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент</i>	
ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ	29
<i>Е.М. Стельмак</i> <i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	
ГРАФЕНОВЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ	35
<i>А.В. Казейка, А.Н. Медведева</i> <i>Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель</i>	
ДЕАЭРАЦИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН	38
<i>А.О. Боровикова</i> <i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	
ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ	41
<i>А.И. Юнах, К.А. Жишко</i> <i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	
ИСПАРИТЕЛИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ (ИВМ)	47
<i>Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков</i> <i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	51
<i>Д.П. Новицкая, В.А. Чернышова</i> <i>Научные руководители – И.А. Некало, ассистент, И.А. Евсеенко, ассистент</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С НАНОЧАСТИЦАМИ НА АЭС	57
<i>Э.В. Авсюкевич, В.М. Кузьмич</i> <i>Научный руководитель – И.А. Некало, ассистент</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОАУГМЕНТАЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	64
<i>А.А. Телеш, А.С. Семенов</i> <i>Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель</i>	
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАФРАГМ	68
<i>В.И. Хамицкая, К.О. Филатов</i> <i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
КОТЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	74
<i>Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков</i> <i>Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент</i>	
Метод обратного осмоса для очистки воды	78
<i>Д.А. Степанов, А.В. Рабченя</i> <i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРВИЧНОГО ПАРА КОТЛОАГРЕГАТА	83
<i>Д.А. Волчкевич</i> <i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОФИКАЦИИ	88
<i>К.А. Мельник</i>	
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА АЭС	92
<i>К.А. Мельник</i>	
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ	96
<i>В.С. Трубило</i>	
<i>Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент</i>	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК НА ДИСКЕ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО СТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТАМ И МАССАМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ПЕРЕОБЛОПАЧИВАНИЮ	100
<i>Ал-р, П. Имбро, А-й, П. Имбро</i>	
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТА	106
<i>У.А. Сороко</i>	
<i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	
РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ КОТЛОАГРЕГАТА НА АППАРАТУРЕ РЕМИКОНТ Р-130	109
<i>Я.В. Адуцкевич</i>	
<i>Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель</i>	
РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ	112
<i>А.О. Боровикова</i>	
<i>Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент</i>	
СУХИЕ ГРАДИРНИ	115
<i>И.В. Рапута</i>	
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
СХЕМЫ Аккумуляция теплоты в тепловых сетях	119
<i>Д.А. Степанов, А.В. Рабченя</i>	
<i>Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент</i>	
ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	124
<i>В.В. Куделко, К.Ю. Яцковский</i>	
<i>Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель, А.Д. Мухин, ассистент</i>	
ТУРБОПРИВОД ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА	129
<i>И.В. Рапута</i>	
<i>Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель</i>	
ЦЕНТРОВКА ВАЛОПРОВОДА ТУРБОАГРЕГАТА ПО ПОЛУМУФТАМ	134
<i>А-й П. Имбро, А-р П. Имбро</i>	
<i>Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель</i>	
ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ	140
<i>С.О. Ульяновский</i>	
<i>Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент</i>	
ЭРОЗИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ТУРБИН	145
<i>А.О. Боровикова</i>	
<i>Научный руководитель – Пантелей Н.В., старший преподаватель</i>	
СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ	149
<i>А. В. Казейка</i>	
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель</i>	
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР	152
<i>Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач, М.В. Рынкевич</i>	
<i>Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н</i>	
БИОРЕАКТОР	155
<i>Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач, М.В. Рынкевич</i>	
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	
МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ	157
<i>А. П. Каменко, Е. А. Русакевич</i>	
<i>Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент</i>	
СПОСОБЫ ДОБЫЧИ АРГОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ	161
<i>К.О. Клименков, Н.О. Соловьёв</i>	
<i>Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н</i>	

ЗАВИСИМОСТЬ ОБЪЕМОВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА	164
<i>Н.В.Авдеюк, Ю.А. Зайцева</i>	
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	
ТРЕТИЙ ЗАКОН ИЛИ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	167
<i>И.О.Аликевич, Е.С.Вежновец, М.А. Заруба</i>	
<i>Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель</i>	
ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ	170
<i>К.А.Галишева, Д.С.Шулепов</i>	
<i>Научный руководитель – М.А. Ярмольчик, у</i>	
ЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛА ВОББЕ ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ	173
<i>Д.О. Черненко</i>	
<i>Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент</i>	
ПИКОВО-РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	176
<i>Н.В. Лях, Д.Н. Машаро</i>	
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопня, старший преподаватель</i>	
СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВИДЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	181
<i>А.С. Лукашук</i>	
<i>Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н. доцент.</i>	
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДИРНИ	186
<i>А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова</i>	
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	
СРАВНЕНИЕ ДВУХ ВИДОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	192
<i>В.Н. Санько, Д.А. Махонько</i>	
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	
ВАРИАНТЫ СОКРАЩЕНИЯ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО НУЛЕВОМУ УРОВНЮ ВЫБРОСОВ	196
<i>П.А. Брилёв, М.С. Войлоков</i>	
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	
ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	200
<i>Л. В. Мартинович, В. А. Семец,</i>	
<i>научный руководитель – ст. преподаватель Т. А. Петровская</i>	
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМАШНИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	202
<i>Н.Е. Дробов</i>	
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	
ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ	208
<i>Кандауров Г.М.,</i>	
<i>Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель</i>	
ИНФРАКРАСНЫЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	212
<i>П.Д. Кагочкин; А.С. Шенец</i>	
<i>Научный руководитель – И.Н. Прокопня, старший преподаватель</i>	

УДК 621.438

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
ANALYSIS OF OPTIONS FOR LOAD CONTROL
OF GAS TURBINE PLANT**

Е.Е. Калинина, Ю.А. Маргина

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

С.И. Ракевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

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

Y. Kalinina, Y. Marhina

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

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** одной из ключевых проблем, с которыми сталкиваются операторы газотурбинных установок, является регулирование нагрузок. В данной статье анализируются некоторые способы такого регулирования.*

***Abstract:** one of the key challenges facing gas turbine plant operators is load control. This article analyzes some ways of such regulation.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, регулирование, осевой компрессор, эффективность.*

***Keywords:** gas turbine plants, regulation, axial compressor, efficiency.*

Введение

Газотурбинные установки (далее – ГТУ) применяются в различных сферах отраслей промышленности, включая генерацию электрической энергии, судостроение, нефтяную и газовую и другие. ГТУ представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для выработки электрической, а в некоторых случаях и тепловой энергии [1]. Регулирование нагрузок на ГТУ является ключевой задачей для обеспечения стабильной и надежной работы при сохранении экологических и технико-экономических показателей. Хотя существует несколько различных методов регулирования, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения, эффективное регулирование ГТУ всегда требует детального анализа особенностей конкретной установки и ее работы в конкретных условиях

Основная часть

Один из наиболее распространенных способов регулирования нагрузок ГТУ – изменение ее топливной нагрузки. Путем изменения количества топлива, которое подается в камеру сгорания, можно изменить выходную мощность установки. Этот способ наиболее эффективен, если требуется быстро регулировать нагрузки, но есть и ряд ограничений. Например, при изменении топливной нагрузки изменяется температура газов, что может привести к изменению эффективности работы турбины, ухудшению ее экологических показателей. Также этот метод требует очень точной слаженности между системой топливоснабжения и регулированием скорости

вращения вала ГТУ. В случае, если требуется повышение мощности ГТУ, можно увеличить количество топлива, поступающего на сгорание. В то же время, при уменьшении нагрузки ГТУ топливную нагрузку следует снижать.

При работе с ГТУ важно учитывать, что при изменении топливной нагрузки может измениться также и температура газов, поступающих на выходе из турбины. Это может привести к изменению параметров, контролирующих работу механических элементов системы, которые могут пострадать от перегрева или охлаждения. В связи с этим особенно важно иметь хорошо разработанную систему охлаждения, которая способна управлять температурными режимами как в целом, так и для каждого отдельного участка системы.

Также важно отметить, что при регулировании нагрузки ГТУ необходимо решать вопросы с обработкой отработавших газов и выбросов. Одним из способов решения данной проблемы может быть использование системы рекуперации тепла, которая позволяет эффективно использовать теплоотдачу при работе ГТУ. Использование рекуператоров – еще один способ регулирования нагрузки ГТУ. Рекуператоры – это устройства, которые используются для передачи тепла от газовых выбросов к воздуху, который поступает в камеру сгорания. Поскольку более горячий воздух означает более эффективное сжигание топлива, использование рекуператоров может помочь увеличить выходную мощность установки без увеличения потребления топлива.

Контрольные клапаны, подключенные к рекуператорам, управляют количеством воздуха, которое поступает в установку. Когда требуется повысить мощность, регуляторы закрывают клапан, ограничивая количество воздуха, поступающего в ГТУ и повышая давление воздуха. При уменьшении мощности, клапан открывается, что позволяет увеличить количество воздуха.

Использование рекуператоров для регулирования нагрузки ГТУ является эффективным способом управления мощностью, который позволяет экономить на расходе горючего и уменьшать вредные выбросы.

Применение таких систем может снизить потребление топлива на 10–15% при сохранении высокой эффективности работы системы.

Еще один способ регулирования нагрузки ГТУ – это использование системы внешнего охлаждения с целью увеличения мощности. Внешнее охлаждение воздуха перед его поступлением на вход в силовую турбину позволяет повысить мощность ГТУ, добавляя кислорода к перегретым газам. В то же время, при использовании системы внешнего охлаждения необходимо учитывать большую нагрузку, которую они могут оказывать на механические элементы системы.

Еще один метод регулирования нагрузок ГТУ – изменение скорости вращения турбины. Этот метод часто используется для регулирования нагрузок на генераторы, связанные с изменением потребления электроэнергии. Этот метод менее эффективен, если требуется быстрая регулировка, так как занимает больше времени.

Регулирование нагрузки газовой турбины можно осуществлять различными способами, включая регулирование скорости вращения турбины. Для этого используются регулирующие клапаны, которые пропускают определенный объем газа через турбину в зависимости от нужного уровня нагрузки.

Регулирование скорости вращения турбины может осуществляться по двум принципам: регулирование с помощью пропорциональных клапанов или с помощью регулирующих приводов. При использовании пропорциональных клапанов газовый поток пропускается через клапаны с разными диаметрами, что позволяет регулировать нагрузку в широком диапазоне. В случае использования регулирующих приводов, изменение нагрузки происходит путем изменения угла входа лопаток турбины. Этот метод более точен и позволяет достичь высокой степени регулирования.

Такое регулирование является эффективным и распространенным способом, который позволяет управлять мощностью газовой турбины в зависимости от потребностей процесса. Также этот способ может улучшить эксплуатационные характеристики газовой турбины.

В [2] рассматривается ГТУ, работающая в номинальном режиме с параметрам: электрическая мощность (N_e) составляет 45,4 МВт, электрический КПД (η_e) – 35%, температура газа перед турбиной (t_1) – 1198°C, степень сжатия (π_k) – 17, расход газов на выходе из турбины (G_b) – 164,5 кг/с, тепловая мощность (Q_T) – 58,55 Гкал/ч, располагающей тремя рядами поворотных направляющих аппаратов, включая входной направляющий аппарат (ВНА) компрессора, которые позволяют плавно запускать ГТУ и регулировать ее мощность путем изменения расхода воздуха через компрессор.

Основные характеристики осевого компрессора на рабочем режиме (при температуре наружного воздуха ($t_{нв}$) 15°C) при различных углах установки ВНА представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики осевого компрессора [2]

Угол установки ВНА	$\Delta\alpha_{\text{ВНА}}$	-25°	-12,5°	-6,25°	0°
Адиабатический КПД компрессора	$\eta_{\text{ад к}}$	0,822	0,842	0,844	0,862
Степень сжатия компрессора	π_k^*	12,253	14,582	15,546	17,06
Расход воздуха, кг/с	G_b	121,43	142,29	150,85	164,25

Из данных таблицы очевидно, что при уменьшении угла открытия входного направляющего аппарата, стабильная работа компрессора не прерывается. Однако при этом происходит снижение его показателей (адиабатический КПД падает на 4%, уменьшаются степень сжатия и расход воздуха).

Поэтому целесообразно рассмотреть варианты изменения нагрузки ГТУ при различных условиях. Например, для снижения расхода топлива и уменьшения угла установки ВНА (первая программа) и для неизменной геометрии проточной части компрессора (вторая программа).

В первом случае температура дымовых газов на выходе из турбины ($t_{\text{вых}}$) будет оставаться постоянной, а во втором регулирование параметров ГТУ происходит за счет того, что расход топлива в камеру сгорания является переменной величиной.

На рисунке 1 изображены зависимости относительных величин расхода продуктов сгорания, топлива, температуры на выходе из турбины и электрического КПД от относительной электрической мощности при использовании первой программы ($t_{\text{вых}} = \text{const}$).

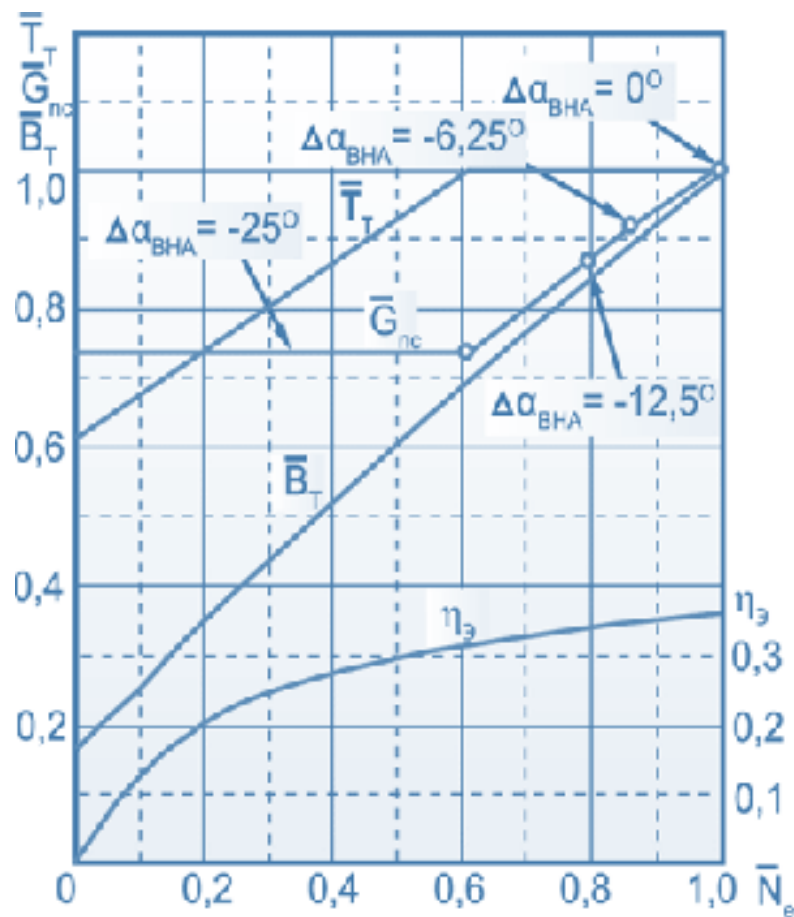


Рисунок 1 – Зависимость относительных величин расхода продуктов сгорания ($\bar{G}_{\text{ПС}}$), топлива (\bar{B}_T) и температуры (\bar{T}_T) от относительной электрической мощности (\bar{N}_e), для первой программы [2]

Сравнив технико-экономические показатели двух различных программ (рисунок 2), можно сделать вывод о том, что несмотря на то, что в первом случае более стабильная работа обеспечивается постоянной температурой на выходе из турбины, при этом одновременно увеличиваются потери в проточной части компрессора. В результате для первой и второй программ регулирования получен аналогичный электрический КПД, как при полном нагружении, так и на режимах частичной нагрузки, что говорит об одинаковой эффективности обоих методов.

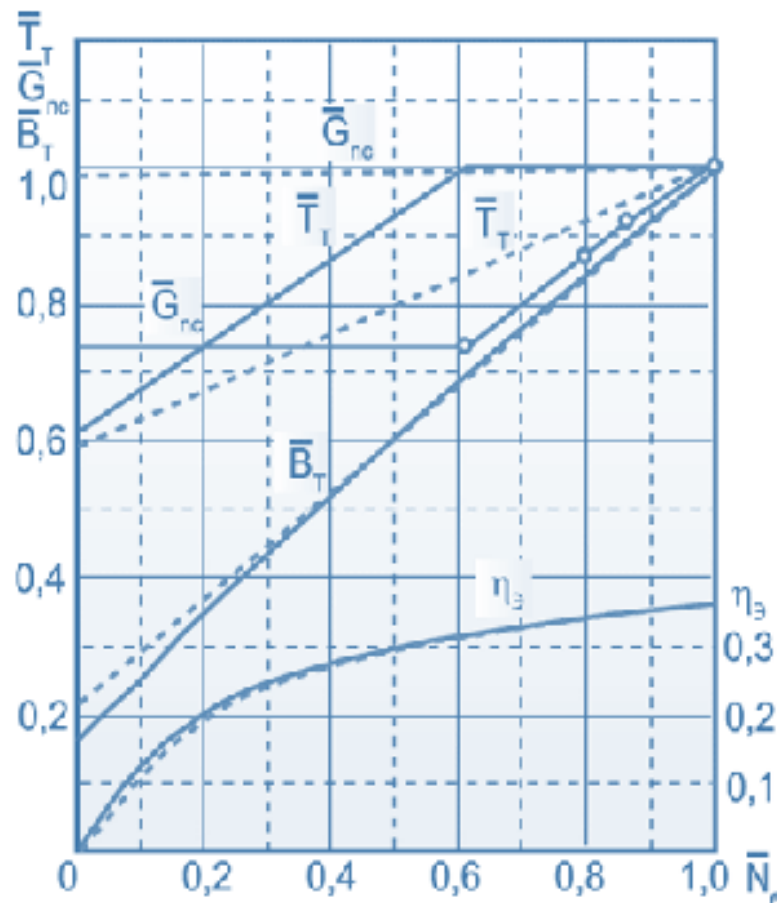


Рисунок 2 – Сравнение первой (сплошная линия) и второй (пунктирная линия) программ регулирования [2]

Заключение

Таким образом, регулирование нагрузок ГТУ является очень важным аспектом, играющим ключевую роль в обеспечении оптимальной эффективности и экономичности работы установок. Изменение топливной нагрузки, использование системы внешнего охлаждения и системы рекуперации тепла являются основными методами регулирования нагрузки ГТУ, которые могут быть применены в зависимости от условий эксплуатации и требуемых параметров работы системы.

Литература

1. Качан, С.А. К вопросу определения показателей топливоиспользования парогазовых установок / С.А. Качан, В.Н. Филазафович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2010. – № 1. – С. 88–92.
2. Русецкий, Ю.А. Расчетное исследование работы газотурбинной установки ГТЭ-45 на режимах частичной мощности / Ю.А. Русецкий, В.А. Седунин, В.В. Ермолаев // Теплоэнергетика. – 2009. – № 2. – С. 23–25.

УДК 661.428

БАШЕННЫЕ И ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ TOWER AND FAN COOLING TOWERS

К.О. Филатов, В.И. Хамицкая

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pronkevichAV@mail.ru

K. Filatov, V. Khamitskaya

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматриваются два типа оросительных градирен: башенная и вентиляторная, а также изложены их преимущества и недостатки.*

***Abstract:** the article discusses two types of irrigation cooling towers: tower and fan, as well as their advantages and disadvantages.*

***Ключевые слова:** градирня, охлаждение воды, оросительные градирни, испарение, башенная градирня, вентиляторная градирня, конденсат, естественная тяга.*

***Keywords:** cooling tower, water cooling, irrigation cooling towers, evaporation, tower cooling tower, fan cooling tower, condensate, natural draft.*

Введение

Градирни – устройства, предназначенные для охлаждения воды с помощью испарения. Они обеспечивают отвод тепла из воды, которая служила для охлаждения оборудования. Помимо использования в энергетике имеют широкую область применения в химической, металлургической промышленности. Зачастую это железобетонные либо щитовые сооружения, выполненные в форме башни.

Основная часть

Классифицировать градирни можно по различным критериям. Выделим три основных типа испарителей:

- открытые градирни – нагретая вода поступает в градирню сверху, после чего стекает по каскадам и контактирует с атмосферным воздухом, передавая теплоту от источника;

- закрытые градирни – вода охлаждается воздухом, пропускаемым через трубки с циркулирующей жидкостью. Жидкость не контактирует с окружающим воздухом;

- гибридные градирни – это объединенные системы, которые содержат в себе преимущества как открытых, так и закрытых градире.

Более подробная классификация изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация градирен [5]

Башенные градирни

Башенные градирни применяют на больших промышленных предприятиях. Они имеют разнообразную форму, от цилиндра до усеченной пирамиды. Чаще всего их выполняют в виде оболочек гиперболической формы, которая обеспечивает хорошие условия внутренней аэродинамики (рисунок 2).



Рисунок 2 – Щитовая башенная градирня [3]

Большую роль в проектировании играет выбор материала оболочки, так как она находится в неблагоприятных условиях: влажный теплый воздух встречается с холодным уличным, образуя конденсат на внутренних поверхностях градирни

Естественная тяга и ветер обеспечивают конвекцию воздуха в башенных градирнях. Высота градирен может достигать 200 метров. В основном их применяют для охлаждения воды ТЭС и АЭС.

Плюсы башенных градирен:

- экономичность: не требуют особых затрат электроэнергии;
- эффективная теплопередача: могут обеспечить эффективную теплопередачу благодаря своей большой площади поверхности для контакта воздуха с водой, что делает их подходящими для применений с высокой нагрузкой на охлаждение;
- гибкость: использование в различных областях промышленности.

К недостаткам можно отнести:

- потери воды: могут терять значительное количество воды в результате испарения;
- сложность конструкции: градирни могут быть сложными по конструкции и требовать квалифицированного инженерно-технического персонала для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации;
- медленное охлаждение воды.

Конструкция вентиляторных градирен в основном состоит из водоуловителя, оросителя, жалюзи, системы распределения воды, резервуара (рисунок 3).

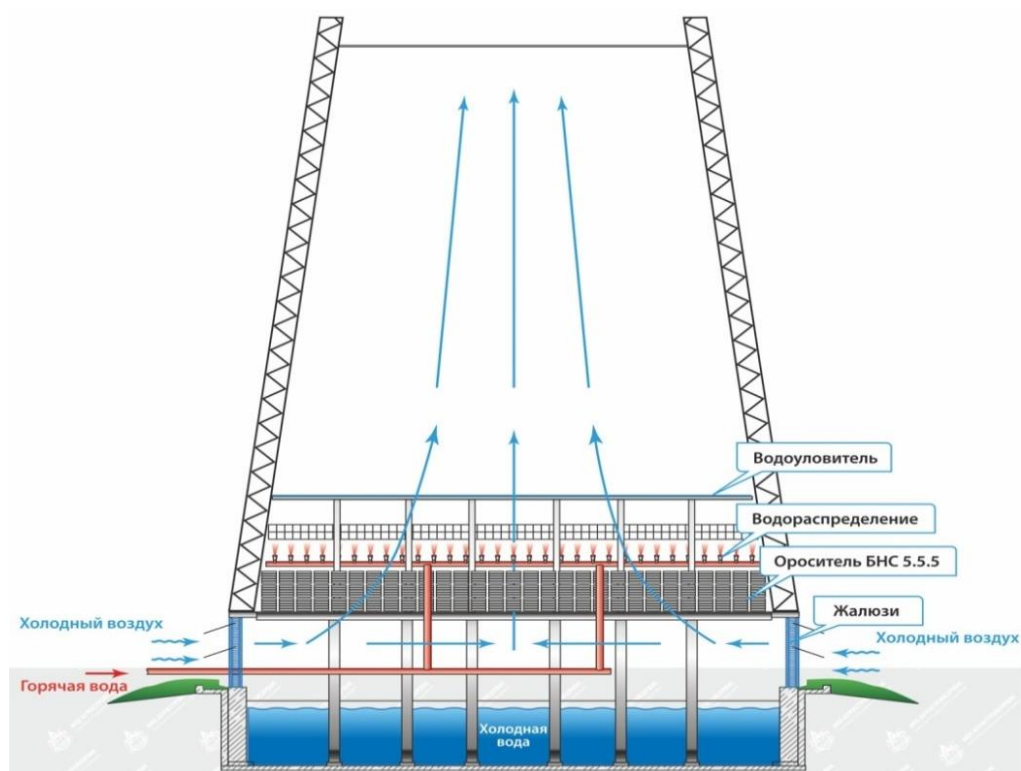


Рисунок 3 – Конструкция башенной градирни [2]

Внизу градирни имеются отверстия, через которые проходит атмосферный воздух, а внутри установлены оросители. Разница между удельным весом холодного и теплого воздуха создает естественную тягу. Чаще всего башенные градирни используются для охлаждения воды на больших промышленных предприятиях, таких как теплоэлектростанции или АЭС.

Градирни ТЭЦ предназначены для охлаждения больших объемов воды на небольшую температуру (около 5–10°C) без энергозатрат, в связи с чем получили большое распространение. Экономичная эксплуатация промышленных башенных градирен довольно выгодна, однако их строительство требует немалых затрат и большой площади для размещения.

Вентиляторные градирни

Вентиляторные градирни, также известные как градирни с механической тягой, представляют собой тип градирен, обычно используемых для отвода тепла (рисунок 4). В этих градирнях используется комбинация вентиляторов и системы распределения воды для создания потока холодного и влажного воздуха, который эффективно рассеивает тепло за счет испарения.



Рисунок 4 – Вентиляторная градирня [4]

Конструкция вентиляторных градирен в основном состоит из вентилятора, электродвигателя, водоуловителя, системы распределения воды (включая форсунки и резервуар для сбора воды), оросителя, термостатов, фильтров (рисунок 5).

Существует два типа вентиляторов, используемых в градирнях: осевые вентиляторы и центробежные вентиляторы. Осевые вентиляторы потребляют меньшую мощность, но обеспечивают меньшее охлаждение, в то время как центробежные вентиляторы могут создавать перепад температуры до 30–35°C, но требуют больше энергии для работы.

В целом, вентиляторные градирни обладают рядом преимуществ:

- имеют высокую гибкость конструкции;
- эффективная производительность охлаждения;
- простота обслуживания и ремонта;
- менее подвержены образованию льда в зимнее время.

Однако есть и недостатки:

- для их работы требуется источник питания;
- могут потреблять значительное количество энергии из-за использования вентиляторов, что может увеличить эксплуатационные расходы;
- не столь эффективны при охлаждении в очень жарких и влажных условиях;
- шумные.

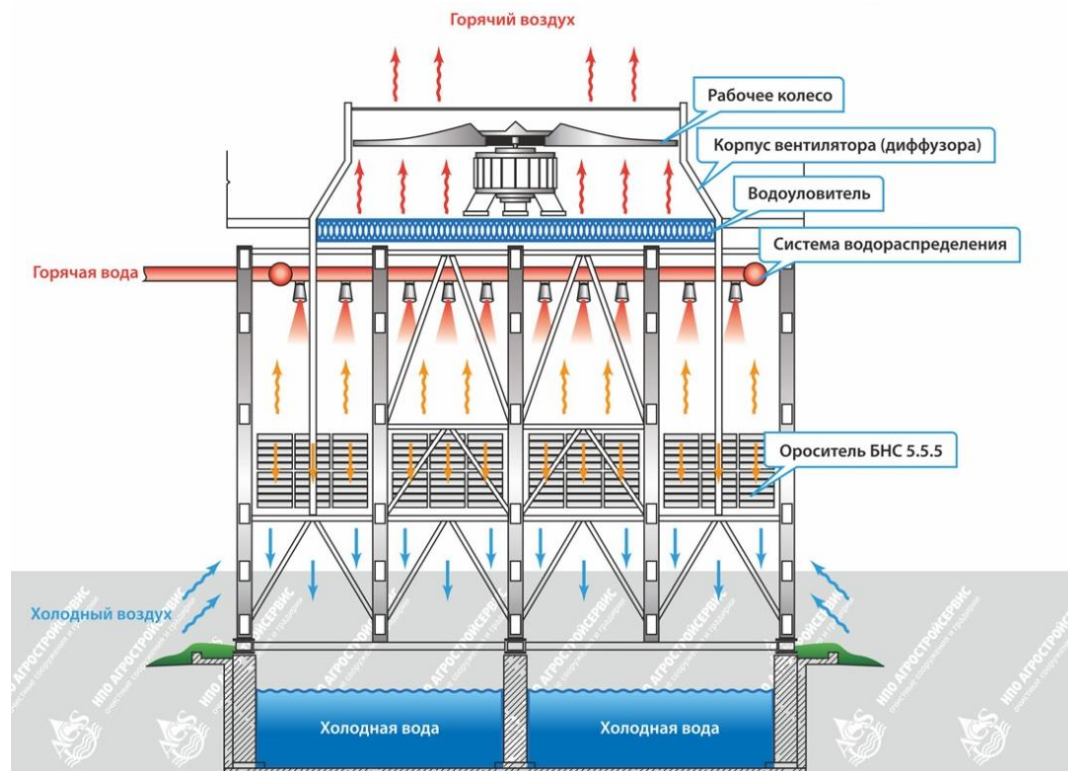


Рисунок 5 – Конструкция вентиляторной градирни [2]

Вентиляторная система должна быть сконструирована таким образом, чтобы обеспечивать необходимый поток воздуха для охлаждения при минимальном потреблении энергии. Выбор типа, размера и скорости вентилятора должен основываться на требуемой скорости воздушного потока, доступном источнике питания и ограничениях по шуму и вибрации на объекте. Двигатель вентилятора следует выбирать исходя из его эффективности, надежности и требований к техническому обслуживанию.

В целом, конструкция вентиляторной градирни должна быть оптимизирована для обеспечения эффективного и надежного охлаждения при минимизации энергопотребления и требований к техническому обслуживанию.

Заключение

Из вышесказанного следует, что выбор между башенной и вентиляторной градирней для ТЭЦ зависит от конкретных условий. Например, башенные градирни могут быть предпочтительны в случаях, когда установка необходима на местности с ограниченным пространством, а вентиляторные градирни могут быть предпочтительны, если доступна надлежащая электрическая инфраструктура для питания вентиляторов. Поэтому градирни на ТЭЦ должны быть надежными, эффективными и обеспечивать необходимый уровень охлаждения воды при минимальном расходе энергии.

Литература

1. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
2. Устройство градирни [Электронный ресурс] / Технические характеристики градирни. – Режим доступа: <https://acs-nnov.ru/tehnicheskie-harakteristiki-gradirni.html> /. – Дата доступа: 13.04.2023.
3. Башенная градирня [Электронный ресурс] / Градирни. – Режим доступа: <http://par-turbina.ucoz.net/index/gradirni/0-23> /. – Дата доступа: 13.04.2023.
4. Вентиляторная градирня [Электронный ресурс] /Что такое градирня и как она работает. – Режим доступа: <https://kaskad-stroy.com/kak-myi-stroim/chto-takoe-gradirnya-i-kak-ona-rabotaet/> /. – Дата доступа: 13.04.2023.
5. Классификация градирни [Электронный ресурс] / Типы градирен. – Режим доступа: <https://nc-t.ru/stati/tipy-gradiren/> /. – Дата доступа: 13.04.2023.

УДК 621.181

**БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОТЛЫ С КИПЯЩИМ
ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ
BIOENERGY FLUIDIZED BED BOILERS**

С.Д. Сытая, К.А. Мельник

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

kachan@bntu.by

M. Sytaya, K. Melnik

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

Аннотация: рассмотрены устройство и принцип работы биоэнергетического котла с кипящим псевдоожигенным слоем. Приведены технико-экономические показатели и тип топлива, пригодного для использования. Показаны высокие экологические и экономические характеристики котла.

Abstract: the design and principle of operation of a bioenergy fluidized bed boiler are considered. The technical and economic features and the type of suitable fuel are given. High environmental and economic characteristics of the boiler are shown.

Ключевые слова: биоэнергетические котлы, кипящий псевдоожигенный слой, топливо, экономические и экологические характеристики.

Keywords: bioenergy boilers, fluidized bed, fuel, economic and environmental characteristics.

Введение

При принятии решений о развитии энергоисточников всё более важным становится использование возобновляемых источников энергии. Использование различных видов топлива с нейтральным балансом CO₂ помогает замедлить изменение климата и приносит ощутимые финансовые преимущества.

Биоэнергетические котлы с кипящим псевдоожигенным слоем обеспечивают эффективное сжигание широкого спектра различных видов твёрдого топлива даже при использовании дешёвой биомассы очень низкого качества, с содержанием влаги до 65% без дополнительного сжигания. Благодаря эффективной и современной системе сжигания, выбросы установки чрезвычайно низкие.

Основная часть

Рассмотрим решения Steamtec с кипящим псевдоожигенным слоем от Vapor Finland, которые позволяют эффективно и экологично использовать биомассу и вторичные энергоресурсы в установках в диапазоне мощности 5–100 МВт [1] для целей центрального теплоснабжения, выработки пара для производства или электричества паровыми турбинами.

Технология (рисунок 1) основана на современном котле с естественной циркуляцией с запатентованной Vapor Steamtec топочной решеткой сжигания

в кипящем псевдоожиженном слое. У топочной решётки отсутствуют движущиеся детали, и она может принимать биомассу с загрязнениями, такими как металл, камни и комки. Загрязнение удаляются во время эксплуатации через отверстия топочной решётки.

Кипящий псевдоожиженный слой – это слой природного песка или другого керамического материала 300 – 500 мм высотой и температурой 800–900°C, который псевдоразжижается первичным потоком воздуха через воздушные сопла в дне топочной решётки.

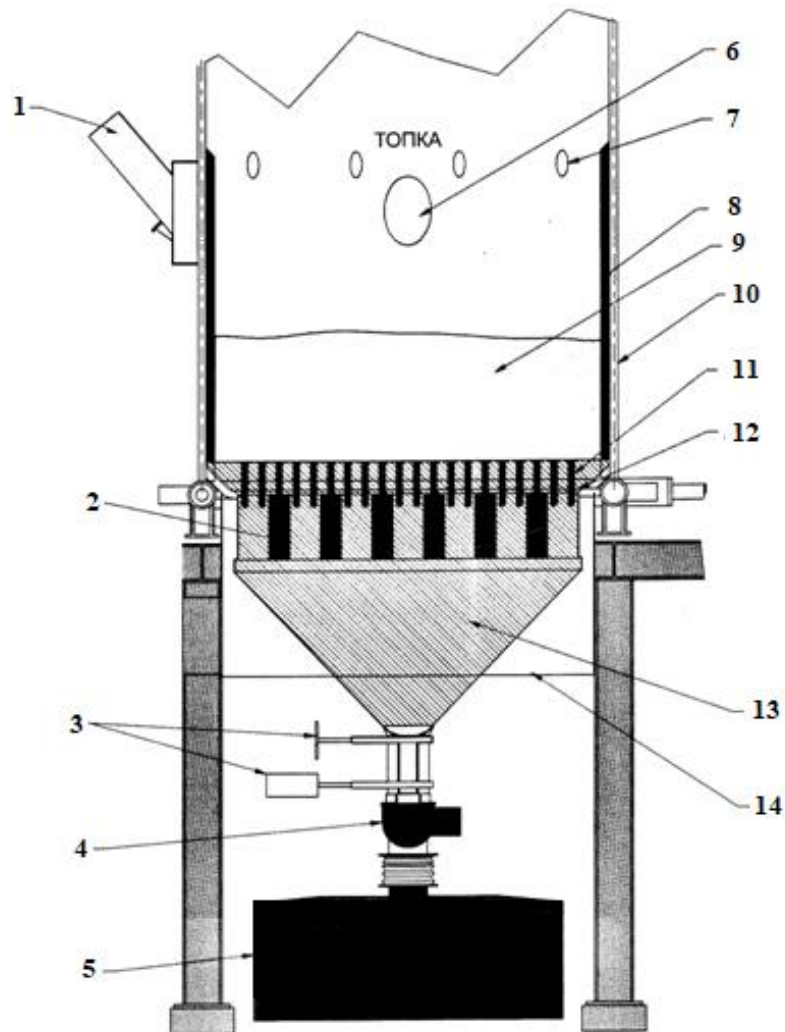


Рисунок 1 – Схема устройства котла Steamtec с «кипящим» псевдоожиженным слоем [1]:

1 – желоб подачи топлива; 2 – донный желоб и желоб удаления; 3 – запорный клапан; 4 – донный конвейер золы; 5 – контейнер золоотвала; 6 – пусковая горелка; 7 – сопло вторичного воздуха; 8 – огнеупорная футеровка; 9 – песчаный слой; 10 – экранные трубы; 11 – сопло первичного воздуха; 12 – донная труба; 13 – донная зола; 14 – поддувало

Биомасса подаётся в котёл через огнестойкую систему подачи топлива и желоб. Имеется возможность получить систему боковой подачи для древесных отходов и твёрдых вторичных видов топлива. Это требует непрерывного наблюдения за отработанными газами.

«Кипящий» горячий песок эффективно высушивает и насыщает газом топливную биомассу. В камеру сгорания подаются вторичный воздух и третичный воздух для чистого и эффективного многоступенчатого сгорания биомассы. Потоками воздуха управляет система автоматики, чтобы добиться высокой эффективности и низких выбросов.

Слой песка, температура которого обычно составляет около 850°C, при необходимости остужают путём разбавления первичного воздуха повторно используемыми (рециркулирующими) отработанными газами, содержащими меньше кислорода, чем воздух.

Установка Steamtec поставляется комплектно и включает следующие элементы:

- система приёма, обработки и подачи топлива;
- удаление и обработка золы;
- паровой/водогрейный котёл;
- паровая турбина;
- вспомогательное оборудование и системы;
- контрольно-измерительные приборы, автоматизация.

Котёл с кипящим псевдооживленным слоем неприхотлив к используемому топливу: от древесины и отходов сельского хозяйства до вторичных видов горючего и торфа. Обычно это древесная щепа, кора и опилки, а также торфокрошка и дерновой торф. В качестве побочного продукта можно также использовать отходы и вторичные горючие материалы, камыш, солому, уголь, а также различные типы шлама.

Установки допускают использование влажных горючих материалов, с содержанием влаги 65% для дерева и до 70% для торфокрошки, без вспомогательного горения. Обычно содержание влаги в горючем находится в пределах 35–65% [2].

При этом можно использовать топливо с очень низким значением теплотворной способности, что повышает рентабельность выработки энергии.

Высокий КПД котла: 88–91%, в зависимости от влажности и качества топливной биомассы.

Низкое содержание CO, оксидов азота и летучих органических соединений (таблица 1) достигается за счет эффективного смешивания топлива и воздуха, что приводит к полному сгоранию топлива.

Таблица 1 – Типичные значения выбросов при 6% O₂ (чистое дерево) биоэнергетических котлов с кипящим псевдооживленным слоем [2]

Выбросы	Значения*, размерность
CO	100–200 мг/нм ³
Оксиды азота	200–300 мг/нм ³
Частицы пыли: - электростатический осадочный фильтр - мешочный фильтр	30–50 мг/нм ³ < 10 мг/нм ³
Диоксины и фураны	котлы спроектированы на время пребывания > 2,5 секунд и > 850°C
Несгоревшие углеводороды	< 0,03% в отработанных газах

*Выбросы зависят от качества топливной биомассы

Заключение

Сжигание в «кипящем» псевдоожигенном слое – это современный способ использования древесины, биомассы, торфа и вторичных видов топлива, обеспечивающий высокие экономические и экологические характеристики энергоустановок.

Литература

1. Решения Steamtec с «кипящим» псевдоожигенным слоем [Электронный ресурс] / Vapor Finland Company. – Режим доступа: <https://www.yumpu.com/tr/document/view/20840468/-filter/2> /. – Дата доступа: 08.04.2023.

2. ТЭЦ на биомассе до 100 МВт. Решения с псевдоожигенным кипящим слоем [Электронный ресурс] / Vapor Finland Company. – Режим доступа: <https://www.yumpu.com/tr/document/view/20840468/-filter/4> /. – Дата доступа: 08.04.2023.

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НА ЛОПАТКИ ТУРБИН ТЭС И
ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ
THE EFFECT OF ABRASIVE WEAR ON TURBINE BLADES
OF THERMAL POWER PLANTS AND POSSIBLE METHODS
OF COMBATING THEM**

С.Д. Крутиков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

S. Krutsikau

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрено влияние абразивного износа на лопатки турбин ТЭС, а также возможные методы защиты от его оказываемого негативного влияния. Целью изучения является определение наилучших вариантов защиты лопаток ТЭС от абразивного износа.*

***Abstract:** the article considers the effect of abrasive wear on the turbine blades of thermal power plants, as well as possible methods of protection from the negative impact. The purpose of the study is to determine the best options for protecting the TPP blades from abrasive wear.*

***Ключевые слова:** ТЭС, паровые турбины, износ лопаток, абразивный износ.*

***Keywords:** thermal power plants, steam turbines, blade wear, abrasive wear.*

Введение

Лопатки турбин – это важные элементы в составе турбинного агрегата. Неправильное использование и эксплуатация может привести к абразивному износу лопаток, что в свою очередь может привести к снижению эффективности работы турбины. В данной статье рассмотрим влияние абразивного износа на лопатки турбин и способы решения этой проблемы.

Основная часть

Абразивный износ – это процесс изнашивания поверхностей, вызванный воздействием твердых частиц. Твердые частицы могут быть как природного, так и искусственного происхождения [1]. В случае лопаток турбины, твердые частицы могут поступать с воздухом, газом или жидкостью, которые проходят через турбину. В процессе взаимодействия частиц с поверхностями рабочих тел, они могут быть причиной истощения и износа металла (рисунок 1). В дальнейшем это приводит к изменению гидродинамического профиля и баланса лопаток турбины, что в свою очередь ведёт к увеличению вибраций и снижению КПД турбины. Кроме того, абразивный износ приводит к увеличению расхода топлива, и как следствие к снижению экономичности работы всего турбоагрегата.

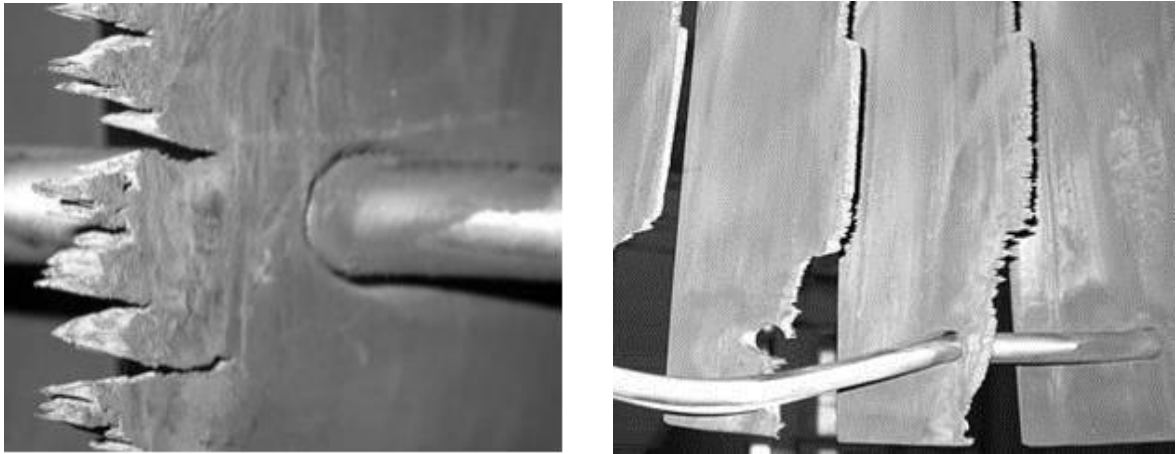


Рисунок 1 – Износ рабочих лопаток последних ступеней [1]

Способы уменьшения негативного влияния абразивного износа

1. Использование покрытий и накладок на лопатки.

Использование покрытий на поверхности лопаток турбин является наиболее эффективным методом защиты от абразивного износа. В качестве материалов покрытия могут использоваться керамика (оксид циркония – ZrO_2), карбиды (карбид кремния – SiC и карбид титана – TiC), нитриды (нитрид бора – BN и нитрид кремния – Si_3N_4), также различные виды покрытий на основе металлов и сплавов [2]. Такие покрытия могут быть нанесены на поверхности лопаток с помощью различных технологий, включая термическое напыление, электронно-лучевое напыление и др. Эти покрытия могут значительно увеличить стойкость лопаток к абразивному износу и повысить их эксплуатационный ресурс. Выбор конкретного материала покрытия или накладки на лопатки турбин зависит от конкретных условий эксплуатации турбины, таких как температура, давление, скорость потока и химический состав рабочей среды.

2. Очистка входящей в турбину среды

Очистка входящей в турбину среды может также быть эффективным методом борьбы с абразивным износом. На ТЭС, работающих на угле, нефти или газе, горючие смеси могут содержать твердые частицы в виде золы, песка и металлических осколков. Эти частицы могут наносить значительный вред турбине, вызывая абразивный износ ее поверхностей. Для борьбы с этим износом в системах ТЭС применяются различные методы очистки входящей среды. Например, используются системы фильтрации, циклонные разделители (рисунок 2) и электростатические фильтры, которые позволяют улавливать твердые частицы и отделить их от газовой смеси. Очистка входящей среды может быть особенно эффективной при использовании технологий сухого воздушного охлаждения, которые используют воздух в качестве охлаждающего средства вместо воды. В этом случае, твердые частицы, содержащиеся в воздухе, могут наносить особенно большой вред турбине, и очистка входящей среды является необходимой мерой для предотвращения абразивного износа. Этот метод может быть более эффективным и экономичным в долгосрочной перспективе.



Рисунок 2 – Циклонный разделитель [2]

3. Регулярное обслуживание и замена лопаток.

Регулярное техническое обслуживание турбины, включающее удаление отложений на лопатках частиц и проверку их баланса, может помочь уменьшить абразивный износ. При этом, частота технического обслуживания определяется в соответствии с типом топлива, габаритными характеристиками турбины, временными интервалами между профилактическими ремонтами, и др. Основные методы контроля и испытания лопаточного аппарата в процессе эксплуатации:

- визуальный контроль (ВК);
- вихретоковый контроль (ВТК);
- цветная дефектоскопия (ЦД);
- магнитопорошковая дефектоскопия (МПД);
- травление (ТР);
- ультразвуковой контроль (УЗК).

Могут быть также использованы дополнительные методы контроля:

- эндоскопирование без вскрытия и с вскрытием цилиндра;
- вибрационный контроль на работающей турбине с применением дискретно-фазового метода;
- вибрационные испытания на извлеченном из турбины роторе;
- акустико-эмиссионный контроль;
- диагностирование с помощью образцов-свидетелей усталостного разрушения.

Замена лопаток также может быть необходима, особенно если лопатки уже сильно повреждены. При этом, необходимо выбирать более прочные материалы для изготовления заменяемых лопаток. Например, могут быть использованы лопатки, сделанные из высокопрочных сталей.

Заключение

Абразивный износ является серьезной проблемой для лопаток турбин ТЭС и АЭС, которая может привести к снижению эффективности и экономичности работы турбоагрегатов и всего производства электроэнергии. В результате можем сделать вывод, что каждый из предложенных способов борьбы с абразивным износом эффективен по-своему, но наибольшей эффективности можно добиться комбинируя их.

Литература

1. Шкляр, А.И. Опыт повышения надежности и износостойкости элементов проточной части паровых турбин / А.И. Шкляр [и др.] // Теплоэнергетика. – 2007. – № 4. – С. 28–36.
2. Рыженьков, В.А. Современное состояние и способы решения проблемы эрозионного износа лопаток влажно-паровых ступеней турбин / В.А. Рыженьков, А.И. Лебедев, Ал.Ф. Медников // Теплоэнергетика. – 2011. – № 9. – С. 153–156.

УДК 620.193.2

**ВЛИЯНИЕ ТОПОЧНОГО РЕЖИМА НА ВНУТРЕНнюю КОРРОЗИю
БАРАБАНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ**
**EFFECT OF FURNACE MODE ON INTERNAL CORROSION
OF DRUM-TYPE STEAM BOILERS**

Д.А. Степанов, М.Д. Сытая

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

kachan@bntu.by

D. Stepanov, M. Sytaya

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

***Аннотация:** рассмотрены некоторые особенности протекания внутренней коррозии экранных труб газо-мазутных котлов с естественной циркуляцией. Показана зависимость отложений окислов железа от уровня теплового потока и влияние компоновки горелок на равномерность распределения тепловых потоков в топочной камере. Рассмотрены особенности расположения солевых отсеков экранов.*

***Abstract:** some features of the internal corrosion of the tubes of gas-oil boilers with natural circulation are considered. The dependence of scuffs of iron oxides on the level of heat flow and the effect of the layout of the burners on the uniformity of the distribution of heat flows in the combustion chamber are shown. The features of the location of the salt compartments of the screens are considered.*

***Ключевые слова:** газо-мазутные котлы, естественная циркуляция, внутренняя коррозия, экранные трубы, горелки.*

***Keywords:** gas-oil boilers, natural circulation, internal corrosion, wall pipes, burners.*

Введение

Внутренняя коррозия экранных труб барабанных котлов с естественной циркуляцией наиболее активно проявляется в местах концентрирования примесей теплоносителя. Это участки экранных труб с высокими тепловыми нагрузками. Поэтому для предотвращения повреждений экранных труб необходимо воздействовать как на водно-химический, так и на топочный режим [1].

Основная часть

Рассмотрим некоторые особенности протекания внутренней коррозии экранных труб газо-мазутных котлов с естественной циркуляцией.

Интенсивность отложений окислов железа на внутренней поверхности экранных труб котлов зависит от уровня теплового потока [2]. При этом решающим также является воздействие тепловой нагрузки на скорость коррозии парогенерирующей системы. Так, возможны повреждения экранных труб без изменения водно-химического режима после перевода котлов с твердого топлива на мазут или после реконструкции горелок [2].

Обычно коррозионные повреждения экранных труб котлов высокого и сверхвысокого давления, работающих на мазуте, происходили в зоне горелочных устройств. Часто место разрушения совпадало с осью форсунки. При локальных тепловых нагрузках $465\text{--}580\text{ кВт/м}^2$ экранные трубы котлов могут подвергаться хрупким водородным повреждениям даже при использовании питательной воды высокого качества [2].

При эксплуатации стационарных паровых котлов предусматривается следующее:

- факел должен равномерно заполнять топочный объем;
- касание или удары факела об экранные поверхности топочной камеры недопустимы;
- локальные значения тепловых потоков не должны достигать значений, при которых не обеспечивается надежная работа экранных труб;
- глубина топки принимается большей, чем дальность горизонтального факела, и другое.

Однако для барабанных котлов эти положения не всегда выполняются. В ряде случаев не удается избежать наброса факела на задний экран от фронтальных горелок, а на газомазутных котлах с большим числом фронтальных горелок, где крайние горелки расположены близко от боковых (двухсветных) экранов, может быть наброс факела на эти экраны.

На некоторых котлах, например, ТГМ-84, максимум теплового потока по глубине топки оказывается в зоне труб солевого отсека, что вызывает ускоренное накипеобразование в этих трубах и их коррозионные повреждения.

Типичное распределение максимальных тепловых потоков по высоте топочной камеры характеризуется мощным выделением тепла в небольшом объеме топки в зоне горелок и довольно низкими тепловыми нагрузками в остальной части топки. Поэтому стремятся сконструировать топочную камеру так, чтобы она охватывала объем факела, получающийся при данном типе и расположении горелочных устройств. При этом важно знать форму и размеры мазутного факела различных типов горелок при разных нагрузках, избытках воздуха и компоновке.

Компоновка мазутных горелок оказывает значительное влияние на равномерность распределения тепловых потоков и тем самым на скорость накипеобразования в экранных трубах.

Для предупреждения кризисных явлений кипения в экранных трубах, для барабанных котлов высокого и особенно сверхвысокого давлений необходимо уточнить взаимосвязанные параметры (критические условия), определяющие уровень критического теплового потока $q_{кр}$ (массовую скорость, давление, паросодержание). Поскольку значение $q_{кр}$ снижается с ростом давления и энтальпии и увеличивается с ростом массовой скорости, конструкторы обычно стремятся разместить в зонах наибольшей тепловой нагрузки поверхность нагрева с низким значением энтальпии среды, а также обеспечить возможно более высокую скорость последней [2].

Особую важность приобретает знание зависимости $q_{кр}$ от качества и количества отложений на внутренней поверхности экранных труб. По данным МЭИ, загрязнение теплопередающей поверхности слоем пористого гематита толщиной 15 мкм способно снизить значение $q_{кр}$ на 20% [2].

Таким образом, рост теплового потока существенно ускоряет образование железо-окисных отложений, которые, в свою очередь, могут снижать $q_{кр}$, то есть приводить к нарушению нормального режима кипения.

При этом для предупреждения коррозии важным является вопрос о стойкости защитной магнетитной пленки на внутренней поверхности экранной трубы при колебаниях температур.

Есть данные о том, что тепловой поток 520–580 кВт/м² в котлах высокого и сверхвысокого давлений с естественной циркуляцией способен вызывать кризисные явления кипения и повреждение защитной пленки магнетита [2]. Однако именно значение теплового потока 580 кВт являются нормируемым максимумом для таких котлов [2].

При эксплуатации паровых котлов высокого и сверхвысокого давления, работающих с высокими локальными тепловыми нагрузками, повышенными скоростями накипеобразования и коррозии экранных труб, необходимо вырабатывать и применять возможные меры воздействия на уровень и распределение падающих тепловых потоков $q_{пад}$, а также учитывать эксплуатационные факторы, влияющие на $q_{пад}$.

При этом требования к водно-химическому режиму в условиях высоких значений $q_{пад}$ должны быть более жесткими.

Поскольку содержание естественных примесей и соединений железа в солевых отсеках может быть в 2–10 раз выше, чем в чистом отсеке, экранные трубы II (III) ступени испарения необходимо располагать в местах наименьших тепловых нагрузок.

Наброс факела крайних горелок на трубы солевых отсеков, расположенные в боковых экранах, можно предупредить, например, разворотом крайних горелок к центру топки (на угол 12–18°) или отключением крайних горелок. Так, на котле ТГМ-84 Новополоцкой ТЭЦ разворот крайних горелок на 12–15° позволил уменьшить тепловые потоки в районе от 28-й до 40-й трубы (всего в боковом экране 90 труб) на 20–23% [2]. Однако при этом возросли тепловые потоки на задний экран (на 12–15%), поэтому более целесообразным оказалось отключение крайних горелок [2].

Другим методом снижения тепловой нагрузки экранных труб солевых отсеков может быть перенос II ступени испарения из зоны высоких тепловых потоков в зону пониженных тепловых нагрузок путем перекомпоновки водоопускных и пароотводящих труб.

Заключение

Рассмотрено явление коррозии экранных труб под влиянием тепловых нагрузок топочной камеры, которое возможно и при эксплуатации котлов, питаемых конденсатом паровых турбин и обессоленной водой. Условия протекания внутренней коррозии важно учитывать, как при проектировании,

так и при эксплуатации паровых котлов с естественной циркуляцией на высокие параметры получаемого пара.

Литература

1. Коррозионные повреждения экранных труб газомазутных котлов [Электронный ресурс] / Algoritmist инженерная группа. – Режим доступа: <https://algoritmist.ru/korrozija-i-korrozionnye-povrezhdenija/korrozionnye-povrezhdenija-ehkrannyx-trub-gazomazutnyx-kotlov.html> /. – Дата доступа: 04.04.2023.

2. Вайнман, А.Б. О скорости накипеобразования и коррозии экранных труб мазутных котлов с естественной циркуляцией / А.Б. Вайнман // Теплоэнергетика. – 1980. – № 6. – С. 19–21.

УДК 620.98

**ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЭФФЕКТИВНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ
DECOMMISSIONING OF INEFFICIENT EQUIPMENT
AT POWER FACILITIES**

Е.М. Стельмак

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

E. Stelmak

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

***Аннотация:** одними из главных средств регулирования энергетики и энергетических процессов являются энергетические объекты. К энергетическим объектам относятся ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС, АЭС, а также многие другие энергетические предприятия. Однако многие из них были построены еще в советское время, что указывает на то, что оборудование имеет физический и моральный износ. На основании выше изложенного, в данной статье будет рассмотрен вопрос о выводе старого энергетического оборудования на основании экономичности.*

***Abstract:** one of the main means of regulating energy and production processes are energy facilities. Energy facilities include thermal power plants, state district power plants, hydroelectric power stations, nuclear power plants, as well as many other energy enterprises. However, many of them were set up back in Soviet times, so that the equipment has physical and moral wear and tear. Based on the above, this article will consider the issue of the withdrawal of old power equipment on the basis of efficiency.*

***Ключевые слова:** энергетический объект, энергетический ресурс, электрокотел, тариф, электрическая мощность.*

***Keywords:** energy facility, energy resource, electric boiler, tariff, electric power.*

Введение

Энергетический объект – это предприятие, объединяющее воедино силовые установки и обеспечивающее их совместную работу. Работу любого энергетического объекта обеспечивают энергетические ресурсы. Энергетические ресурсы – вспомогательные компоненты, благодаря которым осуществляется основная задача производственных предприятий, то есть выработка электрической и тепловой энергий.

Основная часть

В связи с введением Атомной Электростанции (далее АЭС) [3] в энергетическую сеть, нарушается баланс, и процесс нагрузок на другие электростанции перестал быть технически-регулируем. Особенно это замечается в ночные часы работы электростанций, так как требуется

дополнительная мощность. Для урегулирования этого процесса существуют электродные водогрейные котлы [1]. Электродные водогрейные котлы (электродкотлы) – котлы, функцией которых является подогрев сетевой воды, а также регулирование электрической сети. Ночью разгрузка отборов турбоагрегатов снижается, как и выдача электрической мощности, а также снижение производства электроэнергии. В случае, когда сеть принимает слишком большое количество энергии, тогда электродкотел включается автоматически и распределяет энергию таким образом, чтобы сохранялся ее баланс в данной сети. Помимо сети электродкотлы также регулируют и нагрузку на агрегаты, которые в большом количестве установлены на различных ТЭЦ.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема электродкотла.

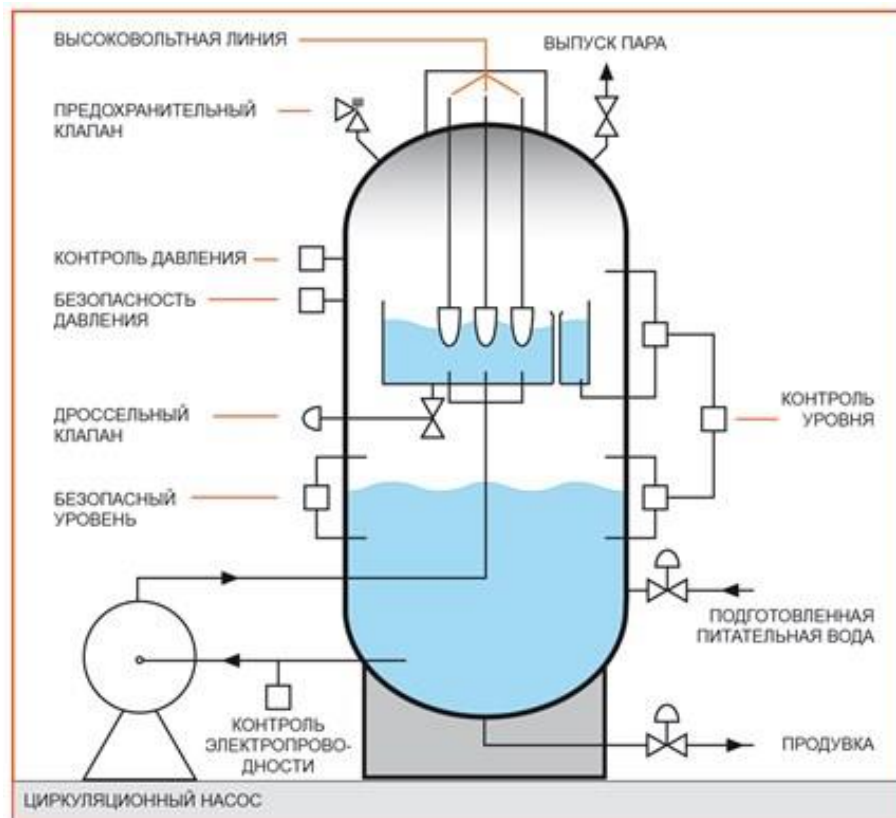


Рисунок 1 – Принципиальная схема электродкотла [1]

В зависимости от напряжения, подаваемого на котел, их различают на низковольтные и средневольтные. К низковольтным котлам относятся котлы с минимальным рабочим напряжением 600 вольт, и максимальной величиной в несколько мегаватт. К средневольтным котлам относятся котлы с минимальным рабочим напряжением около 10–20 кВт, и максимальной 50 МВт. Электродкотлы имеют КПД около 98%. По сравнению с водогрейными или паровыми котлами электродкотлы потребляют меньше топлива, и более долговечны. На содержание электродкотла требуется меньше электроэнергии и никаких газовых или жидких видов топлива. Благодаря электродному принципу нагрева котел не производит никаких вредных выбросов в окружающую среду, а остатки химических реакций в котле устраняются благодаря продувке. Обобщив все вышесказанное про электродкотлы, можно

сделать вывод, что они являются более экономичными, имеют большой срок службы и сокращают затраты на топливо.

В таблице 1 приведено сравнение основных характеристик электродкотла и водогрейного котла.

Таблица 1 – Сравнение основных характеристик электродкотла и водогрейного котла [2]

Характеристические элементы	Единицы измерения	Электродкотел	Водогрейный котел
Номинальный расход теплоносителя	м ³ /кг	860	0,75
Объем котла	м ³	30	8,55(топка)
Температура на входе в котел	С ⁰	90	70
Температура на выходе из котла	С ⁰	140	95
Рабочее давление	МПа	0,8	0,3
Диапазон регулирования нагрузки	%	2-100	20-100
КПД	%	98	75

Как уже упоминалось выше, с введением первого блока АЭС общую производственную сеть, энергетическая система сейчас претерпевает значительные изменения. В первую очередь эти изменения касаются выводимых энергетическими объектами мощностей. Это обусловлено решением о вводе в эксплуатацию второго блока АЭС и, следовательно, повышением выводимой электрической мощности.

По предварительным подсчетам этому переходу соответствуют параметры, приведённые в таблице 2.

Таблица 2 – Электрическая мощность АЭС при последовательном вводе энергоблоков [3]

	Один блок АЭС	Два блока АЭС
Электрическая мощность, МВт	1170	2400

Стоит обратить внимание, что максимальная мощность одного рабочего блока АЭС составляет 1200 МВт, при этом рабочая мощность численно равна 1170 МВт. Это значит, что мощность АЭС будет повышена более чем в 2 (а именно 2,05) раза. Следовательно, в связи с повышением отпускной электрической мощности АЭС снижается потребность в мощностях, выводимых энергетическими объектами, в таком количестве, в котором отпускается на сегодняшний день. При переизбытке электрической мощности появляется риск, связанный с производительностью и функционированием современного оборудования, который может привести к выходу из строя этого оборудования. Для правильного функционирования оборудования с учетом

работы энергоблоков АЭС в базовой части графика нагрузок необходимо будет снизить мощности на предельно загруженных, или работающих при максимально допустимых мощностях, энергетических объектах. На сегодняшний день таковыми являются Березовская и Лукомльская ГРЭС. Березовская ГРЭС была построена в 60-е годы двадцатого века, а ее первый блок был запущен в декабре 1961 года. На данный момент ее мощность составляет 1095 МВт. Однако она занимает второе место, среди самых мощных ГРЭС в республике, а самой мощной является Лукомльская ГРЭС. Ее строительство началось в 1946 году, а в 1969 году она была введена в эксплуатацию с рабочей мощностью всего 32 МВт, что несравнимо с сегодняшними показателями. В настоящее время Лукомльская ГРЭС вырабатывает 2 889,5 МВт электрической мощности.

С экономической точки зрения содержание таких «предприятий-гигантов» затратно. Если рассмотреть вопрос: «Возможно ли то, что выведенные мощности Лукомльской ГРЭС и Березовской ГРЭС будут скомпенсированы вводимыми мощностями двух блоков АЭС?», то можно отметить, что на сегодняшний день потребность в работе АЭС растет, что, в свою очередь, обуславливает ввод второго блока. Главным фактором, который регулирует вопрос в большей потребности АЭС, чем в ГРЭС, являются затраты на производство электроэнергии. Учитывая тарифы на электрическую энергию, приведенные в таблице 3, а также то, что выводимая мощность на ГРЭС будет снижена, то есть за меньшую ее производительность себестоимость производства будет оставаться неизменной, что невыгодно. В случае с АЭС все обстоит с точностью до наоборот. Всё вышеупомянутое означает, что АЭС может способствовать снижению тарифов и затрат на производство электрической энергии.

Таблица 3 – Тарифы для промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВА и выше в 2023 году [4]

	Тариф
	Промышленные предприятия с присоединенной мощностью 750 кВА и выше:
Основная плата за мощность – в месяц, руб./кВт	30,08
Дополнительная плата за энергию, руб./кВт	0,25

Рассмотренный выше вопрос об выводе мощностей Лукомльской ГРЭС и Березовской ГРЭС не подразумевает полную остановку данных энергетических объектов. Это будет нецелесообразно как с производственной, так и с экономической точек зрения. Под «выводом мощностей» имеются ввиду выходы блоков, а именно, самым правильным здесь будет вывод блоков с меньшей мощностью:

На Березовской ГРЭС [5] на сегодняшний день, функционируют:

- 1) Энергоблок ПГУ-300 №3 мощностью 215МВт;
- 2) Энергоблок ПГУ-300 №4 мощностью 215МВт;
- 3) Энергоблок ПГУ-300 №5 мощностью 238МВт;
- 4) Энергоблок ПГУ-427 №7 мощностью 427МВт.

В данном случае, на Березовской ГРЭС к выводу возможны энергоблок ПГУ №3 и энергоблок ПГУ №4. И суммарная выводимая мощность с Березовской ГРЭС составит 430МВт.

На Лукомльской ГРЭС [6] на сегодняшний день функционируют:

- 1) Энергоблок ПГУ-300 №1 мощностью до 350МВт;
- 2) Энергоблок ПГУ-300 №2 мощностью до 350МВт;
- 3) Энергоблок ПГУ-300 №4 мощностью до 350МВт;
- 4) Энергоблок ПГУ-300 №3 мощностью до 310МВт;
- 5) Энергоблоки ПГУ-300 №5-8 мощностью до 300МВт.

Блоки №1, №2 и №5-8 – осуществляют подачу пара из котла в коллекторы; На блоки №3 и №4 пар не подается, у блока №4 отсутствует пиковый бойлер. В данном случае, для компенсирования выводимых мощностей на Березовской и Лукомльской ГРЭС и вводимых мощностей на АЭС, к выводу необходимо 600 МВт мощности, то есть, вывод двух блоков с отпускными мощностями по 300 МВт.

Заключение

Решение о замене старого оборудования на электродкотлы является экономически целесообразным. Работа электродкотлов является эффективнее и продуктивнее. Решение о выводе из эксплуатации блоков Лукомльской и Березовской ГРЭС обусловлено урегулированием уровня мощности в сети. Мощностной баланс заключается в равенстве:

Рабочая мощность АЭС (двух блоков) – Рабочая мощность АЭС (одного блока) = Выведенные мощности (блоки Лукомльской ГРЭС и Березовской ГРЭС),

где рабочая мощность АЭС (одного блока) = 1170 МВт (эксплуатации подвержено лишь 97,5% от максимально допустимого значения, максимально допустимое значение = 1200МВт); выведенные мощности (блоки Лукомльской и Березовской ГРЭС) = 1030МВт (сумма выводимых мощностей блоков ПГУ); рабочая мощность АЭС (двух блоков), по подсчетам = 2200 МВт (эксплуатации подвержено лишь 91,7% от максимально допустимого значения, максимально допустимое значение = 2400 МВт); также как и сейчас, АЭС, предположительно, не будет работать на полную мощность. Из процентных соотношений, приведенных выше, выраженных в форме нагрузки, видно, что процент работы одного блока АЭС в зависимости от максимальной нагрузки равен около 98% – это загруженность, а загруженность при работе двух блоков будет равна 92%.

Литература

1. Внедрение электродкотлов на РУП «Брестэнерго» / Актуальные проблемы энергетики 2022 [Электронный ресурс] / сост.: И.Н. Прокопья, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ,

2022.

С. 101–103.

2. Основные характеристики электрочла и водогрейного котла [Электронный ресурс] / основные характеристики электрочла и водогрейного котла. – Режим доступа: <https://web.minskenergo.by/filialy/minskaya-tets-3/>. – Дата доступа: 26.03.2023.

3. Атомная электростанция [Электронный ресурс] / атомная электростанция. – Режим доступа: <https://www.belaes.by/ru/o-predpriyatii/obshchaya-informatsiya.html> /. – Дата доступа: 26.03.2023.

4. Тарифы на электроэнергию [Электронный ресурс] / тарифы на электроэнергию. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/activities/tseny-tarify-na-energoresursy/>. – Дата доступа: 26.03.2023.

5. Параметры Березовской ГРЭС [Электронный ресурс] / параметры Березовской ГРЭС. – Режим доступа: <https://www.brestenergo.by/> /. – Дата доступа: 26.03.2023.

6. Параметры Лукомльской ГРЭС [Электронный ресурс] / параметры Лукомльской ГРЭС. – Режим доступа: <https://www.vitebsk.energo.by/o-predpriyatii/filials/lukomlskaia-gres/> /. – Дата доступа: 26.03.2023.

УДК 628.16

**ГРАФЕНОВЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ
GRAPHENE FILTER FOR WATER PURIFICATION**

А.В. Казейка, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

w.romanko@bntu.by

А. Kazeika, A. Medvedeva

Supervisor – V. Romanko, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассмотрено применение графеновых фильтров. Представлены преимущества применения фильтров на основе графена с обычными фильтрами.*

***Abstract:** this article discusses the use of graphene filters. The advantages of using graphene-based filters with conventional filters are presented.*

***Ключевые слова:** фильтрация, GraphAir, графен, диоксид титана, эпоксидная смола, мембранная дистилляция.*

***Keywords:** filtration, GraphAir, graphene, titanium dioxide, epoxy resin, membrane distillation.*

Введение

В промышленной и энергетической сферах ухудшение качества воды является фактором, который значительно снижает срок эксплуатации оборудования и эффективность производства. Особенно важна водоподготовка в энергетике, которая является одним из основных компонентов любой технологической цепочки.

Фильтрация – принудительное прохождение водных потоков через систему фильтров грубой и тонкой очистки, которые обычно используют комплексно.

От качества воды в энергетической сфере зависит работа: котельных установок (продуктом водогрейных и паровых котлов является воды или пар, которые даже в чистом виде считаются коррозионными); тепловых электростанций (охлаждение оборудования, работа теплообменников и подача охлаждающей воды осуществляются с использованием воды, когда вода нагревается, к ней прилипает крупные примеси и соли, образуя накипь и буквально «убивая» оборудование); трубопроводов (поскольку по ним напрямую перемещаются большие объемы воды, они интенсивно циркулируют, забиваются отложениями, ржавеют и гниют быстрее, чем другое оборудование) и т.д. [1].

Рассмотрим технологию, разработанную австралийскими учеными из CSIRO качественной и недорогой очистки воды. GraphAir – графеновый фильтр для очистки воды. С помощью такой технологии, можно очистить водоем от любых загрязнений. Приспособление превратит даже самую соленую и грязную воду в питьевую.

Основная часть

Новая система фильтрации основана на уникальной форме графена «Graph Air», который производит чистую питьевую воду из загрязненной воды. Graph Air – это система мембранной дистилляции (МД), использующая нанотипы графена, которые пропускают воду, но не большие нежелательные молекулы. Растущая популярность МД – это подход к очистке воды на тепловой энергии, который кажется очень перспективным для фильтрации морской воды и промышленных отходов. МД предполагает очистку воды через градиент давления пара, который происходит через гидрофобную мембрану. Система основана на параллельных потоках с горячей стороны подачи и холодной пронизывающей стороны, с образованием водяного пара на стороне подачи. Фильтрация происходит, когда пары очищенной воды транспортируются на холодную проницаемую сторону.

В исследовании учёные извлекли бактерии кишечной палочки из раствора, введя в него раствор оксида графена, и сказали, что инъекционный графен смог «захватить» токсичные бактерии, образуя хлопья вокруг него. Затем хлопья удалялись, чтобы получить питьевую воду и побочный продукт графена, который можно было бы использовать повторно. Влагопроницаемость графена на несколько порядков больше, чем у стандартной обратноосмотической мембраны. Имея очень узкие каналы, Graph Air смог отобразить более крупные молекулы высокотоксичных соединений, чтобы получить чистую воду. Исследователи также использовали свою систему для фильтрации высоких концентраций кислот и щелочей. Они смогли получить воду с нейтральным рН из этих образцов [2].

Материал для очистки воды состоит из двух компонентов: графена и диоксида титана. Графен имеет микроскопический наномеханизм. Жидкость проходит через эти каналы и очищается. Графен благодаря своей структуре действует как фильтр (рисунок 1) [3]. Он способен улавливать 100% загрязнений, включая растворенные в жидкой соли. Диоксид титана является фотокатализатором, который значительно ускоряет разложение вредных органических веществ. Эта технология может очищать воду независимо от того, насколько загрязненной она была первоначально. Она также может быть применена для опреснения морской воды.

Первоначальная проблема с графеновыми фильтрами заключалась в том, что пленка оксида графена слегка набухла при смачивании, пропуская не только воду, но и такие ионы, как магний и натрий. Однако эту проблему можно было решить, соединив одиночные полоски из оксида графена с помощью обычной эпоксидной смолы, чтобы они практически не разбухали. Этот метод также позволил ученым «настраивать» свойства мембраны, чтобы она пропускала больше или меньше соли [4].



Рисунок 1 – Схема фильтрации [3]

Заключение

Фильтры на основе графена и диоксида титана могут использоваться для очистки воды в бытовых и промышленных условиях, включая очистку сточных вод промышленных предприятий. По статистике, обычные фильтры теряют 50% свойств уже в первые 100 часов работы. Графеновая пленка показала отличную устойчивость к износу.

Фильтр на основе графена, по сравнению с обычным, имеет ряд преимуществ: сохраняет полезные микроэлементы, высокая эффективность сорбции, фильтрует горячую воду, очищает воду от различных примесей (в том числе органических) [3]. Обычные фильтры теряют 50% свойств уже в первые 100 часов работы. Графеновая пленка показала отличную устойчивость к износу.

Таким образом — будущее за графеновыми мембранами, которые вскоре смогут быть использованы во многих сферах производства и энергетики.

Литература

1. Diasei engineering [Электронный ресурс] / Водоподготовка для энергетики. – Режим доступа: <https://diasei.ru/article/vodopodgotovka-dlya-energetiki/>. – Дата доступа: 18.04.2023.
2. Azo material [Электронный ресурс] / Graph Air: Революционная фильтрация воды с использованием графена. – Режим доступа: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19275> /. – Дата доступа: 18.04.2023.
3. Геракл [Электронный ресурс] / Экологичные фильтры для очистки воды. – Режим доступа: <https://grafenum.ru>. – Дата доступа: 18.04.2023.
4. BBC news [Электронный ресурс] / Изобретен графеновый фильтр для опреснения морской воды. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-39487686>. – Дата доступа: 18.04.2023.

УДК 621.311.019.3

ДЕАЭРАЦИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН DEAERATION IN STEAM TURBINE CONDENSERS

А.О. Боровикова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pronkevichlena@tut.by

A. Borovikova

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

***Аннотация:** выполнен анализ деаэрации в конденсаторах паровых турбин с учетом всех их особенностей и нюансов.*

***Abstract:** the analysis of deaeration in steam turbine condensers is carried out taking into account all their features and nuances.*

***Ключевые слова:** деаэрация, конденсатор, паровые турбины, конденсация пара, энергетика.*

***Keywords:** deaeration, condenser, steam turbines, steam condensation, energy.*

Введение

Деаэрацией принято считать обработку воды в результате которой удаляют из нее растворенные газы и воздуха. Данное действие предназначено для деаэраторов и конденсаторов паровых турбин и сильно влияет на наличие кислорода в воде. Чтобы этот процесс в паровых турбинах произошел, вода, поступающая в конденсатор, не может превышать 5–10°C. То есть близка к температуре насыщения греющего пара. Сами же газы устраняются путем нагрева конденсата паром в итоге смешивания и конденсации пара.

Основная часть

На данный момент главным способом устранения коррозии оборудования является деаэрация питательной воды. Но для установок средней и большой мощности применяют специальные термические деаэраторы, так как дегазация воды не дает нужного результата. Этот метод позволяет обескислородить воду и является наиболее распространенным.

Важным моментом при такой деаэрации является уплотнение аппаратов и взаимосвязь трубопроводов с запорной арматурой, сальников насоса и т.д., чтобы не было подсоса воздуха. Проблемой еще является и то, что эти дефекты очень трудно обнаружить, а это все влияет на хорошую деаэрацию [1].

Как уже говорилось ранее, в конденсатор поступает смесь пара с воздухом, она и называется паровоздушная смесь. Наличие воздуха в конденсаторе очень сильно влияет на тепловые процессы. По мере того как движется паровоздушная смесь к месту отсоса, температура самого пара уменьшается. Потому что давление насыщенного пара уменьшается из-за наличия воздуха в смеси.

Весь процесс конденсации пара зависит от воздействия воздуха на температуру пара, поэтому, в основном, их разбивают на два этапа. Лишь только во втором этапе можно увидеть, как понижается температура пара, что еще и влияет на яркость теплопередачи. Следовательно, на каждый этап нужна своя теплообменная поверхность: зона массовой конденсации и воздухоохладитель. Воздухоохладитель также считается в энергетике хорошим методом, который позволяет воздействовать на конденсат и не давать ему переохлаждаться (рисунок 1).

Поэтому температура влияет на воздухоотсасывающее устройство таким образом, что чем меньше объем смеси и количество пара, удаляемого вместе с воздухом, то тем, меньше расходы энергии устройства.

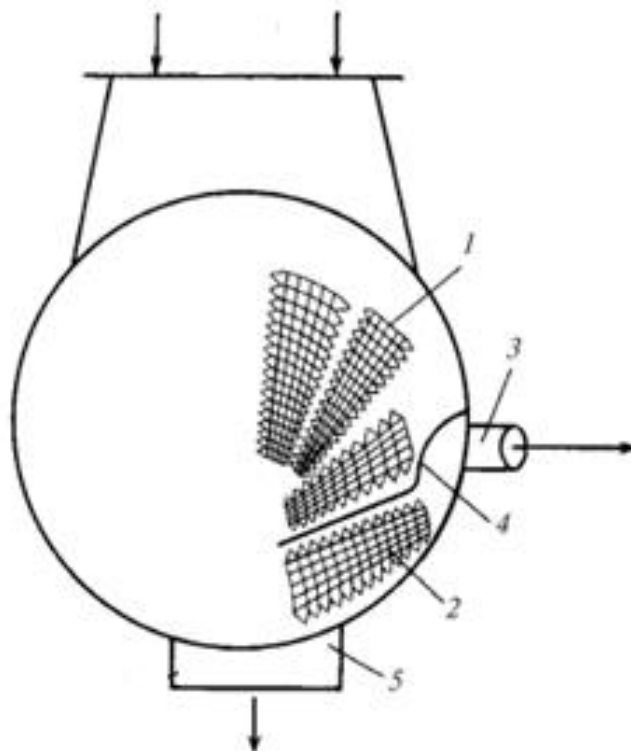


Рисунок 1 – схема конденсатора с разделением конденсата и воздуха:
1 – трубный пучок; 2 – воздухоохладитель; 3 – отсос паровоздушной смеси;
4 – паронаправляющий щит; 5 – конденсатосборник

Большой проблемой является маленький расход пара, так как деаэрация может не произойти. Но даже в этом случае в энергетике предусмотрено решение и это деаэрационные конденсатосборники (рисунок 2).

Есть еще один вариант усовершенствования деаэрации добавочной воды на основании добавления ее в паровое пространство через распылители. Также следует отметить, что отсос воздуха должен находиться дальше от пути стока струй и пленок основного конденсата. Поэтому очень важно не забывать о конденсате, который находится в воздухоохладителе и то, что он еще до начала совмещения с основным конденсатом, сильно подвергается

загрязнению газами. Что требует воздействовать на него сильной обработкой паром, чтобы исправить это.

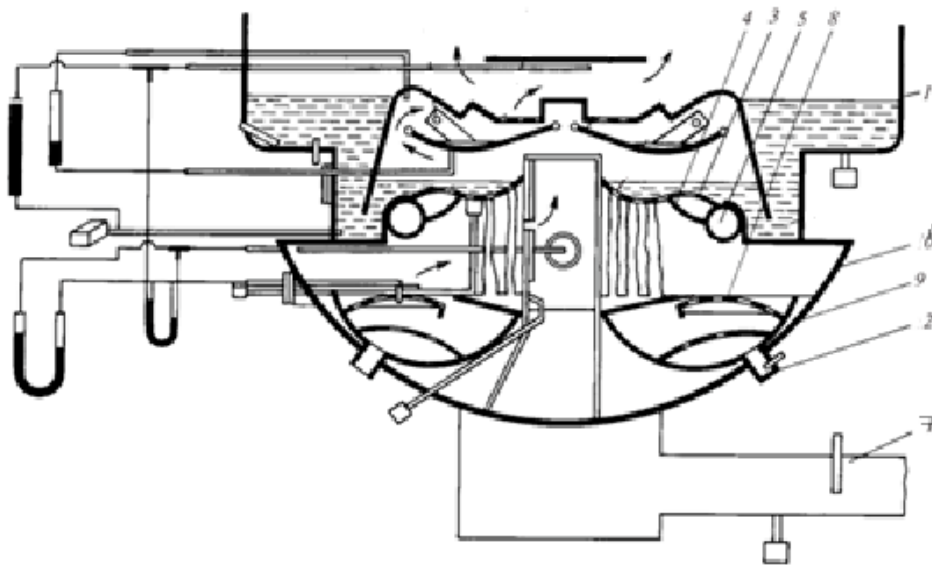


Рисунок 2 – Деаэрационное устройство конденсатора турбины Т-175/210-12,8 ТМЗ:

- 1 – конденсатор; 2 – патрубок подачи вскипающего конденсата рециркуляции;
 3, 8 – барботажные листы; 4 – камера подачи вскипающего горячего дренажа;
 5 – коллектор горячих дренажей; 6 – конденсатосборник; 7 – отводящий трубопровод деаэрированного конденсата; 9 – отводящийся канал для деаэрированного конденсата

Заключение

В результате важным моментом является поддержание высокой воздушной плотности вакуумной системы, включая конденсатор турбины, регенеративные подогреватели, что полностью зависит от контроля персонала за этим. Следовательно, важно тщательно следить за этим, ведь деаэрация сильно уменьшается в результате даже самых маленьких присосов воздуха.

Литература

1. Турбины тепловых электрических станций / А.Г. Костюк [и др.]; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
2. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учеб. пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

УДК 624.021

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ CORROSION PROTECTION OF METALS

А.И. Юнах, К.А. Жишко

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

vladmir70@rambler.ru

A. Yunakh, K. Zhishko

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

Аннотация: рассматривается эффективность применения антикоррозионного покрытия. Особое внимание уделено защитным покрытием от коррозии, таким как порошковое напыление, гальванизация, хромирование и другие виды.

Abstract: the effectiveness of the use of anticorrosive coating is considered. Special attention is paid to protective coatings against corrosion, such as powder spraying, galvanization, chrome plating, ceramic coating and other types.

Ключевые слова: коррозия, защита, покрытие, процессы.

Keywords: corrosion, protection, coating, processes.

Введение

В энергетической отрасли металлы используются в различных системах, агрегатах и конструкциях. Эти металлические элементы подвержены различным воздействиям, в том числе коррозии, что может привести к серьезным проблемам в работе энергетических установок. В связи с этим вопросы коррозии и методы защиты металлов от нее являются особенно актуальными в энергетической отрасли.

Цель настоящей научной работы заключается в изучении процесса коррозии металлов и различных методов их защиты в энергетической отрасли. Работа будет посвящена исследованию коррозионных процессов, происходящих в различных системах и конструкциях энергетических установок, а также анализу применяемых методов защиты от коррозии.

Будут рассмотрены различные методы защиты металлов от коррозии, такие как использование покрытий и электрохимические методы, например, катодная защита и анодная защита. Будут проанализированы преимущества и недостатки каждого метода защиты и определены наиболее эффективные методы защиты металлов от коррозии в энергетической отрасли.

Основная часть

Коррозия – это процесс разрушения металлических материалов под воздействием окружающей среды, который происходит из-за электрохимических реакций между металлом и окружающей средой. Коррозия приводит к снижению прочности и долговечности металлических конструкций, а также может вызвать аварийные ситуации.

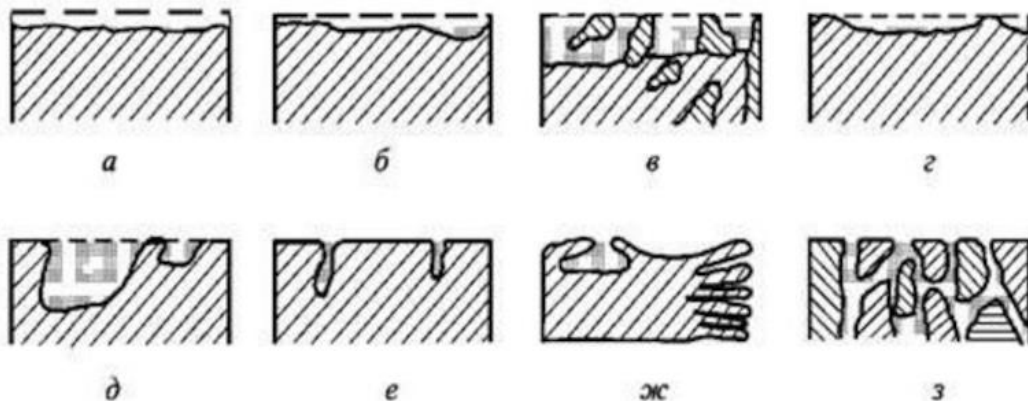
Строение коррозии включает в себя анодные и катодные реакции. В анодной реакции происходит растворение металла, при этом электроны выделяются на поверхности металла и образуется ион металла. В катодной реакции электроны соединяются с окислителем, что приводит к образованию ионов.

Опасность коррозии заключается в том, что она может привести к серьезным последствиям, особенно в энергетике. Например, коррозия трубопроводов может вызвать утечку опасных веществ, что может привести к авариям и чрезвычайным ситуациям. Коррозия также может привести к снижению эффективности работы оборудования и повышению затрат на ремонт и замену деталей. Поэтому защита от коррозии является важным аспектом в энергетике и других отраслях промышленности.

По строению коррозия бывает [3]:

- а. Сплошная равномерная.
- б. Сплошная неравномерная.
- в. Структурно-избирательная.
- г. Пятнами.
- д. Язвами.
- е. Точками.
- ж. Подповерхностная.
- з. Межкристаллитная.

по характеру разрушения поверхности
металла:



Виды коррозии: а – сплошная равномерная; б - сплошная неравномерная; в – структурно-избирательная; г – пятнами; д – язвами; е – точками (питтинговая); ж – подповерхностная; з - межкристаллитная.

3

Рисунок 1 – Строение коррозии [3]

Метод использования покрытий является одним из наиболее распространенных методов защиты металлов от коррозии. Его суть

заключается в нанесении на поверхность металла специального защитного покрытия, которое препятствует проникновению влаги, кислорода и других вредных веществ на поверхность.

Существует множество различных типов покрытий, которые могут использоваться для защиты металлов от коррозии, включая органические и неорганические покрытия, а также многослойные покрытия [2].

Органические покрытия включают в себя: лаки, краски и эпоксидные смолы, которые образуют тонкий слой на поверхности металла.

Неорганические покрытия включают в себя: разнообразные эмали и грунты на основе соединений кремния, фосфора, цинка и хрома, а также оксидов металлов (например, оксид титана).

Многослойные покрытия включают в себя комбинацию различных типов покрытий и материалов, нанесенных в несколько слоев. Это может быть сочетание органических и неорганических покрытий, покрытий с различными свойствами или разных цветов.

Одним из основных преимуществ метода использования покрытий является его относительно низкая стоимость по сравнению с другими методами защиты металлов от коррозии. Кроме того, покрытия могут быть нанесены на поверхность металла в любой форме и размере, что делает их удобными для использования в широком диапазоне приложений. Однако метод использования покрытий также имеет некоторые недостатки, включая возможность образования дефектов в покрытии, что может привести к проникновению коррозионных веществ на поверхность металла.

Таким образом, метод использования покрытий является эффективным и широко используемым методом защиты металлов от коррозии в энергетике. Его выбор зависит от конкретных условий эксплуатации оборудования и требований к его защите от коррозии.

Электрохимические методы защиты от коррозии включают использование электрохимических реакций для уменьшения скорости коррозии металла. Одним из примеров электрохимической защиты от коррозии является метод катодной защиты. Он основан на принципе создания электрической цепи между защищаемым металлом и электродом, который является катодом. При этом металл становится анодом и потенциал его поверхности повышается до такого уровня, что коррозия не может происходить.

Катодная защита имеет ряд преимуществ. Она применяется в случаях, когда невозможно нанести покрытие на защищаемую поверхность или, когда нанесение покрытия слишком сложно или дорого. Кроме того, катодная защита может использоваться для защиты больших конструкций, таких как суда, трубопроводы и мосты.

Однако, катодная защита также имеет свои недостатки. Она требует постоянного контроля и поддержания определенного уровня электрического потенциала на поверхности металла. Кроме того, для ее реализации может потребоваться большое количество энергии, что может быть дорого и неэффективно.

Еще одним методом электрохимической защиты от коррозии является метод анодной защиты. Он заключается в том, что металл, который нужно защитить, становится катодом, а другой металл или электрод – анодом. Этот метод наиболее эффективен для защиты мелких деталей.

Однако, метод анодной защиты также имеет свои недостатки. Он не подходит для защиты больших конструкций, так как требует большого количества энергии. Кроме того, он может привести к резкому повышению тока на поверхности металла, что может привести к электролизу воды и образованию водорода.

Таким образом, методы электрохимической защиты от коррозии имеют свои преимущества и недостатки. Выбор метода зависит от конкретных условий и требований, поэтому необходимо проводить тщательное исследование и анализ перед принятием решения о применении одного из методов.

Порошковое напыление – это метод покрытия, который используется для защиты металлических поверхностей от коррозии. Он основан на нанесении на поверхность специального порошкового материала, который затем превращается в твёрдую плёнку.

Процесс порошкового напыления начинается с тщательной подготовки поверхности металла, включающей очистку и обезжиривание. Затем порошок наносится на поверхность при помощи специального распылителя, который заряжает порошок электростатически, обеспечивая его равномерное распределение. После нанесения порошок нагревается до температуры, при которой он начинает плавиться и образовывать твёрдое покрытие на поверхности металла.

Одним из преимуществ порошкового напыления является то, что покрытие получается очень прочным и стойким к коррозии, а также к механическим воздействиям. При правильной подготовке поверхности и нанесении порошка покрытие получается равномерным и имеет высокую степень адгезии к металлу.

Однако, порошковое напыление имеет и свои недостатки. Во-первых, этот метод требует использования специального оборудования и квалифицированного персонала, что может увеличивать затраты на производство. Во-вторых, порошковое напыление может привести к возникновению дефектов, таких как трещины или неравномерное покрытие, если процесс нанесения не будет выполнен правильно.

Гальванизация – это процесс, при котором на поверхность металла наносится тонкий слой другого металла (чаще всего цинк), с помощью электрохимического процесса. Этот процесс является одним из методов защиты металлов от коррозии, поскольку гальванический слой на поверхности металла уменьшает его контакт с окружающей средой и защищает от коррозии.

Плюсы гальванизации [1]:

- эффективность: гальванизация является одним из наиболее эффективных способов защиты металлов от коррозии;

- долговечность: гальванические;
- декоративность: гальванические.

Минусы гальванизации [1]:

- ограниченность: гальванические покрытия могут быть нанесены только на поверхность металла, который может быть подвергнут электролизу;
- токсичность: некоторые составляющие гальванических растворов, такие как цианиды, могут быть токсичными и опасными для окружающей среды и здоровья людей;
- стоимость: гальванизация может быть дорогим процессом, особенно если требуется покрытие больших поверхностей или специальных типов металлов.

Хромирование является одним из методов покрытия металлов для защиты от коррозии и улучшения их внешнего вида. Процесс заключается в нанесении слоя хрома на поверхность металла путем электролиза раствора хромосодержащих соединений.

Среди преимуществ хромирования можно отметить [2]:

- высокая степень защиты от коррозии;
- улучшение внешнего вида металлической поверхности;
- повышение твердости и износостойкости покрытия;
- возможность получения различных оттенков и отделки.

Однако хромирование имеет и ряд недостатков:

- высокая стоимость процесса, связанная с затратами на оборудование, растворы и токоподводы;
- высокие экологические риски и негативный влияние на окружающую среду;
- возможное поглощение токсичных соединений хрома в организм при контакте с покрытыми поверхностями, что может повлечь за собой риск заболеваний.

Помимо этого, хромирование не рекомендуется для некоторых видов металлов, таких как алюминий, медь и их сплавы, так как процесс может вызвать деформацию или повреждение поверхности металла.

Метод диффузионной металлизации (ДМ) - это процесс нанесения металлического покрытия на поверхность материала путем взаимодействия металлического пара и поверхности основного материала в высокотемпературной атмосфере. Этот метод широко используется в энергетической отрасли для защиты металлических поверхностей от коррозии и износа. Процесс ДМ начинается с подготовки поверхности основного материала, которая должна быть очищена от загрязнений и окислов. Затем материал помещается в специальную камеру, где он нагревается до высокой температуры, при которой металлический пар начинает осаждаться на поверхности материала. В результате взаимодействия пара и поверхности материала происходит диффузионный процесс, в результате которого металлический пар проникает в поверхностный слой материала, образуя покрытие.

Заключение

На данный момент существует множество методов защиты оборудования от коррозии, выбрать метод, который поспособствует предотвратить вред коррозии стоит исходя из экономических соображений, эффективности, окружающей среды и самого оборудования, а на данный момент остаётся надеяться на то, что в ближайшем будущем будет изобретён антикоррозионный металл, который можно будет использовать в энергетике.

Литература

1. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник / А.А. Герасименко [и др.]; под общ. ред. А.А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с.

2. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2002. – 336 с.

1. Коррозия металлов [Электронный ресурс] / коррозия металлов. – Режим доступа: <https://myslide.ru/presentation/lekciya-8xАkorroziya-metallov/>. – Дата доступа: 16.04.2023.

УДК 621.311

**ИСПАРИТЕЛИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ (ИВМ)
FLASH EVAPORATORS (FE)**

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

pronkevichAV@mail.ru

T. Pozharitsky, S. Krutsikau

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассмотрены испарители мгновенного вскипания, их преимущества над традиционными испарителями. Целью изучения является выявление положительных сторон у испарителей мгновенного вскипания.*

***Abstract:** the article discusses instant boiling evaporators, their advantages over traditional evaporators. The purpose of the study is to identify the positive sides of instant boiling evaporators.*

***Ключевые слова:** испарители мгновенного вскипания(ИВМ), пар, традиционные испарители.*

***Keywords:** high temperature organic heat transfer fluids (HOT), steam, traditional evaporators.*

Введение

Испарители мгновенного вскипания (ИВМ) – это ключевые компоненты в производстве пара в современной энергетике. Испарители мгновенного вскипания используются в процессах, где требуется большое количество пара, таких как в тепловых электростанциях и промышленных процессах. Они обеспечивают быстрое преобразование жидкости в пар, что позволяет оптимизировать производственные процессы и снизить затраты на производство. В данной статье мы рассмотрим принцип работы ИВМ, их применение в энергетике и перспективы развития данной технологии [1].

Принцип работы испарителей мгновенного вскипания

Испарители мгновенного вскипания работают на основе принципа быстрого преобразования жидкости в пар. Этот процесс основан на явлении мгновенного вскипания, при котором жидкость быстро превращается в пар при определенных условиях [2]. Для того, чтобы произошло мгновенное вскипание, необходимо подогреть жидкость до определенной температуры и давления. Когда жидкость достигает этой точки, она мгновенно превращается в пар. ИВМ вырабатывает деаэрированную обессоленную воду, содержание кислорода не превышает 20–50 мкг/дм³. Исходя из этого мы можем сделать вывод, что испарители мгновенного вскипания может выполнять 3 функции:

1. Получение обессоленной воды.
2. Деаэрация обессоленной воды.
3. Подогрев поступающей воды.

Испарители мгновенного вскипания используются для быстрого преобразования жидкости в пар. Они обычно имеют спиральную форму и состоят из многочисленных трубок. Жидкость поступает в испаритель через входной клапан и протекает через трубки испарителя. Трубки испарителя нагреваются до высокой температуры, которая необходима для мгновенного вскипания. Когда жидкость проходит через трубки, она мгновенно превращается в пар и выходит из испарителя через выходной клапан.

Применение испарителей мгновенного вскипания в энергетике

Испарители мгновенного вскипания широко используются в энергетике, особенно на тепловых электростанциях. Они используются для производства пара, который затем используется для генерации электричества. Испарители мгновенного вскипания помогают оптимизировать производственные процессы и снизить затраты на производство.

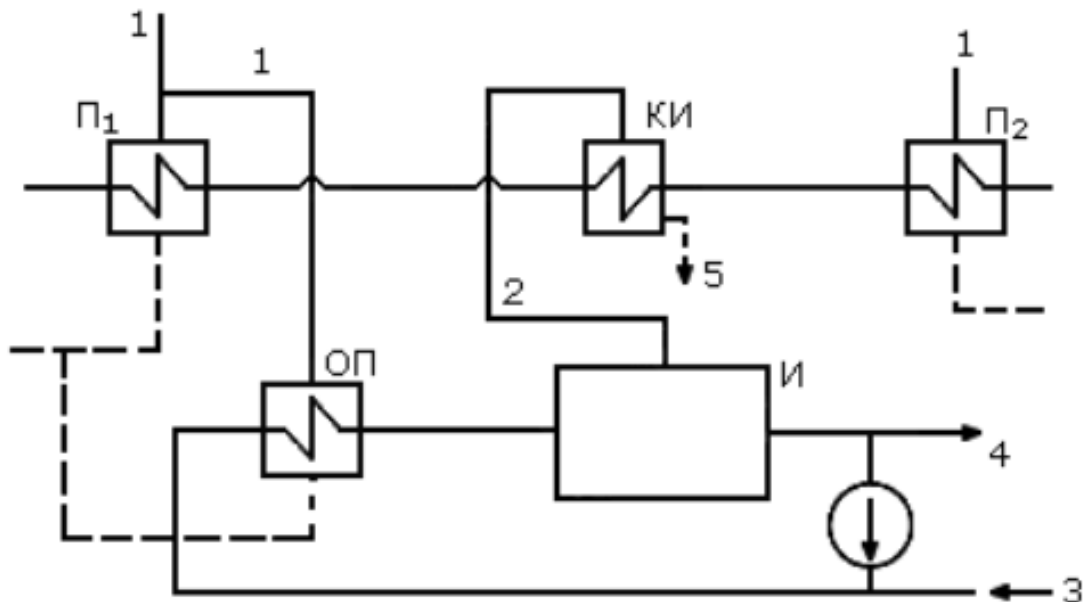


Рисунок 1 – Схема включения установки с испарителями мгновенного вскипания в тепловую схему турбоустановки [1]:

П_{1,2} – регенеративный подогреватель; ОП – основной подогреватель; КИ – конденсатор испарителя; 1 – подвод пара из отбора турбомашины; 2 – отвод втор. пара; 3 – подвод исходной воды; 4 – продувка; 5 – отвод дистиллята

Схема включения установки с испарителями мгновенного вскипания в тепловую схему турбоустановки (рисунок 1). Часть отборного пара, направляемого в регенеративный подогреватель, поступает в основной подогреватель испарительной установки, где исходная вода нагревается. Подогретая вода из основного подогревателя поступает в испаритель-расширитель, давление в котором ниже давления насыщения подогретой воды. Разница температур приводит к вскипанию воды. Образовавшийся пар отводится в конденсатор, где конденсируется потоком основного конденсата турбоустановки. Неиспарившаяся в испарителе-расширителе вода, частично

сбрасывается в виде продувки, а большая ее часть вновь поступает в основной подогреватель вместе с подводимой исходной водой.

Перспективы развития технологии ИВМ

Технология испарителей мгновенного вскипания продолжает развиваться, и существует несколько направлений, которые могут привести к улучшению этой технологии. Одно из направлений-это улучшение материалов, используемых для производства испарителей. Такие материалы, как керамика и металлокерамика, могут улучшить термическую стойкость и эффективность испарителей мгновенного вскипания.

Другое направление-это использование новых технологических решений, таких как управление процессом испарения через программное обеспечение, что может увеличить эффективность и точность процесса. Также исследования направлены на создание испарителей мгновенного вскипания, которые могут работать с более широким спектром жидкостей, что может расширить область применения данной технологии.

Одним из главных преимуществ испарителей мгновенного вскипания является их высокая эффективность и экономичность. Они позволяют производить большое количество пара за короткий период времени, что снижает затраты на производство. Кроме того, испарители мгновенного вскипания обеспечивают более стабильный процесс производства пара, чем традиционные испарители.

Однако, существуют и некоторые недостатки испарителей мгновенного вскипания. Они могут быть неэффективными при работе с жидкостями, которые имеют высокую вязкость или содержат твердые частицы. Также, при работе испарителей мгновенного вскипания могут возникать проблемы с образованием конденсата, что может привести к снижению эффективности процесса. Несмотря на эти недостатки, испарители мгновенного вскипания продолжают быть важными компонентами в производстве пара в энергетике и других отраслях промышленности.

Заключение

Испарители мгновенного вскипания являются важными компонентами в производстве пара в энергетике. Они обеспечивают быстрое преобразование жидкости в пар, что позволяет оптимизировать производственные процессы и снизить затраты на производство. Технология испарителей мгновенного вскипания продолжает развиваться, и новые материалы и технологические решения могут привести к дальнейшему улучшению эффективности и точности данной технологии.

Другим преимуществом испарителей мгновенного вскипания является их способность работать в условиях повышенных давлений и температур. Это позволяет использовать их в различных областях промышленности, включая нефтяную и газовую промышленность, а также в производстве пищевых продуктов и фармацевтических препаратов.

В будущем, технология испарителей мгновенного вскипания продолжит развиваться и улучшаться. Исследования направлены на создание более эффективных и точных испарителей, которые могут работать с различными

жидкостями и производить пар с большей энергоэффективностью. Также, использование новых материалов и технологических решений может привести к созданию более долговечных и стабильных испарителей мгновенного вскипания.

Литература

1. Котельные установки и парогенераторы: Учебно-методическое пособие для ВУЗов / Ю.Ц. Бадмаев, Н.С. Хусаев, М.Б. Балданов. – Лань, 2022. – 688 с.
2. Котельные установки: Учебник / Е.А. Бойко. – Инфра-Инженерия, 2021. – 668 с.

УДК 621.039

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ
ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ
USE OF RESIDUE HEAT RELEASE OF SPENT NUCLEAR FUEL FOR
HEATING INDUSTRIAL PREMISES**

Д.П. Новицкая, В.А. Чернышова

Научные руководители – И.А. Некало, ассистент, И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь
nekalobntu.by, yevseyenko@bntu.by

D. Novitskaya, V. Chernyshova
Supervisors – I. Nekalo, assistant, I. Yevseyenko, assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной научной работе рассматривается возможность использования тепла, которое будет сниматься с отработавшего ядерного топлива (далее – ОЯТ), и направляться, вначале, на тепловой насос для повышения термических параметров, а после на нужды потребителя.

Abstract: this scientific paper considers the possibility of using heat that will be removed from spent nuclear fuel, and sent, first, to a heat pump to increase thermal parameters, and then to the needs of the consumer.

Ключевые слова: атомная электрическая станция; отработавшее ядерное топливо; тепловые насосы.

Keywords: nuclear power plant; spent nuclear fuel; heat pumps.

Введение

В настоящее время существуют две проблемы в области энергетики: мировые выбросы углекислого газа и нестабильность цен на невозобновляемые природные энергетические ресурсы. Одним из решением этих проблем может стать развитие ядерной энергетики. Это направление активно развивается не только среди молодежи. Все большее количество стран сегодня склоняются к строительству АЭС. Главным недостатком ядерной энергетики является отработавшее ядерное топливо, которое проходит долгий путь от момента извлечения из реактора и до момента захоронения. Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), после извлечения из реактора, помещают в бассейн выдержки, для снятия остаточного тепловыделения и уменьшения радиоактивности, где хранится не менее 3х лет.

Хранение отработавшего ядерного топлива является длительным этапом любого ядерного топливного цикла. После выдержки в бассейнах выдержки ОЯТ направляется в хранилища мокрого или сухого хранения, которые могут быть расположены либо на территории самой АЭС, либо на территории вблизи производств по переработке ОЯТ, где может храниться еще в течении 20 лет. После длительных хранений ОЯТ отправляется на переработку и захоронение.

На длительный отвод тепла от ОЯТ затрачивается огромное количество ресурсов в связи с чем возникает потребность полезного использования остаточного тепловыделения отработавшего ядерного топлива.

Основная часть

На реакторах ВВЭР-1200 используется ядерное топливо с обогащением до 4,7% общей загрузкой в 163 тепловыделяющие сборки (далее – ТВС), общая масса уранового топлива в которых составляет около 80 т. Через 3–4 года все ТВС в активной зоне ядерного реактора обновляются свежие, это называется кампанией ядерного реактора. По прохождению кампании в топливе появляется большое количество продуктов деления (далее – ПД) (осколки, появляющиеся при реакции деления урана) и актиноиды (нуклиды отдельного семейства таблицы Менделеева с атомным номером 89-103).

Под радиационными характеристиками ОЯТ понимают его активность, остаточное тепловыделение, радиоизотопный состав (примерная массовая концентрация актиноидов и продуктов деления в объеме ОЯТ), период полураспада и активность актиноидов и продуктов деления. В таблице 1 приведено примерное содержание основных радионуклидов в ОЯТ [1]. Радиационные характеристики облученного топлива зависят от обогащения свежих ТВС и глубины выгорания.

Исходя из трехлетней реакторной кампании, с начальным обогащением в 4,4% и выгоранием 40,5 МВт·сут/тU образуются продукты деления и актиноиды. В таблице 1 приведено содержание некоторых изотопов, количество ядер которых было посчитано по следующей формуле:

$$N_a = 2 \cdot \frac{M_{пд}}{A} \cdot N_A \cdot k \cdot \rho = 0,8172 \cdot \frac{M_{пд}}{A} \cdot N_A, \quad (1)$$

где N_A – число Авогадро;

A – атомный вес родительского изотопа;

$M_{пд}$ – масса продуктов деления, кг/тU;

$k = 0,404$ т/ОТВС;

$\rho = 1,0114$ – коэффициент превышения массы родительского изотопа над массой продуктов деления, коэффициент 2 учитывает образование двух атомов продуктов деления и 3 одного родительского ядра.

Количество трансурановых элементов (далее – ТЭ) рассчитывает по следующей формуле:

$$N_{ТЭ} = \frac{M_{ТЭ}}{A} \cdot N_A \cdot k, \quad (2)$$

где $M_{ТЭ}$ – масса трансурановых элементов, кг/тU.

Под действием радиационного захвата в ядерном реакторе нарабатываются изотопы трансурановых элементов такие как Pu, Am, Cm, Np, и т.д.

В отработавших ТВС, после извлечения из активной зоны, все еще продолжают спонтанные процессы радиоактивных распадов, сопровождающиеся вылетом различных частиц различной кинетической энергии, которая, при торможении частиц в веществе, переходит в тепловую из-за чего ОЯТ сильно разогревается.

При длительной выдержке часть изотопов распадается по закону радиоактивного распада, что приводит к снижению остаточного тепловыделения.

Таблица 1 – Содержание ПД и ТЭ в ОТВС [1]

Изотоп	Масса ПД, кг/тU	Количество ПД атом/ОТВС	Масса ТЭ, кг/тU	Количество ТЭ, атом/ОТВС
U-235	26,95	$5,64 \cdot 10^{25}$	10,45	$1,08 \cdot 10^{25}$
U-236			5,73	$5,9 \cdot 10^{25}$
U-238	2,67	$5,52 \cdot 10^{24}$	928	$9,84 \cdot 10^{24}$
Np-237			0,732	$7,53 \cdot 10^{26}$
Pu-239	12,9	$3,25 \cdot 10^{25}$	5,64	$5,74 \cdot 10^{24}$
Pu-240			2,33	$2,36 \cdot 10^{24}$
Pu-241	2,18	$5,44 \cdot 10^{24}$	1,50	$1,51 \cdot 10^{24}$
Pu-242			0,576	$5,79 \cdot 10^{23}$
Am-243			0,106	$1,06 \cdot 10^{23}$
Cm-244			0,0315	$3,14 \cdot 10^{22}$

Мощность остаточного тепловыделения уменьшается по следующей формуле:

$$W_{\beta,\gamma} = \sum_i N_{\text{ПД}}^i \cdot \lambda_i \cdot \exp(-\lambda_i t) \cdot E_{\beta+\gamma}^i \quad (3)$$

где $N_{\text{ПД}}$ – суммарное содержание всех ПД;

λ_i – постоянная распада для i – го нуклида, с^{-1} ;

t – время, прошедшее от окончания облучения до момента расчета, с;

$E_{\beta+\gamma}^i$ – полная энергия распада данного нуклида, МэВ [2].

Для получения тепловыделения тепла ОЯТ следует учесть еще и энергию при α – распаде ТЭ. Расчет тепловыделения ТЭ производится по следующей формуле:

$$W_{\alpha} = \sum_i N_{\text{ТЭ}}^i \cdot \lambda_i \cdot \exp(-\lambda_i t) \cdot E_{\alpha}^i \quad (4)$$

В таблице 2 приведено остаточное тепловыделение ОЯТ на одну ТВС реактора ВВЭР с обогащением 4,4%.

Таблица 2 – Остаточное тепловыделение ОЯТ [1]

Параметр	Время хранения, лет					
	0,5	1,0	2,3	3,0	10	30
$(W_{\alpha} + W_{\beta,\gamma}),$ Вт/ОТВС	9610	7940	4964	3870	587	254

Для использования остаточного тепловыделения ОТВС предлагается 2 схемы (рисунки 1, 2) с различными устройствами.

Отработавшие ТВС в количестве не менее одной загрузки ядерного реактора последних поколений ВВЭР (163 штуки) загружается в реактор-утилизатор, либо в бассейны мокрого хранения, где теплоноситель первого контура снимается остаточное тепловыделение и направляет в испаритель второго контура. В испарителе второго контура находится хладагент, которые способен испаряться при низких температурах. Испарения направляются в компрессор, где происходит резкое увеличения давления хладагента и температура соответственно. После чего нагретый теплоноситель второго контура направляется в конденсатор, где отдает свое тепло потребителю третьего контура.

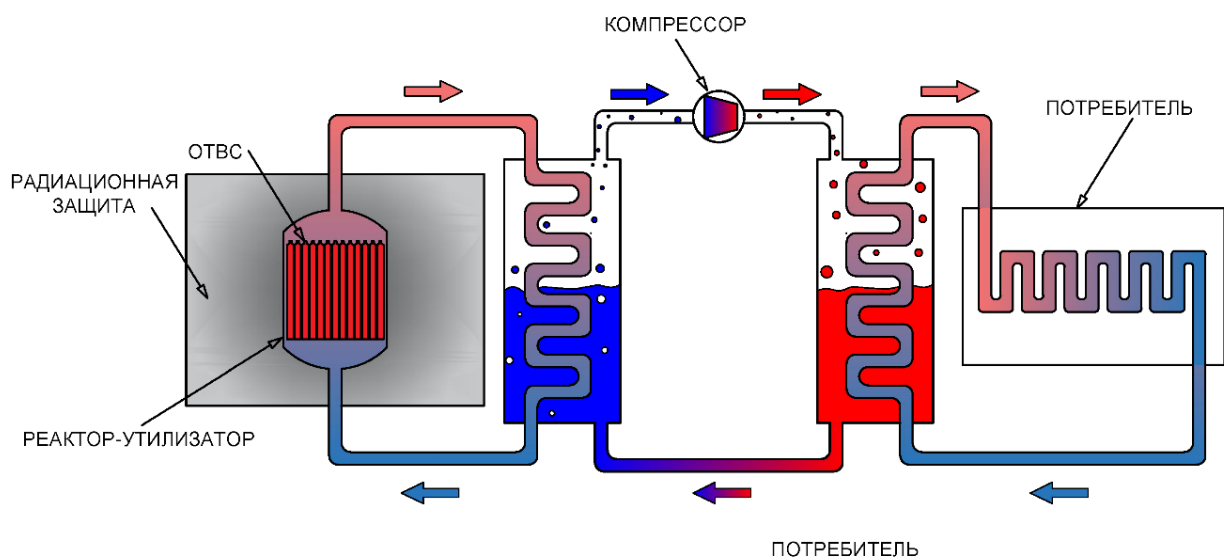


Рисунок 1 – Схема циркуляционного контура с реактором-утилизатором [Источник: собственная разработка автора]

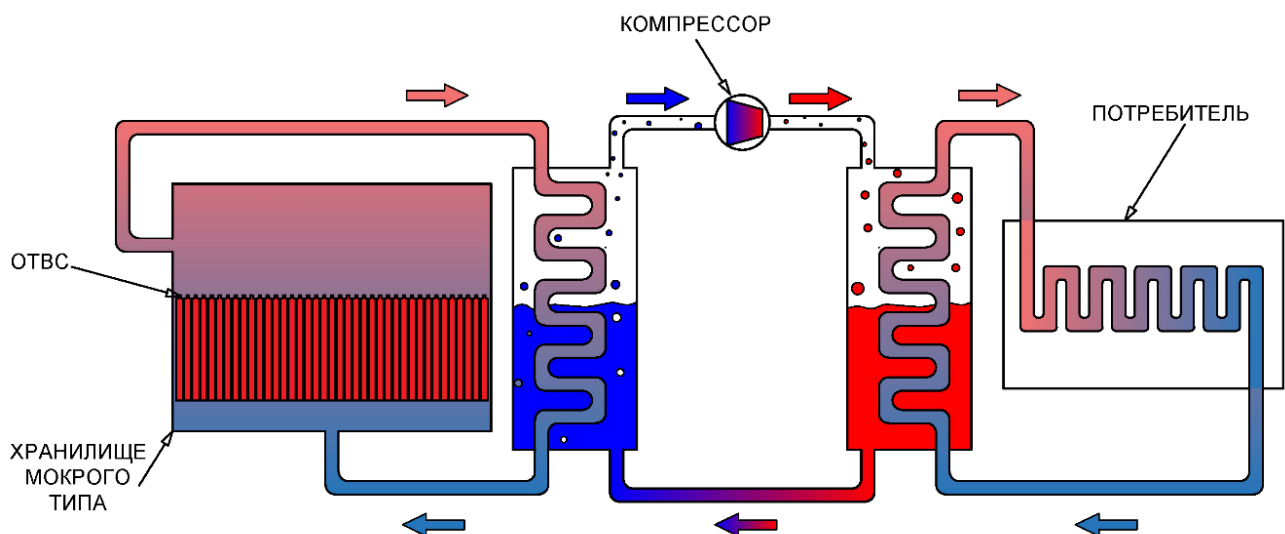


Рисунок 2 – Схема циркуляционного контура с бассейном [Источник: собственная разработка автора]

В схеме в реакторо-утилизаторе есть одно преимущество – работа циркуляционного контура под давлением и достижение более высоких температур теплоносителя.

При расчете схемы с реакторо-утилизатором необходимо задать начальные параметры. Рассматривается реактор-утилизатор с объемом загружаемых ОТВС в количестве 163 шт. Вся загрузка ОТВС будет обновляется каждые 4 года.

Во время ежегодной перегрузки реактора ВВЭР-1200 отсюда убирается 25% от общей загрузки (163 шт). В итоге получается, что каждый год в реакторо-утилизаторе будет обновляется 40–41 ОТВС.

Для расчета полной схемы необходимо посчитать какую массу теплоносителя способен нагреть реактор-утилизатор используя ОТВС.

Принимаем температуру холодной петли 20°C, потому что температура кипения выбранного хладагента (фреон-11) находится в пределах 25°C. Значит предполагаем температуру на выходе из реактора-утилизатора 50°C.

Расчет будет производиться по формуле (5) для следующих стадий: 1 – свежее ОТВС; 2 – ОТВС с временем хранения 1 год; 3 – ОТВС с временем хранения 2 года; 4 – ОТВС с временем хранения 3 года.

Принимаем теплоемкость теплоносителя первого контура (легкая вода) $c = 4,19$ кДж/(кг·°C).

$$Q_i = Q_{\text{ОТВС}}^i \cdot n = 9610 \cdot 43 = 413,230 \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{ОТВС}}^i$ – остаточное тепловыделение свежего ОТВС (таблица 2), Вт/ОТВС; n – количество ОТВС.

В таблице 3 приведены результаты вычисления определенного количества ОТВС на разных стадиях.

Таблица 3 – Результаты расчетов остаточного тепловыделения

Стадия	Остаточное тепловыделение, кВт·ч
1	413,230
2	333,480
3	237,342
4	162,540
Общая	1147 кВт или 4129,2 МДж

Масса теплоносителя, которую способен нагреть реактора-утилизатор составит:

$$m = \frac{Q}{c \cdot (t_2 + t_1)} = \frac{4129200}{4,19 \cdot (50 - 20)} = 32840 \text{ кг} \quad (6)$$

Q – количество теплоты, отдающие 163 ОТВС, кДж;

c – теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°C);

t_1 и t_2 – температуры теплоносителя после и перед входом в устройство для снятия остаточного тепловыделения.

Расход воды приблизительно составит 33 тонны в час воды через реактор-утилизатор.

Расчет мощности теплового насоса выполняется по следующей формуле:

$$R = (kVT)/860, \quad (7)$$

где R – потребляемая мощность помещения (кВт/час);

k – средний коэффициент потерь тепла зданием: например, равно 1 – отлично утепленное здание, а 3 – барак из досок;

V – суммарный объем всего отапливаемого помещения, в м³;

T – максимальный перепад температуры между улицей и внутри помещения;

860 – значение, необходимое для перевода получившихся ккал в кВт.

Известно, что 1 метр коллектора дает примерно 30 Вт. Другими словами 1 кВт мощности насоса требует 22 метра труб. Зная требуемую мощность насоса, можно рассчитать количество труб для изготовления контура.

Рассчитаем мощность насоса для помещения со следующими исходными данными: отапливаемая площадь 1000 м²; высота потолков 2,8 м; минимальная температура зимой на улице -25 градусов; комфортная температура в помещении +22 градуса.

Объем отапливаемого помещения будет равен 2800м³. Мощность теплового насоса составит 439 кВт/час. Для его функционирования циркуляционного контура нам потребуется коллектор общей длиной не менее 9658 м.

Заключение

Было предложено 2 схемы с различными устройствами для использования остаточного тепловыделения ОТВС. Также установлено, что в схеме с реактором-утилизатором есть одно преимущество – работа циркуляционного контура под давлением и достижения более высоких температур теплоносителя.

Массовый расход воды через реактор-утилизатор или через бассейн мокрого хранения составит приблизительно 33 тонны в час воды через реактор-утилизатор. Для помещения площадью 1000м² подойдет насос с мощностью не менее 439 кВт.

Литература

1. Письменецкий, С.А., Оценка остаточного тепловыделения отработавшего топлива ВВЭР-1000 / С.А. Письменецкий [и др.] // Харьков: ННЦ «Харьковский физико-технический институт», 2007. – 4 с.

2. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: Справочник / В.М. Колобашкин [и др.]; под общ. ред. В.М. Колобашкина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 382с.

УДК 662.997

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С
НАНОЧАСТИЦАМИ НА АЭС
USE OF A SOLAR CONCENTRATOR WITH NANOPARTICLES AT NPP**

Э.В. Авсюкевич, В.М. Кузьмич

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

E. Avsyukevich, V. Kuzmich
Supervisor – I. Nekalo, assistant

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной научной работе рассматривается возможность использования параболоцилиндрического солнечного концентратора с наножидкостью, в качестве теплоносителя, для улучшения технико-экономических показателей атомных электрических станции (далее – АЭС) с реакторами типа ВВЭР.*

***Abstract:** in this scientific work, the possibility of using a parabolic-cylindrical solar concentrator with nanofluid as a heat carrier is considered to improve the technical and economic indicators of nuclear power plants (NPP) with VVER-type reactors.*

***Ключевые слова:** атомная электрическая станция; параболоцилиндрический солнечный концентратор; наночастицы; наножидкость; высокотемпературный теплоноситель.*

***Keywords:** nuclear power plant; parabolic-cylindrical solar concentrator; nanoparticles; nanofluid; high temperature coolant.*

Введение

Все АЭС с реакторами типа ВВЭР имеют довольно высокий срок окупаемости и низкий коэффициент полезного действия (далее – КПД) в сравнении с тепловыми станциями схожей мощности. Низкий КПД связан с работой АЭС на низких параметрах из-за конструкционных материалов, что способствует маленькому теплоперепаду в паротурбинной установке, а это, в свою очередь, имеет влияние на выдаваемую электрическую мощность.

Для повышения термодинамических характеристик пара, выходящего из парогенератора, предлагается использование дополнительного циркуляционного контура, теплоноситель которого будет нагреваться в параболоцилиндрических солнечных концентраторах (далее – ПЦК).

Для подогрева пара с начальной температурой в 285,8°С на выходе из ПГВ-1000МКП необходимо затратить большие объемы теплоносителя, который способен выдерживать температуры от 350°С и выше. Для подогрева воды до таких температур требуется поднять давление выше 10 МПа, что сильно скажется на количестве конструкционных материалов, используемых в устройствах и трубопроводах, а это, в свою очередь, скажется на стоимости проекта. Поэтому в качестве теплоносителя в данной работе предлагается

использовать наножидкость на основе синтетического высокотемпературного теплоносителя и различных наночастиц.

Основная часть

Наножидкости делаются на основе наночастиц и базовой жидкости путем диспергирования ультразвуком для стабильности дисперсионной системы и отсутствия слипания наночастиц в агломераты. Для расчета термодинамических параметров наножидкости, необходимо рассмотреть дисперсионную среду и диспергированное вещество по отдельности. В качестве дисперсионной среды предлагается использование высокотемпературного синтетического теплоносителя SCHULTZ S740. В качестве диспергированных веществ предлагается использование наночастицы графита и оксида железа (III), характеристики которых приведены в таблице.

Циркуляционный контур, в котором будет находится наножидкость, будет находится под давлением не более 0,5 МПа. И температура нагретого теплоносителя должна составлять 350°C. На рисунке 1 изображена схема циркуляционного контура, использующего в качестве теплоносителя наножидкость. Предполагается, что пароперегреватель, по трубкам которого будет циркулировать наножидкость, а в межтрубное пространство будет поступать пар от парогенераторов, будет иметь теплоперепад в 15°C.

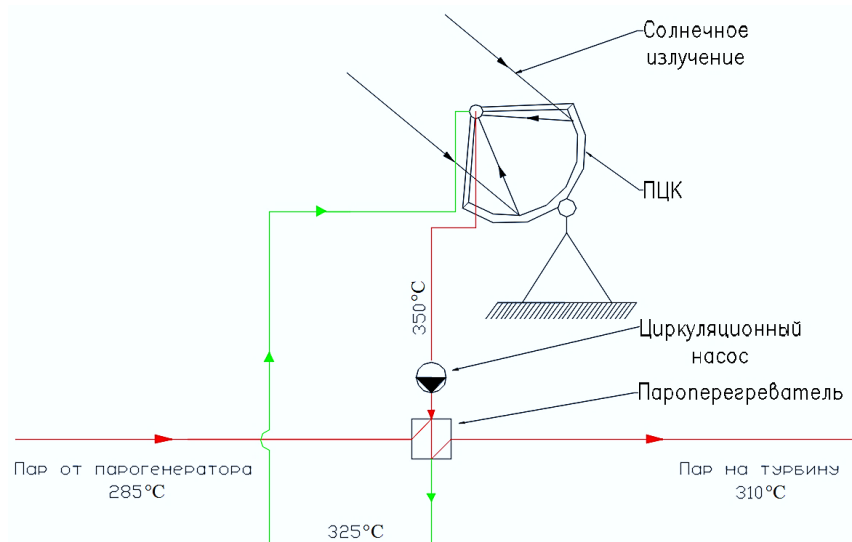


Рисунок 1 – Циркуляционный контур с ПЦК [Источник: собственная разработка автора]

Принимаем температуру наножидкости приходящую в пароперегреватель 350°C, а температуру наножидкости на выходе из пароперегревателя в 325°C. Теплоемкость и плотность наножидкости на основе графита и оксида железа (III) будет рассчитывается по суммарной массовой концентрации этих вещества в наножидкости. Принимаем массовую концентрацию наночастиц в наножидкости 3%.

Был выбран ПЦК с системой трекинга Gaia PT-20 Shandong, использующий прозрачные вакуумные трубки из боросиликатного стекла. Характеристики выбранного ПЦК приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики солнечного концентратора [1]

Характеристики	Параметры
Длина модуля	6 м
Площадь общей диафрагмы 1го модуля	15,3 м ²
Рабочая температура	от 370°С
КПД	62,8 %
Стоимость	1600 \$

Эффективность ПЦК должна выражаться через КПД, который определяется как отношение производимой полезной энергии к полной солнечной энергии, принятой концентратором, однако использование ПЦК с наножидкостью увеличивает его эффективность до 20 %. Это связано с нагревом наножидкости в объеме, а не только на зачерненной стенке. Таким образом КПД ПЦК будет рассчитываться последующей формуле:

$$\eta = \frac{Q_U}{G_0 S_a}, \quad (1)$$

где Q_U – полезная энергия кДж;

S_a – площадь незатененной апертуры ПЦК, принимаем 15 м² для одного модуля;

G_0 – плотность потока прямой солнечной радиации, принимаем 200 Вт/м² [2].

Зная значение полезной энергии, можно рассмотреть температуру жидкости на выходе теплоприемника [3]:

$$T_{f,L} = T_{f,0} + \frac{Q_U}{m \cdot C_p / 3,6}, \quad (2)$$

где m – массовая скорость потока жидкости в теплоприемнике, принимаем 26000 кг/ч;

C_p – средняя теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°С);

$T_{f,0}$ – входная температура жидкости, принимаем 325°С.

На АЭС с реакторами ВВЭР-1200 пар вырабатывается в парогенераторах ПГВ-1000МКП объемом 1605 т/ч на один парогенератор. Значит суммарный расход пара, проходящий через пароперегреватель составит 6420 т/ч = 1783 кг/с.

При выборе оборудования для циркуляционного контура необходимо произвести расчет расхода наножидкости в пароперегревателе:

$$G_{\text{нж}} = \frac{Q_{\text{пп}}}{c_{\text{нж}} \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (3)$$

где $c_{\text{нж}}$ – удельная теплоемкость наножидкости, кДж/(кг·°С);

t_1, t_2 – начальная и конечная температура наножидкости при прохождении через пароперегреватель, °С;

$Q_{пп}$ – количество теплоты переданное пару от наножидкости через пароперегреватель, кДж, и рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{пп} = c_{п} \cdot G_{п}(t_2 - t_1), \quad (4)$$

где t_1, t_2 – температура перед пароперегревателем и после соответственно, принимаем $t_1 = 285^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 310^{\circ}\text{C}$;

$c_{п}$ – удельная теплоемкость пара при среднем диапазоне температур t_1 и t_2 в 297°C и давлении 7 МПа, $c_{п} = 4,45$ кДж/(кг · °С).

В таблице 2 приведены результаты расчета циркуляционного контура с ПЦК.

Таблица 2 – Результаты расчета циркуляционного контура с ПЦК [Источник: собственная разработка автора]

Характеристика	Результат
Плотность и теплоемкость графитовой наножидкости	813,15 кг/м ³ ; 2,3881 кДж/(кг · °С)
Плотность и теплоемкость наножидкости на основе оксида железа (III)	905,85 кг/м ³ ; 2,3893 кДж/(кг · °С)
Количество полезной энергии ПЦК (Q_U)	1559,88 МДж
Температура на выходе из ПЦК ($T_{f,L}$)	350°С
Количество теплоты пароперегревателя ($Q_{пп}$)	198,40 МДж
Расход наножидкости через ПП ($G_{нж}$)	3320 кг/с
Количество линий ПЦК	460 шт.
Количество модулей ПЦК	92 тыс.

На рисунке 2 изображена тепловая схема турбоустановки К-1200-6,8/50 с ПЦК.

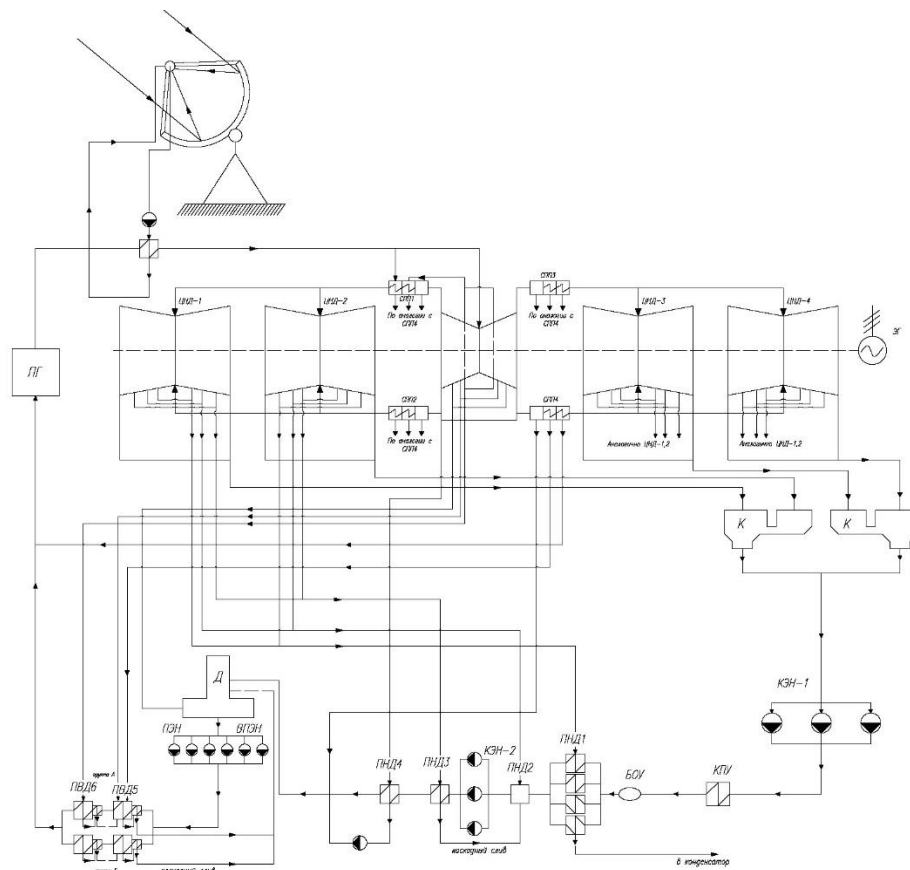


Рисунок 2 – Тепловая схема турбоустановки К-1200-6,8/50 с ПЦК [Источник: собственная разработка автора]

В модернизированной схеме принимаем лишь физическое увеличение цилиндров турбины, в то время как давление и температуру отборов оставляем, как и в схеме без модернизации. В схеме с ПЦК произошло изменение энтальпий всех отборов (таблица 3). Это связано с изменением начальных параметров пара.

Таблица 3 – Параметры отборов пара из турбины К-1200-6,8/50 [4]

№ отбора	Потребитель греющего пара	p, МПа	t, °С	h, кДж/(кг · °С)	h _{ПЦК} , кДж/(кг · °С)
-	ПП2	6,56	283,8	2769,23	2888,943
I	ПП1	2,6	226,1	2638,23	2737,233
	ПВД6				
II	ПВД5	1,94	207,6	2586,53	2690,725
III	Деаэратор	0,86	173,4	2481,57	2567,725
IV	ПНД4	0,58	157,7	2406,69	2510,417
	Сепаратор				
V	ПНД3	0,14	138,9	2751,07	2810,483
VI	ПНД2	0,053	82,8	2674,451	2665,93
VII	ПНД1	0,025	65	2497,16	2556,937

Термический КПД определяется по следующей формуле:

$$\eta_t = \frac{\bar{H}}{h_0 - h_{\text{ПВ9}}} \quad (5)$$

где \bar{H} – теплоперепад в турбине, кДж/(кг · °С);
 h_0 – энтальпия с начальными параметрами пара кДж/(кг · °С);
 $h_{\text{ПВ9}}$ – энтальпия питательной воды после последнего ПВД, принимаем 940,61 кДж/(кг · °С).

Электрическая мощность турбоустановки:

$$N_э = G_0 \cdot \bar{H} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (6)$$

где $N_э$ – электрическая мощность турбины;
 η_m, η_g – механический КПД и КПД генератора.

Для технико-экономических расчетов принимаем: минимальные удельные капиталовложения для АЭС примем 4100 \$/кВт; минимальные удельные капиталовложения для ПЦК примем 2500 \$/кВт; КПД АЭС без модернизации 36%.

Чистая приведенная стоимость (NPV) будет рассчитываться по формуле:

$$NPV = - \sum_{t=1}^{t=T_{\text{стр}}} \frac{K_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_{\text{экс}}}^{t=T_{\text{пи}}} \frac{\Pi_t}{(1+r)^t} - \frac{C_{\text{ос}}^{\text{л}}}{(1+r)^{T_{\text{пи}}}} \quad (7)$$

где K_t – капиталовложения в год строительства t , млн.\$;
 Π_t – прибыль в год эксплуатации t , млн.\$;
 $C_{\text{ос}}^{\text{л}}$ – ликвидная стоимость основных средств, принимаем 10% от полных капиталовложений, млн.\$;

r – реальная ставка рефинансирования, принимаем 11%;

$T_{\text{стр}}$ – время строительства станции, принимаем 7 лет;

$T_{\text{экс}}$ – время начала эксплуатации станции, с 5 лет первый энергоблок;

$T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, для АЭС 60 лет.

Изменения технико-экономических показателей тепловой схемы АЭС с реактором ВВЭР-1200 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты технико-экономических показателей [Источник: собственная разработка автора]

№	Параметр	Без модернизации	С модернизацией
1	Начальная температура пара, °С	284	310
2	Теплоперепад в турбине, кДж/(кг·°С)	677,777	737,128
3	Начальное давление пара, МПа	6,8	6,8
4	Энтальпия пара перед приходом на турбину, кДж/(кг·°С)	2769,23	2888,943
5	Теплоперепад в турбине, кДж/(кг·°С)	677,777	737,128
6	КПД тепловой схемы, %	36%	38%
7	Электрическая мощность турбины, МВт	1200	1305
8	Капиталовложения, млрд \$	10,291	10,606
9	Суммарные издержки, млн. \$/год	453,011	492,978
10	NPV, млн \$	1240	1390
11	Срок окупаемости, лет	25	24

Заключение

Внедрение циркуляционного контура с ПЦК позволило увеличить технико-экономические параметры турбоустановки: термический КПД увеличился на 2%; электрическая мощность на один блок увеличилась на 105 МВт; срок окупаемости АЭС уменьшился на один год, при ставке рефинансирования в 11%.

Данный вариант модернизации может быть использован в странах с умеренным климатом, где количество солнечных часов в год составляет не менее 1800.

Литература

1. Параболический солнечный концентратор Gaia PT-20 Shandong [Электронный ресурс] / Параболический солнечный концентратор Gaia PT-20 Shandong. – Режим доступа: <https://gaiasolar.en.made-in-china.com/product/QFaAtRIDVgYj/China-2021-Concentrated-Solar-Parabolic-Collector-for-Space-Heating.html> |. – Дата доступа: 11.04.2023.
2. СНБ 2.04.05-2000. Строительная климатология. Министерство архитектуры и строительство Республики Беларусь, Минск, 2001.
3. Ароян, О.С. Программа расчета параметров солнечного параболоцилиндрического концентратора // О.С. Ароян, С.П. Геруни / Ереван: НИИ радиофизики, 2005. – 4 с.
4. Атомные электрические станции [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост.: А.В. Седнин, Н.Б. Карницкий. – Минск: БНТУ, 2017.

УДК 628.35

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОАУГМЕНТАЦИИ ДЛЯ
УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
USING BIOAUGMENTATION TECHNOLOGY TO IMPROVE
THE QUALITY OF WASTEWATER TREATMENT**

А.А. Телеш, А.С. Семененко

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

A. Telesh, A. Semenenko

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: технология очистки сточных вод с помощью добавления микроорганизмов.

Abstract: wastewater treatment technology by adding microorganisms.

Ключевые слова: биоаугментация, сточные воды, микроорганизм, загрязнение.

Keywords: bioaugmentation, waste water, microorganism, pollution.

Введение

Промышленность требует снабжения чистой водой, в тот же период образуя колоссальное количество сточных вод, загрязненных разными токсичными соединениями. Необходимость в обеспечении огромным количеством чистой воды для промышленной деятельности усугубляет проблемы, с которыми общество сталкивается при обеспечении такой же чистой водой регулярно растущая численность населения. Так как резервы пресной воды ограничены.

Загрязненные сточные воды нуждаются в очистке с целью удаления или снижения концентрации загрязняющих веществ до приемлемого уровня перед их вторичным применением либо сбросом в окружающую среду. Вместе с ростом осведомленности о последствиях загрязняющих веществ для здоровья человека, а также окружающей среды во всем мире ужесточаются законодательства о сбросах загрязняющих веществ. В следствии разрабатываются стратегии увеличения эффективности очистных сооружений с целью очищения промышленных сточных вод.

Основная часть

В большинстве биотехнологических процессов, принимают участие ассоциации микроорганизмов, и очистка сточных вод не является исключением.

Активный ил стоков содержит микроорганизмы, которые расщепляют большой спектр загрязнителей, но некоторые из них устойчивы к биоразложению. Данная устойчивость обусловлена некоторыми факторами: большим процентом экотоксичности, низкой растворимостью в воде, низкой биодоступностью, высокой стабильностью и низкой биоразлагаемостью.

Химическая структура некоторых загрязняющих веществ бывает достаточно сложной, в таком случае, для биодegradации могут потребоваться сообщества нескольких различных микроорганизмов. Во множестве случаев стойкие соединения могут быть недавно образовавшимися, и в результате чего микроорганизмы еще не приспособились для использования их как субстрат. Биоаугментация справляется с рядом данных проблем.

Биоаугментация – это процесс добавления микроорганизмов, способных расщеплять токсичные углеводороды для уменьшения загрязняющих веществ (рисунок 1). Порой это связано с добавлением генетически модифицированных микроорганизмов, способных к биоразложению углеводородных загрязнителей в воде. Преимуществом данного процесса является адаптация очистки к определенному загрязнителю, доминирующему в окружающей среде.

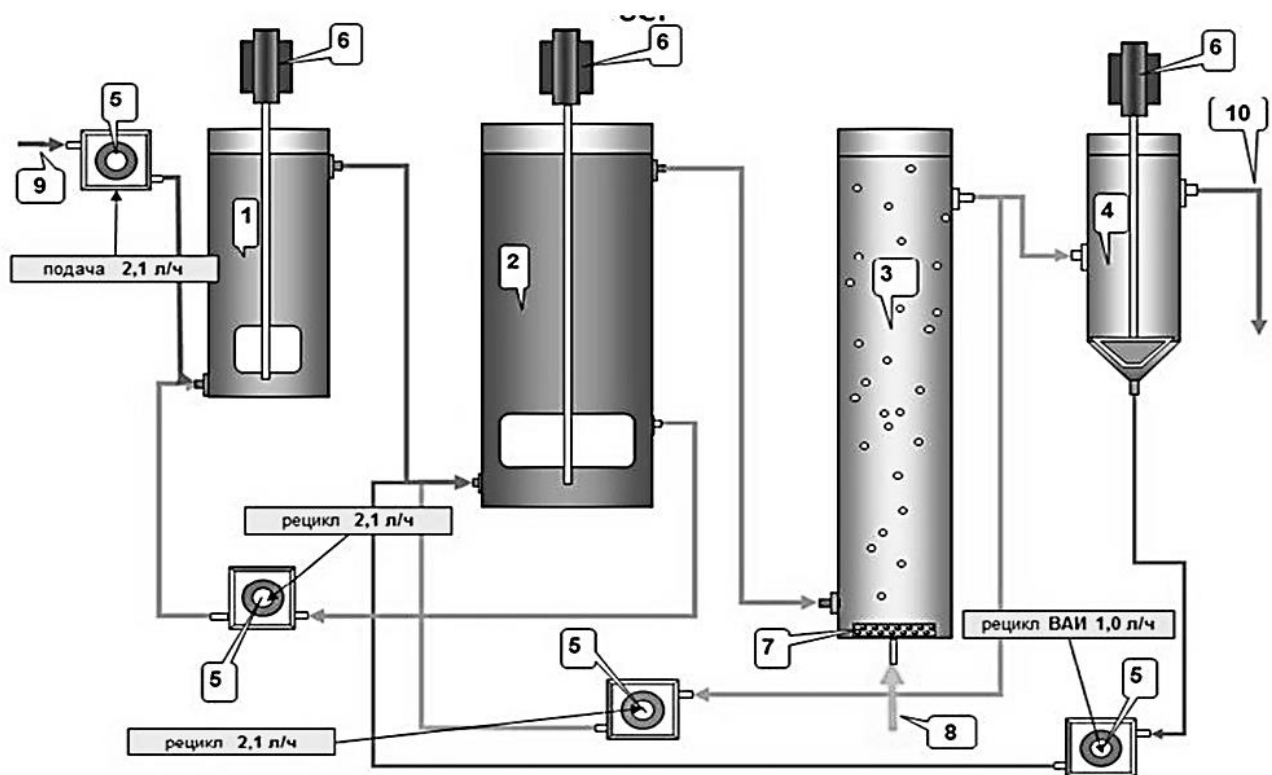


Рисунок 1 – Процесс очистки воды [2]:

- 1 – анаэробный реактор, $V = 4$ л; 2 – аноксидный реактор $V = 6$ л; 3 – аэробный реактор, $V = 9$ л; 4 – отстойник селектор, $V = 4$ л; 5 – перистальтический насос; 6 – электромеханическая мешалка; 7 – аэратор; 8 – сетевой воздух; 9 – подача сточной воды; 10 – сброс очищенной воды.

Исследования по эффективности биоаугментации были проведены на многих отраслях промышленности, таких как:

- 1) целлюлозно-бумажная;
- 2) текстильная;
- 3) сталелитейная;
- 4) табачная;
- 5) нефтяная и др.

Биоаугментация является многообещающим методом для решения практических проблем на очистных сооружениях и повышения эффективности удаления. Биоаугментацию обычно подразделяют на две основные стратегии:

- 1) биоаугментация путем обогащения местными микроорганизмами;
- 2) биоаугментация путем обогащения неиндигенными микроорганизмами.

Повторное заселение окружающей среды ранее адаптированными местными микроорганизмами, непосредственно выделенными с участка, часто называют местной биоаугментацией. Однако, если участки не содержат активных микробов, разлагающих загрязнители, решением может быть добавление экзогенных штаммов микроорганизмов.

Наиболее распространенный способ применения технологии биоаугментации – прямое добавление микроорганизмов, обладающих специфическими способностями к разложению, для воздействия на загрязняющие вещества. Для этого необходимо получить один или несколько высокоэффективных штаммов микроорганизмов с целевыми загрязнителями в качестве основного источника углерода и энергии. Добавленные микроорганизмы могут прикрепляться к носителю с образованием высокоэффективной биопленки, и они также могут существовать в свободном состоянии. Хотя многие чистые бактерии оказывают превосходное разрушающее действие на конкретные целевые загрязнители, при фактической очистке сточных вод люди склонны использовать смешанную флору для биоусиления и биоаугментации. По сравнению с чистыми бактериями, смешанные бактерии обычно обладают более высокой способностью к разложению и более высокой адаптивностью.

Заключение

Биоаугментация является привлекательной стратегией удаления стойких загрязнителей из сточных вод. Этот подход доказал свою эффективность в лабораторных исследованиях, но на данный момент существует ряд проблем все еще существует, особенно для масштабирования этих процессов. На сегодняшний день успешное применение биоаугментации в реальных условиях заключается в удалении хлорированных соединений бактериями из подземных вод. Важной проблемой использования биоаугментации является сложность поддержания достаточного количества биоразлагаемых микроорганизмов.

Биоаугментация может нарушать процесс очистки из-за влияния на экосистему микрофлоры. Поэтому применять данный процесс для очистки питьевой воды пока нельзя.

Литература

1. Загрязнение пресных вод [Электронный ресурс] / Загрязнение пресных вод. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Загрязнение_пресных_вод/. – Дата доступа: 03.04.2023.

2. Что нужно знать о канцерогенах [Электронный ресурс] / Что нужно знать о канцерогенах. – Режим доступа: <https://omr.by/news/stati/chto-nuzhno-znat-o-kantserogenakh/>. – Дата доступа: 05.04.2023.

3. Живая вода: пять прогрессивных технологий очистки воды [Электронный ресурс] Живая вода: пять прогрессивных технологий очистки воды / – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/60ab81379a79477ea76540b5/>. – Дата доступа: 05.04.2023.

4. Разработка технологии улучшения качества очистки сточных вод с использованием биоаугментации [Электронный ресурс] / Разработка технологии улучшения качества очистки сточных вод с использованием биоаугментации. – Режим доступа: <http://www.dslib.net/vodosnabzhenie/razrabotka-tehnologii-uluchsheniya-kachestva-ochistki-stochnyh-vod-s-ispolzovaniem.html> /. – Дата доступа: 06.05.2023.

5. Использование технологии биоаугментации для улучшения качества очистки сточных вод [Электронный ресурс] / Использование технологии биоаугментации для улучшения качества очистки сточных вод. – Режим доступа: https://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/detail.php?ID=7381&spphrase_id=1023756. – Дата доступа: 06.05.2023.

УДК 621.165

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАФРАГМ
DESIGN FEATURES OF DIAPHRAGMS**

В.И. Хамицкая, К.О. Филатов

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

V. Khamitskaya, K. Filatov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассматриваются виды диафрагм и их конструкция.

Abstract: the article discusses the types of diaphragms and their design.

Ключевые слова: паровая турбина, диафрагма, чугун, лопатки, сталь.

Keywords: steam turbine, diaphragm, cast iron, blades, steel.

Введение

Паровая турбина преобразует потенциальную энергию пара в механическую работу вращающегося ротора. Каждая турбина состоит из двух основных частей: подвижной, включающей ротор с лопатками, и неподвижной, включающей статор с соплами, а так же диафрагмы. Для установки диафрагм предусмотрены выточки в неподвижной части, где также находятся сопловые каналы, образованные лопатками внутри тела диафрагмы.

Диафрагмы являются важной частью паровых турбин, и их главной функцией является разделение внутренней полости турбины на несколько частей, которые образуют отдельные ступени. В зависимости от температуры пара, могут применяться различные типы диафрагм, в том числе чугунные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками и стальные диафрагмы.

Основная часть

Рассмотрим чугунные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками. Их конструкция представлена на рисунке 1. Чугунные литые диафрагмы применяются в области температур 260–320°C. Поэтому выбор конструкции должен осуществляться с учетом конкретных условий эксплуатации и требований к долговечности и надежности.

Преимущества использования чугуна:

- является относительно дешевым материалом, что делает его более доступным;

- хорошая устойчивость к износу и абразивному изнашиванию.

Недостатки:

- чугун относится к тяжелым материалам, следовательно, затрудняет монтаж и демонтаж диафрагм;

- при обработке требует использования специального оборудования.

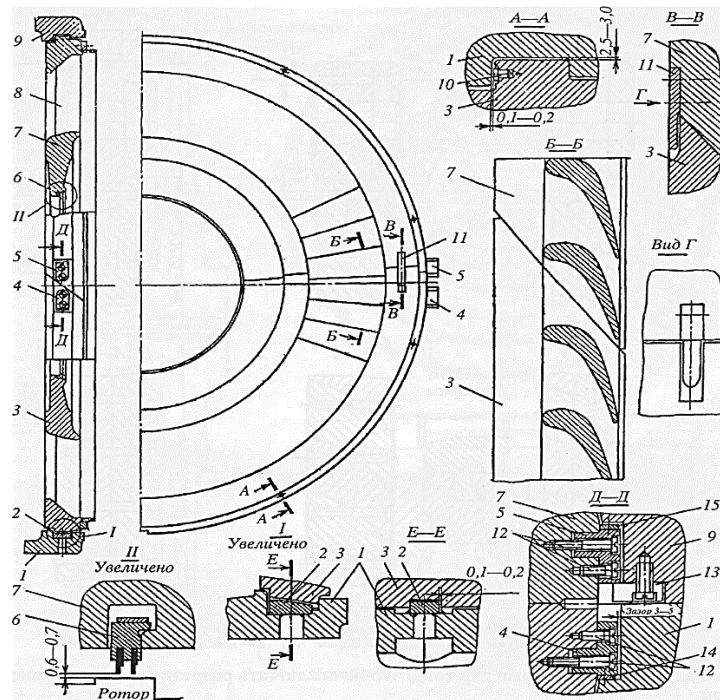


Рисунок 1 – Литая чугунная диафрагма[2]:

1, 9 – обойма диафрагмы; 2 – вертикальная шпонка; 3, 7 – тело диафрагмы; 4 – лапка подвески нижней половины диафрагмы; 5 – лапка подвески верхней половины диафрагмы; 6 – сегмент уплотнения; 8 – направляющая лопатка; 10 – регулировочный пин; 11 – вертикальная шпонка разъема диафрагмы; 12 – крепежные винты лапок подвесок диафрагмы; 13 – сухарь подвески верхней половины диафрагмы; 14, 15 – регулировочные пластины лапок подвески

В чугунных диафрагмах закрепляются сопловые лопатки из стали 1Х13, которые могут быть выполнены путем штамповки из листа (рисунок 2,а) или фрезерования из заготовки (рисунок 2,б).

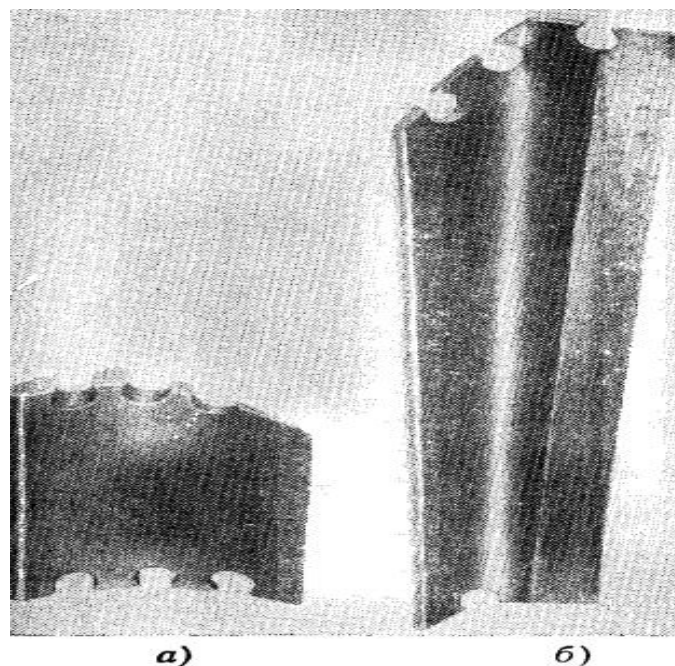


Рисунок 2 – Направляющие лопатки для литых чугунных диафрагм [1]:
а – штамповка из листа, б – фрезерование из заготовки

Лопатки для последних ступеней турбин производят методом штамповки из листа. Этот процесс происходит с помощью нагрева в электропечи до 800°C , затем производят механическую обработку кромок и концов лопаток [1]. При этом соединения лопаток с телом и ободом диафрагмы должно было прочным. Для этого в концах лопаток сверлятся отверстия, которые заполняются в виде штифтов при отливке диафрагмы.

Процесс оцинковки краев важен от начала изготовления лопаток до заливки их в диафрагмы. Это помогает не только избежать коррозии краев, которые в последующем заливаются в чугун, но и гарантировать надежное соединение лопаток с чугуном. Проверка на крепость соединения очень проста. Если при легком ударе отсутствует треск и звонкость, можно сделать вывод, что соединение крепкое.

При отливке диафрагм важна точность размеров (рисунок 3). Даже незначительные отклонения влияют на тепловой процесс и экономичность. Поэтому после изготовления диафрагм необходим контроль выполнения:

1. горла;
2. высоты сопловых каналов;
3. среднего диаметра;
4. размера по ободу;
5. размера под уплотнительные сегменты.

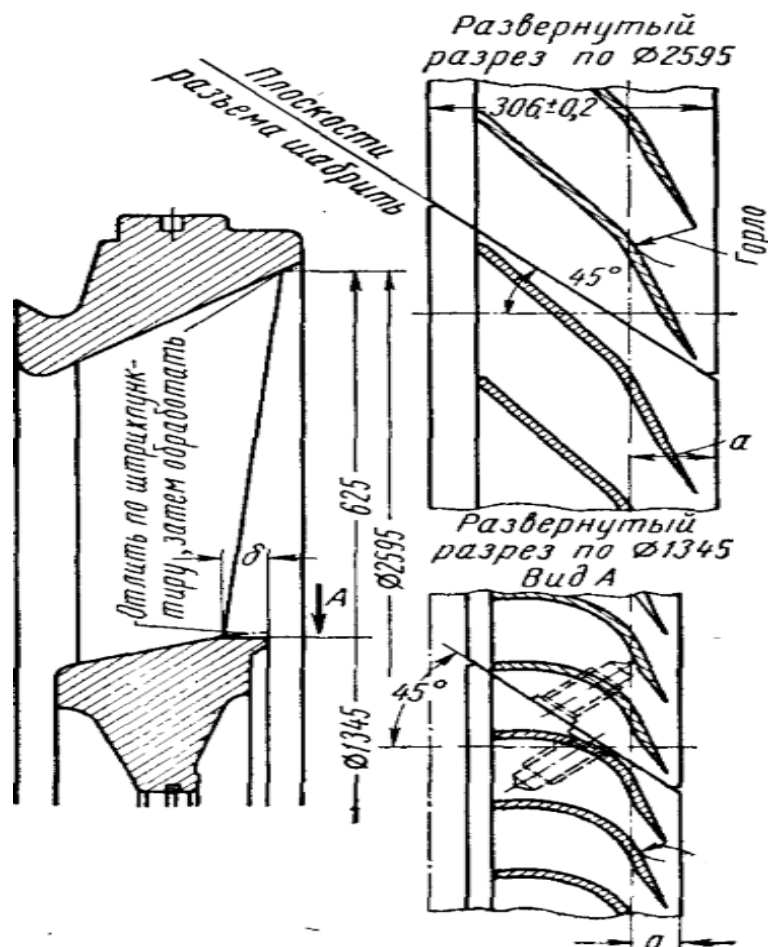


Рисунок 3 – Чугунная литая диафрагма с заливаемыми лопатками [1]

Смещение среднего диаметра лопаток допускается не более чем на 0,5 мм. При длине лопаток менее 100 мм проверяют горловые сечения по среднему диаметру, в ином случае проверяют три горловых сечения: периферическое, среднее и корневое [1].

Рассмотрим стальные диафрагмы. Они используются при температурах выше 260–320°C. Стальные диафрагмы могут быть как литыми, так и с заливаемыми лопатками.

К преимуществам стальных диафрагм можно отнести:

- они выдерживают более высокие температуры и давления;
- просты в установке и замене.

Недостатки:

- дороговизна;
- при высокой скорости потока пара имеет повышенный износ.

При начальном этапе развития турбостроения применяли стальные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками, но при отливке таких диафрагм выходные кромки часто становились хрупкими и их использование прекратилось.

Диафрагмы с наборными лопатками получили большое распространение в турбинах примерно до 1950–1953 гг. (рисунок 4). Высокая точность и чистота сопловых каналов в них достигается благодаря фрезерованию лопаток и шлифовке или полировке их профильной части. Для крепления лопаток к телу диафрагмы используются вильчатый хвост и заклепки.

При изготовлении диафрагм с наборными лопатками значительно снизилась трудоемкость и расход стали.

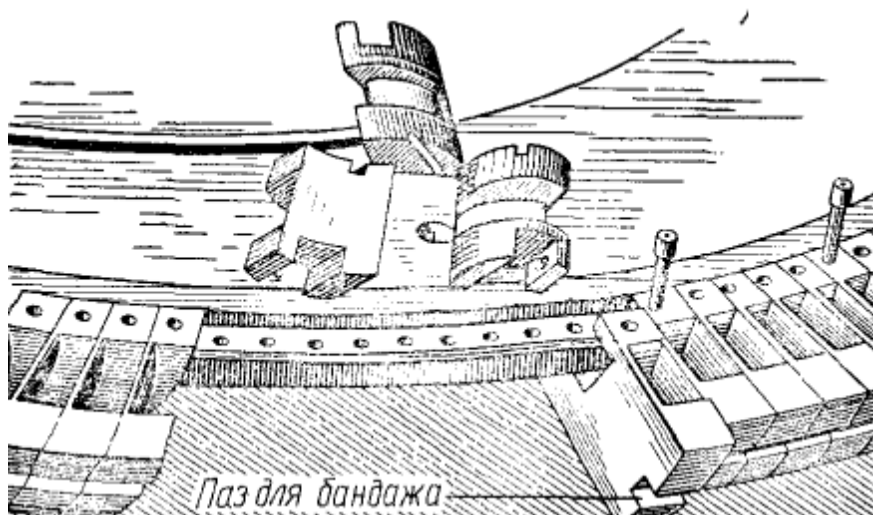


Рисунок 4 – Лопатки, присоединяемые к диафрагме [1]

Рассмотрим сварные диафрагмы.

Наиболее широкое распространение получили диафрагмы с наборными лопатками в турбинах используют сварные диафрагмы с сопловыми лопатками разных профилей (рисунок 5).

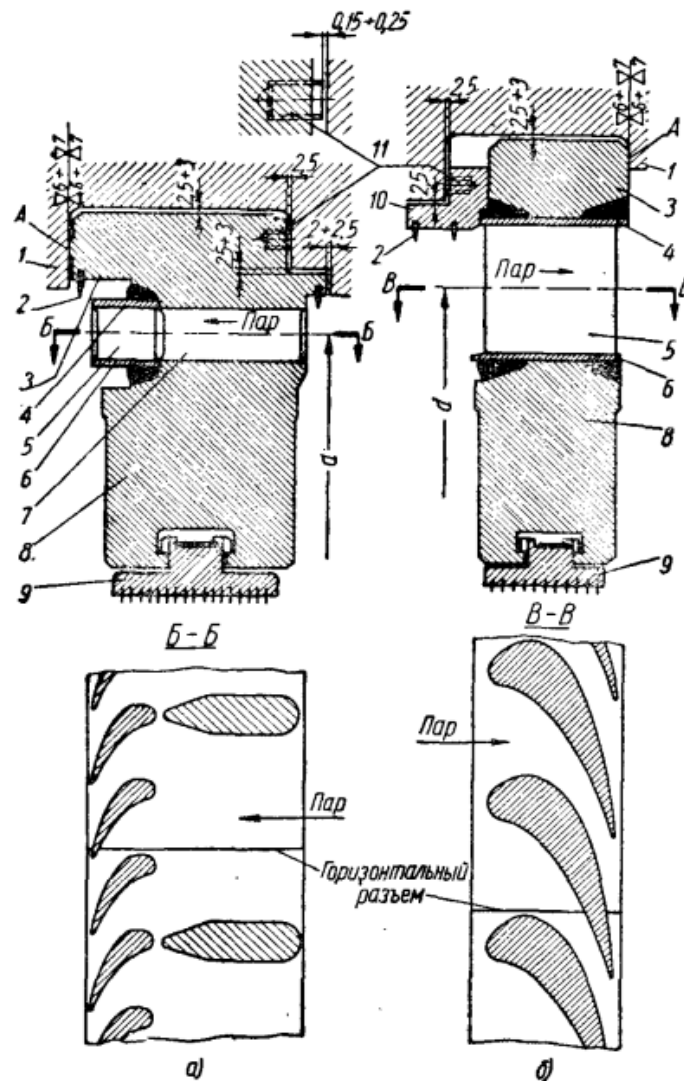


Рисунок 5 – Сварные диафрагмы[1]:

а – с узким и б – с широким профилем направляющих лопаток; 1 – цилиндр или обойма турбины; 2 – бандажное уплотнение; 3 – обод диафрагмы; 4, 6 – бандажные ленты; 5 – направляющие лопатки; 7 – стойки; 8 – тело диафрагмы; 9 – диафрагменное уплотнение; 10 – полукольца; 11 – винты или штифты

Главный плюс сварных диафрагм перед наборными заключается в избавлении от протечек пара между лопатками, а также герметичность всех сопловых каналов.

Вследствие испытаний на ЛМЗ выявлено, что сварные диафрагмы имеют на треть меньше прогиб, а также вдвое меньшее напряжение в теле, что позволяет уменьшить толщину и осевые размеры.

Последние две-три лопатки в турбине считаются самыми напряженными, включая разрезную лопатку. Особенно напряженными из крайних являются лопатки, которые обращены выходными кромками к разъему.

Перейдем к конструкции сварных диафрагм.

Сварная диафрагма состоит из тела, обода, сопловых лопаток, и бандажных лент толщиной 4–6 мм (рисунок 6).

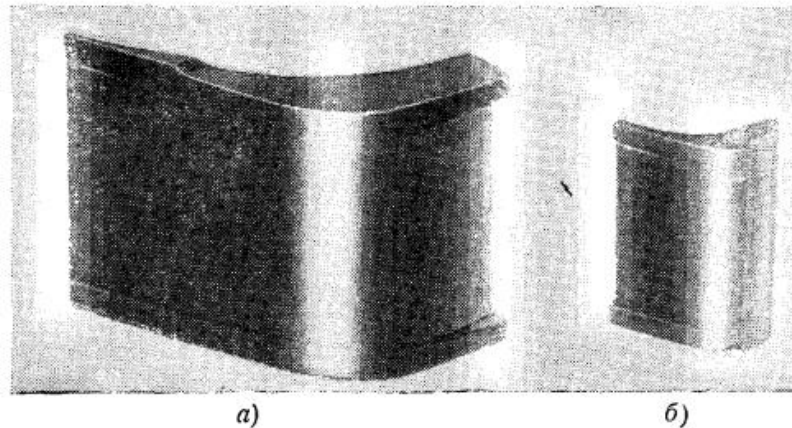


Рисунок 6 – Направляющие лопатки сварных диафрагм [1]:
а – с широким; б – с узким профилем

С диафрагмами используются прямые и косые бандажи. Тип бандажа выбирается исходя из местоположения в турбине и плавности поточной части [1]. Более легкими в производстве считаются диафрагмы с прямыми бандажами.

К соединениям диафрагмы применяют высокие требования, так как они работают в среде высоких параметров, температуры и давления. Точность изготовления диафрагм оказывает большое влияние. Если отклонение выходных сечений лопаток велико, это может привести к изменению теплового процесса, снизить экономичность ступени, возрасти осевое усилие на ротор.

Размеры проходных сечений сохраняются благодаря специальному инструменту, который объединяет сопловую решетку с телом и ободом.

Заключение

Из вышесказанного следует, что сварные диафрагмы более универсальны, чем литые, так как они могут использоваться в цилиндрах с разным давлением. Однако, важно правильно выбрать материал для изготовления диафрагмы, чтобы она была максимально надежной. Конструктивные особенности диафрагм позволяют повысить эффективность работы турбины.

Литература

1. Конструкция и расчет деталей паровых турбин: [учебное пособие для машиностроительных техникумов] / А.Н. Смоленский. – Москва: Машиностроение, 1964. – 467 с.
2. Ремонт паровых турбин: учебное пособие / В.Н. Родин [и др.]; под общей редакцией Ю.М. Бродова, В.Н. Родина. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. – 203 с.

УДК 621.311

КОТЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ BOILERS USING HIGH-TEMPERATURE ORGANIC HEAT CARRIER

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков

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

T. Pozharitsky, S. Krutsikau

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

***Аннотация:** в статье рассмотрены котлы с использованием высокотемпературного органического теплоносителя, их преимущества над традиционными котлами. Целью изучения является выявление положительных сторон у котлов с использованием высокотемпературного органического теплоносителя.*

***Abstract:** the article deals with boilers using high-temperature organic coolant, their advantages over traditional boilers. The purpose of the study is to identify the positive aspects of boilers using high-temperature organic coolant.*

***Ключевые слова:** высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ), котел, термальное масло, котел Gretton.*

***Keywords:** high temperature organic heat transfer fluids (HOT), boiler, thermal oil, Gretton boiler.*

Введение

Котлы являются неотъемлемой частью систем отопления и горячего водоснабжения в многих домах и зданиях по всему миру. В последние годы все большее внимание уделяется использованию высокотемпературных органических теплоносителей в котлах. Это связано с тем, что большинство котлов работают на основе сжигания газа, нефти или угля, что может приводить к высокому уровню загрязнения воздуха и вредным выбросам, а так же такие теплоносители обладают рядом преимуществ перед традиционными, например, водой. Эти теплоносители имеют высокую теплоемкость, но одно из главных преимуществ является возможность работы при более высоких температурах, что позволяет повысить эффективность работы котла и, соответственно, снизить затраты на топливо [1].

Основная часть

Одним из наиболее перспективных органических теплоносителей является термальное масло. Оно обладает высокой теплопроводностью и стабильностью при высоких температурах, что позволяет использовать его в котлах, работающих на твердом топливе, газе или нефти. Кроме того, термальное масло не имеет высокой парообразующей способности, что делает его более безопасным в использовании, чем вода [2].

Одним из примеров котлов, работающих на термальном масле, является котел Gretton. Он работает на твердом топливе и имеет высокую

эффективность благодаря использованию термального масла. Этот котел также имеет высокую автоматизацию и низкий уровень выбросов (рисунок 1).

Область применения твердотопливных термомасляных котлов и термомасляных установок:

1. Фанерное производство.
2. Производство бумаги и картона (при производстве ДСП и ДВП; сушка древесины).
3. Лесопромышленное производство.
4. Разогрев битума в битумохранилищах.
5. Обогрев технологического оборудования битумохранилища и АБЗ (битумные насосы, битумная арматура, битумопроводы).
6. Догрев битума для подачи в асфальтосмесительные установки или для налива в автогудронаторы и автобитумовозы.
7. Разогрев мазута в нефтехранилищах.
8. Нагрев теплоносителя в технологических процессах.
9. Пластмассовая промышленность.
10. Бетонная и строительная отрасль (термообработка печи, нагревание бетона и их смеси).
11. Металлургическая промышленность.
12. Химическая промышленность.



Рисунок 1 – Котел на высокотемпературном органическом теплоносителе Gretton [1]

На картинках выше изображен котел Gretton работающих при использовании термального масла.

Кроме того, существуют котлы, работающие на других органических теплоносителях, например, на термическом масле синтетического происхождения. Такие котлы обладают высокой эффективностью и могут использоваться в широком диапазоне отраслей, включая нефтегазовую, химическую и пищевую промышленность.

Как мы уже знаем высокотемпературные органические теплоносители (ВОТ) представляют собой новый класс теплоносителей, которые могут работать на температурах выше температуры кипения воды, данная температура варьируется до 400 градусов Цельсия. Тогда одним из главных

вызовов, стоящих перед разработчиками котлов на основе ВОТ, является выбор материалов, которые могут выдерживать такие высокие температуры. Кроме того, необходимо разработать эффективную систему управления и контроля котла, которая будет обеспечивать безопасность и надежность работы [3].

Рассмотрим принципиальную схему котла с использованием высокотемпературного органического теплоносителя (рисунок 2).

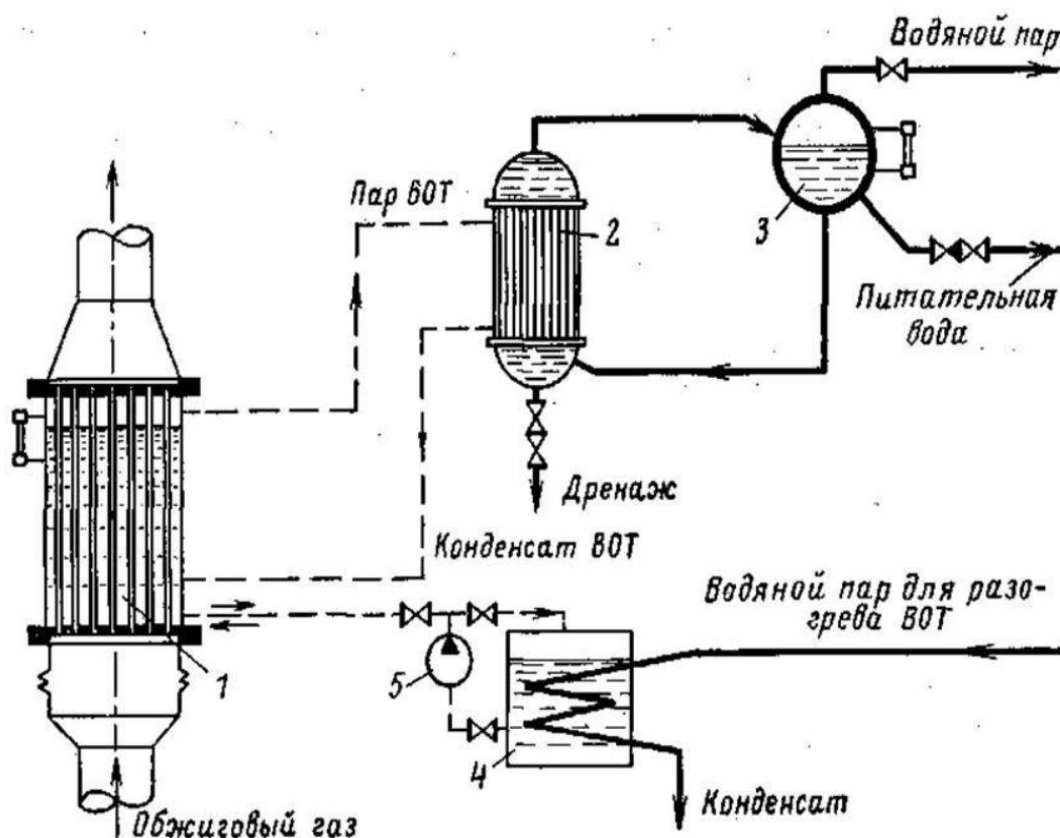


Рисунок 2 – Принципиальная схема котла с высокотемпературным органическим теплоносителем [2]:

1 – газотрубный котел, 2 – теплообменник, 2 – барабан, 3 – сливной бак для теплоносителя, 4 – насос для заполнения котла высокотемпературным органическим теплоносителем

Заключение

Таким образом, котлы, работающие на высокотемпературных органических теплоносителях, представляют собой перспективное направление в области энергетики. Они обладают рядом преимуществ перед традиционными котлами и способны повысить эффективность работы и снизить затраты на топливо. Однако, необходимо проводить дополнительные исследования для определения оптимальных параметров работы котлов на высокотемпературных органических теплоносителях и их применения в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Котельные установки: Учебник / Е.А. Бойко. – Инфра-Инженерия, 2021. – 668 с.
2. Котельные установки и парогенераторы: Учебно-методическое пособие для ВУЗов / Ю.Ц. Бадмаев, Н.С. Хусаев, М.Б Балданов. – Лань, 2022. – 68 с.
3. Термомасляные котлы на твердом топливе [Электронный ресурс] / котлы Gretton. – Режим доступа: <https://gretton.ru/na-tverdom-toplive/>. – Дата доступа: 05.04.2023.

УДК 66.081.63

МЕТОД ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ REVERSE OSMOSIS METHOD FOR WATER PURIFICATION

Д.А. Степанов, А.В. Рабченя

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

panteley @bntu.by

D. Stepanov, A. Rabchenya

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье рассматривается обратный осмос как один из методов очистки воды.

Abstract: the article considers reverse osmosis as one of the methods of water purification.

Ключевые слова: полупроницаемая мембрана, обратный осмос, осмотическое давление, концентрат, извлечение, коэффициент обессоливания.

Key words: semi-impermeable membrane, reverse osmosis, osmotic pressure, concentrate, extraction, desalination coefficient.

Введение

В настоящее время существуют различные методы очистки воды. На смену традиционным методам очистки и обессоливания воды пришли современные технологии разделения растворов на мембранах. Одной из таких технологий является обратный осмос. Главное предназначение, которой заключается в удалении растворённых солей, ионов, микрочастиц, высокомолекулярных органических веществ из обрабатываемой воды, а также для отфильтровывания бактерий, вирусов и других патогенных веществ.

Основная часть

Обратный осмос представляет собой диффузионный процесс движения молекул воды из разбавленного раствора через полупроницаемую мембрану в концентрированный раствор [2]. «Процесс обратного осмоса». В соответствии с принципом обратного осмоса, осмос и обратный осмос неотъемлемо связаны с полупроницаемой мембраной, через которую растворитель (молекулы воды) может проникать, и в результате чего протекает явление осмоса или обратного осмоса.

В процессе естественного прямого осмоса, уровень с боковой стороны концентрированного раствора постепенно увеличивается, уровень с боковой стороны разбавленного раствора постепенно снижается соответственно, когда давление воды, сформированное на обеих сторонах растворов смещённых миграцией молекул растворителя, прекратит изменяться, осмотический процесс достигает точки равновесия, в этот момент разница уровня жидкости в столбах растворов, называется осмотическим давлением раствора (рисунок 1).

В процессе обратного осмоса требуется приложить определенное давление к стороне водовпуска (концентрированный раствор), чтобы преодолеть естественное осмотическое давление, (где рабочее давление выше, чем естественное осмотическое давление прикладываемое к стороне разбавленного потока воды (пермеат)), то направление потока естественного осмоса молекул воды будет изменено на обратное, т.е. часть молекул впускной воды (концентрированного раствора), будет проходить через мембрану и станет производственной водой со стороны разбавленного раствора (пермеата) [2], то формируется противоположное явление в фильтрации, известное как обратный осмос (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема осмоса и обратного осмоса [3]

Для очистки воды с помощью осмоса и обратного осмоса применяется полупроницаемая мембрана, состоящая из элементов, которые установлены внутри корпуса сосуда высокого давления для того чтобы достичь разделения исходной воды на концентрат и пермеат (производственную воду). Элементами мембраны обратного осмоса являются: мембрана, трубопровод исходной воды, сетка каналов впуска исходной воды, канал сбора пермеата, трубопровод пермеата, уплотнитель, (рисунки 2 и 3).

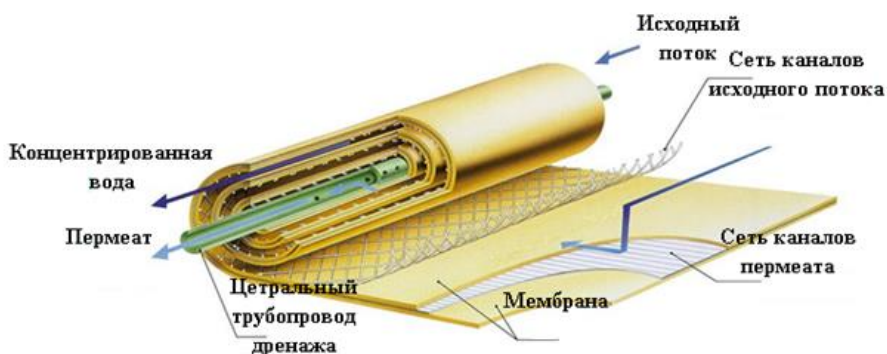


Рисунок 2 – Общая структура композитных мембранных материалов [4]

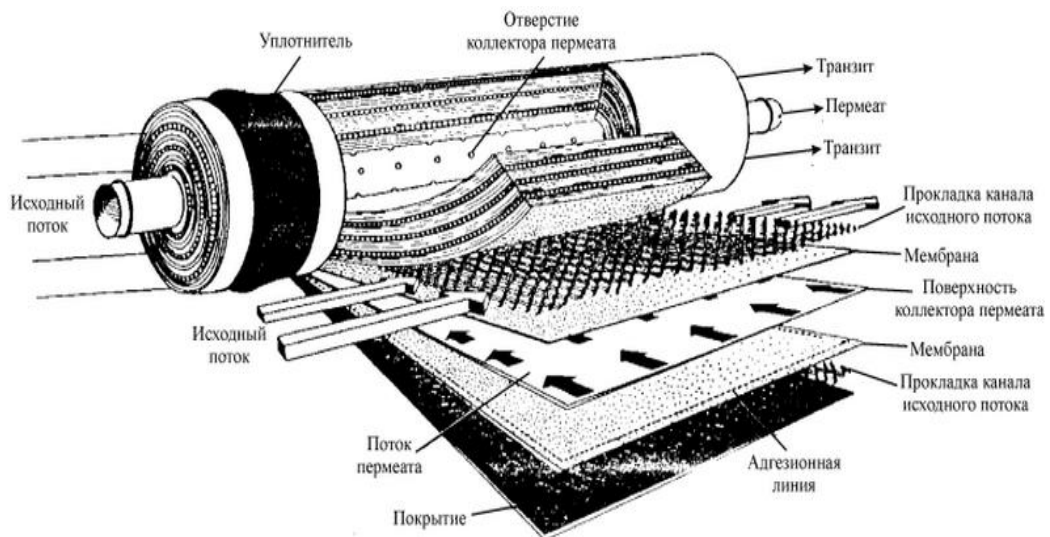


Рисунок 3 – Общая структура композитных мембранных материалов [5]

Группа мембран обратного осмоса является важным исполнительным механизмом целой системы обессоливания. Она несёт главную ответственность за основное удаление растворённых солей, коллоидных веществ, органических веществ и микробиоты из воды [1]. Для эффективной очистки воды с помощью мембран обратного осмоса учитывают факторы, влияющие на их характеристику. К ним относятся: давление, температура, солёность впускной воды и извлечение.

Давление

Общее количество твердых растворенных веществ в пермеате будет уменьшаться с повышением давления, а поток пермеата будет увеличиваться с повышением давления (рисунок 4).

Температура

Мембранный элемент очень чувствителен к изменению температуры впускной воды, поток пермеата почти линейно увеличивается с повышением температуры воды, причина в том, что способность молекул воды к диффузии через мембрану увеличивается с повышением температуры. Одновременно, повышение температуры воды может вызывать снижение коэффициента обессоливания или увеличение коэффициента проникновения солей, потому что скорость диффузии солей, проникающих через мембрану, увеличивается при повышении температуры (рисунок 4).



Рисунок 4 – Влияние давления и температуры впускной воды на поток и коэффициент обессоливания [источник: собственная разработка автора]

Соленость

Характеризуется двумя показателями: коэффициентом обессоливания и коэффициентом проникновения солей. Коэффициент обессоливания представляет собой процентное снижение концентрации за счёт удаления растворимых компонентов (солей) из водовпускной системы через мембрану, и выражается как отношение концентрации солей в пермеате к концентрации солей в водовпускной исходной воде. Коэффициент проникновения солей величина обратная значению коэффициенту обессоливания, и выражает процентное значение удаляемых водорастворимых компонентов через мембрану.

Как показано на рисунке 5 с увеличением солености воды уменьшается поток пермеата и снижается коэффициент обессоливания.

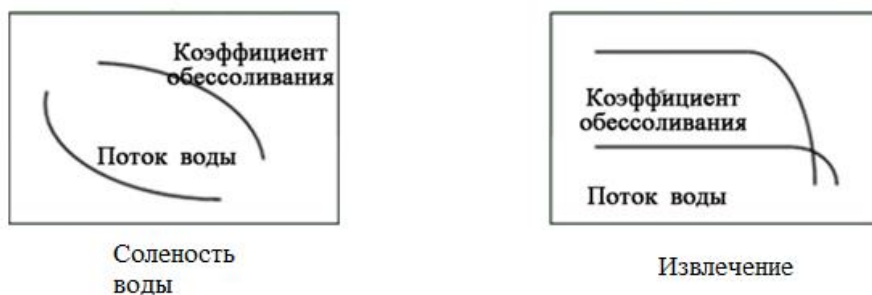


Рисунок 5 – Влияние солености и повышения извлечения впускной воды на поток и коэффициент обессоливания [источник: собственная разработка автора]

Извлечение

Извлечение – это отношение объёмного расхода пермеата к расходу впускной воды. Поток пермеата уменьшается с повышением извлечения, когда осмотическое давление пермеата повышается до равенства с давлением впускной воды, то осмос прекращается, а коэффициент обессоливания снижается с повышением извлечения (рисунок 5).

Заключение

По сравнению с традиционными методами очистки воды установка обратного осмоса может удалять свыше 99,7% растворённых ионов солей и прочих микробных загрязнений в исходной воде [1]. Она обладает большой скоростью водопроникновения, высоким коэффициентом обессоливания, хорошей механической прочностью, а также стабильными химическими свойствами. Простота операций обслуживания, стабильное качество выпускаемой воды, высокая способность сопротивления к загрязнениям позволяют технологии обратного осмоса получать широкое распространение в производственной сфере.

Литература

1. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / А.Г. Первов // Монография. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 232 с.

2. Электрохимия мембран и обратный осмос / С.С. Духин, М.П. Сидорова, А.Э. Ярощук. – Л.: Химия, 1991. – 192 с.
3. Новые мембранные методы внутрициклового очистки воды [Электронный ресурс] / Новые мембранные методы внутрициклового очистки воды. – Режим доступа: <https://vunivere.ru/work24526?screenshots=1> /. – Дата доступа: 03.04.2023.
4. Мембранная фильтрация [Электронный ресурс] / Мембранная фильтрация. – Режим доступа: <http://ultramembrane.com/membran-filtrasyon-2> /. – Дата доступа: 04.04.2023.
5. Мембранный фильтр для очистки воды [Электронный ресурс] / Мембранный фильтр для очистки воды. – Режим доступа: <https://septikland.ru/vodosnabzhenie/ochistka-vody/membrannyj-filtr-dlja-ochistki-vody.html> /. – Дата доступа: 05.04.2023.

УДК 621.182.246

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АСР РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЕРВИЧНОГО ПАРА КОТЛОАГРЕГАТА
MODERNIZATION OF THE ASR FOR REGULATING THE
TEMPERATURE OF THE PRIMARY STEAM OF THE BOILER PLANT**

Д.А. Волчкевич

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

D. Valchkevich

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

***Аннотация:** в данной статье рассматривается модернизация системы автоматического регулирования температуры первичного пара котлоагрегата.*

***Abstract:** this article discusses the modernization of the system of automatic control of the primary steam temperature of the boiler unit.*

***Ключевые слова:** пар, модернизация, регулирование, автоматизация, котлоагрегат.*

***Keywords:** steam, modernization, regulation, automation, boiler unit.*

Введение

Объектом автоматизации является температура первичного пара за пароперегревателем. Регулирование температуры осуществляется впрыском собственного конденсата котла. Для того чтобы не допустить высоких температур первичного пара, ставятся две термопары. На станциях осуществляется много процессов, необходимо контролировать большое количество параметров. Физически человек не может все держать под контролем, быстро заметить какое-то изменение параметра. Для этого внедряют автоматизацию различных процессов, чтобы не только упростить труд человека, а также вовремя обнаружить отклонения и избежать аварийных ситуаций.

Одной из основных задач систем регулирования является поддержание регулируемой величины допуская лишь небольшие отклонения от заданного значения. Для достижения требуемой точности работы можно повысить чувствительность регулятора к отклонениям регулируемого параметра. Главной задачей при автоматизации системы регулирования температуры первичного пара является поддержание необходимых параметров среды.

Принцип работы заключается в том, что есть два впрыска, которые работают независимо друг от друга. Один из них работает постоянно. Подача конденсата на впрыск регулируется задвижкой, где стоят датчики положения. Как только задвижка полностью открывается, то включается датчик «Люфт», который подает сигнал на подачу конденсата на второй впрыск, тем самым

увеличивается расход воды. И совместными усилиями понижается температура первичного пара [1].

Основная часть

Первоначально мы рассчитаем и замоделируем САР с дифференциатором. Схема САР с дифференциатором представлена на рисунке 1.

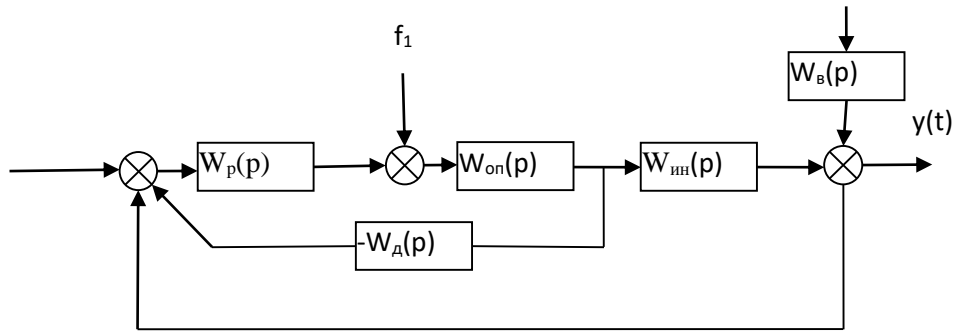


Рисунок 1 – Схема САР с дифференциатором [Источник: собственная разработка автора]

Для моделирования САР с Д нам необходимы следующие передаточные функции:

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

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

$$W_p(p) = \frac{K_p (T_k p + 1)}{T_k p};$$

$$K_p = \frac{T_k}{4 \varepsilon^2 K_{инн} \tau_y};$$

$$T_i^* = T_d = T_k = T_{инн} + \sigma_{инн};$$

$$W_d(p) = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1};$$

$$K_d = \frac{4 \cdot K_{инн} \cdot \tau_y}{T_d};$$

$$W_v(p) = \frac{K_v}{T_v p + 1}.$$

Для модернизации используем инвариантную САР при плановом изменении нагрузки на базе САР с дифференциатором. Только вместо дифференциатора рассчитаем модифицированный линейный упредитель Смита, который представляет собой разницу полной и неполной модели инерционного участка. Структурная схема которой на рисунке 2.

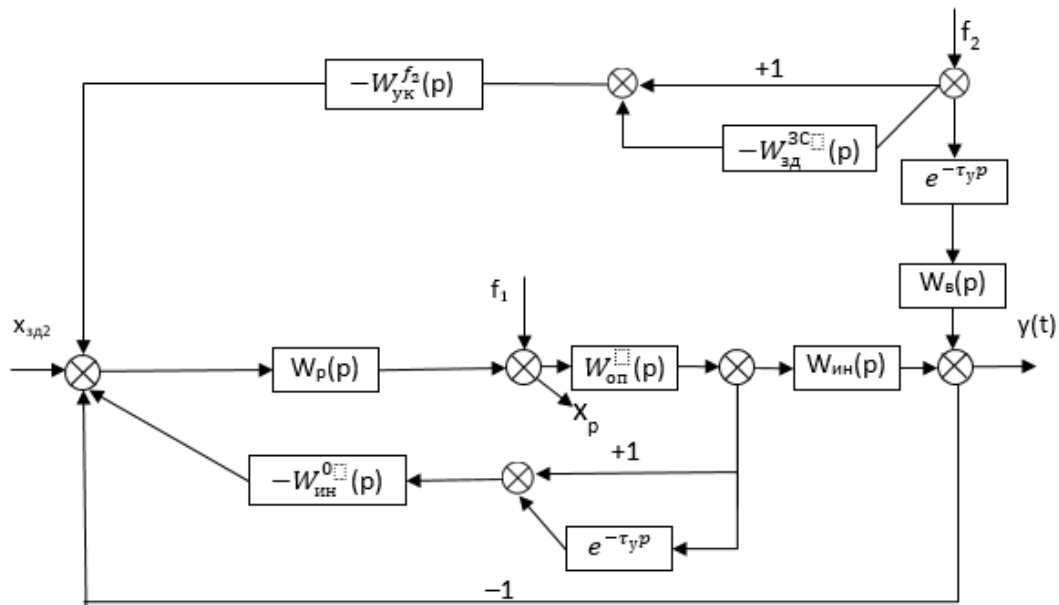


Рисунок 2 – ИСАР при ПИН [Источник: собственная разработка автора]

Для моделирования ИСАР при ПИН необходимо рассчитать следующие функции:

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

где $T_{оп}^* = T_{оп} + \sigma_{оп}$;

$$W_p^{opt}(p) = \frac{(T_k p + 1)(T_{оп}^* p + 1)}{K_{ин} K_{оп} \cdot 2T_{зд2} p \left(\frac{T_{зд2} p}{2} + 1 \right)};$$

$$T_{зд2} = 0,382\tau_y;$$

$$W_{зд}^{3с}(p) = \frac{1}{2\tau_y p + 1}.$$

Для улучшения качества отработки f_2 , используем устройство компенсации:

$$W_{ук}^{f2}(p) = \left[1 - W_{зд}^{3с}(p) \right] \frac{K_в(2\tau_y p + 1)}{T_в p + 1}.$$

Для того, чтобы добиться лучшей отработки внутреннего возмущения установим стабилизирующее устройство:

$$W_{cy}^{f1}(p) = [W_p^{opt}]^{-1} = \frac{K_{ин} K_{оп} \cdot 2T_{зд2} p \left(\frac{T_{зд2} p}{2} + 1 \right)}{(T_k p + 1)(T_{оп}^* p + 1)}.$$

Сравнение результатов моделирования:

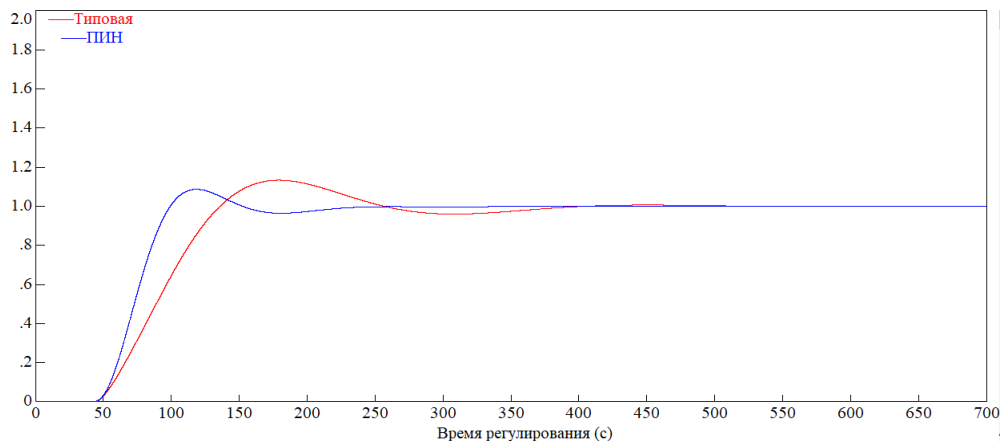


Рисунок 3 – Обработка скачка задания $x_{зд}$ [Источник: собственная разработка автора]

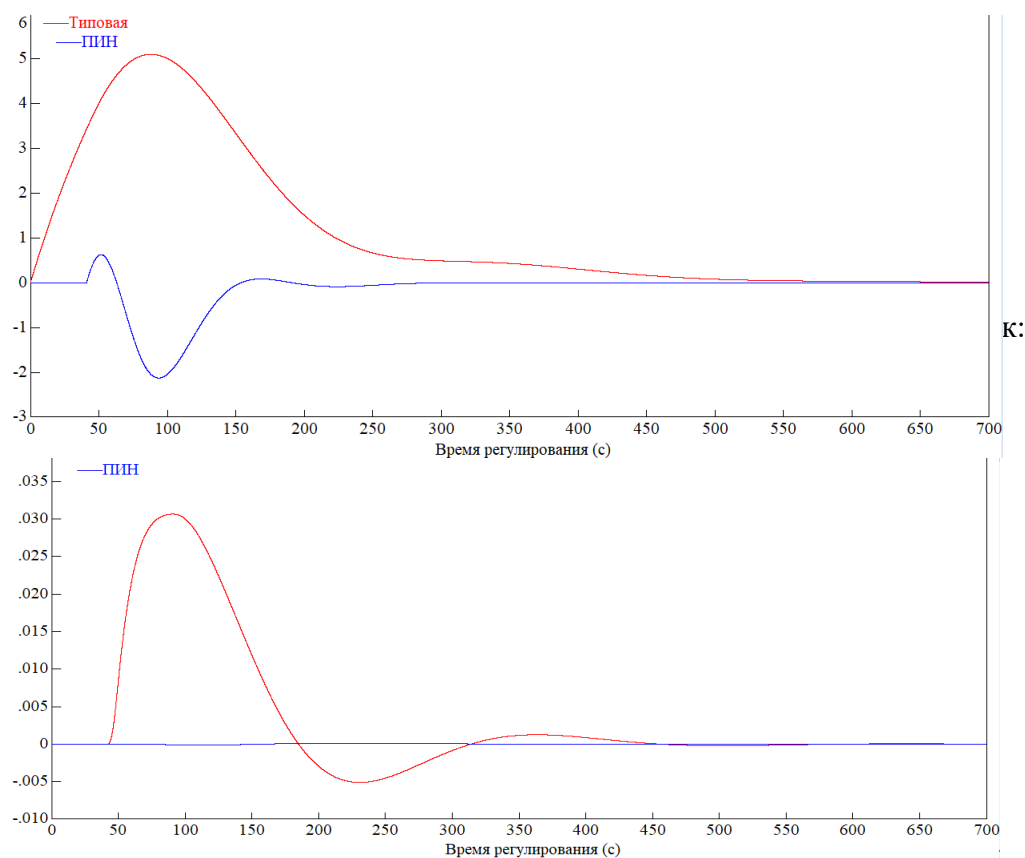


Рисунок 5 – Обработка крайнего внешнего возмущения f_2 [Источник: собственная разработка автора]

Заключение

Исходя из графиков мы можем увидеть, как при обработке скачка задания $x_{зд}$ наилучшей является ИСАР при ПИН, т.к. перерегулирование на 36% меньше и время регулирования меньше в 2 раза, в сравнении САР с дифференциатором.

При отработке внутреннего возмущения f_1 , время регулирования на 85% меньше, чем у типовой САР с дифференциатором. А амплитуды у инвариантной САР не наблюдаются.

При отработке крайнего внешнего возмущения f_2 , аналогично с другими возмущениями, оказалась лучшей инвариантная САР. Динамическая ошибка регулирования A_1^+ на 87% меньше, а время регулирования в 2 раза меньше, относительно САР с дифференциатором.

По итогам проведенного анализа, можно сделать вывод, что ИСАР при ПИН оказалась лучше по всем показателям, по сравнению с типовой САР с дифференциатором.

Литература

1. Автоматизированные технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Учебное пособие для вузов / П.Г. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – М.: Высшая школа, 1984. – 82 с.
3. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.
4. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

УДК 621.438

**ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В
ТЕПЛОФИКАЦИИ**
APPLICATION OF GAS TURBINE PLANT IN THE HEAT SUPPLY

К.А. Мельник

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

leo07@tut.by

К. Melnik

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

***Аннотация:** в статье рассмотрены принципы применения газотурбинных установок в нуждах теплофикации.*

***Abstract:** the article discusses the principles of using gas turbine plants in the needs of district heating.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, теплофикация, комбинированная выработка, парогазовые установки, котел-утилизатор.*

***Keywords:** gas turbine plants, heating, combined generation, combined cycle plants, waste heat boiler.*

Введение

Газовые турбины – это тип двигателя, который использует газ в качестве топлива для выработки механической энергии. Эти двигатели уже много лет используются в различных областях применения, включая производство электроэнергии, транспорт и промышленные процессы. В последнее время газовые турбины приобрели популярность в области теплоснабжения, где они используются для обеспечения теплом зданий и других объектов.

Основная часть

Газовые турбинные установки (ГТУ) и парогазовые установки (ПГУ) используются в системах теплоснабжения для выработки тепла за счет сжигания природного газа или других видов топлива. Горячие выхлопные газы турбины используются для нагрева воды или воздуха, который распределяется по сети труб или воздухопроводов для обеспечения теплом зданий или промышленных процессов.

Особенностью ГТУ является высокая температура уходящих газов, которая сбрасывается в атмосферу. Данная теплота уходящих газов, может быть использована с помощью газодводяных или пароводяных теплообменников, такие установки называются ГТУ-ТЭЦ.

Рассмотрим технологическую схему ГТУ-ТЭЦ. В газотурбинную установку (см. рисунок 1) поступает предварительно очищенный воздух, который сжимается в компрессоре, после чего сжатый воздух поступает в камеру сгорания, где смешивается с природным газом. После чего газоздушная смесь поступает на сопла газовой турбины, где поток ускоряется и проходит через проточную часть ГТУ, где потенциальная

энергия дымовых газов превращается в механическую энергию вращения ротора турбины. После чего уходящие газы поступают в паровой котел-утилизатор, где теплота дымовых газов передается воде, которая испаряется, после чего данный пар поступает в пароводяной теплообменник, с помощью которого происходит нагрев сетевой воды по тепловому графику 130/70.

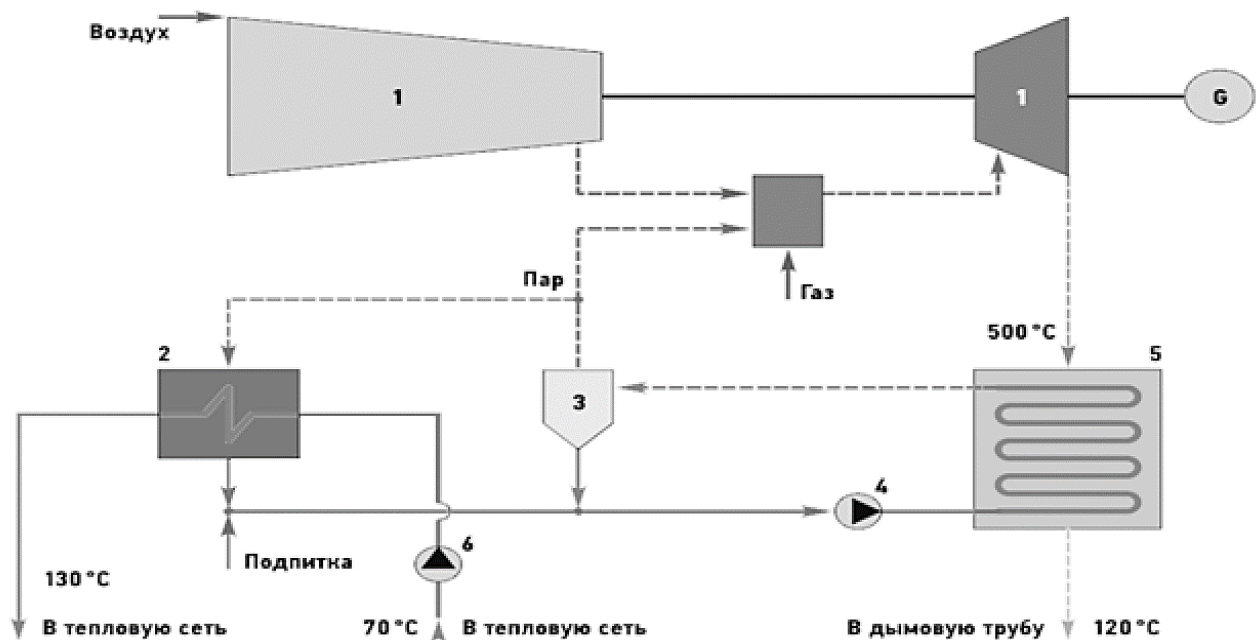


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема ГТУ [3]:

1 – газотурбинная установка; 2 – пароводяной подогреватель сетевой воды;
3 – сепаратор пара; 4 – питательный насос; 5 – паровой котел-утилизатор; 6 – сетевой насос

Преимущества газовых турбин в теплоснабжении:

Одним из главных преимуществ газовых турбин в теплоснабжении является их высокий КПД. Газовые турбины могут преобразовывать до 50% энергии, содержащейся в топливе, в механическую энергию, которая затем может быть использована для выработки тепла. Такая высокая эффективность означает, что газовые турбины могут вырабатывать тепло с меньшими затратами, чем другие системы отопления. Газовые турбины также очень надежны и не требуют особого технического обслуживания, что делает их популярным выбором для систем теплоснабжения.

Еще одним преимуществом газовых турбин в теплоснабжении является их гибкость. Газовые турбины могут использоваться для обеспечения теплом широкого спектра применений, от небольших жилых зданий до крупных промышленных процессов. Они также могут быть использованы в системах комбинированной выработки (ТЭЦ), где они могут вырабатывать как тепло, так и электроэнергию, обеспечивая более эффективное использование топлива [2].

Ограничения газовых турбин в теплоснабжении:

Одним из основных ограничений газовых турбин в теплоснабжении является их высокая капитальная стоимость. Установка газовых турбин обходится дороже, чем других систем отопления, что может сделать их менее

привлекательными для некоторых потребителей. Газовые турбины также требуют значительного пространства и могут быть шумными, что может ограничить их использование в определенных местах.

Еще одним ограничением газовых турбин в теплоснабжении является их воздействие на окружающую среду. Газовые турбины выделяют парниковые газы и другие загрязняющие вещества, которые могут способствовать изменению климата и загрязнению воздуха. Однако газовые турбины могут быть оснащены системами контроля выбросов, такими как каталитические нейтрализаторы и фильтры твердых частиц, чтобы снизить их воздействие на окружающую среду.

Газовые турбины используются в электроэнергетике уже много лет, и в последние годы их использование в системах теплоснабжения значительно возросло. Эффективность газовых турбин в системах теплоснабжения была дополнительно повышена с внедрением систем парогазовой установки (ПГУ). Системы ПГУ используют тепло выхлопных газов газовой турбины для выработки пара, который затем используется для приведения в действие паровой турбины для выработки дополнительной электроэнергии.

Газовые турбины также могут использоваться в системах когенерации или тригенерации, где они одновременно обеспечивают тепловое потребление, охлаждение (летом) и электроэнергию. Эти системы становятся все более популярными в коммерческих и промышленных целях, где требуется значительное количество тепла и охлаждения. Используя газовую турбину для выработки, как тепла, так и электроэнергии, эти системы могут достигать общей эффективности до 90%, что делает их высокоэффективным и экономичным методом обеспечения энергией крупных зданий и промышленных процессов [1].

Заключение

Таким образом, газовые турбины являются высокоэффективным, надежным и гибким методом обеспечения теплом широкого спектра применений, от небольших жилых зданий до крупных промышленных процессов. Несмотря на высокие капитальные затраты и воздействие на окружающую среду, газовые турбины остаются привлекательным вариантом для многих потребителей, особенно в комбинированных системах теплоэнергетики. Внедрение газотурбинных установок комбинированного цикла, а также доступность возобновляемого природного газа еще больше повысили эффективность и экологическую устойчивость систем теплоснабжения на базе газовых турбин.

Литература

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, [и др.]; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
2. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода. – 2-у изд. перераб и доп. / Г.Д. Баринберг [и др.]; Под ред. Ю.М. Бродова, В.В. Кортенко. – Е.: Издательство «Априо», 2010. – 488 с.

3. Использование газовых турбин для комбинированного производства энергии [Электронный ресурс] / Использование газовых турбин для комбинированного производства энергии электростанций. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/ispolzovanie-gazovyh-turbin-dlya-kombinirovannogo-proizvodstva-energii/>. – Дата доступа: 05.04.2023.

УДК 621.039

**ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА АЭС
APPLICATION OF GAS TURBINE PLANT AT NPP**

К.А. Мельник

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

K. Melnik

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

***Аннотация:** в статье рассмотрены принципы применения газотурбинных установок на атомных электрических станциях.*

***Abstract:** the article considers the principles of using gas turbine plants at nuclear power plants.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, маневренность, энергоблоки, рабочее тело, атомные электрические станции.*

***Keywords:** gas turbine plants, maneuverability, power units, working fluid, nuclear power plants.*

Введение

В настоящее время широко обсуждается возможность использования газотурбинных установок (ГТУ) в работе, не только совместно с паротурбинными установками (ПТУ), а так же использование ГТУ в атомной энергетике. В существующей энергосистеме ГТУ применяют в качестве пиковых агрегатов, из-за значительного превосходства ГТУ в маневренности, нежели ПТУ.

Основная часть

ГТУ принципиально делятся на работающие по открытому и замкнутому циклу.

Достоинствами ГТУ открытого типа являются: простота, высокая маневренность, приемистость и умеренные капиталовложения. С другой стороны, основным недостатком является – невысокая экономичность. В свою же очередь, ГТУ с замкнутым циклом (ЗГТУ) имеют меньшие размеры турбоагрегата, но не обладают маневренностью и простотой схемы.

Предлагают несколько принципиально разных вариантов использования ГТУ на АЭС, такие как: использование ГТУ как резервный источник электроснабжения для собственных нужд, в случае аварийного обесточивания энергоблока АЭС, а также строительство отдельных энергоблоков, с реакторами малой мощности с установкой ЗГТУ, вместо классических ПТУ [2].

Для атомной ГТУ в качестве рабочего тела могут использоваться различные газы такие, как: азот, углекислый газ, водород, гелий, а также различные смеси газов. Наиболее перспективными считаются одноконтурные установки с гелиевыми турбинами, устанавливаемые в энергоблоках с газоохлаждаемыми реакторами или с реакторами на быстрых нейтронах.

Главным достоинством применения гелия, как рабочего тела, является его инертность, то есть при прохождении гелия через ректор, он не вступает в реакцию. Так же одним из аспектов выбора гелия, является его высокий коэффициент теплопроводности, который в пять раз больше, чем у воздуха, в связи с этим упрощается теплопередача [1].

Рассмотрим процесс работы газа в ЗГТУ. Гелий с параметрами $p_0 = 6\text{--}15$ МПа и $t_0 = 800\text{--}1200^\circ\text{C}$ по трубопроводам от реактора (4) поступает в турбину (5), где происходит превращения потенциальной энергии газа, в механическую энергию вращения ротора ЗГТУ. Далее газ направляется в регенеративный теплообменник (3), где его температура понижается до $t_2 = 90^\circ\text{C}$, а также дополнительно охлаждается до температур $t_3 = 15^\circ\text{C}$ в холодильнике (10) циркуляционной водой. После чего происходит сжатие газа в компрессорах низкого (6) и высокого (8) давления, между которыми установлен промежуточный охладитель (7). Газ, на выходе из компрессора высокого давления имеет температуру $t_4 = 60^\circ\text{C}$, после чего направляется в регенеративный теплообменник (3), где нагревается до $t_5 = 460^\circ\text{C}$. Далее газ поступает в реактор, где нагревается до температуры t_0 , тем самым, замыкая цикл. Электрический КПД данной установки, без учета собственных нужд, примерно равен 40–48% [3].

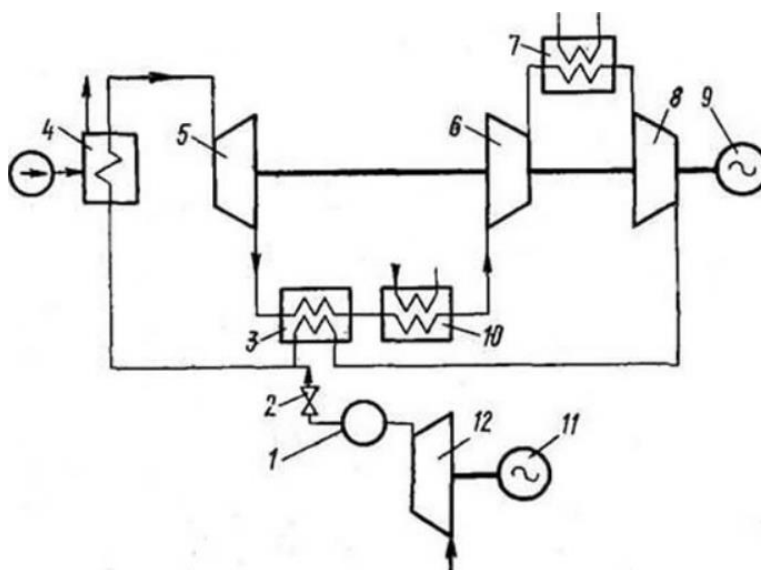


Рисунок 1 – Схема замкнутой ГТУ [3]:

1 – аккумулятор; 2 – регулятор; 3 – регенеративный теплообменник; 4 – атомный реактор; 5 – турбина; 6, 8 – компрессоры низкого и высокого давления; 7 – промежуточный охладитель; 9, 11 – генераторы; 10 – охладитель; 12 – подкачивающий компрессор

Термический коэффициент полезного действия ЗГТУ зависит от отношения температур на входе в газовую турбину и на входе в компрессор. Температура гелия на входе в компрессор существенно зависит от температуры циркуляционной воды в охладителе (10). Соответственно, при снижении температуры циркуляционной воды, можно добиться повышения η_t цикла ЗГТУ. Повышение температуры гелия на входе в турбину, ограничено термическими свойствами сталей как в реакторе, так и в других

теплообменниках. Также значительное влияние на тепловую экономичность ЗГТУ, является потери давления в цикле ЗГТУ.

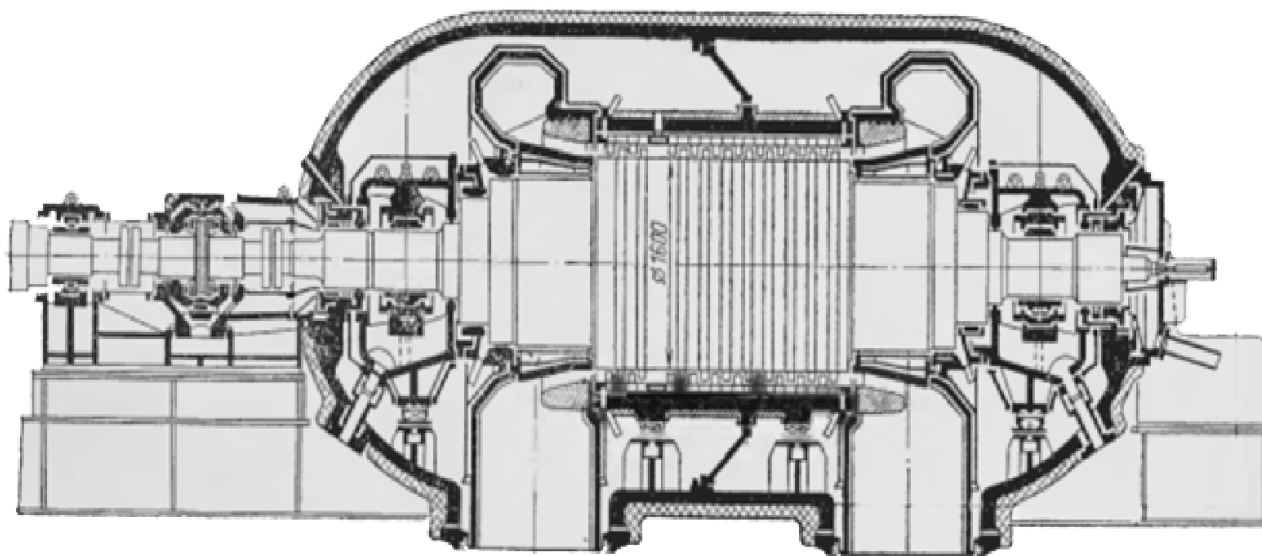


Рисунок 2 – Гелиевая газотурбинная установка [2]

Однако есть очень существенный недостаток использования гелия, как теплоносителя, такой как высокая текучесть. Для решения этой проблемы использования гелия, предлагают использовать интегрированную компоновку АЭС. При использовании данной компоновки реактор и весь гелиевый контур расположены в одном блоке, в свою очередь электрический генератор и системы охлаждения находятся в другом блоке, отделенном от реакторного цеха бетонной стеной из напряженного железобетона, что обеспечивает допустимую безопасность, при работе с гелием. Интегрированная компоновка не лишена недостатков, таких как: проблемы в регулировании, сложность контроля смазки подшипников и др., которые предлагают решить, путем размещения гелиевого контура, внутри горизонтального цилиндрического блока.

Еще одним немаловажным плюсом использования такого рабочего тела, как газ, является отсутствие коррозии ротора турбины, что повышает надежность работы агрегата.

Интересным решением продления срока эксплуатации реакторов АЭС, является модернизация энергоблоков, путем установки в цикле АЭС газотурбинных установок.

При устройстве данной компоновки энергоблока повышается срок службы ядерного реактора, путем замены части тепловыделяющих сборок, на цельнометаллические имитаторы. В данном случае уменьшается мощность реактора, из-за уменьшения интенсивности протекания ядерной реакции, что способствует уменьшению нейтронному охрупчиванию металла. В свою очередь компенсация потерянной мощности осуществляется за счет электрической мощности вырабатываемой ГТУ.

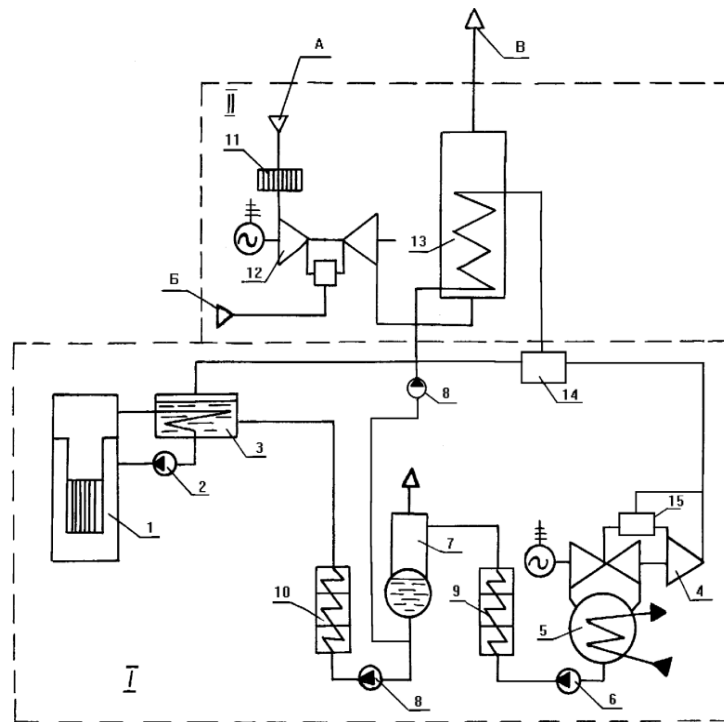


Рисунок 3 – Схема цикла АЭС с использованием ГТУ [3]:

1 – реактор; 2 – главный циркуляционный насос; 3 – парогенератор; 4 – конденсационная паровая турбина; 5 – конденсатор; 6 – конденсатный насос; 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – регенеративные подогреватели низкого давления; 10 – регенеративные подогреватели высокого давления; 11 – фильтр; 12 – газотурбинная установка; 13 – парогазовый теплообменник; 14 – смешивающее устройство; 15 – сепаратор пароперегреватель; А – всас воздуха из атмосферы; Б – подвод топлива в ГТУ; В – выхлоп ДГ через дымовую трубу

Заключение

Использование газотурбинных установок на атомных электрических станциях имеют место, при необходимости увеличения маневренности станции. С другой стороны, при использовании гелиевых турбин, сталкиваются с проблемами безопасной эксплуатации и ремонта данных агрегатов, что делает их применение менее популярным, чем использование для регулирования пиковых нагрузок отдельных парогазовых установок.

Литература

1. Турбины для атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. / Б.М. Трояновский. – М.: Энергия, 1978. – 232 с.
2. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, [и др.]; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
3. Газотурбинные установки парогазовых установок и атомных электростанций [Электронный ресурс] / Газотурбинные установки парогазовых установок и атомных электростанций. – Режим доступа: http://www.gigavat.com/gtu_pgu_aes.php /. – Дата доступа: 31.03.2023.

УДК 620.93

**ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЯХ
HYDROGEN PRODUCTION AT NUCLEAR POWER PLANTS**

В.С. Трубило

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,

V. Trubilo

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

***Аннотация:** в данных тезисах рассматривается возможность выработки водорода на атомных электростанциях (АЭС), оценивается себестоимость такого производства, оценивается, насколько эффективным может оказаться производство водорода методом электролиза на АЭС для повышения маневренности станции.*

***Abstract:** the abstract considers the possibility of generating hydrogen at nuclear power plants (NPPs), estimates the cost of such production, assesses how effective hydrogen production by electrolysis at NPPs can be to increase plant maneuverability.*

***Ключевые слова:** производство водорода, атомная электростанция, эффективность производств.*

***Keywords:** hydrogen production, nuclear power plant, production efficienc.*

Введение

Чтобы уменьшить вредное воздействие на окружающую среду, а также повысить эффективность производства водорода, развитые страны активно рассматривают вариант производства водорода на атомных электростанциях. Производство водорода с использованием ядерной энергии имеет потенциальные преимущества перед другими методами производства. Их можно описать двумя основными аспектами: качество, так как этот процесс приводит к снижению выбросов парниковых газов, и количество, т.к. становится возможным крупномасштабное производство водорода.

Основная часть

Методы паровой конверсии метана, газификации угля, высокотемпературного электролиза и термохимического разложения воды требуют высоких температур. Тогда как для низкотемпературного электролиза необходима только электроэнергия. А при методах паровой конверсии и при газификации угля выделяется углекислый газ, что вредно для окружающей среды.

Во многих странах мира действуют государственные программы по так называемой атомно-водородной энергетике. В последние годы сфера охвата программы Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) по неэлектрическим применениям ядерной энергии была расширена за счет включения других более перспективных направлений, таких как производство

водорода и применение высокотемпературного технологического тепла. Технологии производства водорода на АЭС имеют большой потенциал и преимущества перед другими источниками, которые могут быть рассмотрены для увеличения доли водорода в будущей мировой энергетической экономике. Выбор водородных технологий (которые будут сопряжены с ядерными энергетическими реакторами) во многом зависит от типа самой атомной электростанции.

На АЭС с реакторами с водой под давлением (ВВЭР, PWR) можно реализовать только низкотемпературный электролиз, т.к. параметры теплоносителя на выходе из реактора не превышают $\sim 330^{\circ}\text{C}$.

Считается, что появление высокотемпературных реакторов – это главный шаг в сторону водородной ядерной энергетики. Водород на таких АЭС может производиться и как единственный продукт, и параллельно с электроэнергией. Температура теплоносителя (гелия) на таких реакторах сможет достигать 1000°C , что позволит применять любой из выше названных методов.

Экономика производства водорода – это решающим фактор в вопросах выбора методов, который становится более значимым с введением налога на выбросы углерода. HydCalc был разработан как калькулятор одного окна для приблизительной оценки стоимости производства водорода с использованием различных технологий. Он использует текущую оценку цен из публикаций и научных статей, которые находятся в открытом доступе, и показывает себестоимость производства водорода и средний предполагаемый выброс CO_2 . В нем также рассматривается влияние налога на выброс CO_2 (carbon tax – это вид штрафа, который предприятия должны платить за чрезмерные выбросы парниковых газов) на себестоимость продукции.

В результате расчета с помощью этой программы пришли к следующим выводам. Низкотемпературный электролиз, несмотря на то что он самый экологически чистый из методов и имеет практически нулевой выброс CO_2 (только косвенные источники выбросов дают свой вклад), остается самым дорогим даже с учетом carbon tax. Даже при самой дешевой электроэнергии $0,046 \text{ \$/кВт}\cdot\text{ч}$ стоимость 1 тонны водорода будет дороже, чем полученная при паровой конверсии метана, в 1,5 раза.

Одним из самых дешевых оказывается высокотемпературный электролиз, но при условии, что цены на электричество составят $0,046 \text{ \$/кВт}\cdot\text{ч}$. Иначе при стоимости электроэнергии $0,131 \text{ \$/кВт}\cdot\text{ч}$ стоимость такого водорода будет в 2 раза превышать стоимость водорода, полученного традиционными методами.

Самым же дешевым методом оказывается производство водорода в йодно-серном цикле на высокотемпературных реакторах VHTR, но при условии, что экономические расчеты ведутся, принимая низкую ставку рефинансирования 10,5 %. При поднятии ставки до 16,5 % стоимость производства водорода возрастает и становится чуть больше, чем стоимость производства водорода всеми традиционными методами. Если говорить о малых модульных газоохлаждаемых реакторах MHR, цена водорода

становится выше, чем на крупных реакторах. Это можно объяснить большими капиталовложениями и высоким сроком окупаемости таких реакторов.

При выборе метода стоит опираться не только на себестоимость получаемого водорода, но и на чистоту производства. Если мы говорим о газификации угля или о конверсии метана, при повышении спроса на водород будет повышаться и выброс CO_2 . Ловушки CO_2 со своей задачей на 100 % не справляются, а carbon tax пусть и учитывает выбросы, но борется уже с последствиями и как раз направлен на стимуляцию производств к выбору более экологичных методов. Также carbon tax имеет тенденцию расти и отличается от страны к стране. Например, в некоторых европейских странах налог на CO_2 составляет более 100 \$/т CO_2 .

Т.к. мы стараемся стремиться одновременно к экологической чистоте производства и экономической эффективности, самым удачным методом можно назвать йодно-серный цикл. Однако для его реализации нужны высокие температуры порядка 850°C, которые в ядерной энергетике можно получить только на АЭС с высокотемпературными реакторами (там температура теплоносителя может достигать 1000°C). К сожалению, на данный момент такие реакторы не запущены в серийное производство. Такая технология используется только на экспериментальных и опытных установках, и в разных странах мира идет процесс накопления научно-технических знаний в этой области.

Сегодня можно рассмотреть следующий вариант производства водорода на АЭС. Наиболее распространенными типами реакторов в мире являются реакторы с водой под давлением, например, реакторы типа ВВЭР. На них возможно производство водорода только методом низкотемпературного электролиза: для других методов температура в таком реакторе недостаточна (температура теплоносителя на выходе из реактора последнего поколения – 328°C). Как можно видеть по расчетам выше, такой метод оказывается дорогим.

Но водород на АЭС с ВВЭР можно использовать для повышения маневренности самой АЭС. Это можно реализовать следующим образом. В часы провалов часть электроэнергии может идти на производство водорода путем электролиза. А в часы пиков нагрузки – этот водород можно сжигать и выделяемую при этом тепловую энергию использовать в обычном паротурбинном цикле для выработки дополнительной электроэнергии. При этом реакторная установка будет работать при номинальной нагрузке, что поможет избежать термических нагрузок на материалы активной зоны.

Такой метод использования водорода на АЭС не самый эффективный: мы не сможем покрыть полностью пиковую нагрузку, а также $\frac{3}{4}$ электроэнергии, пущенные на производство водорода, теряются в процессе дальнейшего преобразования водорода в электроэнергию. Поэтому единственная причина для использования такой схемы – это повышение маневренности атомной электростанции, чтобы сделать ее вклад в суточный график нагрузки более гибким. Экономически такое использование установок электролиза обосновать было бы сложно.

Заключение

Действительно перспективным производство водорода на АЭС сможет стать только когда высокотемпературные реакторы станут массово вводить в промышленную эксплуатацию. И тогда лидирующим может стать производство водорода методом йодно-серного цикла на АЭС с высокотемпературными реакторами. Это не только позволит улучшить экономическую эффективность производства водорода, но и уменьшит выбросы углекислого газа в атмосферу.

Литература

1. Водород в энергетике: учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.
2. МАГАТЭ. Nuclear hydrogen production [Электронный ресурс] / МАГАТЭ. Nuclear hydrogen production. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/topics/non-electric-applications/nuclear-hydrogen-production>. – Дата доступа: 23.03.2023.
3. Сравнительная оценка эффективности АЭС с использованием сателлитной турбины [Электронный ресурс] / Сравнительная оценка эффективности АЭС с использованием сателлитной турбины. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-effektivnosti-aes-s-ispolzovaniem-satellitnoy-turbiny/viewer>. – Дата доступа: 23.03.2023.

УДК 621.165.7

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК НА ДИСКЕ РОТОРА
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО СТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТАМ И МАССАМ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ПЕРЕОБЛОПАЧИВАНИЮ
DISTRIBUTION OF THE WORKING BLADES ON THE ROTOR DISK OF
A STEAM TURBINE BY STATIC MOMENTS AND MASSES
WHEN PERFORMING WORK ON RE-BLADING**

Ал-р, П. Имбро, А-й, П. Имбро

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

A. Imbro, A. Imbro

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается распределение рабочих лопаток на диске ротора паровой турбины по статическим моментам и массам при выполнении работ по переоблопачиванию, который позволяет обеспечить снижение уровня дисбаланса на роторе.*

***Annotation:** the article considers the distribution of the working blades on the rotor disk of a steam turbine by static moments and masses when performing work on re-blading, which allows reducing the level of imbalance on the rotor.*

***Ключевые слова:** паровая турбина, переоблопачивание, рабочие лопатки, ротор.*

***Key words:** steam turbine, re-blading, working blades, rotor.*

Введение

На сегодняшний день одной из ремонтных операций по замене лопаток при проведении входного контроля являются работы по распределению рабочих лопаток на диске по статическим моментам и массам. Лопатки паровых турбин различаются по конструкции, размером, типом хвостов, по видам их посадки и способом закрепления в роторе. Примененные в указанных лопатках конструкции хвостов должны обеспечивать:

- надежное закрепление лопаток на роторе по заданной посадке;
- заданный по чертежу шаг, гарантирующий расчетные проходные сечения паровых каналов, полученных при сопряжении лопаток после облопачивания;
- заданные по чертежу аксиальное и радиальное (тангенциальное) положение лопаток на диске.

Наиболее распространенные виды посадки хвостов лопаток:

- во внутренней кольцевой Т-образный паз диска;
- на наружный грибовидный обод диска;
- на вильчатый гребень диска;
- в елочные торцевые (осевые) пазы диска.

Основная часть

Вес лопаток, в особенности с длиной активной части более 500 мм; неравновесность лопаток может привести к появлению небаланса ротора турбины. Лопатки так же даже одного ряда могут иметь между собой значительную разницу в весе, которая при длинных лопатках доходит до больших величин. Кроме того, имея одинаковый вес всей лопатки в целом, разные лопатки могут иметь различный вес отдельных сечений лопатки, т.е. иметь массу профиля, неодинаково расположенную по высоте этих лопаток. Посадка таких лопаток на диск приводит к небалансу диска, который устранить очень трудно. Обеспечение одинаковых весов для всех лопаток данного ряда или установление определенного предела колебание весов в лопатках одного ряда требует взвешивание каждой лопатки.

Снижение уровня дисбаланса достигается путем установки лопаток, обладающих одинаковой или близкой величиной статического момента и(или) массы в диаметрально противоположных точках диска.

Для уменьшения дисбаланса облопаченного диска определению статического момента подлежат следующие рабочие лопатки турбин:

- для турбин с частотой вращения 3000 об/мин – с длиной активной части ≥ 240 мм;
- для турбин с частотой вращения 1500 об/мин – с длиной активной части ≥ 400 мм.

Так же лопатки с длиной активной части до 90 мм устанавливаются на диски без развешивания, за исключением лопаток регулирующих ступеней, которые развешиваются по массам на торговых весах, а лопатки с длиной активной части более 90 мм и до 240 мм развешиваются по массам на торговых весах.

Лопатки большей длины подлежат взвешиванию на специальных моментных весах (рисунок 2).

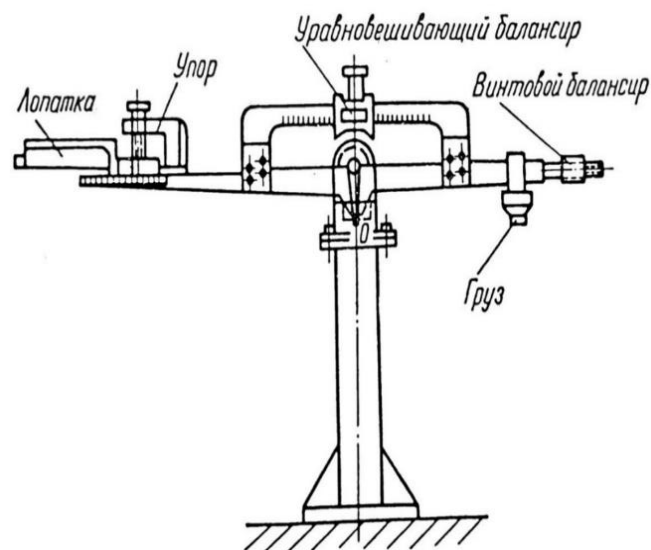


Рисунок 2 – Моментные весы [2]

Моментные весы позволяют подобрать лопатки с весом, одинаково распределенным по длине лопатки. Шкала этих весов используется не для определения абсолютных весов, а для сравнения весов отдельных лопаток с одной из них, принимаемой за контрольную.

Для лопаток турбин с частотой вращения 3000 об/мин допускается следующий дисбаланс (таблица 1).

Таблица 1 – Допускаемый дисбаланс [3]

Длина активной части, мм	Дисбаланс, г·мм
241 – 400	20
401 – 600	30
601 – 800	40
801 и более	50

В случае превышения допускаемого дисбаланса при облопачивании может быть проведена подшлифовка лопаток до размеров в пределах допусков по чертежу или замена их лопатками требуемого статического момента.

Разность статических моментов между двумя диаметрально противоположными пакетами лопаток не должна превышать 50 г·мм, при этом разброс в смежных пакетах также не должен превышать 50 г·мм.

При определении масс лопаток на торговых весах разность в массах трех-четырех противоположных пакетов по окружности диска не должна превышать 50 г.

Для определения статических моментов лопаток следует выбрать из 10–15 взвешенных на торговых весах лопаток одну средней массы, установить ее на моментных весах до упора, закрепленного на максимальном плече. Уравновесить лопатку грузом и винтовым балансиром так, чтобы уравновешивающий балансир и стрелка были на нуле ("0").

Снять лопатку с весов и замаркировать ее знаком "0". Установить очередную лопатку на весах до упора, передвижением уравновешивающего балансира вернуть стрелку весов на нуль. При перевесе лопатки маркировать ее знаком "+" (плюс), при перевесе груза – знаком "-" (минус). После знака "+" или "-" маркировать на лопатке число, показывающее количество делений, на которое был передвинут уравновешивающий балансир от нулевого деления. По окончании определения статических моментов и маркирования всех лопаток начертить схему распределения лопаток на диске (таблица 2, рисунок 3)

Лопатки с равными или близкими моментами и одинаковыми знаками расположить диаметрально противоположно и равными количествами.

На схеме пронумеровать лопатки порядковыми номерами и соответственно замаркировать этими номерами лопатки. Подготовленные таким образом лопатки будут при облопачивании набираться на диск согласно порядковым номерам.

Таблица 2 – Распределения лопаток на диске ротора по статическим моментам [1]

1	2	3	1	2	3
1	3	-9	48	1	-8
2	23	-23	49	2	-2
3	4	0	50	15	0
4	5	-12	51	86	-12
5	6	-6	52	80	-7
6	7	-10	53	75	-15
7	8	-4	54	22	-3
8	9	-6,5	55	29	-6
9	17	13,5	56	10	13
10	11	0,5	57	16	1
11	12	-2	58	33	-13
12	13	-2,5	59	35	-3
13	14	3	60	41	3,5
14	18	-16	61	55	-9,5
15	58	-11	62	19	-10,5
16	20	-4,5	63	27	-4,5
17	21	-2	64	70	-2
18	24	-6	65	48	6
19	25	-7	66	54	-9
20	36	-5	67	26	-3
21	28	17,5	68	60	-6,5
22	68	-5	69	66	-4
23	31	3	70	76	10
24	32	1	71	39	0
25	37	-10	72	44	-10
26	61	4	73	34	17
27	40	4,5	74	57	6,5
28	42	0	75	43	0
29	85	-13	76	47	-11
30	45	-11	77	56	-7
31	46	0	78	51	0
32	49	4	79	87	4
33	50	-10	80	67	-16
34	30	-5,5	81	52	-1
35	94	-4	82	62	3,5
36	72	-4	83	73	-4
37	69	1	84	90	1
38	59	-11,5	85	63	-11,5
39	82	-8,5	86	77	-9
40	71	6	87	78	5
41	64	9	88	84	-9,5
42	74	0	89	81	2
43	91	-9,5	90	93	-5
44	38	-17	91	53	-14
45	83	6	92	92	0
46	89	0	93	88	12
47	65	-3	94	79	-13

1 – номера лопаток, замаркированных при взвешивании; 2 – порядковые номера лопаток для набора на диск; 3 – результаты взвешивания (статические моменты лопаток, Г·мм).

Лопатки, у которых определены массы взвешиванием на торговых весах, группировать по равным или близким массам. Вычертить схему распределения лопаток на диске группами по массе. Лопатки с равными или близкими массами расположить на схеме диаметрально противоположно и равными количествами, пронумеровать на схеме и замаркировать этими номерами лопатки для сборки на диск в порядке номеров.

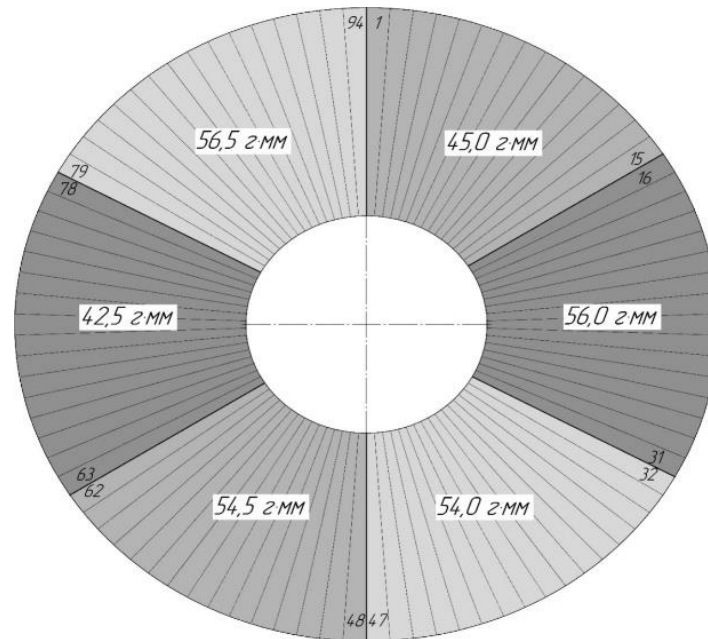


Рисунок 3 – Схема распределения лопаток на диск по пакетам [1]

Примечание: 2 пакета по 15 лопаток и 4 пакета по 16 лопаток

Распределением рабочих лопаток на диске по статическим моментам и массам удастся получить равномерное распределение веса лопаток на диске, благодаря чему значительно уменьшается неравновесность диска и облегчаются условия балансировки, а в ряде случаев при снятом диске и сведении статического небаланса облопаченного диска до нуля, даже устраняется необходимость балансировки после переоблопачивания. Выполнение данной ремонтной операции является одним из основных условий надежной работы турбоагрегатов.

Заключение

На данный момент распределение лопаток на диске по пакетам инженерно-техническими работниками производится вручную. Создание программного комплекса позволит значительно сократить трудоемкость и повысить качество ремонтных работ, связанных с заменой рабочих лопаток роторов турбоагрегатов.

Таким образом, обеспечение правильного распределения рабочих лопаток на диске ротора паровой турбины по статическим моментам и массам при выполнении работ по переоблопачиванию позволит снизить дисбаланс и как следствие уровень вибросостояния подшипниковых опор турбоагрегата, а так же достичь надежной работы агрегата в целом.

Литература

1. Ремонт паровых турбин: учебное пособие для ВУЗов / В.Н. Родин [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Бродова и В.Н. Родина. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. – 296 с.
2. СТП 34.30.605 (РД 34.30.605) Технологическая инструкция по замене лопаток паровых турбин. – М.: 1987. – 64 с.
3. Ремонт паровых турбин / В.А. Молочек. – М: Энергия, 1968. – 376 с.

УДК 621.182.246

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПРЯМОТОЧНОГО
КОТЛОАГРЕГАТА
IMPLEMENTATION OF LOAD CONTROL OF A FLOW-FLOW BOILER
UNIT**

У.А. Сороко

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

U. Soroko

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

***Аннотация:** в данной статье рассматривается реализация регулирования нагрузки прямоточного котлоагрегата.*

***Abstract:** this article discusses the implementation of load control of a once-through boiler.*

***Ключевые слова:** прямоточный котел, регулирование, принципиальная схема, автоматизация, контроллер.*

***Keywords:** once-through boiler, regulation, circuit diagram, automation, controller.*

Введение

Работа прямоточного парового котла основана на принципе водяной трубы, когда питательная вода нагревается до состояния пара за один проход по трубе. Водотрубная система, не имеющая выделенного парового пространства, требует относительно небольшого количества воды. Вода быстро преобразуется в пар.

При проектировании системы управления прямоточным котлом необходимо учитывать его конструктивные особенности (отсутствие барабана, развитая поверхность нагрева, высокое гидравлическое сопротивление), которые устанавливают динамические характеристики блока управления. Кроме того, корректирование определенных параметров становится затруднительным при учете взаимосвязи между горением, парообразованием и температурой перегретого пара. Например, системы управления температуры перегретого пара прямоточных котлов более сложны, чем у барабанных из-за большего расхода воды на впрыск. Затраты на впрыск зачастую составляют около 5% от номинальной мощности для жаротрубных котлов, в то время как для прямоточных котлоагрегатов они вдвое выше. Но даже для прямоточных котлов можно выделить системы управления давления перегретого пара и тепловой нагрузки, эффективности сжигания и автономные системы управления температуры перегретого пара.

Основная часть

Различная система управления должна поддерживать управляемую переменную с минимальным отклонением от заданного значения. На практике

требуемая точность в основном может быть достигнута путем увеличения чувствительности регулятора к отклонению управляемой переменной. Однако это может привести к возникновению колебаний в замкнутой системе управления, что приведет к потере устойчивости.

Поэтому обеспечение устойчивости во всех практических режимах работы объекта автоматизации является приоритетной задачей при проектировании и согласовании эксплуатации системы управления.

Требования к системе выделяются исходя из технологии котлоагрегата, оборудования, особенностей задачи управления и общих принципов построения современной системы автоматического управления.

К системам автоматического управления предъявляются следующие требования:

- постоянно контролировать состояние технических операций и технических установок;
- обеспечивать возможность управления процессами и оборудованием посредством автоматизации на местах;
- обрабатывать данные аналоговых и дискретных показателей и следить за техническими операциями на пульте управления;
- диагностировать и сигнализировать о неисправностях и аварийных ситуациях и вести их протоколирование;
- обеспечивать возможность дистанционного управления регулирующими исполнительными механизмами;
- осуществлять локальное управление с упором на автоматическую стабилизацию технических параметров;
- взаимодействие с предполагаемой общезаводской сетью управления ПК;
- хранение и представление измеренных и рассчитанных значений.

Регулирование нагрузки прямоточного котла осуществляется по схеме соотношения расходов вода-теплота. Объектами автоматизации являются задвижка подачи топлива и питательный турбонасос (ПТН), автоматизация которого осуществляется посредством отпуска пара на ПТН.

При проектировании системы автоматизации процессов создаются электрические схемы для отдельных элементов автоматизируемой системы. На основе этих отдельных элементов создается принципиальная схема всей системы автоматизации. Эта схема должна показывать общую картину соединений между всеми элементами управления, блокировки и сигнализации.

Схемы подключения различных систем автоматизации объединяют отдельные элементарные электрические цепи и типовые узлы в определенном порядке и выполняют ряд стандартных операций:

- 1) передача управляющих сигналов от управляющего или измерительного устройства к исполнительному механизму;
- 2) усиление или умножение управляющих сигналов и их сравнение;
- 3) преобразование сигналов короткого времени в сигналы длительного времени и наоборот;
- 4) блокирование сигналов.

Элементарные схемы могут включать типовые схемы коммутации измерительных приборов различного назначения.

Для решения поставленной задачи вполне неплохо справится контроллер МС-8.2-РСТВ «КОНТАР».

Он предназначен для автоматического управления, регулирования и контроля различных технических процессов.

Функции:

- установление сигналов от аналоговых и дискретных приборов технических показателей;
- создание дискретных и аналоговых выходных сигналов для контроля исполнительными приборами;
- выполнение функциональных алгоритмов, необходимых для управления определенными техническими операциями;
- отметка событий во внутреннюю память контроллера;
- контроль и поправка значений показателей с помощью встроенного или внешнего пульта управления или ПК;
- автоматическое исправление параметров благодаря планировщику;
- возникновение, оставление и распространение аварийных сигналов.

Заключение

На аппаратуре МС-8.2-РСТВ «КОНТАР» можно легко реализовать автоматизацию регулирования нагрузки прямоточного котлоагрегата. Данная аппаратура с легкостью дает возможность осуществлять сбор информации от любых источников (преобразователи температуры, давления, расхода и т.п.) и доставлять ее на высший уровень благодаря различным каналам связи, например сети Интернет. Контроллеры позволяют работать автономно или быть включенным в сеть приборов КОНТАР в составе распределенной системы регулирования.

Литература

1. Автоматизированные технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Учебное пособие для вузов / П.Г. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

2. **Контроллеры «КОНТАР»** [Электронный ресурс] / **Контроллеры «КОНТАР»**. – Режим доступа: <https://www.mzta.ru/mc8/>. – Дата доступа: 12.04.2022.

УДК 621.18-5

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ
КОТЛОАГРЕГАТА НА АППАРАТУРЕ РЕМИКОНТ Р-130
IMPLEMENTATION OF WATER LEVEL CONTROL IN THE DRUM
OF THE BOILER UNIT ON REMIKONT R-130 EQUIPMENT**

Я.В. Адуцкевич

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

Y. Adutskevich

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

***Аннотация:** в данной статье, для реализации процесса регулирования уровня воды в барабане котла, рассматривается аппаратура РЕМИКОНТ Р-130.*

***Abstract:** in this article, for the implementation of the process of regulating the water level in the boiler drum, the REMIKONT R-130 equipment is considered.*

***Ключевые слова:** пар, автоматизация, барабанный котлоагрегат.*

***Keywords:** steam, automation, boiler drum.*

Введение

Объектом проектирования является барабанный паровой котёл. Паровой котёл – это устройство, в котором для получения пара требуемых параметров используют теплоту, выделяющуюся при сгорании органического топлива. Главными составляющими элементами котла являются топка и теплообменные поверхности. Теплообменные поверхности подразделяются на нагревательные, испарительные и пароперегревательные, по способу передачи теплоты – на радиационные, конвективные и радиационно-конвективные.

Котлоагрегат представляет собой сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами.

Вышеперечисленные величины изменяются в соответствии с регулирующими воздействиями и в зависимости от внешних и внутренних возмущений, которые носят детерминированный или случайный характер. Выходные регулируемые величины некоторых участков являются одновременно входными по отношению к другим.

Регулирование уровня воды в котлах малой производительности зачастую осуществляется одноимпульсными регуляторами, а также управляемыми датчиками изменения уровня воды.

В соответствии с особенностью технологии, оборудования и поставленных задач управления котлом, а также из общих принципов построения современных САУ выделим требования, предъявляемые системе. САУ должно осуществлять контроля, управление, регулирование технологическими процессами и диагностику аварий [1].

Основная часть

Контроллер РЕМИКОНТ Р-130 используется в качестве автоматического регулирования и логического управления в АСУ технологических процессов. Контроллер отлично подходит для регулирования процессов, требующих высокую точность и быстродействие. Для работы с ПО не требуется определенных знаний языков программирования, что делает работу легкой, так как технологу достаточно знаний типовых контрольно-измерительных приборов. Так как контроллер малоканальный, он может экономично управлять небольшим агрегатом, а также обеспечивать высокую производительность.

Существующие в контроллере средства оперативного управления позволяет менять режимы работы, управлять ходом технологического процесса, устанавливать измеряемые диапазоны и осуществлять контроль над ошибками.

Контроллер Ремиконт Р-130 состоит из блока БК-1/П-01, блоков усилителей, блоков питания, резисторов, клеммно-блочных соединителей и др.

Основным считается БК-1: 1) БК-1 преобразует АО и ДО сигнал в цифровую форму и вырабатывает управляющее воздействие; 2) преобразование сигналов, представленных в контроллере в цифровой форме, в АО и ДО сигналы; 3) поступающая информация обрабатывается по соответствующим принципам управления; 4) обработка DI/DO аварийных сигналов; 5) прием и передача сигналов по интерфейсным каналам; 6) ручной оперативный контроль и управление на панели блока. Аккумулятор подключается к модулю процессора и состоит из трех элементов.

1. Типы проверяемых блоков: БК-1, БУТ, БУС, БУМ, БПР, КБС.
2. Типы проверяемых модулей: ПРЦ, МКП, МСН.ПЛ, ПН, МАС, МДА, МСД.
3. Число задатчиков аналоговых сигналов – 8.
4. Число задатчиков дискретных сигналов – 16.
5. Число аналоговых контролируемых сигналов – 2.
6. Число контролируемых дискретных сигналов – 16.
7. Встроенный цифровой вольтметр с пределами измерения: 0–200 мВ, 0–20 В, 0–200 В, 0–750 В, 0–200 мкА, 0–2000 мкА, 0–20 мА, 0–200 мА, 10 А, 0–200 Ом, 0–2000 Ом, 0–20 кОм, 0–200 кОм, 0–2000 кОм.
8. Встроенный регулируемый источник для программирования ПЗУ и ППЗУ 3-25 В, 0–150 мА.
9. Встроенный задатчик сигналов от -13 В до +13 В, 0–20 мА.
10. Источник регулируемого напряжения низкого уровня (ИРН) от -200 мВ до +300 мВ, 20 мА.
11. Встроенный источник стабилизированного напряжения 5В, 15В и 24В с возможностью подключения внешней нагрузки до 500 мА.
12. Комплект соединителей – 10.
13. Габаритные размеры 450*380*120.

Дополнительными считаются все остальные блоки, использующиеся для усиления сигналов термопар и термометров сопротивления. Контроллер также

имеет выгодную компоновку, которая позволяет согласно количеству входных и выходных сигналов выбирать нужное количество модулей и блоков.

Контроллер РЕМИКОНТ Р-130 имеет 4 контура регулирования. Присутствуют следующие параметры:

1. Локальный, каскадный и др режимы работы.
2. Аналоговый и импульсные виды регулирования.
3. Ручной, внешний и программный виды задания.
4. П, ПД, ПИ, ПИД законы регулирования.

Строение контроллера позволяет вручную и автоматически управлять контурами регулирования.

Заключение

На аппаратуре РЕМИКОНТ Р-130 достаточно просто и экономично можно реализовать автоматизацию регулирования уровня воды в барабанном котлоагрегате. Также он отлично подходит для применения в автоматизированных линиях и для другого оборудования промышленного назначения. Контроллер имеет связи ИРПС и RS-232С. Его скорость обмена информацией составляет 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 Кбит/с, что является хорошим показателем для регулятора уровня воды в барабане котла.

Литература

1. Автоматизированные технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Учебное пособие для вузов / П.Г. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
2. РЕМИКОНТ Р-130 [Электронный ресурс] / РЕМИКОНТ Р-130. – Режим доступа: <https://zeim.pro-solution.ru/controllery/>. – Дата доступа: 12.04.2022.

УДК 621.311.019.3

РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ FLUE GAS RECIRCULATION

А.О. Боровикова

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

А. Borovikova

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

***Аннотация:** выполнен анализ перспективных направлений развития рециркуляции продуктов сгорания.*

***Abstract:** the analysis of promising directions for the development of recirculation of combustion products.*

***Ключевые слова:** рециркуляция, дымовые газы, топка, котел, энергетика.*

***Keywords:** recirculation, flue gases, furnace, boiler, energy.*

Введение

Рециркуляция продуктов сгорания в зону горения считается широко применяемым способом снижения оксидов азота. До момента внедрения способов уменьшения дымовых газов котел рассчитывался так, чтобы он работал при небольшой нагрузке дымососов рециркуляции при номинальной нагрузке. То есть чтобы сохранить температуру перегретого пара неизменной необходимо было бы уменьшение нагрузки.

Основная часть

Благодаря рециркуляции, в энергетике, ведется полный контроль температуры перегретого пара и сводятся параметры работы котлов, которые происходят при сжигании топлива. Хотя и в итоге получается лишь небольшое уменьшение КПД котла (рисунок 1).

Это в свою очередь сильно сказывается на итоговую концентрацию оксидов азота и на отклонение температуры и концентрации окислителя в зоне горения.

Чтобы сохранить расчетную температуру продуктов и баланс температуры потока газов по глубине топки, необходимо использовать метод обеспечения бесшлаковочной работы. Из-за чего происходит уменьшение на выходе из топки при больших нагрузках путем добавки дымовых газов в верхнюю часть топки до значения необходимого для предупреждения загрязнения конвективных поверхностей нагрева [1].

С помощью рециркуляции осуществляется настройка температуры дымовых газов на выходе из топки и температуры перегрева пара за счет газов в нижнюю часть топки. При рециркуляции вниз топки температура перегретого пара увеличивается, при рециркуляции вверх, соответственно понижается.

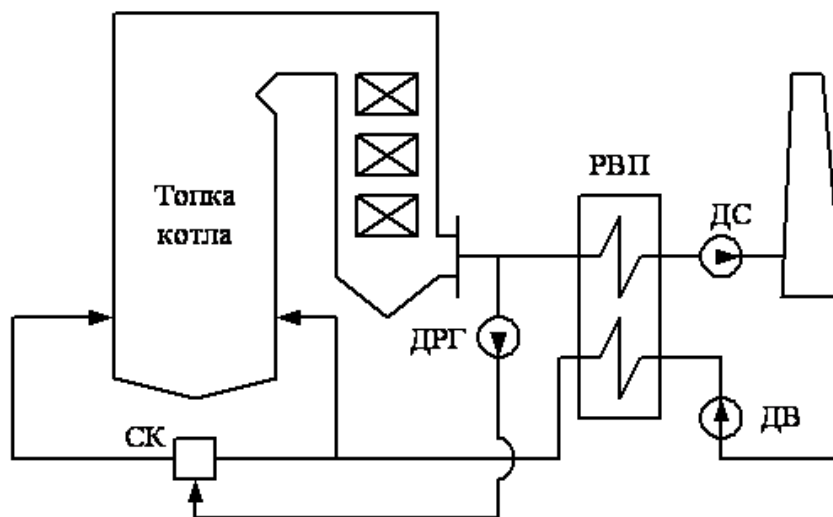


Рисунок 1 – Принципиальная схема рециркуляции дымовых газов котла с использованием дымососов рециркуляции газов [1]

ДРГ – дымосос рециркуляции газов; ДВ – дутьевой вентилятор; ДС – дымосос; РВП – регенеративный воздухоподогреватель; СК – смесительная камера

Если снабжать газы через горелки в ограничивающей среды, а та в свою очередь, отделяет потоки, то появляется возможность предупреждения возникновения «топливных» оксидов азота. Также это можно сделать способом разбавки воздуха нейтральной средой.

В сечении топки из-за образования восстановительной зоны системы трехступенчатого сжигания происходит перемещение и распределение вспомогательного топлива (рисунок 2).

Также можно изменять температуры сушильного агента, который применяется для сушки высокорекреационных топлив или топлив большой влажности, благодаря воздействию присадки дымовых газов к сушильному агенту.

На сегодняшний день рециркуляцию газов применяют в котлах большой мощности, которые способны работать на угольной пыли, мазуте и природном газе. Несмотря на преимущества в виде маленького появления оксидов азота или защита топочных экранов от перегрева, все равно присутствуют возникают некоторые трудности. К таким затруднениям необходимо отнести обязательное наличие рециркуляционного дымососа в газоходах [2].

Путем обеспечения рециркулирующих дымовых газов сквозь холодную воронку можно предотвратить сепарацию несгоревшей и невоспламенившейся угольной пыли.

Ее активно применяют для разрешения многих вопросов. Наиболее часто добавляют эти газы в холодную воронку, что влияет следующим образом: предупреждает крупную сепарацию недогоревших угольных частиц, так как снижается выход оксидов азота на 10–17%.

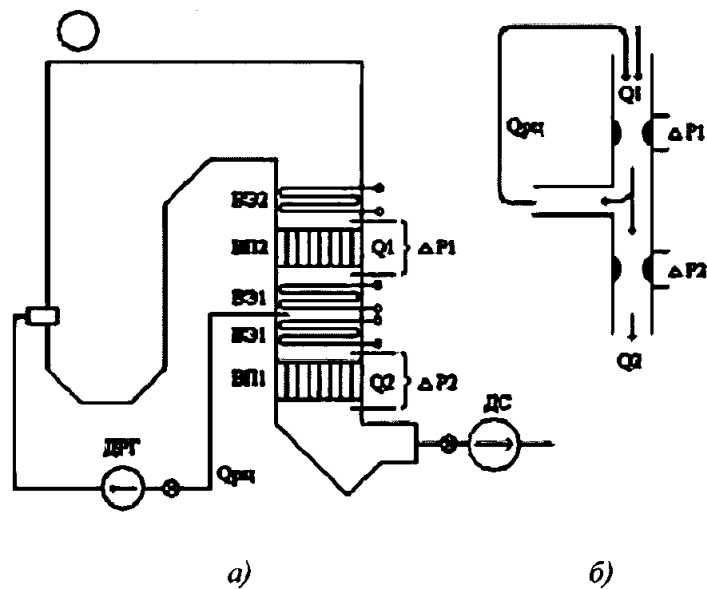


Рисунок 2 – Схема отбора дымовых газов на рециркуляцию [2]:
а – продольный разрез, б – упрощенная схема

В современных кольцевых камерах сгорания газовых турбин, температура газов может достигать $1500\text{--}1700^\circ\text{C}$, рециркуляция отработанных газов является одним из основных способов подавления оксидов азота.

Заключение

Отсюда следует, что направленность метода таких газов находит нужные решения и наилучшие системы рециркуляции в общем для реализации тех или иных описанных способов влияния на топочный процесс.

Из вышеописанного следует, что рециркуляция дымовых газов в топку кардинально меняет содержимое топочных газов, значительно повышает их количество и вносит новые методы в турбулентный массообмен.

Литература

1. Ковалев, А.П. Парогенераторы ТЭС / Н.С. Лелеев [и др.] // Учебник для Вузов. – 1985. – 322 с.
2. Усман, Ю.М. Исследование ступенчатого сжигания природного газа в топке котла ТГМ-96Б для снижения выбросов оксидов азота. / Ю.М. Усман [и др.] // Электрические станции. – 1989. – № 12. – С. 23–28.

УДК621.187.12

СУХИЕ ГРАДИРНИ DRY COOLERS

И.В. Рапута

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

I. Raputa

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

***Аннотация:** в статье отображены конструктивные особенности, преимущества и недостатки сухих градирен.*

***Abstract:** the article shows the design features, advantages and disadvantages of dry cooling towers.*

***Ключевые слова:** градирня, драйкулер, сухое охлаждение, хладагент, теплообменник, вентилятор.*

***Keywords:** cooling tower, dry cooler, dry cooling, refrigerant, heat exchanger, fan.*

Введение

Драйкулер (Dry Cooler – сухой охладитель) или сухая градирня - это установка предназначенная для охлаждения теплоносителя за счёт окружающей среды.

Сухие градирни применяются в различных отраслях промышленности (химической, пищевой, перерабатывающей) для охлаждения воды, которая в свою очередь охлаждает различное технологическое оборудование.

Основной функцией градирни является частичное охлаждение жидкостей.

Сухие градирни могут быть использованы в том случае, когда: есть необходимость охлаждения теплоносителя без его контакта с внешней средой, невозможна постоянная подача воды, необходимо охлаждать жидкости с высокой температурой, при использовании вместо воды этиленгликоля или других токсичных жидкостей.

Основная часть

Сухая градирня (драйкулер) состоит из трёх основных частей: теплообменник, вентилятор и корпус, где размещены теплообменник и вентилятор. Теплообменник изготовлен из тонких, но устойчивых к нагреву металлов, таких как медь или алюминий.

Корпус градирни оснащён ножками для горизонтальной установки. Также охладитель может устанавливается вертикально на кронштейнах без применения ножек.

Теплообменник имеет рёбра, через которые отводится часть тепла теплоносителя, при этом возрастает теплоёмкость на 30% и более. Вентилятор делает обдув принудительным и эффективным, а также обеспечивает отвод теплоты [1].

Классифицировать сухие градирни можно следующим образом:

1. По мощности (от 5 до 2000 кВт).
2. По уровню шума (стандартный; низкий).
3. По количеству вентиляторов (от 2 до 20 вентиляторов).
4. Типом теплообменника (вертикальные, горизонтальные или V-образные).
5. По размещению и направлению выдува воздуха.

Сухие градирни применяются:

1. В схемах с чиллером с водяным охлаждением конденсатора.
2. В системах холодоснабжения, работающих круглый год [1].

При эксплуатации градирни в более тёплый период года (среднесуточная температура выше 18°C), температуры получаемого хладагента, как правило, бывает недостаточно. В данном случае сухие градирни имеют дополнительный узел – систему орошения (адиабатическая система охлаждения). Благодаря этому происходит испарение воды и снижение температуры воздуха вблизи поверхности теплообменника, что повышает эффективность работы драйкулера.

Рассмотрим устройство и принцип работы сухой градирни с включением в конструкцию оросительной системы. Основные узлы аппарата представлены на рисунке 1.

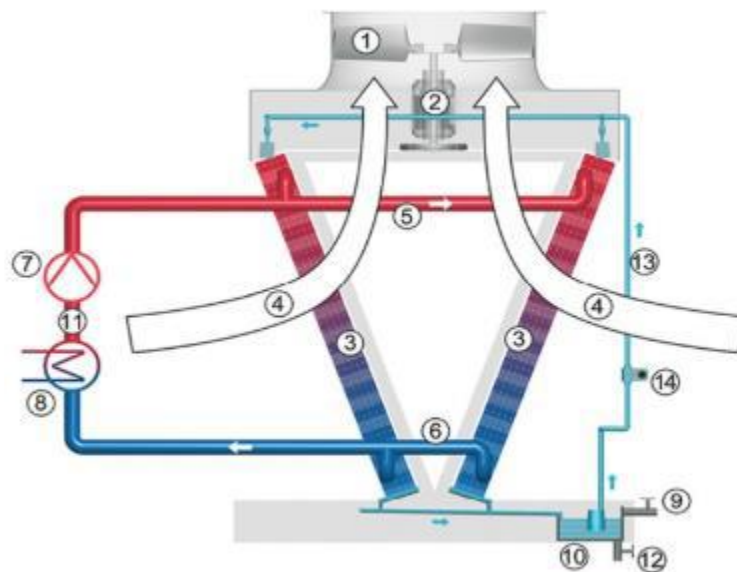


Рисунок 1 – Конструкция сухой градирни [2]:

- 1 – вентилятора; 2 – двигатель вентиляторов; 3 – теплообменники; 4 – воздушный поток;
- 5 – подача теплого хладонносителя; 6 – обратный контур остывшего хладонносителя;
- 7 – гидромодуль или насос; 8 – потребитель; 9 – подпитка воды на систему орошения;
- 10 – резервуар для воды орошения; 11 – первичный контур охлаждения;
- 12 – слив воды и грязи системы подпитки; 13 – контур воды орошения;
- 14 – электромагнитный вентиль подачи воды

Подача нагретого хладагента на охлаждение осуществляется с помощью гидромодуля или насоса. Холодный воздух всасывается через рёбра теплообменника с помощью вентиляторов. Соприкасаясь с трубками, воздух принимает тепло, в результате температура хладонносителя, циркулирующего в

трубках, снижается. Хладоноситель после охлаждения поступает в трубопровод, откуда подаётся к потребителю.

Система орошения включается в момент максимальной эффективности. Подача воды на форсунки осуществляется с помощью электромагнитного вентиля. Форсунки распыляют ее на теплообменники. Соприкасаясь с горячими трубками, вода частично испаряется. Неиспарившаяся вода очищает поверхность теплообменника от пыли и грязи и стекает в резервуар, который служит для экономии воды. Очистка резервуара от накопившейся грязи происходит периодически.

Для эффективной работы драйкулера, необходимы большие воздушные потоки, поэтому должна быть обеспечена свободная подача воздуха к вентиляторам. Скорость вращения лопастей вентилятора регулируется в соответствии с изменением температуры наружного воздуха и температуры воды в контуре охлаждения.

Вентиляторы для сухих градирен имеют большую разновидность моделей. Это обусловлено не только их диаметрами, но и разнообразием конструкций сухих градирен. Для сухих градирен применяются вентиляторы нагнетательного и вытяжного типа. Применение вытяжного вентилятора позволяет равномернее распределить воздушный поток и увеличить охлаждающий эффект.

В драйкулерах горизонтально или вертикального типов используются стандартные осевые вентиляторы диаметром 630/800/900/1000мм, V-образного типа – 800/900/1000 мм. Уровни шума соответствуют значениям в соответствии со стандартом EN 13487. Все вентиляторы снабжены встроенными термическими предохранителями. Вентиляторы 3-х фазные с 2-мя скоростями.

На сегодняшний день все больше внимания уделяется вопросам энергосбережения, поэтому необходимо ориентироваться на энергосберегающее оборудование. По сравнению с традиционным оно более дорогое, но окупает себя в процессе эксплуатации. ЕС-вентиляторы, позволяют уменьшить энергопотребление, при этом увеличить производительность оборудования и срок его бесперебойной работы.

В сухих градирнях с ЕС-вентиляторами применяются 3-х фазные вентиляторы с интегрированными электронными контроллерами. Данные контроллеры обеспечивают плавный старт, защиту от падения напряжения, от перегрева, от блокировки ротора и от короткого замыкания. Диаметр вентиляторов – 800/900/1000 мм.

Тип теплообменника имеет немаловажное значение при выборе сухой градирни. Благодаря объединению в единую конструкцию двух теплообменных аппаратов, расположенных под углом друг к другу, драйкулеры V-образной формы обладают более высокой производительностью, что позволяет разместить агрегат большей мощности на одинаковой площади.

Драйкулеры плоской формы отличает компактная конструкция, большой выбор конфигураций, чем агрегат V-образной формы аналогичной мощности. Сухие охладители плоской формы более универсальны и могут устанавливаться как горизонтально, так и вертикально. При размещении на

кровле ввиду малой массы они не требуют устройства сложной разгрузочной рамы, которая необходима при установке чиллеров [1].

Экологическая безопасность сухих градирен имеет не маловажное значение на промышленных предприятиях, т.к. помимо воды может проводиться охлаждение раствором гликоля или масел [3].

Если провести сравнение с мокрыми градирнями, для работы которых необходима очищенная сточная вода, в результате, выделяемые примеси вредных и токсичных веществ, оказывают влияние на окружающую среду в местах их выброса, то в процессе работы сухой градирни теплоноситель не испаряется, т.к. он циркулирует по замкнутому контуру. Загрязнение его не происходит, не требуется применения дополнительной очистки. Использование такой градирни исключает химическое загрязнение, не позволяет повысить влажность воздуха, т.к. выбрасывается только тёплый воздух, не вызывающий изменений в окружающей среде.

На основании выше изложенного, можно выделить основные преимуществам драйкулеров:

1. Простота конструкции.
2. Простой и понятный механизм работы.
3. Небольшая массу агрегатов и гибкость при их установке.
4. Применение в закрытых контурах, где циркулирует один и тот же заранее подготовленный теплоноситель не требующий дополнительной очистки.
5. Надёжность системы – теплоноситель не подвержен внешним загрязнениям, практически не требуется подпитка системы.
6. Возможность эксплуатации при отрицательных температурах, так как в качестве теплоносителя можно использовать раствор гликоля.

Недостатком сухих охладителей является не возможность охладить теплоноситель до температуры, которая ниже температуры окружающей среды.

Заключение

При включении сухой градирни в технологический процесс может быть решён вопрос недостатка или отсутствия воды на технологические нужды, а также её дополнительной подготовки, снизятся затраты на систему охлаждения, что отразится на капиталовложениях. Отсутствие выбросов и паров положительно скажется на экологической безопасности.

Литература

1. Драйкулеры (сухие градирни) – что это такое, конструкция, сфера применения [Электронный ресурс] / Драйкулеры (сухие градирни) – что это такое, конструкция, сфера применения. – Режим доступа: <https://mir-klimata.info/drajkulery-suhie-gradirni-cto-eto-takoe-konstrukciya-sfera-primeneniya/>. – Дата доступа: 11.04.2023.
2. Анализ эффективности применения сухих градирен на ТЭС: маг. дис. тех. наук: 13.04.01 / Е.А. Тен. – Томск, 2020. – 103 с.
3. Устройство и расчет промышленных градирен: Монография / А.Г. Лаптев, И.А. Ведьгаева. – Казань: КГЭУ, 2004. – 180 с.

УДК 697.343

**СХЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ
SCHEMES OF HEAT ACCUMULATION IN HEAT NETWORKS**

Д.А. Степанов, А.В. Рабченя

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

D. Stepanov, A. Rabchenya

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

Аннотация: в данной статье рассматриваются схемы аккумулирования тепла в тепловых сетях их различные варианты, преимущества и недостатки каждой из них.

Abstract: this article discusses the schemes of heat storage in heating networks, their various options, advantages and disadvantages of each of them.

Ключевые слова: тепловые сети, сетевая вода, электрическая мощность турбины, системы теплоснабжения, тепломагистраль, теплоаккумулирующая способность.

Keywords: heating networks, mains water, electric turbine power, heat supply systems, heating main, heat storage capacity.

Введение

В системах теплоснабжения разработаны различные модификации схем использования аккумулирующей способности теплопроводов различных категорий. Тепловые сети по своему назначению многообразны и отличаются друг от друга неоднозначно. Накопление тепловой энергии в магистральных, распределительных и магистральных сетях может влиять на режим работы энергообъектов и потребителей. При этом аккумуляция теплоты во всех видах теплопровода неодинакова и влияет на нормальное функционирование системы теплоснабжения. Разработанные схемы взаимодействия тепловых электростанций и пиковых котельных обеспечивают независимые гидравлические режимы работы магистральной и распределительной тепловых систем [1].

Основная часть

В условиях эксплуатации существующих систем централизованного теплоснабжения используется дополнительный подогрев воды в обратном трубопроводе. Снижение тепловой нагрузки обычно происходит ночью, при этом температура воды в обратном трубопроводе повышается, т.е. происходит накопление тепла, несмотря на то, что расход сетевой воды остается постоянным. Регулируя время передачи воды от потребителя к водоисточнику вовремя утреннего максимума нагрузки, можно увеличить электрическую мощность турбины и эксплуатировать ТЭЦ в конденсационном режиме или уменьшить тепловую мощность котла, в зависимости от условий теплоснабжения.

Для анализа различных режимов работы систем теплоснабжения, особенно базовых источников тепла, отопительный сезон можно разделить на два периода [2]. Первый период, при котором происходит накопление тепла в транзитных трубопроводах из-за возможного повышения температуры сетевой воды в транзитных трубопроводах от базового источника тепла. Данный период находится в следующем интервале температур наружного воздуха $+8^{\circ}\text{C}-t''''$. Второй период с диапазоном внешних температур $t''''-t_{\text{HO}}^{\text{P}}$, при котором происходит недогрев воды в базовом тепловом источнике, компенсируемый на пиковом тепловом источнике. Во втором периоде регулируемый диапазон работы базового источника на различных режимах будет определяться наличием достаточной свободной тепловой мощности в пиковом источнике, достаточной чтобы скомпенсировать недогрев воды в базовом источнике. Периоды отопительного сезона зависят от следующих параметров: температурный график отпуска тепловой энергии базовым источником, расчетной условной $t_{1\text{p}}^{\text{YCL}}$ и действительной $t_{1\text{p}}^{\text{D}}$ температуры для системы отопления здания, расчетная температура воздуха в помещении t_{HO}^{P} для систем обогрева. Чаще всего длительность первого периода больше, чем 2-го. Нагрузка на базовый источник увеличивается при понижении температуры воздуха, что приводит к перегреву воды и накоплению теплоты.

Однако технические ограничения, связанные с температурой воды, являются одним из главных недостатков схем аккумулирования тепла, предусматривающих повышение температуры подаваемой воды. Несмотря на это схемы с накоплением тепла в обратной сетевой воде, имеют некоторые преимущества. Дополнительный поток воды в подающем трубопроводе обеспечивается водой, поступающей от ТЭЦ через перемычку насоса смешения, расположенной подающими и обратными трубопроводами между, что позволяет накапливать тепло в обратном трубопроводе. В зоне теплоснабжения находится оборудование, позволяющее покрыть пиковую тепловую нагрузку.

Одноцикловый характер систем, накапливающих энергию только в подающем или обратном трубопроводе и есть главный недостаток данных схем. Потому что аккумулирование теплоты происходит только при однократном прохождении теплоносителя по магистралям. Из-за чего потенциальная способность тепловых потоков полностью не используется. Для систем с качественным регулированием отпуска теплоты, возникают некоторые сложности, связанные с необходимостью использования аккумулирующей способностью зданий.

В связи с чем более предпочтительными являются схемы с многократной (многоцикловой) зарядкой тепловой сети с использованием аккумулирующей способности подающей и обратной тепломагистралей ТЭЦ. При этом в системах теплоснабжения с удаленными ТЭЦ наиболее выгодно использовать транзитные трубопроводы для накопления теплоты в контуре, которые разъединены с системами внутриквартальных трубопроводов. Одна из возможных схем такого аккумулирования теплоты в транзитных подающем и обратном трубопроводах приведена на рисунке 1.

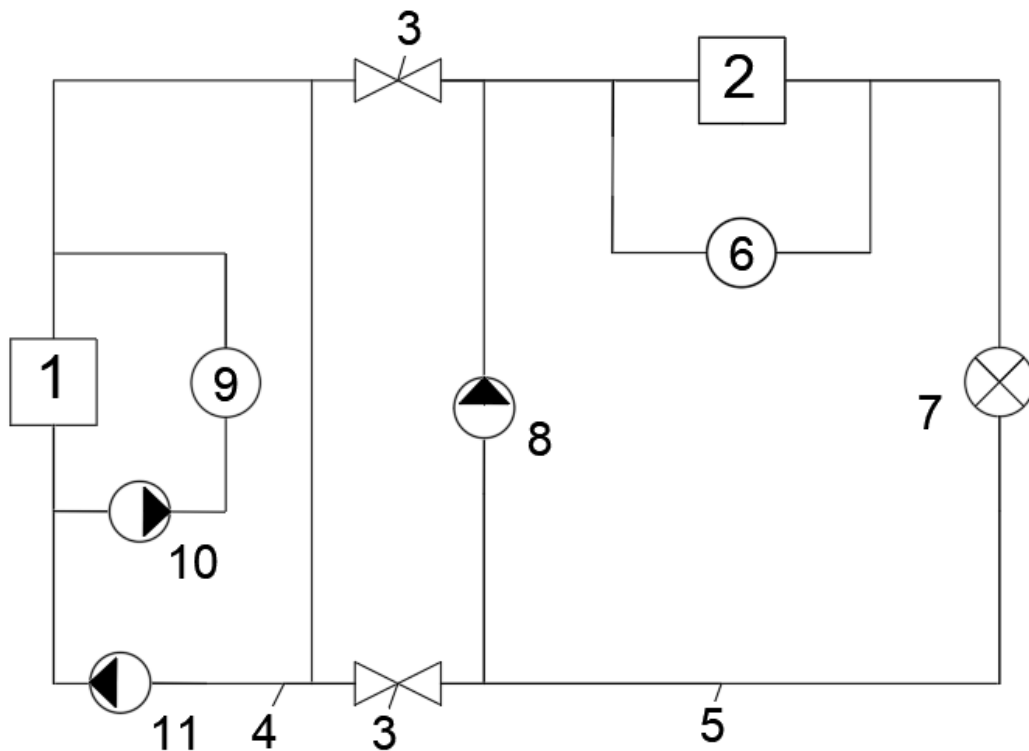


Рисунок 1 – Схема аккумулирования теплоты транзитных тепломагистралей системы дальнего теплоснабжения [1]:

- 1 – основной источник теплоты; 2 – пиковый источник; 3 – задвижки; 4 – первый (транзитный) контур; 5 – второй контур теплосетей; 6 – электроподогреватель; 7 – теплопотребитель; 8, 10 – насосы режима аккумулирования и разрядки; 9 – аккумуляционный водонагреватель; 11 – сетевой насос

Суточный график электропотребления имеет пики и провалы нагрузки. Провалы происходят, как правило в ночное время. В этом случае сетевую воду, направленную потребителю от базового источника 1 и источника, предназначенного для покрытия пиковых нагрузок 2 не включают, после чего схему делят на 2 части (первый 4 и второй 5 контур) путем закрытия задвижек 3. Электроводонагреватель 6 подогревает воду, циркулирующую во 2-м контуре 5 за счет напора насоса 8, тем самым поддерживая тепловую нагрузку потребителя 7. Водонагреватель, накапливающий энергию 9 нагревает теплоноситель (воду), циркулирующий в 1-м контуре 4 за счет напора насоса 10, до заданной температуры, обеспечивая аккумулирование теплоты в этом контуре. С окончанием провала электропотребления происходит открытие задвижек 3, прекращают работу водонагреватели 6 и 9, а базовый 1 и пиковый 2 источники не используются для подогрева до того момента, пока температура сетевой воды первом контуре (период разрядки) не станет равной значению температуры в сети, которая была к началу разъединения системы (началу периода зарядки). После окончания разрядки источники 1 и 2 возобновляют свою работу.

Возможен более простой вариант рассмотренной схемы (рисунок 2).

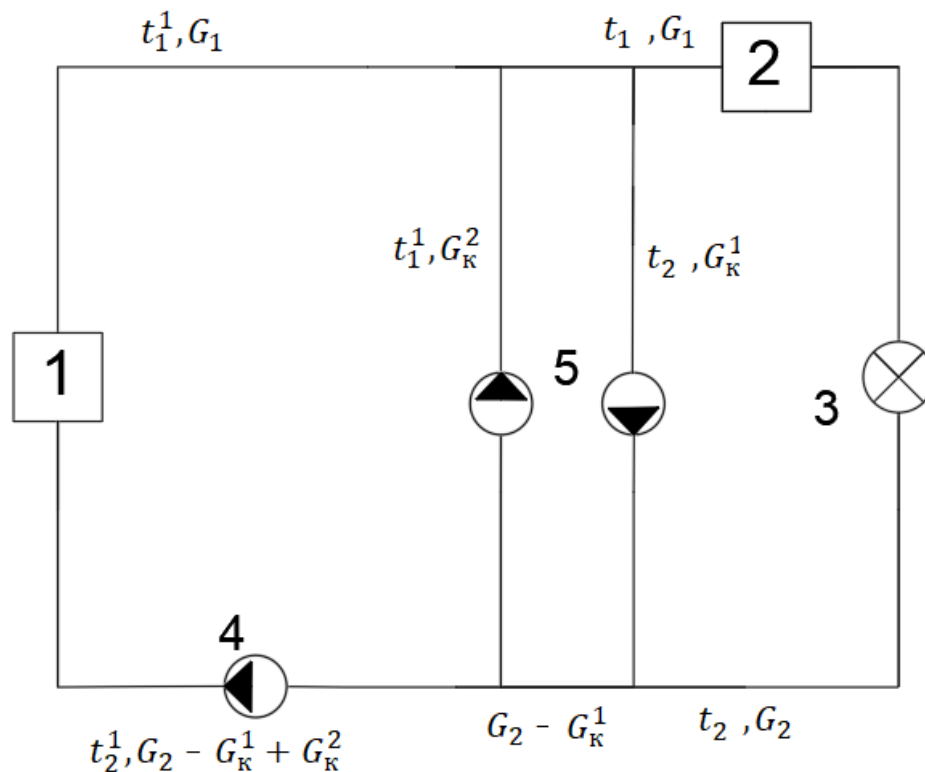


Рисунок 2 – Схема аккумуляции тепла в падающем и обратном трубопроводах транзитной тепломагистрали системы теплоснабжения [1]:

1 – основной источник тепла (ТЭЦ); 2 – пиковый источник; 3 – теплопотребитель;
4 – сетевой насос; 5 – насосы режима аккумуляции и разрядки

Данная схема работает следующим образом. В часы пиковой нагрузки увеличивается отток тепла от ТЭЦ (АТЭЦ), а также уменьшается конденсационная выработка. Увеличение потока тепловой энергии связано с увеличением температуры воды, поступающей в подающую магистраль. При добавлении воды из обратного трубопровода к прямой сетевой воде и сбрасывании избыточной в к воде обратного трубопровода можно поддерживать заданные параметры теплового потока у потребителей. Подогрев обратных потоков происходит в момент максимального напряжения электрической системы, что приводит к увеличению мощности турбины из-за увеличения количества теплового потока в конденсаторе. При использовании данной схемы можно уменьшить дальность транзита тепловых потоков до двух раз по сравнению с тем, как это было бы в случае, если бы подающая и обратная магистрали были соединены между собой.

В описанных выше схемах аккумуляции в сетевой воде тепловая энергия используется для вытеснения теплофикационных отборов турбин с целью увеличения мощности турбин в часы наибольшей нагрузки электрической сети. Тепловая энергия также может быть использована для получения паров, имеющих сравнительно не высокие параметры, которые направляются в турбину, что позволяет увеличить её мощность.

Заключение

Использование различных схем аккумулирования энергии в тепловых сетях имеет ряд преимуществ и недостатков, однако их применение позволяет снизить нагрузку на экологию, уменьшив выбросы углекислого газа в атмосферу, а также увеличить народно-хозяйственный эффект за счёт снижения расхода топлива на подогрев сетевой воды в тепловых сетях.

Литература

1. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.
2. Аккумулирование теплоты в тепловых сетях [Электронный ресурс] / Аккумулирование теплоты в тепловых сетях. – Режим доступа: https://vuzdoc.org/132617/tehnika/akkumulirovanie_teploty_teplovyh_setyah/. – Дата доступа: 05.04.2023.

УДК 504.062.2

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ THERMONUCLEAR FUSION AS A SOURCE OF ELECTRIC ENERGY

В.В. Куделко, К.Ю. Яцковский

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,
А.Д. Мухин, ассистент

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, muhin@bntu.by

U. Kudzelka, K. Yatskouski

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, A. Mukhin, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье приведен анализ возможности использования термоядерного синтеза как источника электроэнергии.*

***Abstract:** the article analyzes the possibility of using thermonuclear fusion as a source of electricity.*

***Ключевые слова:** термоядерный синтез, экспериментальный реактор, токамак, демонстрационные ядерные энергетические установки.*

***Keywords:** thermonuclear fusion, experimental reactor, tokamak, demonstration nuclear power plants.*

Введение

Термоядерный синтез – это процесс, при котором два ядра легких атомов соединяются в одно более тяжелое, освобождая огромное количество энергии. Это явление было известно еще в начале XX века, но успех в его осуществлении удалось достичь только в середине XX века. С того времени термоядерный синтез стал серьезным объектом исследования в области физики плазмы и ядерной физики, а также потенциальным источником энергии.

Основная часть

В процессе термоядерного синтеза выделяется огромное количество энергии. Именно благодаря этому процессу внутри Солнца и других звезд происходит синтез элементов в более тяжелые, а также выделяется огромное количество энергии. В свою очередь эта энергия может использоваться для генерации электроэнергии.

Основным преимуществом термоядерного синтеза как источника электроэнергии является сравнительно маленькое количество отходов. Также довольно важным преимуществом термоядерного синтеза как источника электроэнергии является его экологическая безопасность и отсутствие выбросов вредных газов в атмосферу. Также этот процесс обладает огромным энергетическим потенциалом и возможностью получать энергию из самых дешевых и доступных ресурсов – воды и лития.

Кроме того, термоядерный синтез может быть использован в космических исследованиях, поскольку он может обеспечить достаточно энергии для длительных миссий в космосе.

Главным элементом установки термоядерного синтеза является термоядерный реактор, в котором происходят реакции синтеза. Для этого используются плазменные образования при высоких температурах и низких давлениях. В качестве топлива используются легкие атомы водорода – дейтерий и тритий, которые получают из обычной воды и лития.

Стоит отметить, что несмотря на множество преимуществ, термоядерный синтез имеет и свои недостатки. Например, его осуществление требует огромных энергетических затрат и высокотехнологичного оборудования. Кроме того, существует риск инцидента, связанного с распадом контейнера, содержащего топливо, что может привести к утечкам радиации.

В целом, термоядерный синтез представляет собой перспективный и потенциально эффективный источник электроэнергии. Но для его практического применения нужно продолжать исследования и совершенствовать технологии, чтобы снизить затраты и повысить безопасность.

Для демонстрации возможности генерации электроэнергии на основе термоядерной реакции разработаны специальные комплексы – демонстрационные термоядерные энергетические установки. Они предназначены для изучения корректности проектирования и работоспособности элементов, установок и систем, а также для получения данных, необходимых для создания следующего поколения термоядерных реакторов. Основная цель создания демонстрационных термоядерных энергетических установок – это обеспечение стабильной и экологически чистой энергии из источников, несущих мало угрозы для окружающей среды, а также снижение риска ядерных аварий. Эти установки являются важным шагом к созданию коммерческих термоядерных реакторов.

Одним из главных достижений в области термоядерной энергетики было создание действующих демонстрационных термоядерных установок. Они выполняют функции термоядерного реактора в масштабе, который позволяет исследовать процессы, происходящие при термоядерной реакции, и оптимизировать работу установок.

Наиболее известные демонстрационные термоядерные установки – это Международный термоядерный экспериментальный реактор (ИТЭР) во Франции и Национальный объединенный лазерный объект (NIF) в США. NIF использует лазеры для создания температур и давления, достаточных для возникновения термоядерной реакции. Однако именно проект ИТЭР является крупнейшей и наиболее продвинутой демонстрационной установкой на сегодняшний день. Его главной задачей является проверка технологии слияния дейтерия и трития в масштабе, подходящем для создания коммерческой термоядерной установки.

Проблема управляемого термоядерного синтеза настолько сложна, что самостоятельно с ней не справится ни одна страна. Поэтому мировое сообщество избрало самый оптимальный путь – создание проекта ИТЭР [1].

Цель проекта: переход от экспериментальных установок по удержанию плазмы к полномасштабному источнику электроэнергии на основе термоядерной реакции.

Предполагается, что этот термоядерный реактор будет расположен в центре комплекса площадью 180 гектаров вместе со вспомогательными помещениями и оборудованием, весить 23000 тонн и достигать в высоту 30 м. По своим размерам ИТЭР значительно превзойдет крупнейшие работающие в настоящее время экспериментальные термоядерные реакторы – Объединенный европейский тор (JET) в Соединенном Королевстве и совместный европейско-японский реактор JT-60SA в Японии [2].

Одна из основных целей ИТЭР – доказать, что в результате термоядерной реакции может производиться значительно больше энергии по сравнению с тем количеством, которое затрачивается на запуск самого процесса реакции, т. е. что происходит общее увеличение мощности.

ИТЭР предполагает использование технологии «токамак». Токамак – это устройство, в котором плазма нагревается, путем создания магнитного поля около нее и поддерживается в устойчивом состоянии. Токамак, разрабатываемый в ИТЭР, будет иметь радиус в 6 метров и в высоту почти в два раза больше.

Совместный проект позволяет экспертам на основе современных технологий и новейших материалов осуществлять научно-исследовательский подход в области возобновляемых источников энергии, а также экспериментально изучать эффективность и надежность научных технологий плазменной физики. ИТЭР станет не только новым типом реактора, но и успешной площадкой для международного сотрудничества в области науки и технологий.

ИТЭР основан на использовании техники термоядерного синтеза, где ядро водорода (дейтерия и трития) сливаются в ядро гелия под действием высокой температуры и давления. Для создания условий, необходимых для слияния ядер, ИТЭР использует плазменную колонну, поддерживаемую в магнитном поле. В этом случае плазма нагревается до температуры, выше 100 миллионов градусов Цельсия, что позволяет проводить термоядерные реакции.

Важным показателем эффективности реактора является коэффициент усиления термоядерной энергии, представляющий собой соотношение произведенной термоядерной энергии и энергии, поданной в плазму для стимулирования реакции. Он обозначается символом « Q ». На сегодняшний день наибольший коэффициент усиления Q , равный 0,67, был достигнут на JET: из 24 мегаватт (МВт) тепловой энергии было произведено 16 МВт термоядерной энергии. Однако для производства электроэнергии потребуются гораздо более высокие значения Q .

Применение новых конструкций и инновационных материалов позволит оснастить ИТЭР одними из самых мощных устройств для нагрева плазмы, которые когда-либо использовались. Предполагается, что из 50 МВт тепловой энергии, подаваемой в плазму, на нем будет производиться 500 МВт

термоядерной энергии, т. е. значение Q составит по меньшей мере 10. Энергия будет вырабатываться с перерывами: каждый раз термоядерная реакция будет происходить примерно 5–10 минут. Пиковая производительность ИТЭР будет впечатляющей, но она будет достигаться лишь на очень короткие промежутки времени. Чтобы обеспечить постоянную выработку электроэнергии, будущие термоядерные электростанции должны работать непрерывно. Значение Q , равное пяти, является переломным: при его достижении начинается самонагрев плазмы, и она получает способность самостоятельно поддерживать термоядерную реакцию. Чтобы лучше понять, как обеспечить протекание этой самоподдерживающейся реакции, на ИТЭР в конечном итоге будут достигаться и поддерживаться значения Q , равные пяти, в течение промежутков времени, значительно превышающих десять минут.

Работы по созданию установки начались более 20 лет назад, но, согласно поэтапному плану исследований, первые эксперименты на ИТЭР начнутся в 2025 году. Эксперименты на полную мощность должны начаться в 2035 году. В случае успеха они станут важной вехой и ознаменуют собой имеющий историческое значение переход на новый этап по сравнению с экспериментальными исследованиями и первыми демонстрационными термоядерными энергетическими установками (DEMO). Планируемые DEMO позволят обеспечить чистый прирост электроэнергии. На этапе рассмотрения уже находится ряд предварительных концепций таких реакторов.

Стоит отметить, что у этого процесса есть несколько сложностей. Во-первых, необходимо создать такую высокую температуру, которая не может быть достигнута при обычных условиях. Во-вторых, нужно найти материалы, которые могут выдержать проблемы с высокой температурой и экстремальными условиями, возникающими в нагреваемой плазме.

В целом, ИТЭР является важным шагом в развитии термоядерного синтеза как инновационного источника энергии. Однако до того, как эта технология попадет в массовое производство и будет использоваться в повседневной жизни, еще предстоит пройти много испытаний и экспериментов.

Однако, несмотря на значительные успехи в создании демонстрационных термоядерных установок, до коммерческой эксплуатации термоядерной энергетики еще далеко. Создание и эксплуатация демонстрационных термоядерных энергетических установок – это сложный и длительный процесс, требующий значительных финансовых и человеческих ресурсов. Существует множество проблем, таких как обеспечение безопасности и поддержание стабильности реакции. Кроме того, термоядерная энергетика до сих пор остается достаточно дорогостоящей и сложной в эксплуатации.

Тем не менее, демонстрационные термоядерные установки продолжают развиваться и совершенствоваться. В будущем термоядерная энергия может стать основным источником энергии в мире, что позволит снизить зависимость от нефти и газа, а также уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу. Их создание и эксплуатация являются важными шагами на пути к

коммерческим термоядерным реакторам, которые могут стать источником высокоэффективной и экологически чистой электроэнергии.

Заключение

Несмотря на все свои преимущества, технология термоядерного синтеза все еще находится в разработке и тестировании и ее внедрение в промышленное производство может занять еще много лет.

Однако, надежда на то, что термоядерный синтез однажды станет главным источником энергии для человечества, остается высокой, поскольку потенциал этой технологии чрезвычайно большой и она может значительно сократить нашу зависимость от нефти и угля.

Литература

1. Королёв, Е.В. Термоядерный синтез как экологически безопасный способ получения энергии / Е.В. Королёв, О.В. Тасейко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – № 10. – С. 224–225.
2. Бюллетень МАГАТЭ. Энергия термоядерного синтеза // IAEA Международное агентство по ядерной и радиационной безопасности. [Электронный ресурс] / Бюллетень МАГАТЭ. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/sites/default/files/fusionenergyru.pdf> /. – Дата доступа: 03.04.2023.

УДК 621.311.25

**ТУРБОПРИВОД ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА
TURBO DRIVE OF THE FEED PUMP**

И.В. Рапута

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

I. Raputa

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

Аннотация: в статье отображены конструктивные особенности, преимущества и недостатки питательных насосов с турбоприводом.

Abstract: the article shows the design features and advantages of feed pumps with turbo drive.

Ключевые слова: питательный насос, электропривод, турбопривод, гидромуфта, подшипник.

Keywords: feed pump, electric drive, turbo drive, hydraulic coupling, bearing.

Введение

Тепловая энергетика требует постоянного усовершенствования насосного оборудования, т.е. модернизации конструкции и совершенствование технологии его изготовления, а также повышения энергоэффективности насосных агрегатов. Насосное оборудование тепловых электростанций - это основной потребитель электроэнергии, расходуемой на их собственные нужды.

Работа тепловых и атомных электростанций основана на перемещении большого количества жидкостей [1].

Основная часть

Питательные насосы являются одними из самых важных вспомогательных машин ТЭС. Основное их назначение - это подача предварительно очищенной от химических веществ питательной воды в котел. Успешная эксплуатация ТЭЦ обеспечивается эффективной работой и надежностью питательных насосов.

Экономичность работы энергоблоков ТЭС определяется в большей мереработой питательных насосов, а точнее, режимом их работы.

Питательные насосы должны соответствовать определенным критериям эффективности и надежности. Назовем основные из них:

1. Герметичность конструкции, а также её температурное расширение при изменении температуры перекачиваемой жидкости.

2. Устойчивость к вибрации при изменении режимов работы.

3. Долгосрочность работы без изменения параметров и замены основных деталей.

4. Количество насосов.

5. Устойчивая работа в системе при параллельном включении.

Для питательных насосов с небольшой мощностью применяется асинхронный двигатель, выполняющий роль привода (рисунок 1). Такой привод достаточно несложен в эксплуатации, с высоким КПД.



Рисунок 1 – Насос с электроприводом [1]

Пуск электродвигателя осуществляется напрямую от сети. Ресурс запусков таких двигателей ограничен. Они быстро выходят из строя за счёт износа обмотки, что требует частых ремонтов, из – за которых несутся дополнительные затраты.

Если необходимо, то можно регулировать расход питательной среды гидравлическим сопротивлением, однако при этом часть напора, создаваемого насосом, бесполезно тратится на преодоление сопротивления и при этом рассеивается соответствующая мощность. Насос быстро теряет свой потенциал.

Можно также для регулировки использовать гидромuftу. Она изменяет скорость вращения вала, не изменяя скорости вращения электродвигателя.

Считается, что такое регулирование экономичнее, однако при снижении нагрузки блока, КПД снижается примерно на 25%.

Питательный насос работает при постоянном напоре и оборотах в том случае, если энергоблок нагружен не полностью, а частично. Регулирование его производительности осуществляется регулятором производительности котла, перепад давлений на котором возрастает. В этом случае потребляемая питательным насосом мощность снижается незначительно.

Замена электропривода на турбопривод в питательном насосе позволит перевести его на переменное число оборотов. Это скажется на экономичной работе энергоблока. Перепад давления на нем будет более 5–10 кг/см² при максимальном открытии регуляторов производительности котла [2].

Турбопривод – это паровая турбина небольшой мощности с противодавлением (рисунок 2).



Рисунок 2 – Насос с турбоприводом [1]

Рассмотрим более подробно применение турбопривода в питательном насосе, изображённом на рисунке 3.

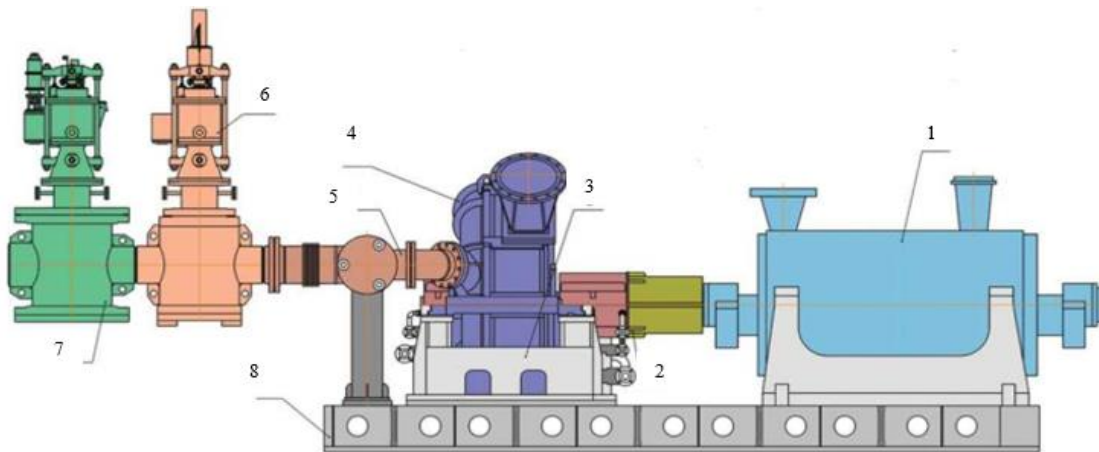


Рисунок 3 – Питательный насос с турбоприводом [2]:

- 1 – питательный насос; 2 – муфта; 3 – опора цилиндра; 4 – цилиндр;
5 – блок компенсаторный; 6 – регулирующий клапан с линейным приводом;
7 – стопорный клапан с паровым ситом; 8 – фундаментная рама

Основой турбопривода является цилиндр. Он крепится на опору. Преимущество его в том, что имеется разъём. Для надёжного удержания цилиндра предусмотрены плоские ножки.

В конструкции предусмотрены опорные и упорные подшипники.

Подшипники обеспечивают необходимое положение вращающегося ротора относительно деталей статора и воспринимают усилия, действующие на ротор. Конструкция опорных подшипников и соединение их с корпусом турбины должна обеспечивать малые радиальные зазоры в проточной части и уплотнениях.

В опорных подшипниках и колодках упорного, применяется баббитовая заливка. С целью уменьшения потерь трения и расхода масла, а так же возможности использования другой смазывающей жидкости, может быть

использован композитный материал на основе фторопласта. При этом повышается надёжность работы.

В работе турбопривода используется двухвенечная ступень скорости с двумя рядами лопаток. Пар с начальными параметрами и скоростью поступает в каналы соплового аппарата, расширяется. При расширении потенциальная энергия преобразуется в кинетическую. В результате абсолютная скорость потока пара на выходе из соплового аппарата увеличивается, а давление снижается.

Сопло состоит из двух полукольцевых пластин, имеющих горизонтальный разъем. Каждая половина имеет сопловые лопатки.

Рабочее колесо, расположенное в нижней части соплового аппарата, имеет уплотнение.

В случае экстренных ситуаций имеется стопорный клапан, перекрывающий поток среды. Паровое сито очищает пар от загрязнений.

Регулирующий клапан служит для равномерного пропуска среды по трубопроводу, а так же может перекрывать поток.

На валу корпуса концевого уплотнения надеты угольные сегменты. Такое уплотнение способствует минимальным протечкам пара, а также не возникает необходимость разборки цилиндра турбины при замене масла.

Установленная кулачковая муфта повышает ресурс работы, не требует масла для смазки, создаёт минимальные нагрузки на оси [2].

Чтобы замена электропривода на турбопривод в питательном насосе была целесообразной и эффективной необходимо:

1. Экономичность на всех режимах работы.
2. Простота в обслуживании.
3. Отсутствие схемных переключений.
4. Габаритность (размещение на месте электродвигателя и не превышение весовой нагрузки).
5. Высокая маневренность;
6. Обеспечение необходимых параметров питательного насоса на всех режимах работы котлоагрегата.

Можно выделить ряд преимуществ применения турбопривода:

1. Нет ограничения мощности.
2. Снижение электрической мощности потребителей собственных нужд и увеличение выдачи мощности генератора блока в сеть.
3. Частотное регулирования работы насоса, за счёт изменением количества пара, подаваемого в турбину привода.
4. Плавное регулирование частоты в необходимом диапазоне.
5. Устойчивая работы блока при нестабильных режимах в энергосистеме по напряжению и частоте.

К недостаткам турбопривода можно отнести: усложнённую тепловую схему блока из – за паропроводов, трубопроводов и дополнительных насосов; необходимость пусковой котельной или резервного питательного насоса при пуске блока.

За счет замены электропривода на турбопривод сокращается потребление электроэнергии. ТЭЦ может дополнительно предоставлять тепло внешним потребителям. Турбопривод обеспечивает наиболее экономичное регулирование производительности питательного насоса путем изменения числа оборотов ротора.

Заключение

При использовании турбопривода для питательного насоса возможно достичь ряда преимуществ: эффективно изменить производительность и напор насоса при минимальном потреблении энергии путем регулирования его оборотов; использование в энергоблоках большой мощности (300–800 МВт); снижение потребления энергии при незначительной разгрузке.

Литература

1. Насосы паротурбинных установок ТЭС – это очень просто: учебное пособие / Ю.М. Бродов [и др.]; под общей ред. проф. Ю.М. Бродова. – Министерство науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 132 с.
2. Энергетические насосы: справочное пособие / В.В. Малюшенко, А.К. Михайлов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
3. Энергетика и энергосбережение: теория и практика [Электронный ресурс]: сб. материалов III Всероссийской науч.-практ. конф., 13–15 декабря 2017 г. / Мин-во об-я и н-ки Рос. Фед., ФГБОУ ВО «Кузбасский гос. технич. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; ред. колл.: В.Г. Каширских [и др.]. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

УДК 621.313.322-81

ЦЕНТРОВКА ВАЛОПРОВОДА ТУРБОАГРЕГАТА ПО ПОЛУМУФТАМ ALIGNMENT OF THE TURBINE UNIT SHAFT LINE BY HALF COUPLINGS

А-й П. Имбро, А-р П. Имбро

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

nvpanteley@tut.by

A. Imbro, A. Imbro

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье рассматривается центровка валопровода турбоагрегата по полумуфтам, совокупность действий по обеспечению правильного взаимного расположения всех роторов.

Annotation: the article discusses the alignment of the turbine unit shaft line by half couplings, a set of actions to ensure the correct mutual arrangement of all rotors.

Ключевые слова: валопровод, турбоагрегат, центровка роторов, зазоры, подшипники.

Key words: shaft line, turbine unit, rotor alignment, clearances, bearings.

Введение

Одним из основных условий надежной работы турбоагрегатов является обеспечение правильного взаимного расположения всех роторов, входящих в состав валопровода, представляющего собой совокупность соединенных роторов. Неправильная центровка может вызвать снижение надежности работы агрегата.

Основная часть

Центровка роторов представляет собой обеспечение, расположение валов при работе агрегата, при этом ось одного ротора и ось другого являются единой линией.

Проверка центровки роторов это обязательная операция при ремонте, ввиду того, что при эксплуатации возможны разные факторы, приводящие расцентровке(износ подшипников, смещение цилиндров, остатков фундамента и др.).

Замер центровок производится по окружности полумуфт и торцевым поверхностям. Замеры по окружности полумуфт называют радиальными, а замеры параллельности торцевых поверхностей полумуфт (излом осей) – торцевыми (рисунок 1) [2].

Для проведения замеров необходимо одновременное проворачивание обоих роторов в направлении рабочего вращения на каждые 90° в положениях, когда скоба находится сверху (начальное положение, 0°), скоба – справа (90°), скоба – снизу (180°), скоба – слева (270°), скоба сверху (контрольный замер по радиусу, 360°). Используя щуп замеряется:

- радиальный зазор в месте установки скобы (R) (кроме положения «скоба снизу»);
 - три аксиальных зазора между торцами полумуфт ($A_{лев}$, $A_{верх}$, $A_{прав}$).
- Контрольный зазор проводится при повороте на 360° и должен совпадать с первоначальным (при нулевом положении роторов).

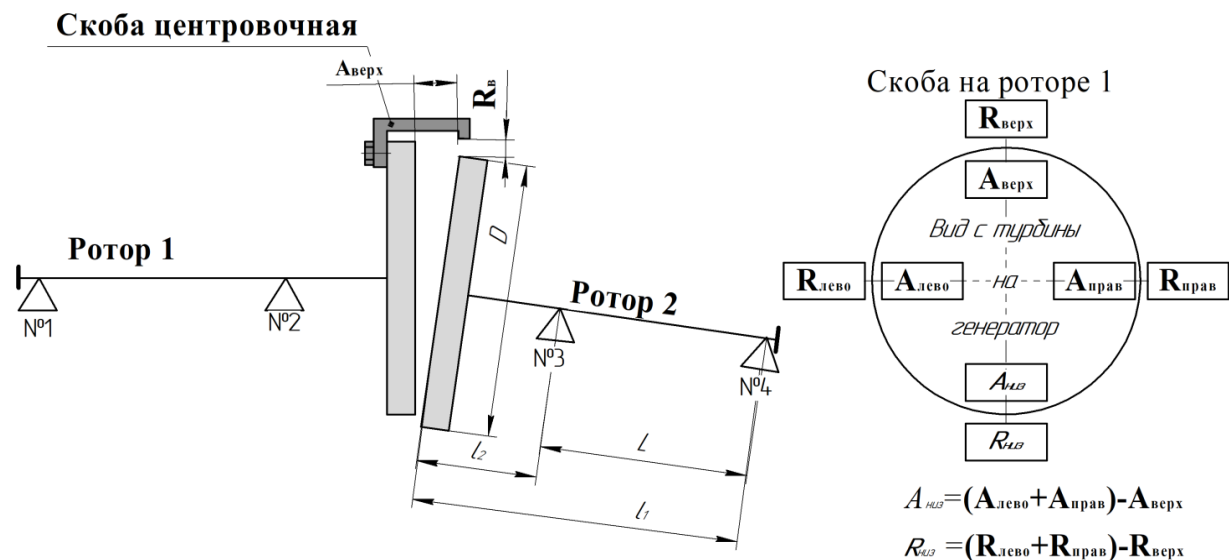


Рисунок 1 – Схема центровки роторов 1, 2 по полумуфтам [1]

В большинстве случаев, по конструктивным особенностям, выполнить замеры торцевых и радиальных зазоров снизу не представляется возможным, поэтому эти значения получают расчетным путем [3]:

$$A_{низ} = (A_{прав} + A_{лев}) - A_{верх};$$

$$R_{низ} = (R_{прав} + R_{лев}) - R_{верх}.$$

Замеры торцевых зазоров записывают в таблицу (или формуляр). Также выполняют расчеты нижних зазоров, средних и приведенных зазоров (таблица 1)

Таблица 1 – Замеры торцевых зазоров с приведенными результатами [Источник: собственная разработка автора]

Положение скобы (град)	Замеры по торцам, мм			
	$A_{верх}$	$A_{прав}$	$A_{низ}$	$A_{лев}$
Верх (0°)	0,52	0,47	-	0,30
Право (90°)	0,50	0,48	-	0,32
Низ (180°)	0,48	0,47	-	0,30
Лево (270°)	0,46	0,50	-	0,28
Сумма	1,96	1,92	-	1,20
Среднее	0,49	0,48	0,29	0,30
Приведенное	0,20	0,19	0	0,01

Замеры и расчеты радиальных зазоров, а так же приведенные результаты всех замеров центровки нагляднее записывать на диаграммах (рисунки 2, 3).

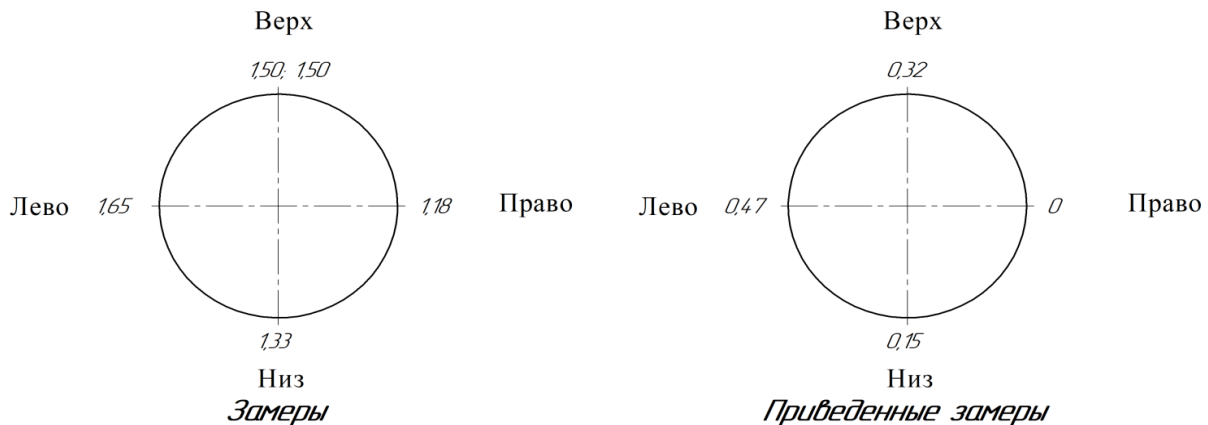


Рисунок 2 – Диаграмма радиальных зазоров [Источник: собственная разработка автора]

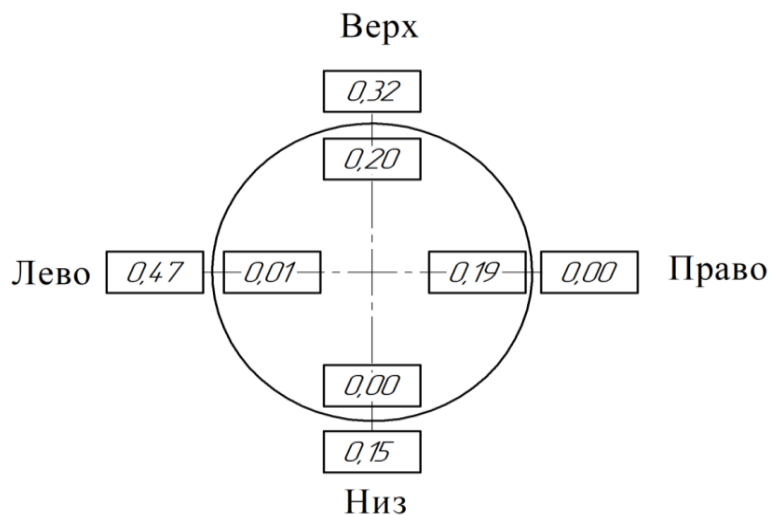


Рисунок 3 – Диаграмма приведенных замеров центровки «ротор 1 – ротор 2» [Источник: собственная разработка автора]

Далее, для подсчета среднеарифметических величин центровки по торцам применяется формула [3]:

$$A_{\text{ср.верх}} = (A_{1\text{верх}} + A_{2\text{верх}} + A_{3\text{верх}} + A_{4\text{верх}}) : 4.$$

Аналогично этому рассчитываются $A_{\text{ср. прав}}$, $A_{\text{ср. лев}}$.

Подсчет приведенных величин центровки проводится по формуле [3]:

$$A_{\text{верх}} = A_{\text{ср. верх}} - A_{\text{ср. мин.}}$$

Аналогично этому рассчитываются приведенные величины [3]:

$$A_{\text{прав}}, A_{\text{лев}}, A_{\text{низ}}, R_{\text{верх}}, R_{\text{прав}}, R_{\text{лев}}, R_{\text{низ}}.$$

Таким образом, это исходные данные для перемещения вкладышей подшипников в вертикальном и в горизонтальном положении.

По этим данным выполняют вертикальные и горизонтальные схемы положения роторов (рисунок 4).

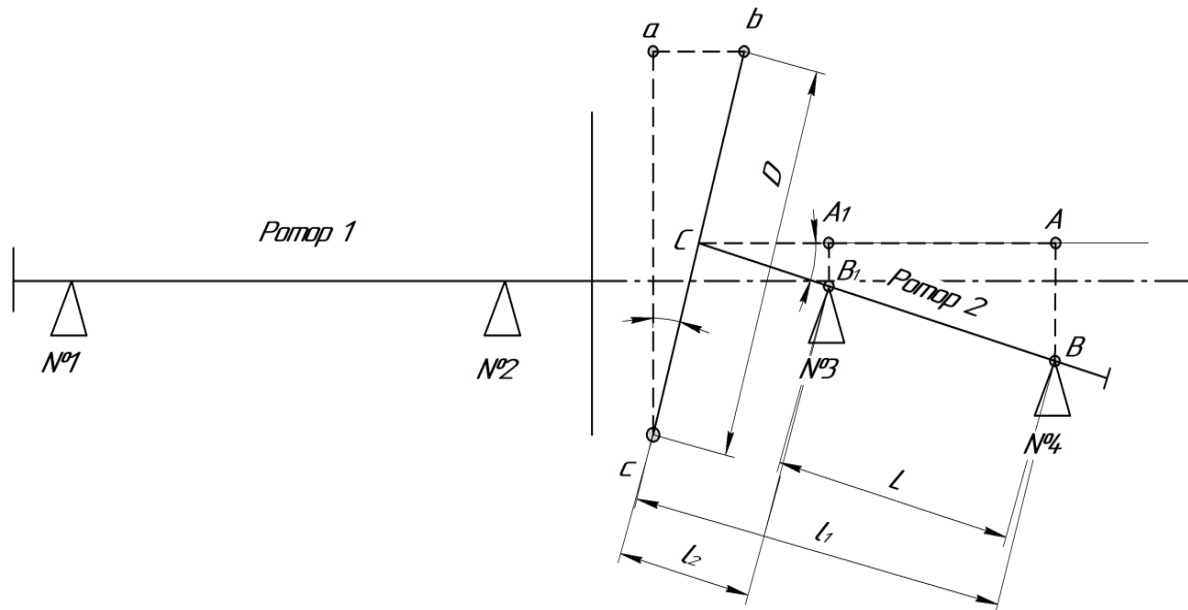


Рисунок 4 – Схема взаимного положения роторов 1, 2 по данным центровки по полумуфтам [1]

Для устранения непараллельности торцов необходимо повернуть вал ротора 2 вокруг точки C, чтобы линия BC совпала с линией CA [1]. Для этого необходимо поднять подшипник №4 на величину AB, а подшипник №3 на A_1B_1 .

Из подобия треугольников abc, ABC, A_1B_1C и известных по данным центровки величин $A_{\text{вертик}}$ и $A_{\text{горизонт}}$, где $A_{\text{вертик}} = A_{\text{верх}} - A_{\text{низ}}$, $A_{\text{горизонт}} = A_{\text{прав}} - A_{\text{лев}}$, следует [3]:

$$AB = ab \times AC : ac = A_{\text{вертик}} \times l_1 : D;$$

$$A_1B_1 = ab \times A_1C : ac = A_{\text{горизонт}} \times l_2 : D.$$

Перемещение положения подшипников №3 и №4 обеспечит достижение параллельности торцов муфт, но не будет еще устранено несовпадение осей роторов в вертикальной плоскости. Величины перемещения оси ротора в вертикальной и горизонтальной плоскостях определяются по формулам [1]:

$$R_{\text{вертик}} = (R_{\text{верх}} - R_{\text{низ}}) : 2;$$

$$R_{\text{горизонт}} = (R_{\text{прав}} - R_{\text{лев}}) : 2.$$

При анализе результатов измерений центровки роторов по полумуфтам принимается во внимание замеры положения роторов по масляным и паровым расточкам, состояние узлов турбоагрегата, опыт предыдущих центровок (при его наличии), предложения завода-изготовителя, учитывающие коррективы в положении роторов, которые возникнут в процессе работы турбоагрегата по сравнению с холодным состоянием турбины.

Перед тем как переместить подшипники нужно произвести расчёты необходимых подкладок.

При установке прокладок следует учитывать угол расположения боковых колодок (подушек) относительно горизонтального разъема вкладыша (α). Чтобы поднять ротор на величину Y по высоте, необходимо под нижнюю колодку установить прокладку толщиной Y , а под боковые – подложить толщиной $Y \times \sin \alpha$ (рисунок 5) [1].

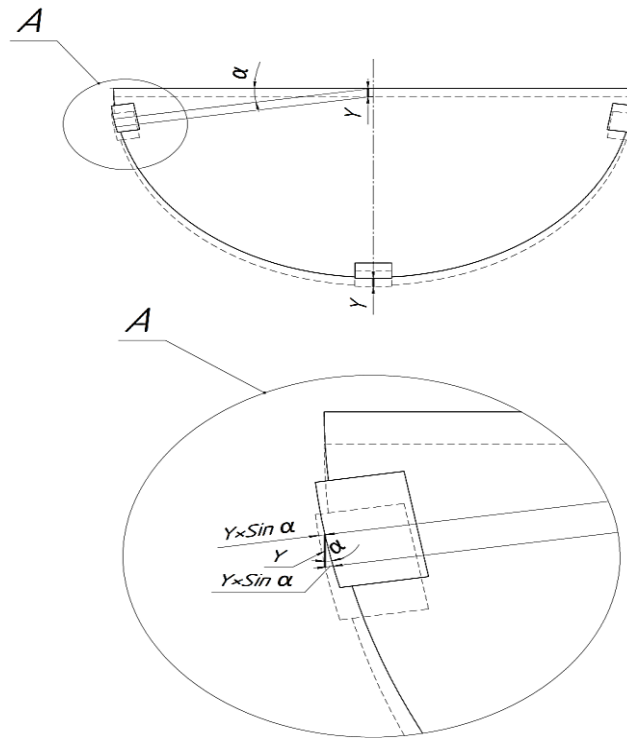


Рисунок 5 – Опорный подшипник турбины [1]

Заключение

Таким образом, гарантия правильного расположения роторов турбоагрегата дает возможность обеспечить нормативный уровень вибросостояния подшипниковых опор, виброскорость и виброперемещение роторов, а также добиться правильной работы агрегата в целом.

Процесс центровки валопроводов турбоагрегатов по полумуфтам на данный момент проводится специалистами вручную, при помощи построения графиков, схем, диаграмм. Данная работа требует больших временных затрат, четких замеров и расчетов. Для ускорения процесса и исключения ошибок необходимо написание компьютерной программы, которая позволит обеспечить снижение трудоемкости и повышения качества ремонтных работ, связанных с центровкой роторов при ремонтах турбоагрегатов.

Литература

1. Ремонт паровых турбин / В.А. Молочек. – М.: Энергия, 1968. – 376 с.
2. Ремонт паровых турбин: Учебное пособие для вузов / В.Н. Родин, А.Г. Шарапов, Б.Е. Мурманский, Ю.А. Сахнин, В.В. Лебедев, М.А. Кадников,

Л.А. Жученко; под общ. ред. Ю.М. Бродова и В.Н. Родина. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ – УПИ, 2002. – 296 с.

3. Технологический процесс капитального ремонта турбины К-300-240 ЛМЗ. Центровка роторов. Центральное конструкторское бюро по модернизации энергетического оборудования. ЦКБЭНЕРГО, Харьковский филиал, 1975. – 11 с.

4. Устройство и ремонт оборудования турбинных цехов тепловых электростанций: Учебник для подготовки рабочих на производстве / И.В. Энгель-Крон. – 4-е изд., перераб. доп. – М.: Высшая школа, 1985. – 207 с.

УДК 621.311

**ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ
DIGITAL INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE ENERGY SECTOR**

С.О. Ульяновский

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

S. Ulyanski

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

Аннотация: в современном мире информационные технологии заняли прочное место и с каждым годом их роль во всех аспектах человеческой жизни только возрастает. Устойчивое развитие организаций и предприятий на сегодняшний день зависит от их способности адаптироваться к новым условиям, к скорости внедрения инноваций. В статье приведен анализ возможности использования цифровых технологий в электро-, тепло- и атомной энергетике.

Abstract: in the modern world, information technologies have taken a strong place and every year their role in all aspects of human life is only increasing. The sustainable development of organizations and enterprises today depends on their ability to adapt to new conditions, to the speed of innovation. The article provides an analysis of the possibility of using digital technologies in the electric, heat and nuclear power industry.

Ключевые слова: цифровизация, «умная сеть», интернет вещей, безопасность, электростанция, атомная электростанция.

Keywords: digitalization, smart grid, internet of things, security, power plant, nuclear power plant.

Введение

Согласно Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы внедрение цифровых инновационных технологий должно затронуть не только информационно-коммуникационную инфраструктуру и сферу услуг, но и цифровое развитие отраслей экономики. На данном этапе Государственной программой предполагается внедрение цифровой платформы «Индустрия 4.0» и создание ряда платформ, направленных на оптимизацию сфер образования и здравоохранения. При этом процессом цифровизации могут быть охвачены и отрасли промышленности, такие как, например, энергетика.

Основная часть

В последние десятилетия наш мир стал более цифровым, и энергетическая отрасль не является исключением. Современные решения в электроэнергетике позволяют улучшить технико-экономические показатели работы энергооборудования (снизить затраты на генерацию, передачу и потребление энергии, как тепловой, как и электрической), использовать

системы, позволяющие повысить уровень безопасности, как за счет внедрения комплексов дистанционного мониторинга и управления, так и за счет прогнозирования состояния оборудования на основе анализа «больших данных», автоматизировать и оптимизировать техническое обслуживание и ремонт энергообъектов.

Цифровизация комплексов теплоэнергетики идет менее активно по сравнению с электроэнергетикой. Большую роль в этом играют принципы управления электрооборудованием и возможностью моделирования теплоэнергетических установок в случае сложного объекта управления.

Так для цифровизации объектов электроэнергетики применяются логические функции в системах релейно-контактного управления и дискретное описание объектов, а для объектов теплоэнергетики такие подходы сложно реализуемы, в первую очередь из-за значительных информационных ограничений. Например, гидрогазодинамические процессы в газовых турбинах, которые могут приводить к быстро развивающимся дефектам рабочих лопаток в следствие тяжелых условий ее работы (температура может достигать 1300 °С), оператор не в силах оценить на основании текущих данных, а попытки создать достоверную математическую модель оказываются довольно сложной задачей. Это происходит потому, что даже при наличии большого количества контрольно-измерительных приборов, позволяющих определить состояние турбины в текущий момент времени, данных будет недостаточно для построения качественной аналитической системы [1].

Одним из примеров цифровых инноваций в энергетике являются «умные» датчики и счетчики. Такие устройства могут собирать данные о потреблении энергии в реальном времени и передавать эту информацию на централизованную платформу управления энергосистемой. Это позволяет оптимизировать потребление энергии, а также предотвращать перегрузки электросетей. С вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС такая технология становится особенно актуальной, так как может позволить стимулировать электропотребление в определенные часы, способствовать выравниванию суточного графика электрической нагрузки. Умные счетчики также могут помочь потребителям контролировать свое потребление энергии и, таким образом, сокращать затраты на электроэнергию.

Еще один пример – это активно внедряемая технология internet of things (IoT) или «интернет вещей» – технология, подразумевающая обмен информацией как между, объектами, связанными единой сетью, так и с окружающей средой.

Для целей электроэнергетики такая технология внедряется для улучшения качества мониторинга электрических сетей, что позволяет своевременно диагностировать нарушения в работе, предотвращать аварийные ситуации, а, следовательно, повысить качество электроэнергии, надежность ее передачи, сократить потери.

Еще одной набирающей популярность технологией является «умная сеть» (Smart Grid). Она позволяет распределять нагрузки в электросетях, оптимизировать процесс управления, повысить эффективность работы. Также

такая «сеть» рассчитывает экономические показатели: энергопотребление, стоимость и т.д. Подстанции, на которые интегрирована такая технология (например, подстанция 110 кВ в Красноярске, выполненная на базе программно-технического комплекса iSAS [2]) отличаются повышенной надежностью, увеличенным сроком эксплуатации и уменьшением затрат на строительство и обслуживание.

Помимо показателей надежности и экономичности, цифровизация энергетики может решать задачи безопасности персонала и населения. Так технология IoT благодаря дистанционной передаче информации позволяет в меньшей степени задействовать обслуживающий персонал, соответственно, не подвергая его риску. Для этих же целей постепенно внедряются роботизированные системы, способные совершать простейшие операции, например, по обслуживанию линий электропередач. Такие системы постепенно совершенствуются и усложняются для решения более широкого спектра задач.

Несмотря на трудности по внедрению цифровых инноваций на теплоэнергетических объектах, которые были отмечены в [1], различные программно-технические комплексы постепенно разрабатываются и для условий ТЭЦ и тепловых сетей. Здесь могут быть использованы возможности искусственного интеллекта. Благодаря способности к самообучению стало возможным, например, проводить мониторинг и настройку газотурбинных установок. Преимущества искусственного интеллекта перед IoT заключаются в его способности выявлять закономерности, которые сложно проанализировать эксплуатирующему персоналу на рабочем месте и сделать это быстро. Такие технологии позволяют уменьшить топливные затраты, сократить издержки на ремонт, повысить надежность оборудования.

Цифровые преобразования коснулись и тепловых сетей. В РУП «Гродноэнерго» была внедрена автоматизированная система корректировки температуры сетевой воды. Автоматизированная система проводит прогнозный анализ температуры наружного воздуха на основании данных открытых источников, температуры прямой и обратной сетевой воды и выдает рекомендуемые параметры диспетчеру. Широкое применение такой технологии позволяет оптимизировать расход тепловой энергии при одновременном сохранении комфортной температуры на объектах теплоснабжения.

Флагманом внедрения цифровых инноваций в энергетический сектор стали атомные электростанции. На них уже достаточно давно и широко используются программно-технические комплексы, позволяющие моделировать работу энергоблока ядерного реактора для обучения оперативного персонала. Обучение проходит на полномасштабных тренажерах, которые полностью визуальны и по функциональным возможностям копируют блочный щит управления энергоблоком. Оперативный персонал учится отрабатывать на таком тренажере последовательность действий при работе в режимах нормальной эксплуатации, мероприятия при возникновении внештатных и аварийных

ситуаций. Полномасштабные тренажеры – необходимое условие для надежной и безопасной эксплуатации АЭС, подготовки и переподготовки ее работников.

Кроме этого, вопросы надежности и безопасности атомной электростанции уже давно вышли на первый план и человек, как ненадежный элемент, уступает место цифровым технологиям и искусственному интеллекту. Так проблемами прогнозирования отказов оборудования энергоблоков АЭС на основе собранных и проанализированных статистических данных ученые занялись еще несколько десятилетий назад. Оперативный персонал АЭС в процессе работы сталкивается с большим количеством информации, поступающей от датчиков, средств измерений, средств технологического контроля. Из-за огромного массива данных некоторые отклонения от нормальных значений могут остаться незамеченными, особенно, если эти отклонения кратковременные и носят случайный характер. Они могут быть списаны на погрешности прибора, флуктуации. Однако часто, уже после возникновения аварийной ситуации, выявляются закономерности в таких кратковременных отклонениях, проводится их анализ. Поэтому важно автоматизировать процессы сбора и обработки таких аномальных значений различных параметров, чтобы проводить своевременную диагностику оборудования, предотвращать выход его из строя, развитие аварийной ситуации. Для таких целей разработаны алгоритмы, на которых базируется программное обеспечение, анализирующее данные, поступающие со средств технического диагностирования [3].

Еще одной передовой технологией для ядерной энергетики является создание так называемых «цифровых двойников» АЭС. Благодаря цифровому проектированию и моделированию процессов, протекающих на атомной электростанции, такой «двойник» позволит снизить время и затраты на испытание оборудования, повысить степень регулирования. Можно будет быстро и безопасно внедрять новые конструкционные материалы, другие цифровые технологии [4].

На Смоленской и Нововоронежской АЭС была внедрена система управления сменой по эксплуатации (eSOMS). Она предназначена для уменьшения нагрузки на оперативный персонал, улучшения организации работы смены электростанции, составления отчетов, создания аналитических моделей на основании собранных данных [2].

В нашей стране для оценки мгновенных и долговременных изменений радиационной обстановки существует система радиационного мониторинга. На основании наблюдений за уровнем радиации в воздухе, воде и почве делаются вывод о естественном радиационном фоне, а также о фоне возле потенциальных источников загрязнения. По данным Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды за 2021 год радиационная обстановка в стране постепенно улучшается [5].

Заключение

В условиях бурного развития информационных технологий, которое затрагивает все сферы человеческой жизни и значительную часть областей

промышленности, энергетика также требует переосмысления подходов к принципам ее работы. Такое переосмысление является длительным процессом, требует новых разработок, определения новых компетенций для обслуживающего, ремонтного и оперативного персонала. Человеческий фактор напрямую влияет на безопасность тепловых и атомных электростанций, поэтому приоритетными компетенциями становятся: быстрое обучение, умение мыслить критически, справляться с большим объемом информации. Особенностью внедрения инновационных цифровых технологий в энергетической сфере является то, что ожидаемый эффект направлен в первую очередь на повышение надежности и безопасности, на защиту населения и персонала и только во вторую – повышение конкурентоспособности.

Литература

1. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса [Электронный ресурс]: «Умные электростанции» – цифровое будущее энергетики. – Режим доступа: <https://nangs.org/news/it/umnye-elektrostantsii-tsifrovoye-budushchee-energetiki>. – Дата доступа: 18.03.2023.
2. ИКС-МЕДИА [Электронный ресурс]: Топ-5 инноваций в энергетике: от интернета вещей до «умных» сетей. – Режим доступа: <https://www.iksmedia.ru/articles/5584620-Top5-innovaciy-v-energetike-ot-inte.html>. – Дата доступа: 21.03.2023.
3. Значение прогнозирования отклонений в работе оборудования второго контура АЭС / А.А. Павловская // Физико-техническая информатика (СРТ2021-2022): материалы междунаро. конф., Пущино, 16–20 мая 2022 г. / Авт. неком. орг. в области информационных технологий «Научно-исследовательский центр физико-технической информатики». – Н. Новгород, 2022. – С. 124–132.
4. Атомный эксперт [Электронный ресурс]: «Умный» путь к победе. – Режим доступа: https://atomicexpert.com/pointofview_052018. – Дата доступа: 18.03.2023.
5. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/818.html>. – Дата доступа: 18.03.2023.

УДК 621.311.019.3

ЭРОЗИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ТУРБИН EROSION OF THE WORKING BLADES OF THE LAST STAGES OF TURBINES

А.О. Боровикова

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

nvpanteley@tut.by

A. Borovikova

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: выполнен анализ перспективных направлений развития материалов рабочих лопаток для их усовершенствования.

Abstract: the analysis of promising directions of development of materials of working blades for their improvement is carried out.

Ключевые слова: энергоэффективность, рабочие лопатки, эрозия, износостойчивость, материалы.

Keywords: energy efficiency, working blades, erosion, wear resistance, materials.

Введение

Наиболее ценной и одновременно дорогой частью турбины являются рабочие лопатки. При повреждении лопаточного аппарата турбины, происходит остановка всей турбины, что экономически совсем не выгодно.

Эрозия рабочих лопаток (РЛ) последних ступеней конденсационных и теплофикационных турбин известна чуть ли не с самого начала турбостроения, и, несмотря на многочисленные и разнообразные попытки устранить или, по крайней мере, уменьшить ее, продолжает оставаться одной из важных проблем. Важность этой проблемы росла с увеличением мощности турбин, так как при этом значительно увеличиваются размеры и окружные скорости РЛ. Эрозионный износ лопаток не только снижает надежность, но и увеличивает потери в лопатках, и изменяет их вибрационные характеристики, что может приводить к авариям. Именно поэтому заводы-изготовители устанавливают ограничения на предельные величины эрозионного износа.

Основная часть

Эрозионные повреждения входных кромок РЛ вызываются крупными каплями влаги, образующимися при срыве водяной пленки с направляющих лопаток. Большая часть пленки, если не приняты соответствующие меры, срывается с выходной кромки лопаток и дробится в кромочном следе, где скорости потока весьма малы. Поэтому размеры капель достигают сотен микрон, они мало разгоняются потоком, и скорость их относительно РЛ очень высока и близка к окружной скорости лопаток.

В производстве применяются исключительно нержавеющую сталь из-за сложности работы лопаток. В основном используются стали 1Х13, 2Х13,

12Х13 и 12Х13Ш, в составе которых 10–15% хрома. Это позволяет обеспечить восприятие к эрозии. Для больших температур применяют стали, легированные молибденом и ванадием, а также вольфрамом и ниобием.

Наибольший износ лопаток наблюдается в периферийной области, что обусловлено главным образом тремя обстоятельствами:

- наибольшим количеством эрозионно-опасной влаги;
- наименьшей скоростью пара на выходе из направляющих лопаток;
- наибольшей окружной скоростью РЛ.

Различают активные и пассивные методы снижения эрозии. Первые имеют задачей снижение каплеударного воздействия на лопатку, вторые – повышение эрозионной стойкости материала путем упрочнения лопаточных сталей или применения защитных покрытий и накладок. Для хорошего результата используют два метода одновременно. Однако, у пассивных способов есть очень большой недостаток заключающийся в невозможности произвести упрочнение или полное восстановление РЛ при нахождении их на роторе турбины. Это все из-за того, что многие методы нельзя применять в условиях стационарного ремонта.

Уменьшение количества эрозионно-опасной влаги достигается путем уменьшения на этапе ее образования и дальнейшей сепарацией влаги на различных участках тракта и проточной части. Конструкции и места установок влагоотводящих устройств различны и во многом отражают те или иные концепции конкретных фирм [1].

Эрозия выходных кромок РЛ последних ступеней ЦНД обусловлена забросом влаги из выхлопного патрубка обратными токами. Особенно распространено для теплофикационных турбин это срывающаяся влага с внутреннего конуса патрубка, либо впрыскивается охлаждающими устройствами при малых расходах в ЦНД. Несмотря на существенно меньшую величину износа, эрозия выходных кромок представляет значительную опасность, так как толщина лопатки здесь мала, а напряжение весьма велики.

Используемые в большинстве современных мощных турбин системы влагоудаления и сепарации, как правило, дополняются пассивными методами защиты РЛ от каплеударной эрозии, поскольку как стальные (1Х13, 2Х13, 15Х12ВМФ), так и титановые лопатки обладают недостаточной эрозионной стойкостью. Эти средства имеют своей целью повышение эрозионной стойкостью РЛ. В основном они применяются в области наибольших каплеударных нагрузок.

Методы делятся на два класса:

- повышающее антиэрозионные свойства лопаток за счет упрочнения их металла или защиты поверхности более стойкими покрытиями и накладками;
- смягчающие ударное воздействие капель путем придания поверхности лопатки соответствующей формы.

Упрочнение достигается специальной обработкой лопатки, повышающей антиэрозионную стойкость поверхностного слоя металла.

Самыми лучшими материалами для восстановления прочности РЛ и их же самих являются покрытия из:

- ВК6; ВК6М, ВК6ОМ, ВК-8, стеллита ВЗК, износостойких никелевых сплавов ВЖЛ2 (ВЖЛ2М) при образовании покрытия на новых лопатках;
- W + стеллит ВЗК; Мо + стеллит ВЗК при восстановлении кромок лопаток.

Наибольшее распространение получили термические способы упрочнения и в первую очередь закалка токами высокой частоты. В основном используется для деталей из углеродистых и конструкционных сталей или чугуна. При этом толщина упрочненного слоя составляет 1–2 мм. Хотя относительная эрозионная стойкость такого упрочнения на ~ 20% ниже, чем в случае электроискрового упрочнения сплавом Т15К6, большая толщина закаленного слоя обеспечивает больший эрозионный ресурс лопаток. Внутри закаленной твердой поверхности заготовки остаются незакаленные вязкие слои металла, что позволяет уменьшить хрупкость и в тоже время увеличить срок эксплуатации всего изделия. Достоинством этого метода является возможность применения его для лопаток АЭС [2].

Напайка твердых сплавов широко применяется в турбиностроении. Первоначально напайки изготовлялись из твердых закаленных сталей. В настоящее время повсеместно применяются стеллиты – сплавы на кобальтовой основе. При этом возможно получение значительной толщины упрочняющего слоя до 3 мм. Например, ЛМЗ, использует пластинки стеллита ВКЗ с твердостью не менее НРС 40 толщиной 2 мм (рисунок 1). Несмотря на значительную эрозионную стойкость, стеллит также изнашивается. Кроме того, наблюдается износ лопаток ниже стеллита. Недостатком такой защиты является и частый обрыв пластинок, вызываемый не только различием коэффициентов температурного расширения лопатки и стеллитовых пластин, но и упругим удлинением и изгибом входной кромки лопатки под действием внецентренного растяжения, в то время как пластинки практически не деформируются.

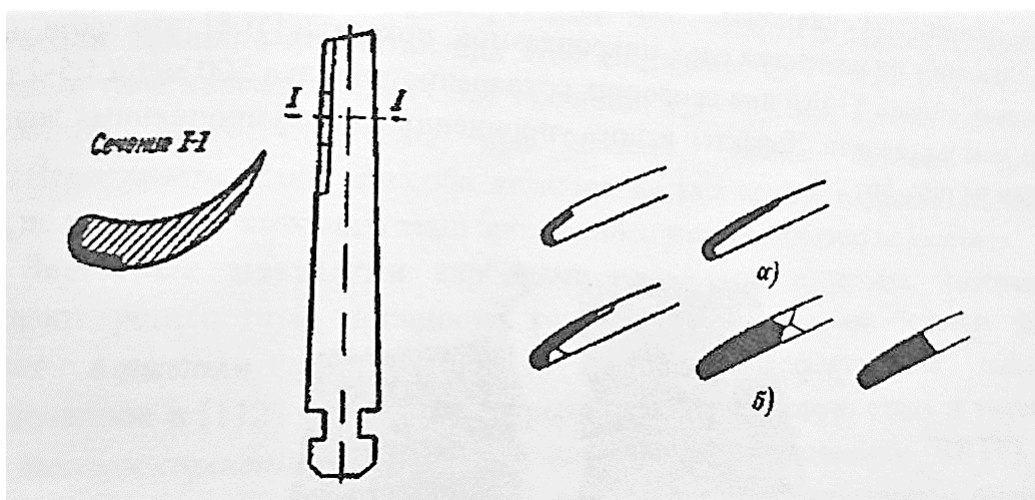


Рисунок 1 – Лопатка со стеллитовыми накладками и различные формы накладок

Когда же нужно восстановить подобный к изначальному профиль РЛ, применяют способ наварки пластин вместо изношенной части лопатки.

Главное после данного метода не забыть про термообработку. Рабочие лопатки чинятся путем нанесения высоконикелевой аустенитной наплавки без послесварочной термической обработки с обязательной приваркой стеллитовых пластин из кобальтового стеллита марки ВЗК. Впрочем, это же наплавка, в основном, сама же и разрушает лопатки.

Одним из способов снижения разрушительного эффекта удара капель по лопатке является образование на ней водяной пленки. При ударе капли по сухой поверхности большая часть ее энергии расходуется на создание напряженного состояния в металле, а меньшая передается отражающимся каплям. При наличии на поверхности водяной пленки, толщина которой соизмерима с размером капли, нагрузка на стену резко уменьшается, так как энергия капли расходуется главным образом на деформацию самой пленки и выбивание из пленки жидкости, масса которой зачастую превышает массу падающей капли.

Для удержания пленки на поверхности РЛ используются довольно разные приемы. Одним из них является радиальные канавки, которые выполняются на выпуклой стороне входной части лопаток, куда, в свою очередь, попадает большая часть капель. Влага, находящаяся в таких канавках, обуславливает антиэрозионный эффект за счет амортизации удара капель по пленке, при этом толщина пленки должна быть порядка 0,2 мм.

Существует еще один метод обработки сталей или других металлов и сплавов, благодаря которому изменяется поверхностный слой путем внедрения молекул других элементов. Данный способ называется – диффузионной металлизацией. Данный процесс может протекать только в специальной среде с помощью высоких температур. Путем такой обработки укрепляется слой и повышается жаростойкость, увеличивается сопротивляемость к эрозии. Огромным плюсом является наибольшая износоустойчивость поверхности.

Заключение

В результате можем сделать вывод, что для того, чтобы увеличить надежность и эффективности работы лопаточного аппарата последней ступени требуется повысить совершенство конструкций межлопаточных связей. Следовательно, выходные кромки лопаток повреждаются влагой, заносимой обратными токами из выходного патрубка.

Литература

1. Исследование эрозии выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней конденсационных турбин в условиях эксплуатации / В.Г. Орлик, Л.Б. Резник. – Труды ЦКТИ, 1983. – № 205.
2. Кирилов, И.И. Некоторые вопросы снижения эрозии влажнопаровых ступеней / И.И. Кирилов, А.И. Носовицкий, Г.Г. Шпензер // Теплоэнергетика. – 1970. – № 4. – С. 24–27.

УДК 621.438

**СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ГАЗОТУРБИННЫХ
УСТАНОВКАХ**
**REDUCTION OF NITROGEN OXIDE EMISSIONS IN GAS TURBINE
INSTALLATIONS**

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 lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье описаны методы снижения выбросов оксидов азота в ГТУ. Рассмотрены способы изменения количества выбросов с помощью камеры сгорания, а также при очистке дымовых газов. Приведен наиболее эффективный метод восстановления с помощью катализатора.

Abstract: This article describes methods for reducing emissions of nitrogen oxides in GTU. The methods of changing the amount of emissions using the combustion chamber, as well as during flue gas cleaning, are considered. The most effective method of recovery using a catalyst is given.

Ключевые слова: газотурбинная установка, оксид азота, выбросы, катализатор.

Keywords: gas turbine plant, nitrogen oxide, emissions, catalyst.

Введение

Газотурбинная установка (ГТУ) – тепловая машина, в которой тепловая энергия газообразного (жидкого) рабочего вещества преобразуется в механическую энергию. Основными частями установки являются: компрессор, камера сгорания (КС) и газовая турбина [1].

В основном ГТУ работает на газообразном топливе (сжиженный газ, природный газ и т.д.), но иногда применяется и жидкое (керосин, дизельное топливо и т.д.), а именно в аппаратах малой мощности. В настоящее время популярным становится переход компактных ГТУ на использование твердых горючих веществ (торф, древесный уголь и т.д.).

Горение топлива в ГТУ происходит в КС при взаимодействии с воздухом. Кислород является окислителем, в результате чего происходит реакция окисления. При соединении кислорода с углеродом, водородом и серой топлива образуются соответственно углекислый газ, водяной пар и диоксид серы.

Основная часть

К вредным веществам, которые образуются в результате сжигания топлива, следует отнести оксиды азота, серы SO_2 , окислов углерода CO ,

метана CH_4 и других летучих веществ. Наибольшее количество в выбросах составляют оксиды азота [2].

Согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, нормы выбросов оксидов азота для ГТУ составляет от 50 до 150 мг/м^3 [3]. Но большинство установок не соответствуют требованиям, где выбросы могут достигать до 350 мг/м^3 .

Поэтому требуется прибегать к методам снижения количества загрязняющих выбросов. К таким методам относят: впрыск воды или пара в КС для снижения максимальной температуры газов в зоне горения; модернизация камер сгорания и их горелочных устройств и т.д. Но у каждого метода имеются свои недостатки [2].

К недостаткам использования метода впрыска воды и пара относят большой расход воды, а также необходимость в ее предварительной химической очистке. Этот метод может быть использован, если на территории сооружений имеется котельная установка. Для ГТУ мощностью примерно 20 МВт впрыск пара в количестве примерно 3% от расхода первичного воздуха позволяет снизить выход оксидов азота примерно в два раза.

При использовании ГТУ на газопроводах, борьбу с выбросами с продуктами сгорания ведут с помощью разного рода реконструкций камер сгорания с горелочными устройствами. Применение двухстадийного горения топлива в камерах сгорания ГТУ позволяет снизить выход оксидов азота до 55% от начального выхода при сжигании природного газа. Однако двухстадийное сжигание топлива связано с разработкой достаточно сложной конструкции камеры сгорания, что не в полной мере компенсируется снижением эмиссии NO_x .

Также существуют методы химической очистки дымовых газов:

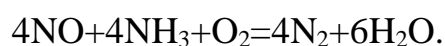
Окислительные, основанные на окислении оксида азота в диоксид с последующим его поглощением разного рода поглотителями;

Восстановительные, основанные на восстановлении оксида азота до азота и кислорода с применением разного рода катализаторов;

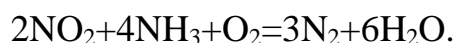
Сорбционные, основанные на поглощении оксидов азота разного рода сорбентами [2].

Наиболее эффективно используется селективное каталитическое восстановление. Он заключается в восстановлении оксидов азота с помощью вещества аммиака при 150-450 °С в присутствии катализатора. Такой процесс называется селективным, так как аммиак имеет более высокую реакционную способность по отношению к оксидам азота, чем к кислороду.

Доля монооксида азота в отработавших газах составляет 90-95% от общей концентрации оксидов азота, поэтому основная реакция:



Диоксид азота, на долю которого приходится 5-10%, реагирует по уравнению:



Наименьшее количество O_2 , которое находится в уходящих газах, ускоряют восстановление оксидов азота, но более высокое содержание O_2 оказывает неблагоприятное воздействие, замедляя процесс.

Также могут применять неселективную каталитическую очистку газов от оксидов аммиака. В качестве реагентов восстановителей используют такие химические вещества: водород, метан и другие углеводороды [4].

Заключение

Очистка продуктов сгорания от оксидов азота сложна и экономически невыгодна. Наиболее эффективными являются внедрение новейших технологий подавления оксидов азота на стадии сжигания топлива при малом избытке воздуха и применение селективной каталитической очистке дымовых газов.

Сегодня к современным камерам сгорания предъявляются следующие требования: это должны быть компактные конструкции топливосжигающих устройств с высокой эффективностью рабочих процессов, использование которых экономически оправдано с точки зрения создания и эксплуатации.

Литература

1. PrincipRaboty [Электронный ресурс]/ Принцип работы ГТУ. – Режим доступа: <https://principraboty.ru/princip-raboty-gtu/#h2-2>. – Дата доступа: 12.04.2023.
2. Lektsii [Электронный ресурс]/ Методы их снижения. – Режим доступа: <https://lektsii.org/2-71712.html>. Дата доступа: 12.04.2023.
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 18 июля 2017 г., № 5-Т // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нацю центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
4. Экоэнерготех [Электронный ресурс]/ Способы снижения выбросов оксидов азота в окружающую среду. – Режим доступа: <https://eet-msk.ru/posts/7>. – Дата доступа: 12.04.2023.

УДК 621.039.6

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ
ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР
INTERNATIONAL THERMONUCLEAR EXPERIMENTAL REACTOR**

Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач, М.В. Рынкевич

Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н

Белорусский национальный технический университет, Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики, г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

E. Garist, N. Derkach, M. Rynkevich.

Supervisor – T. Ryzhova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Institute for advanced training and retraining of personnel in new areas of development of engineering, technology and economics, Minsk, Belarus

Аннотация: В настоящей работе рассмотрен Международный Экспериментальный Термоядерный Реактор, который вырабатывает тепловую энергию благодаря явлению термоядерного синтеза. Данный реактор не зависит от невозобновляемых источников энергии.

Abstract: At this article we consider the International Experimental Fusion Reactor, which generates thermal energy due to the phenomenon of thermonuclear fusion. This reactor does not depend on non-renewable energy sources.

Ключевые слова: термоядерный синтез, такомак, топливо, тритий, дейтерий, энергия.

Keywords: thermonuclear fusion, takomac, fuel, tritium, deuterium, energy.

Введение

С каждым годом количество потребляемой энергии растет все больше и больше. По подсчетам ученых, к концу 21 века количество потребляемой энергии увеличится в 6 раз, по сравнению с сегодняшним днем. Однако, дефицит энергии можно наблюдать во многих странах уже сейчас. Привычные нам энергоресурсы – нефть, газ и уголь имеют ограниченные ресурсы. В свою очередь, неисчерпаемые источники энергии не могут обеспечить производство большого количества тепловой и электрической энергии. Данные проблемы несвойственны термоядерному синтезу.

Основная часть

Термоядерный синтез - это источник энергии Солнца и звезд. В условиях огромной жары и гравитации в ядре этих звездных тел ядра водорода сталкиваются и сливаются с более тяжелыми атомами гелия и выделяют при этом огромное количество энергии.

Наука о термоядерном синтезе двадцатого века определила, что наиболее эффективной реакцией термоядерного синтеза является реакция между двумя изотопами водорода, дейтерием и тритием, поскольку реакция термоядерного

синтеза дейтерий-тритий дает наибольший прирост энергии при "самых низких" температурах.

Для достижения термоядерного синтеза в лаборатории должны быть выполнены три условия: очень высокая температура (порядка 150 000 000 °С); достаточная плотность частиц плазмы (чтобы увеличить вероятность того, что столкновения все-таки произойдут); и достаточное время удержания (для удержания плазмы, которая имеет склонность расширяться, в определенных пределах объем).

Для осуществления вышеперечисленных условий 35 стран сотрудничают для проектирования крупнейшего в мире токамака, устройства для магнитного синтеза, которое было разработано, чтобы доказать осуществимость термоядерного синтеза. Этот проект получил название "Международный экспериментальный термоядерный реактор" (далее - ITER).

Объем плазмы токамака ITER в десять раз превышает объем самой большой машины, действующей на сегодняшний день. Такая установка станет уникальным экспериментальным инструментом, способным генерировать плазму большего объема и лучше удерживать ее. Установка была разработана для следующих целей:

1) Получить дейтерий-тритиевую плазму, в которой условия термоядерного синтеза поддерживаются в основном за счет внутреннего термоядерного нагрева

Исследования термоядерного синтеза сегодня находятся на пороге изучения "горящей плазмы", в которой тепло от реакции термоядерного синтеза удерживается внутри плазмы так, чтобы эффект саморазогрева превосходил над любой другой формой нагрева.

2) Генерировать 500 МВт термоядерной энергии в плазме

Лучшим результатом для синтеза в целом является коэффициент преобразования энергии Q равным 1.5, достигается в инерционном термоядерном синтезе. ITER спроектирован, чтобы обеспечить в своей плазме десятикратную отдачу по мощности ($Q=10$), или 600 МВт термоядерной энергии при 60 МВт потребляемой мощности нагрева.

3) Внести свой вклад в демонстрацию комплексного применения технологий для термоядерной электростанции

Ученые смогут изучать плазму в условиях, аналогичных тем, которые ожидаются на будущей электростанции.

4) Тестовое разведение трития

Одной из задач эксплуатации ITER является демонстрация возможности получения трития в вакуумном резервуаре, для покрытия потребностей будущих электростанций.

5) Продемонстрировать характеристики безопасности термоядерного устройства

Одной из основных целей эксплуатации ITER является демонстрация контроля плазмы и термоядерных реакций с минимальными последствиями для окружающей среды.

Заключение

На данный момент ITER находится в процессе строительства, в котором принимают участие 35 стран. До первого запуска и реальных исследований точные экономические показатели остаются неизвестными. Однако, даже сейчас можно сказать, что освоение термоядерного синтеза – огромный шаг для всего человечества.

Литература

1. ITER [Электронный ресурс] / ITER - the way to new energy – Режим доступа: <https://www.iter.org/> – Дата доступа: 02.05.2023
2. Energy Encyclopedia [Электронный ресурс] / Thermonuclear Fusion Power Plant - Nuclear Fusion - Energy Encyclopedia – Режим доступа: <https://www.energyencyclopedia.com/en/nuclear-fusion/thermonuclear-fusion-power-plant/> – Дата доступа: 02.05.2023

УДК 628.336.5

**БИОРЕАКТОР
BIOREACTOR**

Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач, М.В. Рынкевич
Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
Y.P.Yarmolchick@bntu.by

E. Garist, N. Derkach, M. Rynkevich.
Supervisor – Y. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В настоящей работе проанализирован биореактор, который путем анаэробного сбраживания, преобразуя органическую фракцию в биогаз. Полученный биогаз можно использовать для перегонки и выпаривания биоэтанола, обезвоживания дрожжей, систем ТЭЦ, транспортных средств и городских шаттлов.

Abstract: In the present work, a bioreactor is analyzed, which, through anaerobic digestion, converts the organic fraction into biogas. The resulting biogas can be used for bioethanol distillation and evaporation, yeast dehydration, CHP systems, vehicles and city shuttles.

Ключевые слова: биореактор, биотопливо, анаэробное сбраживание, биогаз, ТЭЦ.

Keywords: bioreactor, biofuel, anaerobic digestion, biogas, combined heat and power plant.

Введение

Необходимость ограничения потребления ископаемого топлива и выбросов парниковых газов за счет использования возобновляемых источников энергии, что влечет за собой диверсификацию и расширение энергетической матрицы, является одним из ключевых вопросов, рассматриваемых многими странами при энергетическом планировании. Эти задачи важны для сохранения экономического развития при обеспечении безопасности энергоснабжения. Инвестиции в производство энергии из новых альтернативных источников могут значительно помочь сохранить природные ресурсы. Биогаз является возобновляемым источником энергии, который может заменить ископаемое топливо и природный газ при выработке электроэнергии и тепла и служит газообразным топливом в транспортных средствах. Из-за высокого содержания органического вещества биомасса является наиболее подходящим сырьем для производства биогаза. В настоящее время 13% ежегодно потребляемой в мире энергии на душу населения производится из биомассы

Основная часть

Анаэробное сбраживание (АД) — это технология, основанная на микроорганизмах, широко используемая для обращения с отходами при

производстве возобновляемой энергии. АД преобразует органическую фракцию загрязняющих веществ (например, коммунально-бытовые, сельскохозяйственные и промышленные отходы, осадки сточных вод) в биогаз.

Реактор (также можно встретить название ферментер) — пластиковая или стальная емкость, часть биогазовой установки, в которой происходит ферментация и разложение биомассы. Сам бак можно разделить на три части: погрузочная площадка; непосредственно рабочая часть; площадка для выгрузки отходов.

Загрузочная зона может иметь один или несколько модулей. Количество модулей может варьироваться в зависимости от потребностей производства и доступного сырья. В верхней части загрузочной площадки имеется люк для подачи сырья.

Люк закрывается плотно, обеспечивая необходимую герметичность. Штуцеров здесь два — они служат для отвода выделившегося газа и подключения контрольного датчика. Датчик измеряет уровень давления в реакторе и при достижении заданного уровня автоматически включает насос для перекачки скопившегося газа в газгольдер (а затем выключает его).

Каждая часть ферментера оснащена теплообменником, чтобы обеспечить поддержание температуры сырья на необходимом уровне. Постоянство биоматериала для предотвращения образования корки обеспечивают специальные мешалки.

После рабочей зоны отработанные остатки органического топлива перемещаются в зону разгрузки. Здесь расположен разгрузочный люк, через который субстрат поступает в емкость для жидкого удобрения. Удобрения выкачиваются из контейнера специальным насосом.

Биогаз из газгольдера поступает в специальные устройства для переработки в газомоторное топливо, электроэнергию и тепло. Весь процесс осуществляется автоматически под контролем одного оператора.

При производстве биогаза отношение входной энергии к выходной может достигать 28,8, что указывает на более высокую эффективность этой технологии по сравнению с другими биологическими и термохимическими технологиями производства энергии. В дополнение к своей роли в уменьшении загрязнения и производстве биогаза, АД дает подходящие удобрения в качестве дополнительного этапа переработки ресурсов

Заключение

Переработанные органические виды топлива будущее в развитии теплоэнергетической отрасли. Это напрямую связано с повышением цен на более традиционные его разновидности, что ведет к повышению цен на саму энергию. Учитывая актуальность проблемы загрязнения атмосферы нашей планеты применение такой установки, как биореактор является отличным аналогом, учитывая сельскохозяйственную направленность нашей республики.

Литература

1. Биогаз [Электронный ресурс] / Биогазовые реакторы. – Режим доступа: <https://www.biogas.su/bioreactor>.—Дата доступа 02.05.2023.

УДК 66.045.1

**МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В
ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ
HEAT TRANSFER ENHANCEMENT METHODS FOR HEAT
EXCHANGERS**

А. П. Каменко, Е. А. Русакевич

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
yanchuk@bntu.by

A. Kamenko, E. Rusakevich

Supervisor – V. Yanchuk, assistant
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** принципы и применение различных методов интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании.*

***Abstract:** principles and application of various heat transfer enhancement methods for heat exchange equipment.*

***Ключевые слова:** теплообмен, интенсификация теплообмена, методы интенсификации теплообмена, теплоэнергетика.*

***Keywords:** heat exchange, heat transfer enhancement, heat transfer enhancement methods, heat power engineering.*

Введение

Теплообменные аппараты нашли применение в разных областях деятельности, таких как энергетика, нефтепереработка, пищевая промышленность, а также в системах отопления, кондиционирования и других технических системах.

В этой связи следует рассмотреть процессы теплопередачи, которые являются ключевыми при проектировании эффективного теплообменного оборудования, а также при оптимизации работающих единиц оборудования. Для повышения эффективности работы теплообменного оборудования необходимо применение методов, которые позволяют повысить интенсивность теплообмена без увеличения площади поверхности теплопередачи или изменения конструкции оборудования.

Основная часть

При прочих равных условиях увеличение интенсивности теплообмена между теплоносителем и рабочей поверхностью теплообменного аппарата приводит к повышению тепловыделения или уменьшению площади рабочей поверхности при постоянной тепловой мощности. Таким образом, увеличение эффективности теплообменника может быть обеспечено путем интенсификации теплообмена, если мощность, потребляемая на привод тягодутьевого оборудования, обеспечивающего транспорт теплоносителей,

остается такой же или незначительно увеличивается [1]. Теплопередача может быть описана уравнением:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Q – тепловая мощность, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

F – поверхность теплопередачи, м^2 ;

Δt – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителя, К .

С практической и технической точки зрения важно увеличивать тепловую мощность не только за счет увеличения средней разности температур горячего и холодного теплоносителя Δt или поверхности теплопередачи F (увеличение которой приводит к увеличению размеров и конечной стоимости теплообменного оборудования), а за счет увеличения коэффициента теплопередачи k , который в свою очередь характеризует условия теплопередачи и ее интенсивность.

Методы интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании можно классифицировать по различным критериям, таким как физические принципы, методы введения энергии и т.д.

На данный момент существует множество методов интенсификации теплообмена, которые находятся на стадиях разработки, исследования и применения. Они могут быть разделены на две группы, в зависимости от способа их применения – активные и пассивные [2]:

1. Активные методы интенсификации теплообмена основаны на механическом воздействии на поверхность теплообмена. Ими являются вращение, вибрация, перемешивание жидкости; воздействие на поток различными полями: электрическим магнитным или акустическим полем; пульсациями давления, вдувом или отсосом рабочей среды через пористую поверхность и т.д.

2. Пассивные методы интенсификации теплообмена основаны на изменении формы поверхности теплообмена. Они включают в себя использование вставных интенсификаторов, таких как винтовые, локальные и пластинчатые закручиватели потока, различных форм оребрения поверхности теплообмена и др.

Далее рассмотрим те из них, которые наиболее технически реализуемы.

Воздействие на поток электрическим магнитным полем

Магнитогидродинамический (МГД) метод – метод воздействия на поток электрическим магнитным полем. МГД-метод применяется в случае, когда рабочая жидкость является проводником. В этом случае магнитное поле воздействует на движущиеся заряды в жидкости, вызывая в ней электрический ток и магнитные силы, которые приводят к турбулизации потока – при пропускании рабочей жидкости через каналы, которые находятся в магнитном поле, образуется множество вихрей, которые увеличивают скорость потока жидкости.

Проведенные исследования показывают, что воздействие на поток магнитным полем увеличивает коэффициент теплоотдачи в 1,5–3 раза в зависимости от интенсивности поля [3].

Данный метод позволяет не изменять геометрию теплообменника, но требует наличия сильного магнитного поля.

Воздействие на поток акустическим полем

Акустический метод интенсификации теплообмена использует звуковые волны для увеличения коэффициента теплообмена между рабочей жидкостью и поверхностью теплообмена. Когда рабочая жидкость находится под воздействием звуковых волн, возникают дополнительные течения и вихри, которые усиливают перемешивание и ускоряют движение жидкости.

Для создания звуковых волн могут использоваться ультразвуковые излучатели, генераторы шума, колебания вибрационной платформы.

Проведенное исследование демонстрирует, что при увеличении интенсивности звукового давления на 10% коэффициент теплоотдачи может увеличиться в 1,5–2 раза [4].

Акустический метод интенсификации теплообмена имеет ряд преимуществ, включая возможность интенсификации теплообмена без использования высоких напряжений и в принципе электрического воздействия на поток. Однако, акустическое воздействие может быть нежелательным в некоторых ситуациях из-за шума и вибраций, которые он вызывает.

Интенсификация закруткой потока теплоносителя

Для улучшения теплообмена в трубе можно использовать метод интенсификации, закручивая поток теплоносителя вокруг продольной оси трубы. Этот метод основывается на использовании гидродинамических эффектов, которые приводят к интенсификации перемешивания и повышению скорости теплоносителя.

Одним из ключевых элементов этого метода является введение геометрических изменений в систему теплообмена, таких как насадки, закрученные трубы, лопаточные завихрители и ленточные лопатки. Это приводит к изменению направления потока и созданию вихрей внутри системы. Появление вторичных течений за счет центробежных сил приводит к повышению интенсивности теплообмена между ядром потока и пограничным слоем на стенке канала.

Интенсификация закруткой потока теплоносителя имеет ряд преимуществ перед другими методами интенсификации теплообмена. Она позволяет достичь высокой эффективности при относительно низких затратах на оборудование и установку. Также этот метод обеспечивает более равномерное распределение тепла внутри системы, что позволяет снизить риск возникновения местных перегревов и повреждений.

Однако, при использовании данного метода необходимо учитывать возможность образования турбулентных потоков и увеличения гидравлических потерь. Эти факторы могут привести к увеличению расхода энергии и ухудшению эффективности системы теплообмена. Например, при турбулентном режиме в трубе со скрученной лентой при относительно шаге

$s/d = 5$ гидросопротивление возрастает в 1,35–1,55 раза по сравнению с трубой без завихрителя. Поэтому для достижения оптимальной эффективности и безопасности при применении интенсификации закруткой потока теплоносителя необходимо проводить тщательный анализ характеристик системы.

Использование ленточных завихрителей в турбулентном режиме может привести к увеличению теплоотдачи в 1,5–2 раза, однако этот эффект снижается при увеличении относительного шага закрутки ленты и, как у других методов, увеличении теплопроводности жидкости [2].

Заключение

В настоящее время существует широкий спектр методов интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании. Некоторые методы более эффективны при определенных условиях, таких как высокая скорость потока или высокая вязкость жидкости. Поэтому выбор методов интенсификации должен быть основан на конкретных условиях эксплуатации теплообменного оборудования.

Интенсификация теплообмена в теплообменном оборудовании играет важную роль в повышении эффективности процесса теплопередачи, а соответственно, и в повышении экономической и экологической эффективности. Выбор наиболее подходящих методов должен быть основан на анализе конкретных условий эксплуатации и требований к процессу теплообмена.

Литература

1. Попкова, О.С. Методы интенсификации теплообмена: учебное пособие / О.С. Попкова, О.С. Дмитриева. – Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2016. – 80 с.
2. Лаптев, А.Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учебно-справочное пособие. – М.: «Теплотехник», 2011. – 335 с.
3. Красиков, М.В. Интенсификация теплообмена в магнитогидродинамическом течении под действием магнитного поля / М.В. Красиков // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – № 437. – С. 90-95.
4. Krasnoporov, V.Y. Enhancement of heat transfer in flow of a liquid due to ultrasonic vibrations / V.Y. Krasnoporov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. Vol. 89, № 1. – P. 119-126.

УДК 661.939.3

СПОСОБЫ ДОБЫЧИ АРГОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ METHODS OF ARGON PRODUCTION AND ITS APPLICATION

К.О. Клименков, Н.О. Соловьёв

Научный руководитель – Т.В. Рыжова, к.т.н

Белорусский национальный технический университет, Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики, г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

K. Klimenkov, N. Solovyov

Supervisor – T. Ryzhova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Institute for advanced training and retraining of personnel in new areas of development of engineering, technology and economics, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье затрагиваются основные свойства аргона, методы его добычи из воздуха и природного газа, область применения в промышленности.*

***Abstract:** the article touches upon the main properties of argon, methods for its extraction from air and natural gas, and the scope of application in industry.*

***Ключевые слова:** аргон, дистилляция, фракционирование.*

***Keywords:** argon, distillation, fractionation.*

Введение

Аргон – это инертный газ, который составляет около 0,93% атмосферы Земли. Он был открыт в 1894 году Лордом Рэлеем и Уильямом Рэмси. Он является важным элементом в различных отраслях промышленности и широко используется в различных сферах, включая медицину, электронику, металлургию и другие. Аргон является незаменимым компонентом в производстве сварочных работ и защиты материалов от окисления. В данной статье рассмотрены некоторые из крупнейших компаний, занимающихся добычей аргона, и описываемые ими методы добычи и производства этого газа.

Основная часть

Основные методы применения аргона:

Защитная атмосфера. Аргон используется как защитная атмосфера в сварке, лазерной резки и других процессах, где необходимо предотвратить окисление металла. Он создает инертную среду вокруг металла, что позволяет сохранить его свойства и качество.

Охлаждение. Аргон используется для охлаждения различных систем и оборудования. Он может быть использован для охлаждения металлических деталей, которые нагреваются во время производства, а также для охлаждения электронных компонентов.

Газовые лазеры. Аргон используется в газовых лазерах как рабочая среда. Он позволяет создавать лазерное излучение на определенной длине

волны, что делает его полезным для различных промышленных операций.

Заполнение ламп. Аргон используется для заполнения ламп в различных отраслях промышленности, включая освещение и научные исследования. С помощью него создают стабильную атмосферу внутри лампы, что позволяет ей работать более эффективно и дольше.

Свойства аргона:

Инертность. Аргон является инертным газом, что означает, что он не реагирует с другими элементами. Это свойство делает его полезным для защитной атмосферы в процессах сварки и других процессах, где необходимо предотвратить окисление металла.

Высокая плотность. Аргон имеет высокую плотность, что делает его полезным для охлаждения различных систем и оборудования. Он может быстро охладить нагретые металлические детали и электронные компоненты.

Не токсичен. Аргон не является токсичным газом, что делает его безопасным для использования в различных отраслях промышленности. Он не имеет никаких вредных эффектов на окружающую среду и не является опасным для здоровья людей.

Добыча аргона – это процесс извлечения аргона из природного газа или воздуха. Он также может быть найден в природном газе и нефти. Добыча аргона из природного газа происходит разделением газовой смеси на ее составляющие компоненты. Этот процесс называется фракционированием. Природный газ содержит около 0,5% аргона, который может быть выделен путем данного процесса. Добыча аргона из воздуха происходит использованием процесса линейной дистилляции воздуха. В этом процессе воздух охлаждается до очень низких температур, что приводит к конденсации различных компонентов воздуха. Аргон может быть выделен путем фракционирования полученной жидкости.

После добычи аргон может быть очищен от других газов и использоваться в различных отраслях промышленности. Он может храниться в жидком или газообразном состоянии и транспортирован в баллонах или цистернах.

Аргон добывается во многих странах мира, включая США, Китай, Россию, Индию, Канаду, Бразилию, Аргентину и другие. США являются крупнейшим производителем аргона, который добывается в основном из природного газа. Китай также является крупным производителем аргона, добывая из воздуха методом линейной дистилляции. Россия также имеет значительные запасы аргона и добывает его как из природного газа, так и из воздуха.

Крупнейшими компаниями занимающиеся производством аргона являются:

Linde Gas North America

Air Liquide USA

Praxair, Inc.

Air Products and Chemicals, Inc.
China National Chemical Corporation (ChemChina)
Air Separation Plant Co., Ltd. (ASPC)
Gazprom
Novatek
Messer Group
Taiyo Nippon Sanso Corporation

Заключение

Аргон – это важный инертный газ, который широко используется в различных отраслях промышленности. Он может быть использован как защитная атмосфера в сварке, лазерной резки и других процессах, а также для охлаждения различных систем и оборудования. Он имеет высокую плотность, инертность и не является токсичным газом, что делает его безопасным для использования в промышленности.

Литература

1. Weldering [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://weldering.com/argon-samyu-lenivyy-gaz> – Дата доступа: 29.04.2023.
2. Heat Treating Society Online Buyer's Guide [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.heattreatingdirectory.com/category/atmospheres-industrial-gases-gas-generators/argon> – Дата доступа: 29.04.2023.

УДК 662.7

**ЗАВИСИМОСТЬ ОБЪЕМОВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО
ГАЗА ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА
THE DEPENDENCE OF THE VOLUMES OF NATURAL GAS
COMBUSTION PRODUCTS ON THE EXCESS AIR COEFFICIENT**

Н.В.Авдеюк, Ю.А. Зайцева

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

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

Y.P.Yarmolchick@bntu.by

N.Avdeyuk, Y. Zaitseva

Supervisor – Y. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** изучение процесса горения и его зависимость от коэффициента избытка воздуха*

***Abstract:** burning process study and its dependence on the excess air coefficient*

***Ключевые слова:** метан, продукты сгорания, углекислый газ, топливо, коэффициент избытка воздуха*

***Keywords:** methane, combustion products, carbon dioxide, fuel, excess air coefficient*

Введение

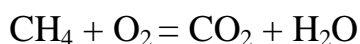
Горение – это химическая реакция, при которой горючие компоненты топлива соединяются с кислородом воздуха, подающегося в топку, с выделением тепла.

Если процесс сгорания топлива происходит не полностью, то есть кислорода было недостаточно, то в атмосферу выбрасываются такие вещества как – угарный газ (СО), метан и сажа. Опасность неполного сгорания состоит в том, что образование угарного газа может привести к отравлению персонала на котельной. Угарный газ очень токсичен и даже малое содержание (0,01 – 0,02 %) может привести к отравлению. Так же существуют следующие отрицательные стороны неполного сгорания: взрывоопасность, снижение мощности и КПД.

Основная часть

Рассмотрим полное сгорание метана.

При полном сгорании топлива образуются оксиды тех химических элементов, которые входят в его состав. Например, для метана:



В результате реакции полного сгорания метана образуется углекислый газ CO_2 и пары воды H_2O , которые не вредны для окружающего мира и организма человека. Теоретически, для данной реакции необходимо $9,53 \text{ м}^3$ воздуха, но на практике такого объема воздуха недостаточно, так как невозможно так перемешать метан с воздухом, чтобы к каждой молекуле газа было подведено

необходимое количество молекул кислорода. Исходя из этого на производстве всегда подаётся больше воздуха, чем рассчитано заранее.

Для того чтобы определить теоретическое количество воздуха, которое нужно подать для реакции полного сгорания нужно рассчитать коэффициент избытка воздуха по следующей формуле:

$$\alpha = V_{\text{факт.}}/V_{\text{теор.}},$$

где $V_{\text{факт.}}$ – фактически израсходованное количество воздуха на горение, м^3 ;
 $V_{\text{теор.}}$ – теоретическое необходимое количество воздуха, м^3 .

Коэффициент избытка воздуха – это самый важный показатель качества сжигания топлива. Чем меньше α , тем меньше теплоты потеряется с уходящими газами и, соответственно, тем выше КПД установки. Для полного сгорания топлива обычно требуется коэффициент избытка воздуха в пределах 1 – 1,4.

Горение топлива при избытке воздуха характеризуется дополнительной потерей тепла. Для того, чтобы потери тепла были минимальными, нужно чтобы и коэффициент избытка воздуха, соответственно был наименьшим. Таким образом, уменьшение коэффициента избытка воздуха приводит к:

Увеличению КПД.

Уменьшению в процентном отношении содержания несгоревших остатков кислорода в дымовых газах.

Уменьшению в процентном отношении содержания углекислого газа в дымовых газах.

Рассмотрим зависимость содержания углекислого газа в продуктах сгорания метана и сжиженного газа от коэффициента избытка воздуха (табл.1).

Таблица 1 – Содержания углекислого газа в продуктах сгорания метана и сжиженного газа

Коэффициент избытка воздуха, α	Природный газ среднего состава				Сжиженный газ среднего состава			
	CO ₂ , %	O ₂ , %	Теоретическая температура горения, °C	Объем продуктов сгорания, м ³ /м ³	CO ₂ , %	O ₂ , %	Теоретическая температура горения, °C	Объем продуктов сгорания, м ³ /м ³
1,00	11,80	0,00	2010	10,52	14,00	0,00	2110	29,60
1,05	11,20	1,00	1940	11,00	13,50	1,20	2030	30,97
1,10	10,70	1,95	1890	11,48	12,60	2,10	1970	32,34
1,15	10,20	2,80	1820	11,96	12,10	2,85	1910	33,71
1,20	9,80	3,60	1780	12,43	11,50	3,75	1835	35,08
1,25	9,40	4,20	1730	12,91	11,20	4,20	1800	36,45

Наилучшим способом эту зависимость можно увидеть отобразив данные графически:

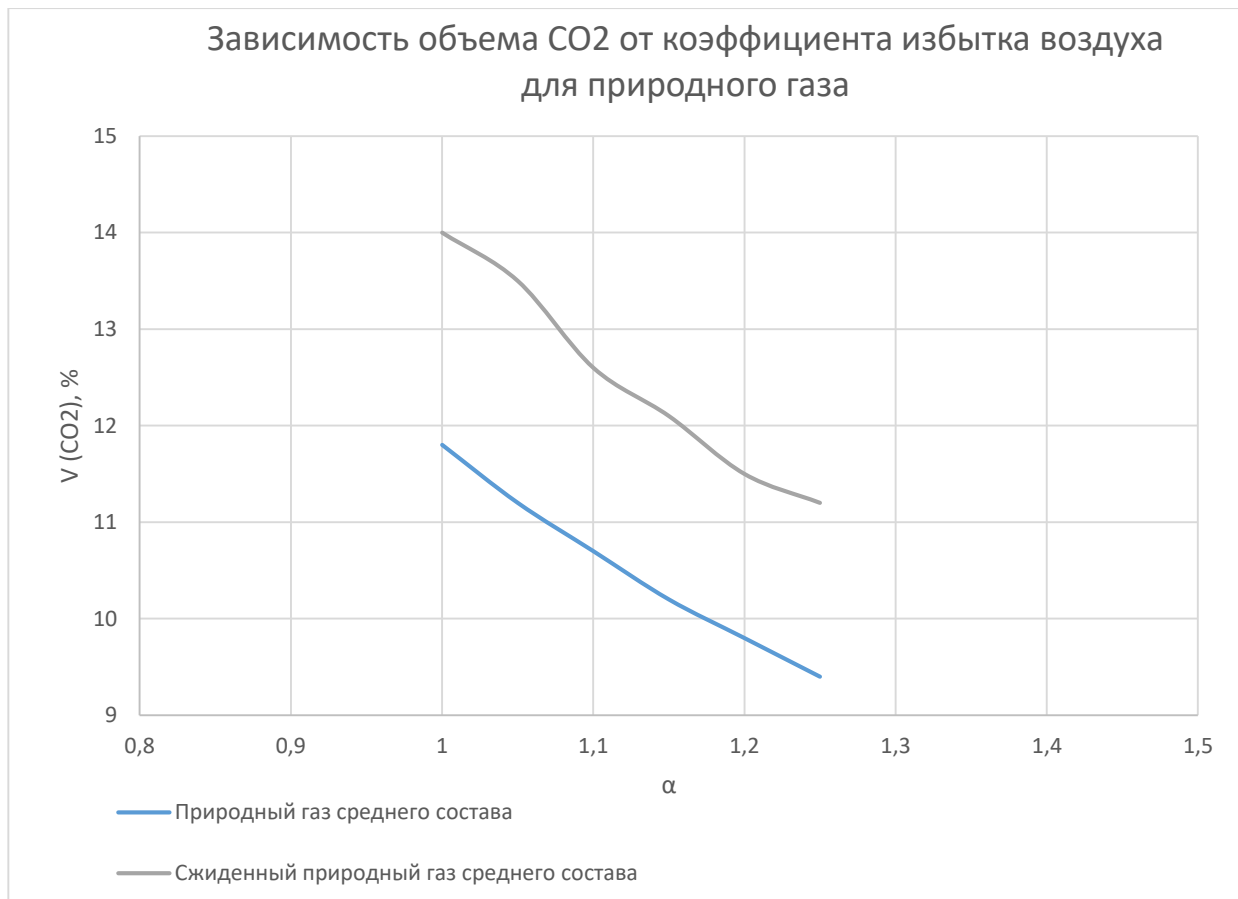


Рисунок 1 – зависимость объема CO₂ в продуктах сгорания природного газа среднего состава и сжиженного природного газа от коэффициента избытка воздуха.

Заключение

Из графика видно, что при значительном избытке воздуха мы имеем небольшое количество углекислого газа и наоборот, при уменьшении коэффициента избытка воздуха содержание углекислого газа в продуктах сгорания увеличивается. Таким образом, организация качественного горения может быть определена количеством CO₂ в продуктах сгорания.

Литература

1. Основы сжигания газа [Электронный ресурс] /-Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/weishaupt/8497/25124.pdf> /. – Дата доступа: 22.03.2023.
2. Зависимость объемов продуктов сгорания от коэффициента избытка воздуха [Электронный ресурс] /-Режим доступа: <https://stroytusa.ru/temperatura-gorenia-gaza-v-peci/> /. – Дата доступа: 22.03.2023.

УДК 536.74

**ТРЕТИЙ ЗАКОН ИЛИ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ
THE THIRD LAW OR BASIS OF THERMODYNAMICS**

И.О.Аликевич, Е.С.Вежновец, М.А. Заруба
Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
Z.B.Aidarova@bntu.by
Alikevich, E. Vezhnovets, M. Zaruba
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе рассмотрены два методологических подхода к третьему постулату термодинамики: как к закону (тепловой теореме Нернста) и как к третьему началу (термодинамической аксиоме). Определены методологические аспекты дуалистического подхода к одному из фундаментальных постулатов термодинамики.

Abstract: This paper considers two methodological approaches to the third postulate of thermodynamics: as a law (Nernst's thermal theorem) and as a third basis (thermodynamic axiom). The methodological aspects of the dualistic approach to one of the fundamental postulates of thermodynamics are determined.

Ключевые слова: Третий закон термодинамики, третье начало, энтропия, абсолютная температура.

Keywords: The third law of thermodynamics, the third principle, entropy, absolute temperature.

Введение

В термодинамике существуют базисные постулаты на основе которых определяются остальные законы. Они называются «началами». Наиболее обсуждаемое из них является третье начало (закон) термодинамики.

Третий закон термодинамики устанавливает, что при абсолютном нуле температуры (0 К или $-273,15$ °С) энтропия кристаллического вещества равна нулю. Это означает, что при абсолютном нуле температуры все молекулы кристаллического вещества находятся в своих базовых энергетических состояниях и не могут двигаться. Третий закон термодинамики имеет важное значение для изучения свойств материалов при низких температурах и для понимания процессов, происходящих в кристаллах и твёрдых телах.

В тоже время мы применяем и понятие «третье начало термодинамики»

В такой формулировке (т.е. определении, как «начала», т.е. базисного постулата) третье начало термодинамики утверждает, что невозможно достичь абсолютного нуля температуры при конечном числе шагов в процессе охлаждения. Это связано с тем, что при приближении к абсолютному нулю температуры энтропия системы стремится к нулю, и чтобы ее полностью устранить, необходимо бесконечное число шагов. Третье начало

термодинамики имеет важное значение для изучения свойств материалов при очень низких температурах и для разработки методов криогенной технологии.

Основная часть

Третий закон термодинамики и третье начало термодинамики - это одно и то же утверждение, рассматриваемое с разных позиций методологии. Оба термина используются для обозначения одного фундаментального закона природы. Они оба устанавливают условия, необходимые для существования абсолютного нуля температуры и утверждают, что при абсолютном нуле температуры все материалы имеют нулевую энтропию.

Третье начало термодинамики, однако, является более общей концепцией, которая описывает связь между энтропией и температурой в системе. Оно устанавливает, что при абсолютном нуле температуры энтропия любой системы должна быть равна нулю.

Третий закон термодинамики можно рассматривать как частный случай третьего начала термодинамики, который устанавливает условия, необходимые для существования абсолютного нуля температуры.

Так же считают, что третий закон является одновременно и законом, и аксиомой, и теоремой. Рассмотрим это ниже.

В одном из методологических подходов третий закон термодинамики также называют теоремой, потому что он является утверждением, которое было доказано на основе определенных аксиом и логических выводов. Он не является просто эмпирическим законом, который был обнаружен путем экспериментов или наблюдений, а является более фундаментальным принципом, который объясняет поведение систем при низких температурах. Поэтому третий закон термодинамики может быть рассмотрен как теорема в рамках термодинамики и физики в целом.

В другом же случае, его называют аксиомой, ведь оно не требует доказательств и принимается как основополагающий принцип термодинамики.

Однако, как и любой другой научный закон, он может быть пересмотрен и уточнен в свете новых экспериментальных данных и теоретических разработок.

С развитием статистической механики третий закон термодинамики (как и другие законы) превратился из фундаментального закона (подтвержденного экспериментами) в производный закон (выведенный из еще более фундаментальных законов). Основным законом, из которого он в первую очередь выводится, является статистико-механическое определение энтропии для большой системы:

$$S - S_0 = k_B \ln W,$$

где S – энтропия

k_B – постоянная Больцмана, показывает объём молекулы одноатомного газа, то есть объём одного атома.

W - это количество микросостояний, соответствующих макроскопической конфигурации. Отсчет состояний ведется от исходного состояния абсолютного нуля, которое соответствует энтропии.

Проще говоря, третий закон гласит, что энтропия идеального кристалла чистого вещества приближается к нулю по мере приближения температуры к нулю. Выравнивание идеального кристалла не оставляет никакой двусмысленности относительно расположения и ориентации каждой части кристалла. По мере уменьшения энергии кристалла вибрации отдельных атомов сводятся к нулю, и кристалл становится везде одинаковым (рисунок 1).

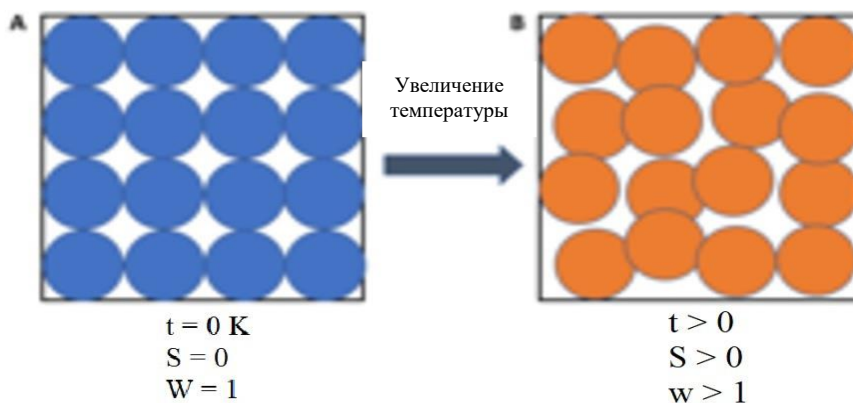


Рисунок 1 – Изменение состояния кристалла

Единственная возможная конфигурация для системы при абсолютном нуле, т.е. доступно только одно микросостояние. Таким образом, $S = k \ln W = 0$. (b) При температурах, превышающих абсолютный ноль, доступно множество микросостояний из-за вибрации атомов (преувеличено на рисунке). Поскольку число доступных микросостояний больше 1, то $S = k \ln W > 0$. Третий закон обеспечивает абсолютную точку отсчета для определения энтропии при любой другой температуре. Энтропия замкнутой системы, определенная относительно этой нулевой точки, тогда является абсолютной энтропией этой системы.

Заключение

Третье начало термодинамики, как никакой другой закон, обладает дуализмом. Являясь явным постулатом или аксиомой в тоже время является системой при описании изменений которой можно применить математические методы, то есть привести третий закон к понятию теоремы. Таким образом, исходя из описываемой системы, и применяется этот закон.

Литература

1. Third law of thermodynamics [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Third_law_of_thermodynamics - Дата доступа: 30.03.2023
2. Физический смысл постоянной Больцмана [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://proza.ru/2019/09/24/1553#:~:text=Так%20как%20Оуравнение%20Клапейрона-Менделеева,то%20есть%20объём%20одного%20атома> – Дата доступа: 30.03.2023
3. Биография В.Нернста [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нернст,_Вальтер – Дата доступа: 30.03.2023

УДК 536.73

**ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ
SECOND LAW OF THERMODYNAMICS**

К.А.Галишева, Д.С.Шулёпов

Научный руководитель – М.А. Ярмольчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pte@bntu.by

K. Galisheva, D. Shulepov
Supervisor – M. Yarmolchik, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе была рассмотрена история становления формулировок второго закона термодинамики, а также, основные личности, сыгравшие ключевую роль в его развитии.

Abstract: In this paper, the history of the formation of the formulations of the second law of thermodynamics was considered, as well as the main personalities who played a key role in its development.

Ключевые слова: термодинамика, энтропия, температура.

Keywords: thermodynamics, entropy, temperature.

Введение

История развития второго закона термодинамики — это история великого интеллектуального достижения от середины XIX века по настоящее время. Второй закон формулируется таким образом, что безусловная необратимость всех природных процессов утверждается как постулат, подобно тому, как общая физика, опираясь на чисто феноменологическую точку зрения, утверждает, как аксиому безусловную делимость материи без предела [1].

Основная часть

Большая часть исследований теплоты в первой половине XIX века проводились с одной целью – это улучшить работу паровой машины. Молодой инженер Сади Карно начал исследование данной проблемы. В 1824 году он опубликовал «Размышления о движущей силе огня», в которых были изложены основные принципы, почерпнутые из наблюдений за тем, как энергия перемещается вокруг двигателей и как связаны потерянное тепло и полезная работа. С. Карно исследовал паровые двигатели, которые работают за счет сжигания топлива для нагрева цилиндра, содержащего пар, который расширяется и давит на поршень, чтобы затем совершить работу. Он показал, что теоретический максимальный КПД паровой машины можно предсказать, измерив разницу температур пара внутри цилиндра и воздуха вокруг него, известных в терминах термодинамики как горячий и холодный резервуары системы соответственно.

Тепловые двигатели работают, потому что тепло естественным образом перетекает из горячих мест в холодные. Если бы не было холодного резервуара, к которому он мог бы двигаться, не было бы теплового потока и

двигатель не работал бы. Поскольку холодный резервуар всегда выше абсолютного нуля, ни одна тепловая машина не может быть на 100% эффективной.

После С. Карно начал изучение второго закона Рудольф Клаузиус. Он в 1850 году ввел понятие энтропии и сформулировал новую версию второго закона. Р. Клаузиус показал, что теплота не может самопроизвольно переходить от более холодного тела к более горячему без участия третьего тела.

В общем виде второй закон термодинамики можно сформулировать так, что любой реальный самопроизвольный процесс является необратимым [2].

Следующий ученый, внесший важный вклад в разработку второго закона был Уильям Томсон, впоследствии ставший лордом Кельвином, который в 1851 году предложил идею "тепловой машины", способной преобразовывать тепло в механическую работу. Кельвин понимал, что такой двигатель никогда не сможет достичь идеальной эффективности и что часть энергии всегда будет теряться в окружающую среду в виде тепла. Он также ввел понятие абсолютного нуля - температуры, при которой прекращается всякое молекулярное движение.

Следующую более универсальную формулировку данного закона предложил австрийский физик Людвиг Больцман: энтропия – показатель неупорядоченности системы. Чем выше энтропия, тем хаотичнее движение материальных частиц, составляющих систему. Формула, связывающая энтропию и вероятность состояния системы, высечена на памятнике Л. Больцману (рисунок 1).



Рисунок 1 – Памятник Л. Больцману

Однако разработка второго закона не обошлась без противоречий. Некоторые ученые, в первую очередь Эрнст Мах, ставили под сомнение справедливость закона, утверждая, что он основан на предположениях, которые не могут быть доказаны экспериментально. Другие, такие как нобелевский лауреат Альберт Эйнштейн, скептически относились к идее энтропии и верили, что возможно сконструировать вечный двигатель, нарушающий второй закон. Однако такие возражения были в значительной степени преодолены к середине 20-го века, поскольку все больше и больше экспериментальных данных подтверждали справедливость второго закона [3].

Основы термодинамики были горячей темой в физике во второй половине девятнадцатого века, над которой работали многие из самых выдающихся физиков того времени. Но к началу двадцатого века ее прочно затмили другие области физики. И в дальнейшем этому вопросу уделялось очень мало внимания – большинство физиков просто предполагали, что он «каким-то образом был решен» или, по крайней мере, «о нем не нужно было беспокоиться».

Заключение

Фундаментальные идеи, используемые для обсуждения второго закона, существенно не изменились за более чем столетие. О втором законе написано много, но он всегда имел тенденцию следовать линиям развития, уже определенным более века назад, и в основном феноменологическим подходам С. Карно, Р. Клаузиуса и Л. Больцмана.

Литература

1. Второй закон термодинамики [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-2/part-2/section-2/2-4>. - Дата доступа: 31.03.2023
2. Формулировка второго закона [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/114/29435/> - Дата доступа: 31.03.2023
3. История и развитие термодинамики [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://spravochnick.ru/fizika/termodinamika/istoriya_i_razvitie_termodinamiki/ - Дата доступа: 31.03.2023

УДК 662.7

ЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛА ВОББЕ ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ VALUE OF THE WOBV NUMBER FOR REAL COMBUSTIBLE GASES

Д.О. Черненко

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

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

Y.P.Yarmolchick@bntu.by

D. Chernenko

Supervisor – Y. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Значение числа Воббе и его значимость для реальных горючих газов.*

Abstract: *The value of the Wobb number and its significance for real combustible gases.*

Ключевые слова: *Число Воббе, горючие газы, зависимость, нахождение, неаддитивная зависимость.*

Key words: *Wobb number, combustible gases, dependence, finding, not-additive dependence.*

Введение

Число Воббе или Индекс Воббе является показателем взаимозаменяемости горючих газов, таких как природный газ, сжиженный газ и часто определяется в спецификациях газоснабжения и транспортных предприятий. Определяется отношение объёмной (низшей или высшей) теплотой сгорания к корню квадратному из относительной плотности газообразного топлива (т.е. из отношения плотности газообразного топлива к плотности воздуха при нормальных условиях)

Индекс Воббе используется для сравнения выхода энергии сгорания топливных газов различного состава в приборе. Если два топлива имеют одинаковые индексы Воббе, то при заданном давлении и настройках клапана выходная мощность также будет одинаковой.

Индекс Воббе является критическим фактором для минимизации влияния перехода при анализе использования заменителей природного газа, таких как пропан – воздушные смеси, однако несмотря на свою полезность при замене одного топлива другим следует иметь ввиду и другие критерии

Индекс Воббе появился в 1920-х годах благодаря итальянскому физика и инженеру Гоффридо Воббе

Основная часть

Для более конкретного понимания зависимости объёмной теплоты сгорания, в данном случае низшей, с квадратным корнем из относительной плотности газообразного топлива, будет представлен рисунок 1

Таблица 1 – Значение низшей рабочей теплоты сгорания, и квадратного корня из относительной плотности

	$Q_H^p \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$	$\sqrt{\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{В}}}}$
Метан	35,83	0,755598
Этан	63,77	1,039253
Пропан	91,27	1,263304
Бутан	118,68	1,467286
Пентан	145,12	0,706233
Этилен	59,08	1,001989
Ацетилен	56,04	0,961215
Водород	10,78	0,267442
Оксид углерода	12,63	0,997807
Сероводород	23,38	1,100523
Пропилен	86	1,235026
Бутилен	113,51	1,361997

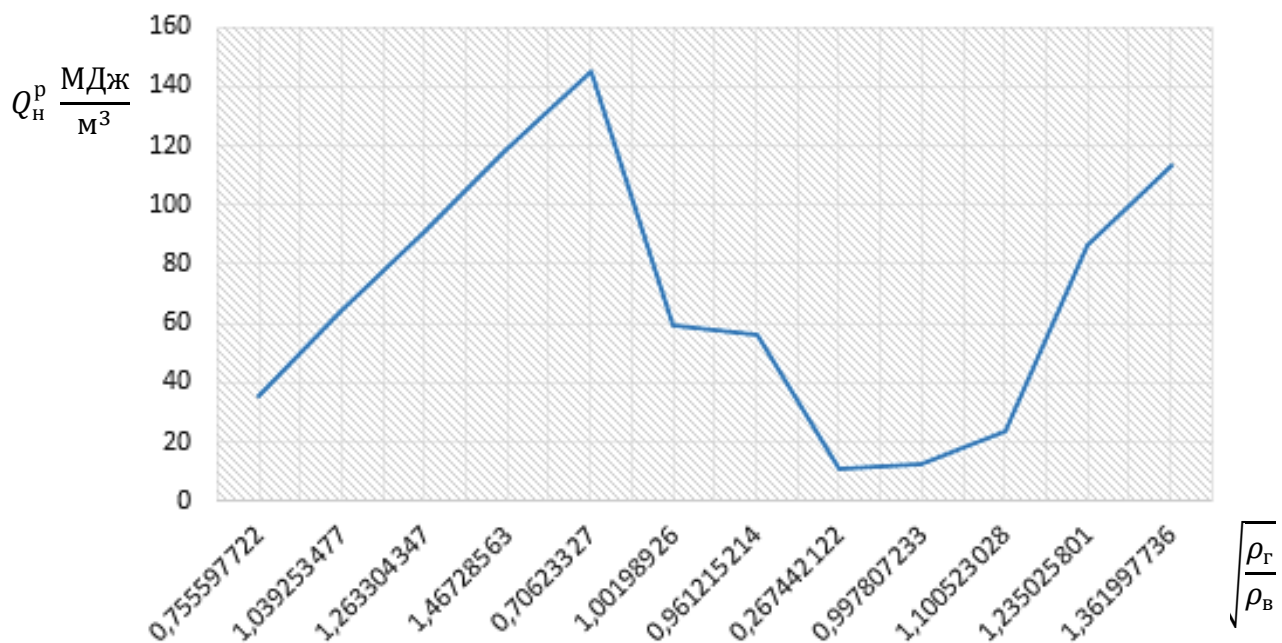


Рисунок 1 – Зависимость объёмной теплоты сгорания от квадратного корня из относительной плотности

Заключение

Исходя из графика соотношения низшей теплоты сгорания и квадратного корня из относительной плотности наблюдается неаддитивная зависимость т.к

теплота сгорания и плотность газа зависят от их химических формул и межатомных связей. В результате чего количество теплоты, выделяемое при экзотермических реакциях, - разная и найти закономерность между теплотой сгорания и плотностью газа не представляется возможным. Т.е. для нахождения числа Воббе необходимо воспользоваться справочной информацией.

Литература

1. Wikipedia [Электронный ресурс]/ Wobbe index. –Режим доступа: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Wobbe_index– Дата доступа: 02.04.2023.
2. World table [Электронный ресурс]/ Таблица плотности газов при нормальных условиях. – Режим доступа: <https://worldtable.info/fizika/tablica-plotnosti-gazov-pri-normalnyh-uslovij.html> – Дата доступа: 02.04.2023
3. Инженерный справочник [Электронный ресурс]/ Теплотехнические характеристики горючих газов. –Режим доступа: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/ComnustionEnergy/BurningGasesData1/>– Дата доступа: 02.04.2023

УДК 621.311.22

**ПИКОВО-РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
PEAK RESERVE SOURCES OF ELECTRICITY**

Н.В. Лях, Д.Н. Машаро

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

prokopenya@bntu.by

N. Liakh, D. Masharo

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе будет рассмотрена проблема резервирования электрической мощности АЭС.*

***Abstract:** in this paper, the problem of reserving the electric power of nuclear power plants will be considered.*

***Ключевые слова:** проблемы, АЭС, пиково-резервные источники электроэнергии, пиково-резервные энергоисточники, ПРЭИ.*

***Keywords:** problems, nuclear power plants, peak-reserve sources of electricity, peak-reserve energy sources, PRES.*

Введение

В связи с относительно скорым вводом АЭС в белорусскую энергосистему обостряются проблемы регулирования выработки и использования электроэнергии, а также проблемы с обеспечением пиково-резервных источников электроэнергии.

Основная часть

Особенностью работы АЭС является постоянный уровень выработки электроэнергии, а также большая мощность одного энергоблока. Это вызывает ряд, следующий проблем:

Невозможность регулирования выработки в зависимости от потребления.

Необходимость больших резервных мощностей на случай прекращения работы одного из энергоблоков.

Для подробного рассмотрения проблемы необходимо изучить: особенности выработки и состав электростанций, графики выработки и потребления электроэнергии [1].

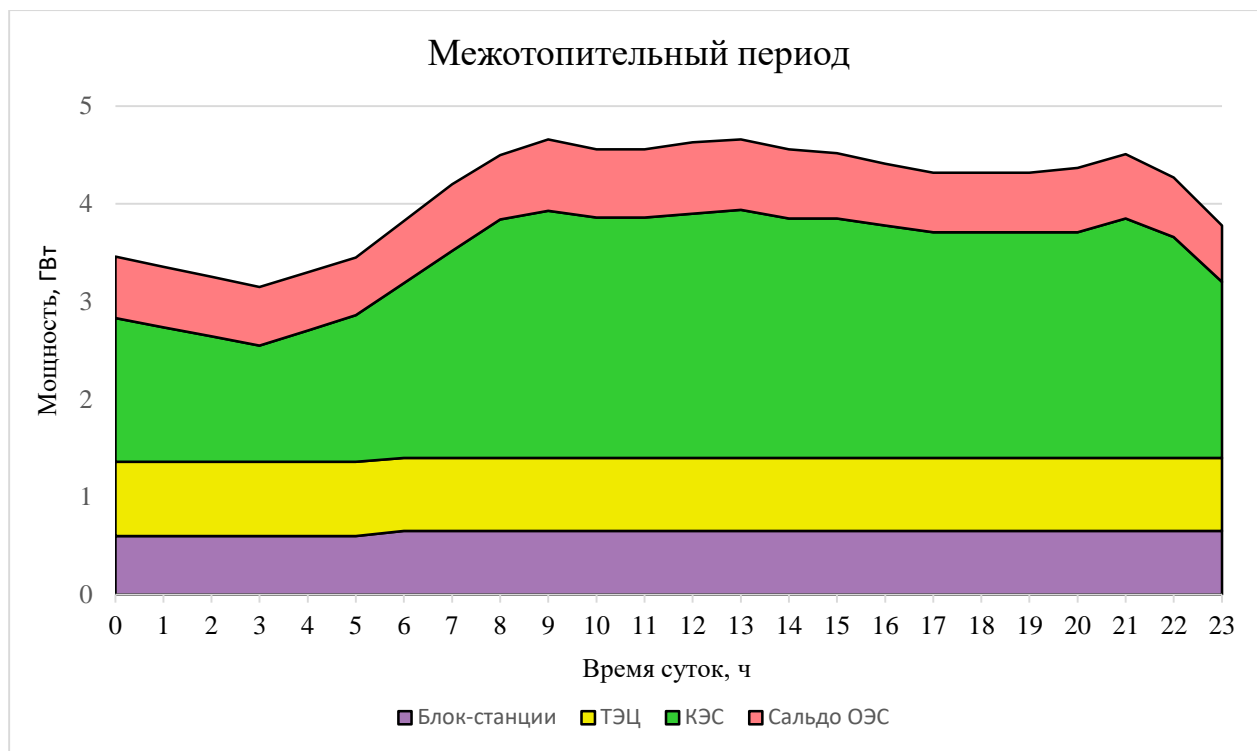


Рисунок 1 – График выработки и потребления электроэнергии

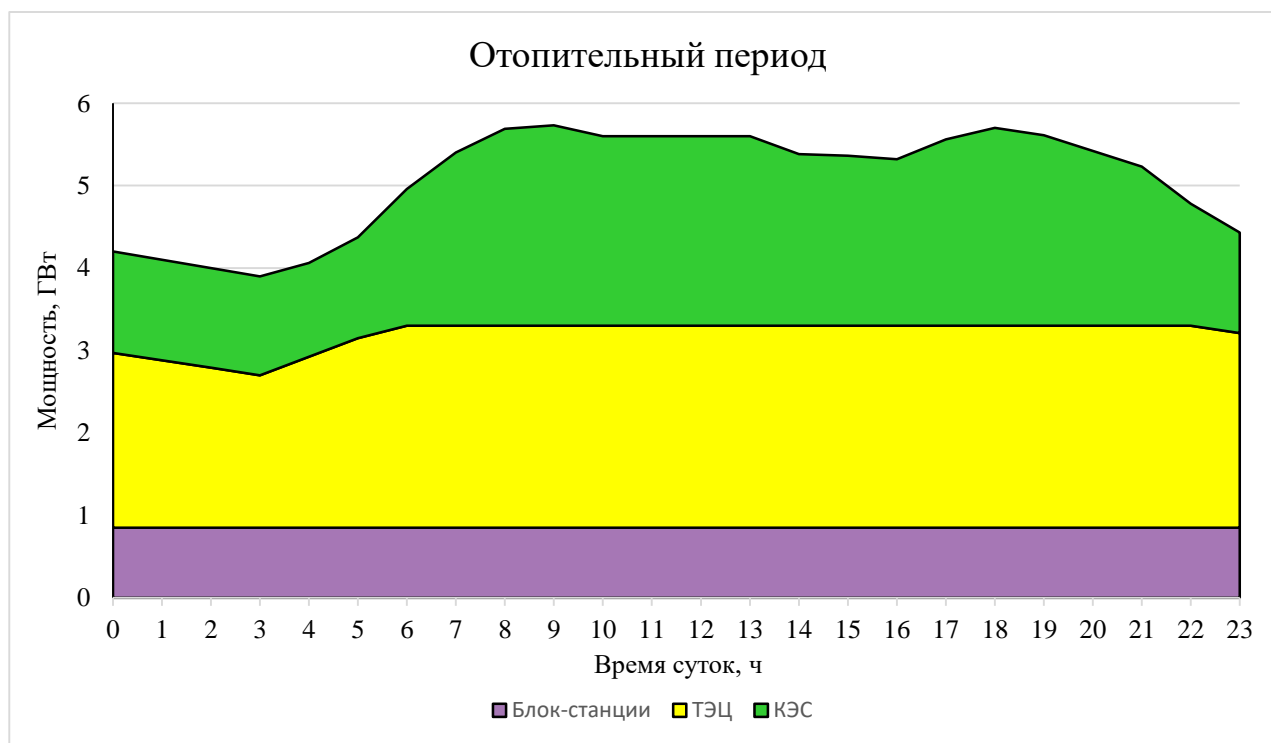


Рисунок 2 – График выработки и потребления электроэнергии

Следует отметить, что существующий суточный график позволяет задействовать самые эффективные источники – ТЭЦ, блок-станции, ПГУ – практически без ограничений (ТЭЦ задействуются без ограничений в неотопительный период и с минимальным ограничением в ночное время в отопительный период). Регулирование выработки с помощью ТЭЦ невозможно без изменения выработки тепловой энергии, что приведёт уже к

проблемам с теплоснабжением. В ночное время суток падает теплопотребление, поэтому возможно снизить выработку электроэнергии на ТЭЦ. Регулирование суточного графика обеспечивается в большей степени за счет конденсационных блоков КЭС. Резерв в размере мощности самого крупного энергоблока 427 МВт гарантированно обеспечивается за счет вращающихся мощностей недогруженных блоков в системе (горячий вращающийся первичный резерв). Таким образом, суточный график нагрузок сбалансированный, резерв – надежный.

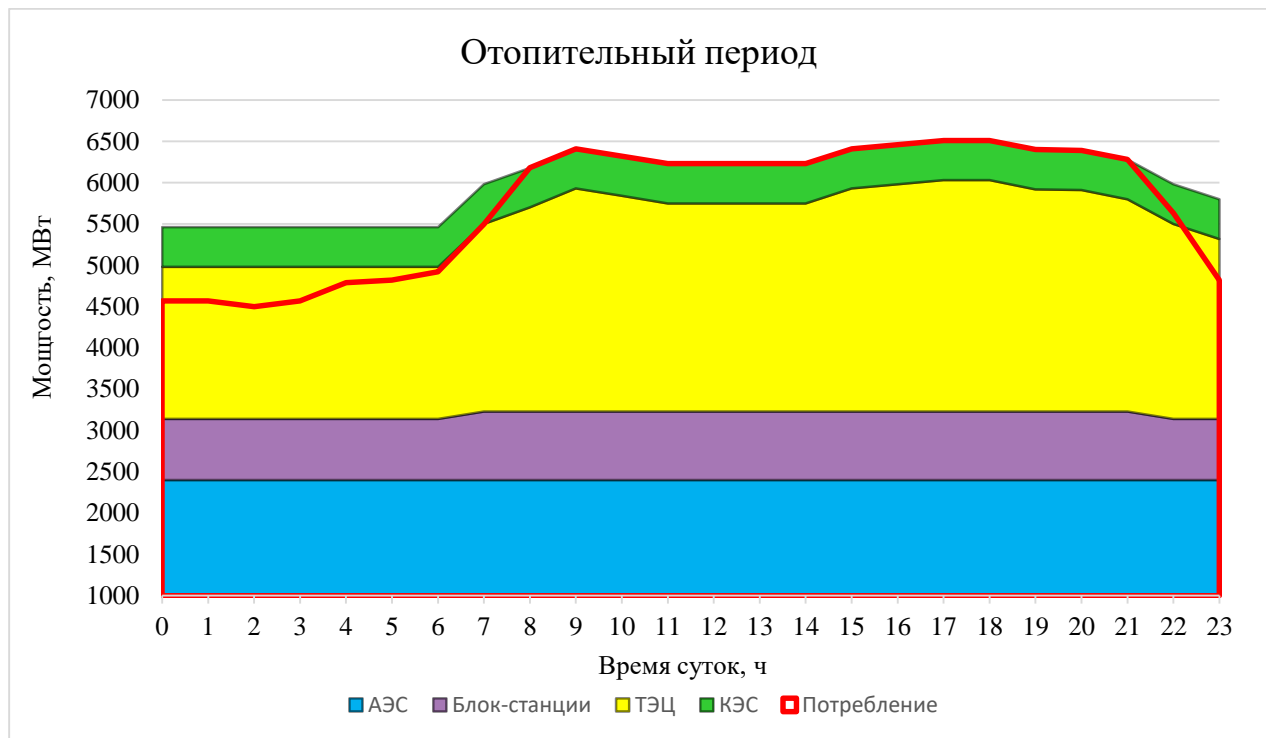


Рисунок 3 – Сценарий развития ситуации в энергосистеме Беларуси после ввода АЭС

Ввод АЭС приведёт к значительному уменьшению доли выработки на КЭС и ТЭЦ, к излишкам выработки от 1000 до 2000 МВт, а также к необходимости аварийного резервирования 1200 МВт мощности, при аварийной остановке одного из энергоблоков. Не используемые мощности КЭС могут быть использованы в качестве резервных, однако пуск и вывод на рабочий режим паровых турбин занимает около 1 – 2 часа, что делает невозможным использование их в качестве аварийных (пиково-резервных) источников электроэнергии. Конечно, можно вращать турбины на холостом ходу и сбрасывать пар в окружающую среду, но это крайне экономически невыгодно. Для решения проблемы со скоростью включения электрогенерирующего оборудования в сеть было решено установить в качестве пиково-резервных энергоисточников (ПРЭИ) 16 газовых турбин Siemens SGT-800 суммарной мощностью 800 МВт, распределённых по всей республике [3].

Основной функцией ПРЭИ является создание гарантированного высокоманевренного резерва мощности, предназначенного для ликвидации небаланса электрических мощностей при внеплановом отключении

энергоблока АЭС и сохранения надежного электроснабжения потребителей Объединенной энергосистемы Республики Беларусь без их отключения.

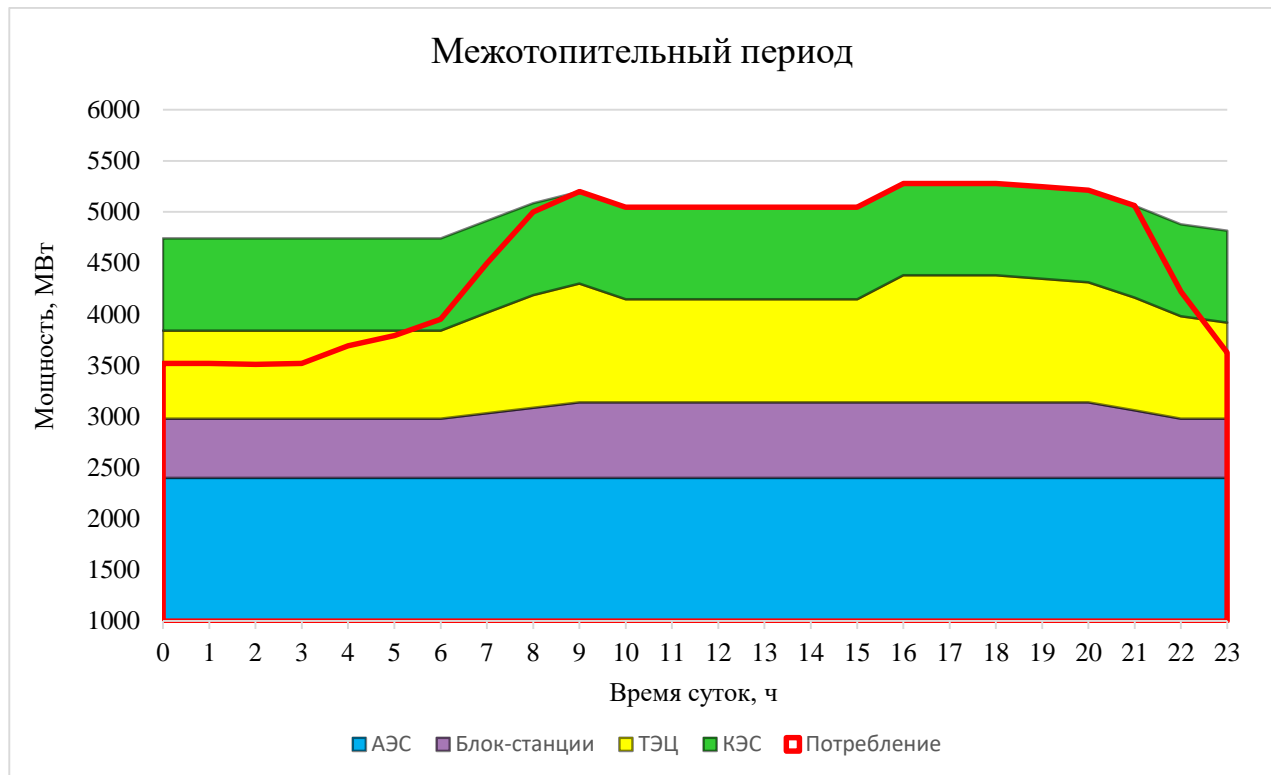


Рисунок 4 – Сценарий развития ситуации в энергосистеме Беларуси после ввода АЭС

Таблица 1. Строительство пиково-резервных энергоисточников [3]

№ п/п	Наименование ТЭС	Установленная мощность, МВт	Мероприятие
1.	Лукомльская ГРЭС	150	Установка 3-х ГТУ единичной мощностью 51,6 МВт
2.	Новополоцкая ТЭЦ	100	Установка 2-х ГТУ единичной мощностью 51,6 МВт
3.	Березовская ГРЭС (ПС Белоозерск)	250	Установка 5-ти ГТУ единичной мощностью 57 МВт
4.	ТЭЦ-5	300	Установка 6-ти ГТУ единичной мощностью 54,2 МВт

Пуск турбины Siemens SGT-800 с холодного старта занимает всего около 15 минут. Этот параметр является главным при выборе оборудования, т.к. чем быстрее смогут подключиться ПРЭИ, тем меньше времени потребитель будет отключён от сети.

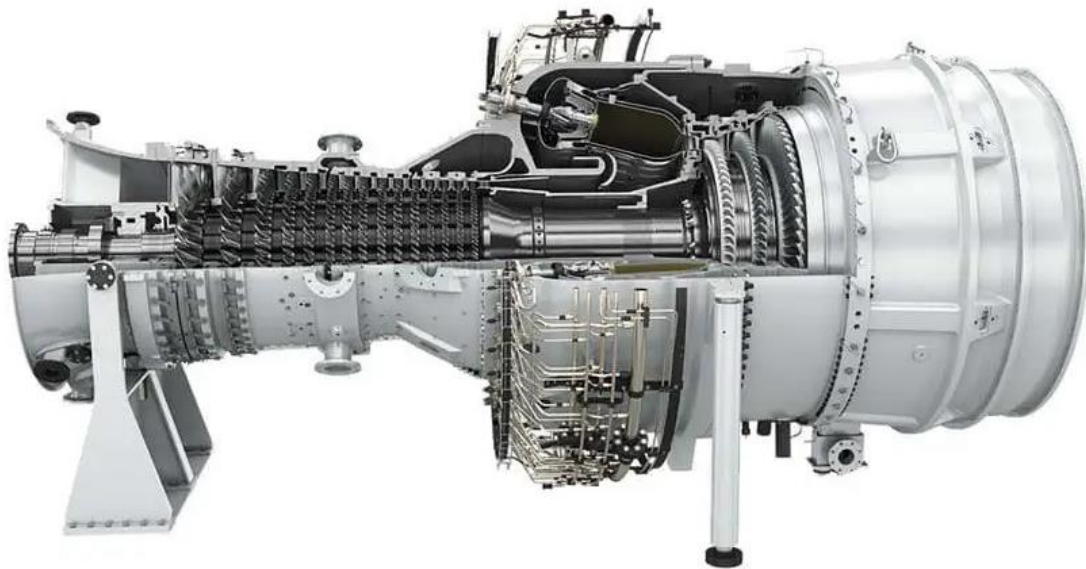


Рисунок 5 – Газовая турбина Siemens SGT-800

Технические данные газовой турбины Siemens SGT-800:

Топливо: природный газ / жидкое топливо / двухтопливная система;
использование других типов топлива;

Частота тока: 50/60 Гц

Электрический КПД: 37,5%

Тепловая мощность: 9597 кДж/кВт·ч

Скорость вращения турбины: 6608 об/мин

Коэффициент давления компрессора: 19:1

Поток/температура выхлопных газов: 137,7 кг/сек, 564 °С

Выбросы NO_x (15% O₂, сухой выброс): ≤ 15 ppm

Заключение

Использование пиково-резервных энергоисточников является необходимостью для обеспечения качественного энергоснабжения, но несёт в себе издержки на обслуживание и постоянную поддержку на холодном старте.

Литература

1. Диверсификация возможных решений обеспечения надежной работы энергосистемы в условиях ввода в строй белорусской АЭС «Репозиторий БНТУ» [Электронный ресурс] / «Репозиторий БНТУ». – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/>. – Дата доступа: 20.03.2023.

2. К вопросу о диверсификации вариантов регулирования мощности генерации Белорусской энергосистемы «Репозиторий БНТУ» [Электронный ресурс] / «Репозиторий БНТУ». – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/>. – Дата доступа: 20.03.2023.

3. ПРОГРАММА комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021 – 2025 годы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/>. Дата доступа: 02.04.2023

УДК 006.91

**СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВИДЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
THE STATE OF THE ISSUE IN THE FIELD OF METROLOGICAL
SUPPORT IN THE FORM OF REFERENCE MATERIALS OF THE
ENERGY SECTOR OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

А.С. Лукашук

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

A. Lukashuk

Supervisor – Y.Saukova, associate Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью контроля качества стандартных образцов состава газовых смесей, относящихся к сфере энергетического сектора Республики Беларусь.

Abstract: The relevance of the chosen topic is due to the need to control the quality of standard samples of the composition of gas mixtures related to the energy sector of the Republic of Belarus.

Ключевые слова: стандартные образцы, БелГИМ, метрология, единство измерений.

Keywords: standard samples, BelGIM, metrology, unity of measurements.

Введение

Существенной слагающей метрологического обеспечения единства измерений является применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов.

Стандартные образцы целесообразны для воспроизведения, хранения и передачи характеристик состава и свойств веществ и материалов, выраженных в значениях единиц величин, допущенных к употреблению в Республике Беларусь.

Основная часть

Стандартный образец (СО) — это образец вещества или материала с конкретными по итогам испытаний значениями одной или более величин, интерпретирующих свойство или состав этого вещества или материала.

В действительности это средство измерений, продемонстрированное в виде вещества или материала, состав и свойства которого аттестованы.

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений употребляются только стандартные образцы утвержденных типов.

Распознают стандартные образцы состава и стандартные образцы свойства.

СО состава - это стандартный образец с установленными понятиями величин, описывающих содержание конкретных элементов веществ

(химических элементов, их изотопов, соединений химических элементов и т.п.).

СО свойств - это стандартный образец с установленными значениями величин, характеризующих физические, химические, биологические и другие свойства вещества.

Первостепенная цель разработки и применения стандартных образцов - это обеспечение единства и требуемой точности измерений химического состава, физических, физико-химических, эксплуатационных и других свойств веществ и материалов.

Они используются во многих видах работ по предоставлению единства измерений в области здравоохранения, ветеринарии, охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда, гидрометеорологии, по метрологическому обеспечению деятельности предприятий и организаций, в частности в работах, связанных с производством, испытаниями и сертификацией продукции, проведением торговых операций.

Источником официальной информации о итогах создания ГСО является Раздел 2 Государственного реестра средств измерений Республики Беларусь, ведение и актуализация которого возложена на БелГИМ. Реестр ГСО Республики Беларусь ведется с 1998 г.

Информация о ГСО, внесенных в Государственный реестр средств измерений Республики Беларуси допущенных к применению на территории Республики Беларусь содержится в периодически издаваемом Каталоге «Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь. Раздел 2. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов.»

Данный Каталог подразделяется на 2 части:

Стандартные образцы свойств веществ и материалов.

Стандартные образцы состава веществ и материалов.

До 1998 года стандартные образцы в Республике Беларусь не создавались, и многие отечественные предприятия на протяжении ряда лет вынуждены были закупать их за рубежом. Впрочем, при некомпетентном подходе за рубежом можно приобрести фальшивые вещества и материалы с искусно оформленными сопроводительными документами, которые по существу стандартными образцами не являются. В результате при градуировке аналитических приборов такие «стандартные растворы» и «особо чистые вещества» с непонятными метрологическими характеристиками могут повести себя абсолютно непредвиденно.

В то же время типовые образцы, внесенные в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь, прошли потребную экспертизу и могут применяться на территории республики без лимитации.

В 1998 г. в Республике Беларусь Минским НИИ радиоматериалов были созданы первые ГСО состава газовых смесей. На текущий момент в Республике Беларусь разработано и изготавливается различными предприятиями и организациями более 500 типов СО.

Так как в энергетике и в других отраслях промышленности в большинстве случаев в качестве рабочего тела теплоносителя используются не

гомогенные газы, а газовые смеси. Такими газовыми смесями являются продукты сгорания разных топливных парогенераторов, продукты сгорания в камерах газотурбинных установок и в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания. Типичными представителями газовых смесей можно считать также природные газы, газы, являющиеся побочными продуктами различных технологических процессов, и, в конце концов, атмосферный воздух.

Поэтому была необходима разработка и производство эталонов и стандартных образцов (СО) – поверочных и калибровочных газовых смесей промышленного, медицинского и экологического назначения для поверки, калибровки, испытаний и метрологической аттестации газоанализаторов, хроматографов, приборов аварийного контроля и сигнализаторов на пожароопасный и взрывоопасных производствах, аналитических и испытательных приборов в заводских и научных лабораториях.

Эти ГСО применяются для надзора качества природных газов и сжиженных углеводородов, используемых в энергетике, химической промышленности, для коммунально-бытовых нужд.

Выпуск стандартных образцов (СО) состава газовых смесей организован в БелГИМ с 1998 г. Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь включает полный перечень СО состава газовых смесей.

СО состава газовых смесей созданы для осуществления работ по обеспечению единства и требуемой достоверности измерений в сфере газового анализа:

- метрологической оценки средств измерений: государственные испытания с целью утверждения типа, поверка, калибровка средств измерений;
- формирования градуировочных особенностей средств измерений;
- аттестации методик (методов) измерений, контроля коэффициентов точности (правильности и прецизионности) методик (методов) измерений;
- приписывания значений другим стандартным образцам;
- осуществления межлабораторных сличений/программ проверки квалификации и могут применяться во всех областях народного хозяйства Республики Беларусь, включая сферу законодательной метрологии.

СО изготавливаются в виде газовых смесей составляющих их компонентов, находящихся в баллонах под давлением. Сертифицируемый параметр – содержание сертифицируемого компонента (компонентов), выраженное в молярных долях (%), объемных долях (%), массовых долях (%), или концентрация сертифицируемого компонента (компонентов), выраженная в миллиграммах на метр кубический.

Ежегодно в секторе поверочных газовых смесей и эталонов производственно-исследовательского отдела физико-химических и оптических измерений БелГИМ выпускается свыше 2000 экземпляров СО состава газовых смесей 0-го, 1-го и 2-го разрядов в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.578-2014, в том числе:

- СО состава промышленных газов, включая оксид углерода, диоксид углерода, водород, гелий, азот, кислород, аргон, метан, этан, этилен, пропан, пропилен, бутан, изобутан, изобутилен и другие углеводороды;
- СО состава газообразных видов топлива – имитаторы природного газа и сжиженных углеводородных газов;
- СО состава веществ, засоряющих атмосферный воздух, включая сероводород, диоксид серы, оксид азота, диоксид азота, аммиак, метилмеркаптан (метантиол), этилмеркаптан (этантиол);
- СО состава газовых смесей для средств измерений медицинского назначения.

Главная задача стандартных образцов сводится к тому, чтобы обеспечить в Республике Беларусь:

единство и необходимую точность газоаналитических измерений в соответствии с СТБ 8022-2004, межгосударственным стандартом ГОСТ 8.578-2012;

воспроизведение, хранение и передачу единицы молярной доли компонента в газовых средах от эталонов к образцовым и рабочим средствам измерений при помощи стандартных образцов газовых смесей;

высокое качество функционирования приборов медицинского и экологического назначения путем использования поверочных газовых смесей.

СО состава газовых смесей, выпускаемые в БелГИМ, имеют прослеживаемость до национальных эталонов в области газового анализа, метрологические характеристики которых подтверждены результатами девяти международных сличений.

Положительные итоги международных сличений утверждают инвариантность национальных эталонов Республики Беларусь в области газоаналитических измерений национальным эталонам других стран и обеспечивают прослеживаемость газоаналитических измерений до единиц SI.

Компетентность БелГИМ как производителя типовых образцов состава газовых смесей доказана свидетельствами QSF-R82 и QSF-R83 о соответствии системы менеджмента качества международным стандартам ISO/IEC 17025 и ISO 17034, предъявленными на основании решения 21-го заседания Технического Комитета Форума качества KOOMET.

Заключение

Таким образом можно сделать вывод, что стандартные образцы играют значимую роль в энергетическом секторе Республики Беларусь, так как они предназначены для обеспечения единства и требуемой точности измерений, что дает возможность безбоязненно применить нужные образцы и гарантирует повышение доверия зарубежных потребителей к выпускаемой продукции предприятий химической, машиностроительной, электротехнической, радиоэлектронной и других отраслей промышленности и расширение рынка сбыта продукции, выпускаемой в Беларуси.

Литература

1. БелГИМ – Стандартные образцы [Электронный ресурс]. – <http://old.belgim.by/1475/> – Дата доступа: 24.11.2022
2. Стандартные образцы состава газовых смесей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.belgim.by/1415/>. - Дата доступа: 24.11.2022
3. Стандартные образцы состава газовых смесей [Электронный ресурс]. – <http://belgim.by/pages/view?id=170> – Дата доступа: 24.11.2022

УДК 66.045.53

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДИРНИ
ANALYSIS OF COOLING TOWER PARAMETERS**

А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

A. Shunkevich, A. Tishkova

Supervisor – T. Petrovskay, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье рассматривается градирня, их общая информация, типы и схемы, где применяются. Тема градирни является актуальной, так как они позволяют рационально использовать водные ресурсы без ущерба окружающей среде, позволяют сэкономить топливо и сбросить большое количество теплоты.

Abstract: this paper discusses cooling towers, their general information, types and schemes where they are used. The topic of cooling towers is relevant, as they allow the rational use of water resources without harming the environment, save fuel and release a lot of heat.

Ключевые слова: градирня, драйкулер, брызгальные бассейны, радиатомные градирни, ороситель.

Keywords: water-cooling tower, draycooler, splash pools, radiatomic cooling towers, sprinkler.

Введение

Испарительное охлаждение жидкостей используется человеком с незапамятных времен. Однако, когда речь идет об охлаждении оборотной воды в промышленности, испарительное охлаждение начали использовать для этой цели во второй половине прошлого века.

Первым примитивным типом охладителя циркуляционной воды была ветвистая градирня, заимствованная из практики добычи соли путем выпаривания воды из соленых озер. Метод испарения путем наваливания хвороста, орошаемого озерной водой, использовался уже давно. Затем хворост укладывался на решетку из "сложенных" палок, чтобы облегчить продувку поверхности воды воздухом. Поскольку испарение рассола называлось охлаждением, эти устройства стали называть "градирнями" или "охлаждающими башнями". Первоначально эти градирни использовались для охлаждения циркулирующей воды для промышленного использования.

Однако с быстрым развитием промышленности возникли требования к эффективности охлаждения, производительности и компактности, которые такие простые устройства не могли удовлетворить. Тогда на смену хворосту пришли первые конструкции фольгового типа, которые включали горизонтальные металлические решетки, решетки из деревянных брусков или

поддонов, вертикальные металлические решетки и металлические кольца в однорядных распылительных устройствах. Для усиления охлаждающего эффекта пруда стали использовать форсунки для распыления поступающей воды, и за относительно короткий промежуток времени в 80-90-е годы XIX века были созданы почти все остальные виды циркуляции воды для охлаждения, которые используются и сегодня.

Основная часть

Мокрые градирни – это небольшие брызгательные бассейны, ограждённые со всех сторон жалюзийными стенками, которые не дают каплям воды выходить наружу. Градирни разделяются на два типа, большие и малые. К малым градирням придают форму квадрата, в центре которого устанавливается пучок сопел. В больших градирнях форма имеет форму вытянутого прямоугольника, сопла в данной градирне располагаются в шахматном порядке.

Охлаждение в градирне происходит за счёт силы ветра, вода, распыляемая соплами, передаёт количество теплоты проходящему воздуху, в результате капли воды конденсируются и собираются в поддоне, а воздух с приобретённой теплотой поднимается вверх, и мы наблюдаем характерный дым над градирней. Сопла направляют вниз для более равномерного распределения разбрызгиваемой воды и меньшего уноса воды, так как это будет своего рода потери, для уменьшения потерь жалюзи располагаются по длине горизонтально на расстоянии 1 м, под углом к горизонтали 45-60° перекрывая друг друга. При расположении сопел выходным концом вверх верхняя поверхность располагается сплошной конструкцией для меньших потерь воды.

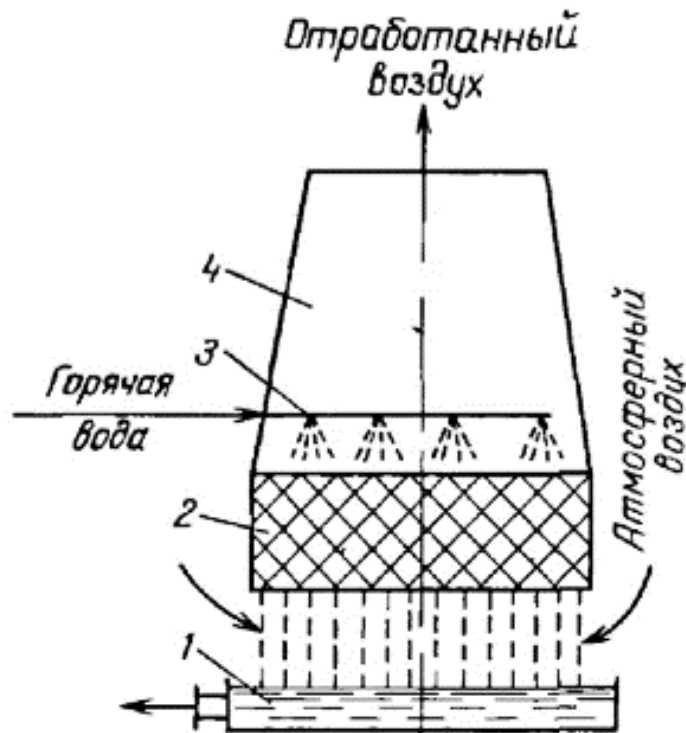


Рисунок 1 – Схема мокрой градирни

1 – поддоны; 2 – слой насадки; 3 – распределители охлаждающей воды; 4 – полная часть градирни для обеспечения естественной тяги.

Чтобы лучше происходило продувание воздухом шахты градирни выполняют с шириной не более 4-6 м, а чтобы увеличить площадь градирни увеличивают её длину, длинная сторона градирни располагается нормально к направлению ветра. Сопла располагаются по ширине и их количество не должно превышать 4-х, расстояние между ними 0,8-1,0 м.

Для более эффективного охладительного эффекта необходимо располагать сопла на высоком расстоянии от резервуаров, но этот высокий уровень ограничивается высотой до 4 м. Наибольшая эффективность охлаждения происходит на начальном участке, т.к. будет высокая разность температуры воды и воздуха и парциальное давление пара сочетается с наиболее высокой скоростью капель, при достижении каплями данной скорости интенсивность охлаждения снижается.

Данная градирня очень универсальна и компактна, что позволяет устанавливать её в разных местах, необходимы для отводов количества теплоты.

Сухие градирни или сухие чиллеры, показанные на рисунке 2, используются для охлаждения жидкостей в системах циркуляции воды на различных промышленных предприятиях. Эта система охлаждения была изобретена венгерскими инженерами Геллером и Фарго. Первоначально она использовалась для охлаждения конденсаторов на электростанциях.

Сухие градирни относятся к классу неавтономных систем кондиционирования воздуха и обычно предназначены для работы в комбинации с водяными охладителями (например, охладителями конденсаторов с водяным охлаждением). В большинстве случаев чиллер устанавливается внутри здания (в зоне обслуживания), а сухой охладитель - снаружи здания (на крыше или прилегающей территории). Чиллер и сухой охладитель подключаются к общему гидравлическому контуру для охлаждения конденсатора. Основная функция выносного конденсатора заключается в рассеивании тепловой энергии, вырабатываемой объединенным контуром охлаждения чиллера и выносного конденсатора. В системах кондиционирования воздуха без конденсатора чиллер работает в паре с выносным конденсатором. Принцип работы этой системы кондиционирования заключается в передаче тепловой энергии здания наружу, другими словами, в передаче холода снаружи в здание.

Передача тепловой энергии происходит посредством термодинамического процесса, происходящего в объединенном контуре охлаждения чиллера и выносного конденсатора. Этот термодинамический процесс состоит из двух важных этапов. Первый этап — это процесс испарения фреона, который происходит в теплообменнике испарителя чиллера. В этом процессе фреон испаряется (превращается из жидкости в газ). В результате этого процесса теплообменные поверхности испарителя охлаждаются, а вода, вытекающая из змеевика испарителя, охлаждается через гидравлический контур кондиционера. Вторым важным этапом является конденсация фреона, которая происходит в теплообменнике выносного

конденсатора. В ходе этого процесса фреон конденсируется (превращается из газа в жидкость) и нагревает теплообменные поверхности выносного конденсатора. Тепло, выделяемое в процессе конденсации, отводится в окружающее пространство, и хладагент поглощает холодный воздух.

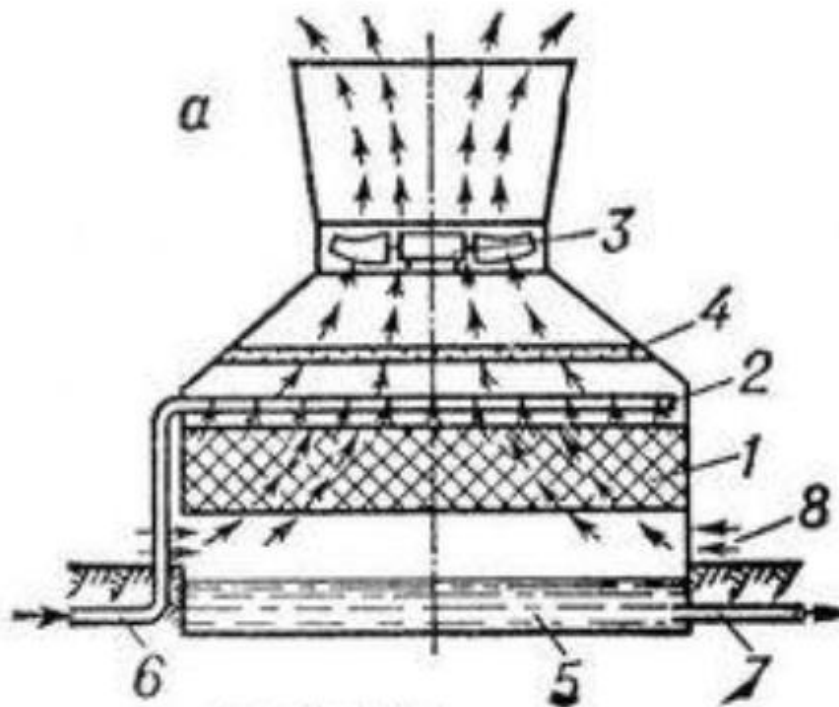


Рисунок 2 – Схема сухой градирни

1 – ороситель; 2 – водораспределитель; 3 – вентилятор; 4 – водоуловитель; 5 – резервуар; 6 – подвод воды; 7 – отвод воды; 8 – вход воздуха.

В испарительных градирнях, поскольку испарение воды не происходит, а теплопроводность атмосферного воздуха низкая, охлаждаемая воздухом поверхность теплоотдачи (поверхность радиатора со стороны воздуха) должна быть больше, чем поверхность прямого контакта воды с воздухом. В больших градирнях поверхность ребер со стороны воздуха может достигать 600 000 или даже 106 м². Длина труб, по которым циркулирует жидкость в градирне, также пропорционально больше.

Помимо площади поперечного сечения и высоты вытяжной башни, размер и мощность вентиляторов также должны быть большими. При "сухом" теплообмене, когда вода охлаждается путем передачи тепла воздуху через трубы и стенки ребер, скорость потока воздуха в три-пять раз выше, чем при испарительном охлаждении воды.

Поскольку температура воды на выходе в сухих градирнях не может быть ниже температуры воздуха в сухих термометрах (без учета сухих градирен с внешним охлаждением дельта-распылением), среднегодовая температура воды на выходе и, следовательно, температура конденсата пара в конденсаторе турбин тепловых электростанций выше.

Эти факторы приводят к более высокому оптимальному остаточному давлению пара в конденсаторе турбины в циркуляционной системе с сухой градирней. Это означает, что эффективность электростанций с сухими

градирнями ниже по сравнению с другими системами водяного охлаждения, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние температуры воды, охлаждающей конденсаторы турбин, на КПД ТЭЦ

№	Показатели	Брызгательные бассейны	Радиаторные (сухие) градирни
1	Среднегодовая температура окружающей воды, °С	20	31
2	Температура конденсации пара, °С	36	43
3	Давление в конденсаторе турбины, кПа	6,5	8,7
4	КПД ТЭЦ, %	36,1	33,4

Холодопроизводительность систем сухого охлаждения с воздушным охлаждением зависит не только от времени года, но и от времени суток, так как температура окружающей среды "сухой колбы" значительно меняется в дневное и ночное время.

Стабильная работа сухих охладителей зависит от стабильной тепловой нагрузки, особенно в холодное время года. Когда промышленные предприятия получают электроэнергию, например, от тепловых электростанций или ТЭЦ, количество вырабатываемого тепла может значительно колебаться в течение дня. Это не только повышает риск размораживания радиатора или выхода из строя градирни, но и риск остановки всего предприятия.

Заключение

Строительство новых или модернизация существующих градирен позволяет рационально использовать водные ресурсы без ущерба для окружающей среды и значительно снизить расход топлива на производство тепла и электроэнергии. Правильный выбор градирен приводит к эффективному и экономному использованию природных ресурсов и неизбежно снижает вредные выбросы в окружающую среду.

Литература

1. Сухая градирня. Принцип работы сухой градирни Thermokey (Термокей) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piterholod.ru/suhaya-gradirnia.html>. – Дата доступа: 29.04.2023.

2. Пономаренко, В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 292 с.

3. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения») / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989 – 190 с.
4. Сухая градирна драйкулер, что это? Агростройсервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://acs-nnov.ru/suxayu-gradirnyu-draikyller.html>. – Дата доступа: 29.04.2023.
5. Градирни. Типы, схемы градирен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5578154/>. – Дата доступа: 29.04.2023.

УДК 627.8.09

**СРАВНЕНИЕ ДВУХ ВИДОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
COMPARISON OF TWO TYPES OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES**

В.Н. Санько, Д.А. Махонько

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

petrovskaya@bntu.by

V. Sanko, D. Makhonko

Supervisor – T. Petrovskay, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются два вида альтернативных источников энергии, преимущества и недостатки. Пример работы ветряков и ГЭС. Так же указаны фотографии самой большой ГЭС в Республике Беларусь и самого большого ветряка.*

***Abstract:** This article discusses two types of alternative energy sources, advantages and disadvantages. An example of the operation of wind turbines and hydroelectric power plants. There are also photos of the largest hydroelectric power station in the Republic of Belarus and the largest windmill.*

***Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, резервуар, ветрогенераторы, гидроэлектростанция, неисчерпаемый источник топлива.*

***Keywords:** alternative energy sources, reservoir, wind generators, hydroelectric power station, inexhaustible fuel source.*

Введение

Альтернативные источники энергии (солнечная, ветровая, геотермальная, энергия воды и биомассы) являются чистыми экологически и их нельзя исчерпать. Они не могут выделять вредные выбросы в атмосферу нашей планеты и не влияют на изменение других факторов, таких как: изменение температуры, загрязнение почвы и водяных резервуаров нашей планеты, что делает их более устойчивыми и эффективными в долгосрочной перспективе.

Основная часть

В Республике Беларусь активно применяется ветроэнергетика. Ветрогенераторы (ветряки) преобразуют кинетическую энергию ветра в электрическую энергию. В Беларуси выбрано уже более 1700 мест, где можно установить ветрогенераторы. Самая высокая ветроэнергетическая установка располагается в Могилевской области, ее высота составляет 142 м, а мощность – 3,4 МВт в час. Она стала самой высокой не только на территории Беларуси, но и на всем пространстве СНГ.



Рисунок 1 – Самая высокая ветроэнергетическая установка в РБ

Плюсы ветровых источников энергии:

В 2022 году все ветрогенераторы нашей страны выработали около 22 миллионов кВт·ч, такое количество выработанной энергии сэкономило Республике Беларусь около 4.5 миллионов кубометров природного газа (700-800 тыс. долларов);

Экологичность;

Ветроэнергетика создает рабочие места;

Стремительный рост и развитие ветроэнергетики.

Минусы ветроэнергетики в РБ:

Средняя скорость ветра над территорией Беларуси 3.5-5 м/с, а для экономической выгоды от ветряных турбин она должна достигать 7-12 м/с;

Огромная стоимость;

Непредсказуемость ветра;

Негативное влияние на среду обитания животных, звук может превышать 80 дБ;

Появляются помехи радиосигналом.

В наши дни эксплуатирование энергии воды является очень перспективным, а основным направлением данной энергетики является производство электрической энергии.

Производство электрической энергии из водяной энергии можно осуществить с помощью ГЭС (гидроэлектростанция). Принцип работы

гидроэлектростанций осуществляется следующим образом: энергия воды (напора воды) с использованием гидроагрегата превращается в электроэнергию.

На территории нашей страны размещено и эксплуатируются 27 гидроэлектростанций. Самая большая ГЭС (по установленной мощности) на территории нашей страны является Витебская ГЭС, мощность данной ГЭС 40 МВт.



Рисунок 2 – Витебская ГЭС

Плюсы:

Дешевая электрическая энергия;

Быстрый выход на рабочую мощность (относительно ТЭЦ);

Вода является возобновляемым источником энергии.

Минусы:

Потопление земель;

Строительство ГЭС, возможно, только на больших водных резервуарах;

ГЭС расположенные на территории Беларуси, имеют малую мощность, из-за равнинного рельефа нашей страны;

На дне водных резервуарах, используемых для эксплуатации ГЭС, сохраняются ядовитые осадки.

Заключение

Сравнивая два вида альтернативной энергетики, можно сделать вывод, что все два вида альтернативной энергетики могут и будут развиваться на территории нашей страны. У видов энергетики, которые описываются в данной статье, есть плюсы и минусы. Главные плюсы — это то, что вода и ветер являются возобновляемыми источниками энергии, а также дешевой электроэнергией. Главные минусы – это географическое расположение нашей страны и экологическая проблема. На территории нашей страны

преимущественно равнинная местность, тем самым сказывается небольшая скорость ветра и небольшая скорость потока воды. Экологическая проблема данных видов альтернативной энергетики заключается в том, что рыбы начинают эмигрировать из-за ядовитых осадков, которые оседают на дне водохранилищ, также из-за громкого звука многие птицы умирают. Альтернативная энергетика — это будущее не только для нашей страны, но и для всего мира.

Литература

1. Альтернативные источники энергии в Беларуси [Электронный ресурс] / Источники энергии. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/253973/alternativnyie-istochniki-energii-v-belarusi-toplivno-energeticheskie-resursyi-belarusi>. – Дата доступа: 31.04.2023.
2. Гидроэнергетика. перспективы развития в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Студфайл. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5765121/page:2/>. – Дата доступа: 31.04.2023.
3. Преимущества и недостатки гидроэлектростанции [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki>. – Дата доступа: 31.04.2023.

УДК 614.71

**ВАРИАНТЫ СОКРАЩЕНИЯ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ ДЛЯ
ДОСТИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО
НУЛЕВОМУ УРОВНЮ ВЫБРОСОВ
ENERGY DEMAND REDUCTION OPTIONS FOR MEETING NATIONAL
ZERO-EMISSION TARGETS**

П.А. Брилёв, М.С. Войлоков

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

P. Brilev, M. Voylokov

Supervisor – T.A. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Варианты достижения цели по нулевым выбросам путем сокращения спроса на энергию на уровне национальной цели государства*

***Abstract:** Energy demand reduction options for meeting national zero-emission targets.*

***Ключевые слова:** Автоматизация, автотранспорт, уголь, природный газ, электроэнергия.*

***Key words:** Automation, motor transport, coal natural gas, electricity.*

Введение

В последние годы в глобальных международных исследованиях предпринимались попытки понять вклад, который сокращения спроса на разные виды энергии, в усилиях по смягчению последствий изменения климата. Здесь мы рассмотрим систему "от потребителя до производителя", охватывающую всю систему, которая всесторонне оценивает потенциал сокращения спроса на энергию на уровне государства. Данная схема применима к Соединенному Королевству, где планируется сокращение спроса на энергию до 48% к 2050 году по сравнению с уровнем 2020 года без ущерба для качества жизни граждан. Это означает, что годовая потребность в энергии будет составлять 40 ГДж на человека, по сравнению с текущим средним показателем Организации экономического сотрудничества и развития в 116 ГДж и среднемировым показателем в 55 ГДж. Данные результаты покажут, что сокращение спроса на энергию поможет снизить зависимость от технологий удаления углекислого газа с высоким риском, требует умеренных инвестиций и открывает возможности для наращивания климатических амбиций. Мы приходим к выводу, что национальная климатическая политика должна все активнее разрабатывать и интегрировать меры по сокращению спроса на энергию.

Основная часть

С момента подписания Парижского соглашения глобальные оценки показали важную роль, которую может сыграть сокращение конечного спроса

на энергию в достижении международных климатических целей путем ослабления давления на декарбонизацию энергоснабжения и уменьшения потребности в удалении двуокси углерода (CDR). Тем не менее, мировой конечный спрос на энергию продолжает расти; с 2000 года он увеличивался среднегодовыми темпами на 1,9% [2]. Этот рост по-прежнему частично обеспечивается за счёт ископаемого топлива. Новая низкоуглеродистая энергетика, особенно возобновляемая генерация, не поспевает за растущим спросом. В то время как углеродоёмкость глобальной энергетической системы снижается, при ее нынешних темпах для полного обезуглероживания потребуется 150 лет. Это подчеркивает важность действий, направленных на снижение спроса на энергию, для достижения жестких целевых показателей.

Концепция Парижского соглашения " от потребителя до производителя " означает, что ответственность за сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) и принятие мер по борьбе с изменением климата лежит на уровне стран. Многие страны пересмотрели свои первоначальные оценки определяемого на национальном уровне вклада и разработали долгосрочные стратегии развития с низким уровнем выбросов, включая целевые показатели по чистому нулевому уровню выбросов. Несмотря на это, текущие обязательства стран по-прежнему не соответствуют целевому показателю в 1,5°C. Более пристальное внимание к сокращению спроса на энергию в национальных планах смягчения последствий могло бы сократить этот дефицит за счет реализации потенциала, выявленного в глобальных оценках, особенно в странах с непропорционально высоким потреблением энергии (например, США, Китай).

Признавая этот пробел системы, в Соединенном Королевстве разработали систему для всесторонней оценки потенциала сокращения конечного спроса на энергию на уровне государства. Эта структурная система, которую можно воспроизвести для других стран, применяется здесь к тематическому исследованию Соединенного Королевства, предоставляя наиболее полную на сегодняшний день оценку потенциала сокращения спроса на энергию на национальном уровне. Эта система разработана для стран, расположенных на Севере и имеющих зимний холодный период, возможно вдвое сократить спрос на энергию к 2050 году без негативного влияния на качество жизни граждан. Это приводит к тому, что потребление энергии на каждого жителя в Соединенном Королевстве в 2050 году составит около 40 ГДж по сравнению с нынешним среднемировым показателем в 55 ГДж на душу населения. Мы также обнаруживаем, что роль технологий CDR, которые еще предстоит доказать в масштабе, будет существенно снижена или вовсе устранена, что снижает риск неспособности достичь климатических целей, если такие технологии не будут реализованы своевременно. Кроме того, к 2050 году ежегодные инвестиции, необходимые для расширения системы выработки электроэнергии, сократятся до 40%. Наконец, возможность дополнительного усиления климатических амбиций становится возможной благодаря меньшей энергетической системе, связанным с ней меньшим выбросам и потенциалу более быстрого внедрения мер, ориентированных на спрос. Важно отметить,

что такая стратегия не ставит под угрозу качество жизни, а скорее обеспечивает значительные сопутствующие выгоды от действий в области изменения климата, такие как более здоровый активный образ жизни, снижение загрязнения воздуха в городах и улучшение баланса между работой и личной жизнью. При реализации политики на национальном уровне более пристальное внимание к потенциалу сокращения конечного спроса на энергию на этом уровне имеет решающее значение для обеспечения сокращения выбросов парниковых газов и многих связанных с этим выгод.

Рост глобального спроса на энергоносители обусловлен экономическим ростом и растущим спросом на энергетические услуги. В период с 1971 по 2018 год, в среднем, каждый 1% дополнительного мирового валового внутреннего продукта (ВВП) увеличивал спрос на энергию на 0,68% [2]. Такой рост спроса произошел, несмотря на период существенного повышения энергоэффективности во всех секторах. Несмотря на это, оценки, проведенные с помощью моделирования, высветили вклад, который сокращение спроса на энергию могло бы внести в достижение целей в области изменения климата.

В Соединённом Королевстве сделали основу для моделирования системы энергосети для национального анализа, которая определит и объединит основные шаги для лучшего понимания и количественной оценки вклада сокращения спроса на энергию в достижение климатических целей. Во-первых, это позволит оценить, каким образом сокращение спроса на энергию может способствовать достижению чистого нуля выбросов за счет сокращения выбросов в ближайшей и среднесрочной перспективе. Эти изменения разрабатываются параллельно с соответствующей системой снабжения и необходимыми технологическими изменениями в ней. Во-вторых, он выходит за рамки вариантов "повышения" энергоэффективности и рассматривает решения по сокращению спроса на энергию, которые "избегают" энергопотребления и "переходит" к более эффективному обеспечению спроса на энергию. Это свидетельствует о необходимости уделять больше внимания социально-техническому аспекту переходных процессов. В нем указывается, что снижение спроса на энергию является вопросом не только энергетической политики, но и распространяется на другие области политики и заинтересованные стороны. В-третьих, это обеспечивает одновременные и последовательные перспективы на уровне всей экономики и секторов промышленности. Это отражает детали, требуемые на отраслевом уровне, и отражает разнообразные стратегии, которые применяются в разных секторах. Общесистемная перспектива имеет решающее значение для выявления связей и компромиссов между секторами, помогая обеспечить согласованность на основе выбранного описания сценария. Это также способствует диалогу между отраслевыми экспертами и общему пониманию различных аспектов повествования.

Заключение

На сегодняшний день комплексные сценарии по сокращению спроса на энергию были сосредоточены на многонациональном или глобальном уровне. В то время как глобальный анализ обеспечивает полезную основу, целевые

показатели по смягчению последствий, и климатическая политика обязательно разрабатываются на национальном уровне. Стоит, однако, понимать, что для Республики Беларусь, являющейся развивающейся страной, ожидается рост электропотребления при модернизации производств и повышении уровня жизни граждан. Так же РБ имеет в данный момент времени избыток производственных мощностей. Пусть и имеет большой потенциал выработки хорошо, однако иметь их в резерве и тратиться на их содержание – не целесообразно на данный момент.

Литература

1. Nature [Электронный ресурс]/Energy demand reduction options for meeting national zero-emission targets in the United Kingdom. –Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41560-022-01057-y> – Дата доступа: 29.03.2022.
2. IEA [Электронный ресурс]/ Key World Energy Statistics 202. –Режим доступа <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>– Дата доступа: 23.11.2022.
3. Brockway, P. E., Sorrell, S., Semieniuk, G., Heun, M. K. & Court, V. Energy efficiency and economy-wide rebound effects: a review of the evidence and its implications. *Renew. Sust. Energy Rev.* 141, 110781 (2021).

УДК 338.1

**ОСНОВНЫЕ ТRENДЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА
СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**
**MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE DIGITAL
ECONOMY AT THE PRESENT STAGE**

Л. В. Мартинович, В. А. Самец,
научный руководитель – ст. преподаватель Т. А. Петровская
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
L. V. Martinovich, V. A. Samets
Supervisor – T. Petrovskaya, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Мы проживаем в период числового изменения. Числовые технологические процессы, производящие огромное число сведений, а также формирующие взаимосвязи согласно целому обществу, изменяют свой облик существования, воздействуя на нас.*

***Abstract:** We are living in a period of numerical change. Numerical technological processes that produce a huge amount of information, as well as forming relationships according to the whole society, change their appearance of existence, affecting us.*

***Ключевые слова:** цифровизация, цифровые технологии, производственные предприятия.*

***Key words:** digitalization, digital technologies, manufacturing enterprises.*

Введение. Формирование числовой экономики непосредственно сопряжено вместе с формированием нынешних технологий, в этом количестве определенных значимых программных технологий, подобных равно как блокчейн, специалиста информации, а также синтетический умственные способности (ИИ). Новейшие технологические процессы колеблются с приборами, направленных в юзера (ПК, а также телефонов) вплоть до специального машиноориентированного оснащения, подобного равно как Сеть интернет предметов, автоматизирование, боты, а также облако расчеты.

Основная часть.

Ускорение научно-технических перемен не только лишь повышает число рисков, а также опасностей в устоявшихся бизнес-моделей, однако кроме того формирует новейшие способности на все уровни власти, бизнеса и общественного формирования. Цифровая экономика, в таком случае имеет формирование независимой финансовой подсистемы, предполагает собою хозяйственную деятельность, в основании каковой находится хранение, предоставление, исследование, а также обрабатывание значительного размера оцифрованной данных, итогом каковой считается увеличение производительности различных разновидностей изготовления.[1] Финансовые взаимоотношения, закладываемые в ходе распределения, а также

изготовления, во время обмена и потребления информации, и есть предмет цифровой экономики.

Наибольшее использование числовых технологий в классических секторах экономики индустрии повергнет к увеличению производительности и эффективности, то что станет добавочной ценностью индустриальной цифровизации. Подобная дополненная цена кроме того считается главной составляющей числовой экономики. Числовая промышленность станет содействовать цифровизации классических сфер, а также увеличению экономики государств. Не прерывные и эффективные инвестиции в инфраструктуру ИКТ будут в значительной степени способствовать росту ВВП.

Инфраструктура ИКТ в основном состоит из технологий подключения и вычислений. Общество входит в умственный период, когда сети будут соединять не только вещи, но и разумные существа. Использование более новых технологий синтетического умственные способности, а также облачные вычисление в разных секторах экономики индустрии закрепят значимость подсоединения, а также вычислений в свойстве основные принципы числовой экономики.

Экономическое обращение многих основных фирм никак не способна быть в рамках экономики одной страны, то что приводит к формированию международных экономических, производственных, а также общественных сетей. Создаются новейшие финансовые союзы, открываются новые рынки, долю экономических действий передаются во всемирную интернет-сеть, создавая новейшее проявление числовой экономики.

Технологичность сообщества и бизнеса тянет за собой скелетные перемены в абсолютно всех степенях, и государство, в том числе. Сначала возникают технологические процессы и сервисы, удовлетворяющие необходимости бизнеса и сообщества, и уже потом происходит их юридическое признание и законодательное регулирование. Так, например, первая криптовалюта появилась в 2009 году, а вопросы, связанные с ее правовым статусом и официальным признанием государственными структурами, стали предметом активного обсуждения только последние полтора года.

Заключение. Следует совершенствовать числовые умения. Несмотря на классические достоинства в абстрактной науке, белорусской концепции воспитания никак недостаточно эластичности с целью предоставления требований числовой изменения в абсолютно всех областях экономики. Перемены в кадрах тронут большое число сфер, таких как здравоохранение, биотехнологии, образование и др.[2]

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные тенденции цифровой экономики // Экономика и управление народным хозяйством URL: https://ecsn.ru/files/pdf/201805/201805_43.pdf (дата обращения: 05.04.2023)
2. Цифровой формат экономики – перспективы развития <https://medium.com/bitbon/цифровой-формат-экономики-перспективы-развития-6057001e4657> (дата обращения: 05.04.2023)

УДК 620.92

**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМАШНИХ
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
THE REASONABILITY OF USING HOME SOLAR POWER PLANTS**

Н.Е. Дробов

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

petrovskaya@bntu.by

N. Drobov

Supervisor – T. Petrovskaya

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В связи с постоянным развитием солнечной энергетики я заинтересовался: действительно ли солнечные панели на сегодняшний день достаточно просты в использовании, чтобы каждый человек мог их установить и вовсе не платить за электричество.*

***Abstract:** Due to the constant development of solar energy, I became interested in whether solar panels are really easy enough to use today so that everyone can install them and not pay for electricity at all.*

***Ключевые слова:** Солнечная энергетика, инвертор, инсоляция, солнечная панель, солнечная электростанция.*

***Keywords:** Solar power, inverter, insolation, solar panel, solar power plant.*

Введение

О том, что свет можно преобразовать в электричество, известно с середины XIX века, но по-настоящему перейти от теории к практике ученые смогли лишь спустя 100 лет, когда удалось создать первую кремниевую фотоэлектрическую панель. Солнечная энергетика – крайне перспективное направление. С каждым годом солнечные панели становятся надежнее, эффективнее и дешевле. В новостях мы слышим о постройке многоквартирных домов с солнечными панелями. Современные солнечные батареи работают как часы, обеспечивая зарядку гаджетов, освещая дома, подпитывая бытовую технику и транспортные средства.

Основная часть. Солнечные панели - это устройства, которые преобразуют солнечный свет в электричество. Они могут быть использованы для обеспечения энергией частных домов, коттеджей, дач и других объектов, не имеющих подключения к центральным сетям или для снижения затрат на электроэнергию. Использование солнечных панелей имеет ряд преимуществ, таких как:

- Экономия денег. Использование солнечных панелей позволяет существенно снизить затраты на электроэнергию, так как часть или вся необходимая энергия вырабатывается из бесплатного и возобновляемого источника - солнца. Кроме того, в некоторых регионах возможно продавать

излишки электричества в сеть по льготным тарифам или получать компенсации за использование альтернативной энергии.

- Экологичность. Использование солнечных панелей является экологически чистым решением. Они не выделяют вредных веществ в окружающую среду, не производят шума и не загрязняют воду. Солнечные панели способствуют снижению выбросов парниковых газов и борьбе с глобальным потеплением.

- Надежность и долговечность. Солнечные панели имеют высокую степень надежности и долговечности. Они не требуют сложного обслуживания и ремонта, устойчивы к атмосферным воздействиям и механическим повреждениям. Срок службы солнечных панелей составляет от 20 до 30 лет, а инверторов и аккумуляторов - от 5 до 10 лет.

Экономическая целесообразность использования солнечных панелей зависит от многих факторов, таких как:

- Уровень инсоляции в регионе.
- Стоимость оборудования и монтажа.
- Экономия на электроэнергии.
- Государственная поддержка. В Беларуси также есть возможность получить налоговый вычет за приобретение и установку солнечных панелей.

Таким образом, использование солнечных панелей может быть экономически выгодным в зависимости от конкретных условий и целей. Для того, чтобы определить стоимость и окупаемость солнечной электростанции для своего дома, необходимо провести детальный расчет и анализ всех факторов.

При выполнении расчетов и анализа я воспользовался калькулятором окупаемости солнечных батарей для расчета выработки электрической энергии green-energy.by.

Данный калькулятор встречает нас картой, на которой необходимо выбрать примерное географическое расположение места, на котором мы будем устанавливать солнечные панели – и это неудивительно, ведь в разных регионах уровень инсоляции различается: Далее нам необходимо вписать нагрузку для солнечной электростанции (кВт·ч/сутки) и стоимость 1кВт часа (рисунок 2). Для упрощения расчета нагрузки для солнечной электростанции нажмем на кнопку «Подробный расчет средней нагрузки» (рисунок 3). Этот инструмент крайне удобен для расчета ведь в нём можно учесть абсолютно любую технику, её количество, мощность, количество часов использования (в сутки/в неделю).

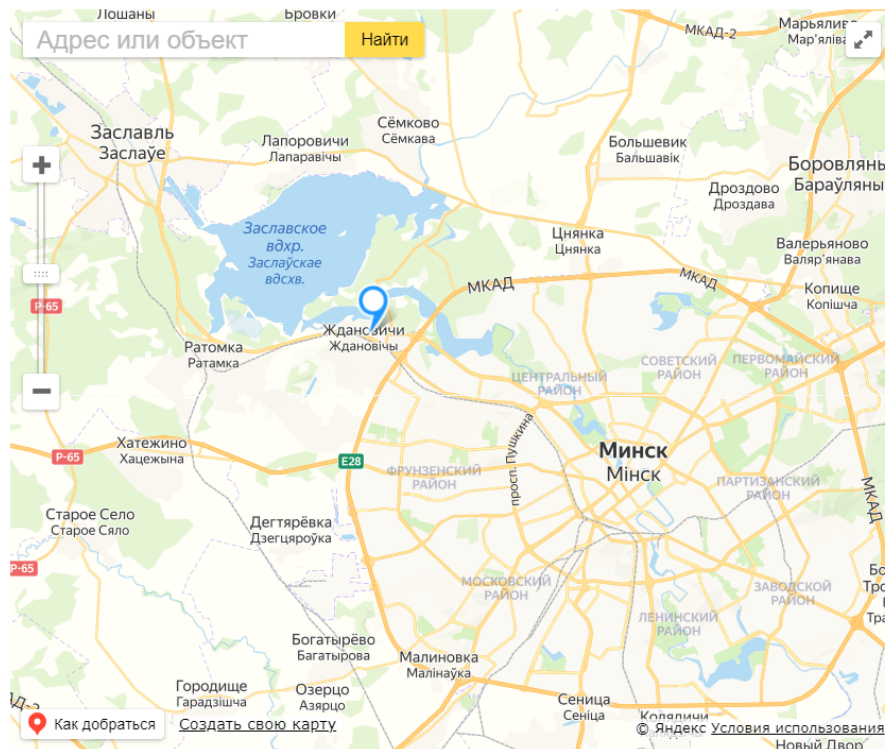
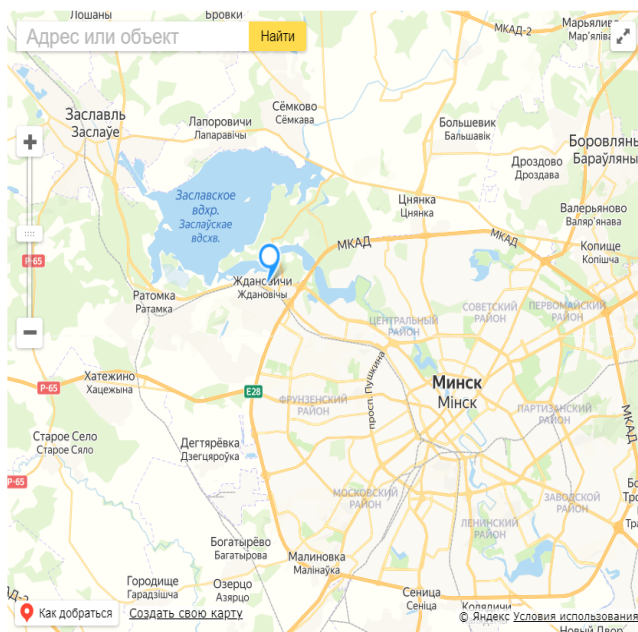


Рисунок 1 – Выбор места

1

Получение координат расчетных данных

Укажите месторасположение на карте вашей солнечной электростанции

**Расчет нагрузки для солнечной электростанции**

Наш калькулятор рассчитывает окупаемость электростанции

Укажите среднюю нагрузку на сеть

16.9 кВт·ч / сутки

[Подробный расчет средней нагрузки](#)

* Мы указали среднее значение нагрузки на сеть. Вы можете указать свое значение или воспользоваться подробным расчетом средней нагрузки с учетом Ваших показателей.

Укажите Стоимость 1 кВт часа

0.2705 BYN

* Мы указали среднее значение стоимости 1 кВт часа. Вы можете указать свое значение.

Рисунок 2 – Расчет нагрузки

Расчет нагрузки для солнечной электростанции

Выберите потребителей и время их работы

Потребители	Кол-во, шт	Мощность, Вт	Кол-во часов	Временной диапазон	Потребители	Кол-во, шт	Мощность, Вт	Кол-во часов	Временной диапазон
<input checked="" type="checkbox"/> Электrolампа	1!	7,50	8	в сутки	<input checked="" type="checkbox"/> Телевизор	1	130	6	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Холодильник	1	100	6	в сутки	<input checked="" type="checkbox"/> Чайник	1	2000	0,2	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Микроволновка	1	1500	0,2	в сутки	<input checked="" type="checkbox"/> Газ.котел	1	200	6	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Циркул. насос	1	50	6	в сутки	<input checked="" type="checkbox"/> Компьютер	1	350	3	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Электроплита	1	4000	2	в сутки	<input checked="" type="checkbox"/> Кофеварка	1	1000	0,2	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Стиральная машина	1	1600	3	в неделк	<input checked="" type="checkbox"/> Утюг	1	1500	1,5	в сутки
<input checked="" type="checkbox"/> Пылесос	1	1600	1	в неделк	<input type="checkbox"/> Другой прибор	1	10	1	в сутки

Средняя нагрузка на сеть - 16.9 кВт·ч / сутки

Рисунок 3 – Подробный расчет нагрузки

Следующим этапом в расчете будет выбор солнечных батарей (рисунок 4). Для выбора таковых нам не придется просматривать большое количество источников, ведь большинство солнечных батарей, доступных для покупки в Беларуси уже включены в калькулятор, более того, включены даже актуальные цены на модели. Если нам нужна дополнительная информация о модели, можно перейти на вкладку «Подробнее о солнечной батарее», а также «Показать характеристики». Вписываем нужное количество солнечных батарей.

Выберите солнечную батарею

Солнечная панель Einnova Solarline ESM-550S PERC

[Подробнее о солнечной батарее](#) [Скрыть характеристики](#)

Укажите количество СБ = 12.90 м² составляет площадь покрытия

Выбор угла наклона батареи


0° Горизонтально

39° Лето

54° Оптиммум

69° Зима

90° Вертикально



Характеристики

Вольтаж без нагрузки, (Вольт).....49,85 В

Ток короткого замыкания, (Ампер).....13,97 А

Рабочий вольтаж, (Вольт).....42,00 В

Рабочий ток, (Ампер).....13,09 А

Максимальный вольтаж, (Вольт).....1500

Эффективность модуля, (%).....21,3

Вес одной панели, (кг).....28,5

Стоимость, руб.....1074

[Подробнее описание - \(ссылка на каталог\)](#)

Рисунок 4 – Выбор солнечной батареи

Затем выбираем инвертор: здесь всё так же просто, как и при выборе солнечной батареи.

Выберите бренд и модель инвертора

Бренд

Модель

[+ Подробнее об инверторе](#)
[i Скрыть характеристики](#)

Выберите количество

Характеристики

Мощность AC, (Ватт).....5 кВт
 Максимальная мощность DC, (Ватт).....
 Максимальное входное напряжение DC, (Вольт).....1000 В постоянного тока
 Минимальное (стартовое) напряжение DC, (Вольт).....200 В постоянного тока
 Диапазон напряжений MPPT.....200 В ~ 950 В постоянного тока
 Стоимость, руб.....3651.48
[Подробнее описание - \(ссылка на каталог\)](#)




Рисунок 5 – Выбор инвертора

Далее получим расчет выработки солнечной энергии по месяцам: в виде графика (рисунок 6) и таблицы (рисунок 7):

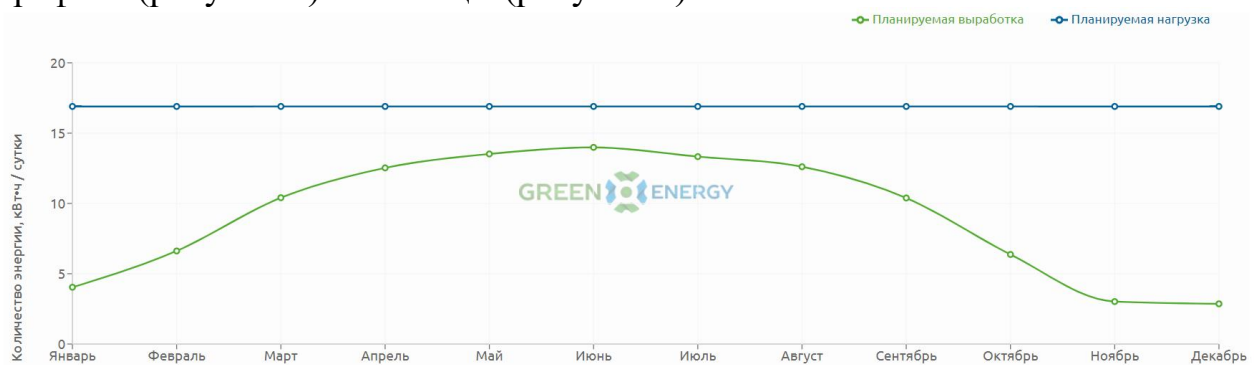


Рисунок 6 – График выработки солнечной энергии по месяцам

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4.04	6.62	10.41	12.53	13.52	13.99	13.33	12.61	10.39	6.37	3.02	2.86

Среднегодовая выработка электроэнергии: **9,1 кВтч/сутки.**
 Суммарная выработка электроэнергии за год: **3 330,6кВтч.**

Рисунок 7 – Таблица выработки солнечной энергии по месяцам

Исходя из графиков видим, что мы не сможем полностью покрыть потребление электричества от объединенной энергетической системы, однако сможем довольно сильно его сократить.

Далее мы получаем окупаемость солнечной электростанции во временной перспективе на 25 лет в виде диаграммы (рисунок 8) и в виде таблицы с рентабельностью (рисунок 9). Исходя из расчетов получим: через 11 лет солнечная электростанция окупится почти на 900 рублей (и это без учета меняющихся цен на тарифы электроэнергии). А доходность составит 10% годовых.

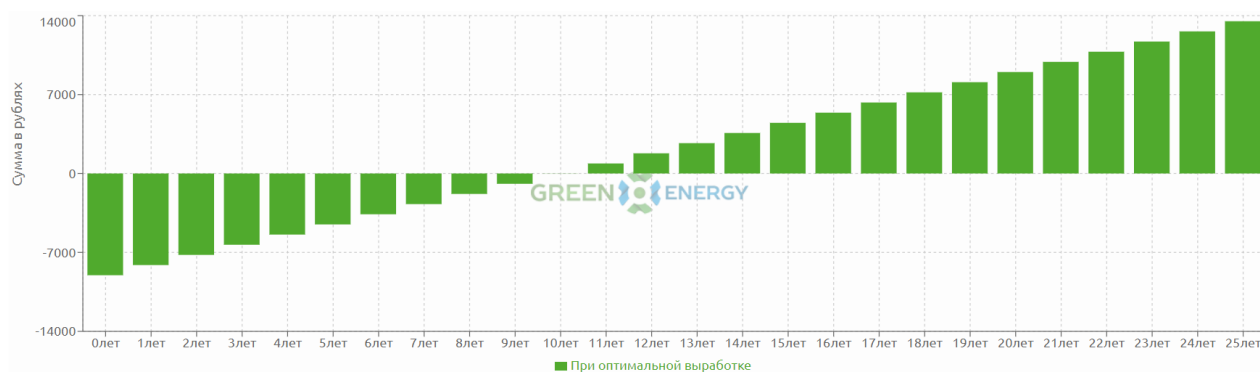


Рисунок 8 – Диаграмма окупаемости солнечной электростанции

Стоимость солнечных батарей и инвертора	Срок окупаемости солнечной электростанции	Чистая прибыль за 25 лет
9 021,48 руб.	11 лет	13 501,7 руб.
Рентабельность ваших вложений в солнечную электростанцию составит 9.99 % годовых		

Рисунок 9 – Таблица окупаемости солнечной электростанции

Заключение

Исходя из проделанной работы можно сделать вывод – использование солнечной электростанции окупаемо. Солнечная энергия является экологически чистой и дешевой. Однако, пора года и облачность влияют на её производство, что вынудит нас быть зависимыми от постороннего электричества.

Литература

1. Айванхов К солнечной цивилизации / Айванхов, Микаэль Омраам. – М.: Наука, 2011.
2. Калькулятор окупаемости солнечных батарей для расчёта выработки электрической энергии [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://green-energy.by/calc/>. – Дата доступа: 12.03.2023.
3. Стэн Гибилиско. Альтернативная энергетика без тайн. Перевод с английского. – Москва: Эксмо-Пресс, 2010.

УДК 621.039.7

ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ COLD NUCLEAR FUSION

Кандауров Г.М.,

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

petrovskaya@bntu.by

Kandaurov G.M.

***Аннотация:** Холодный ядерный синтез (ХЯС) – это процесс, в результате которого два ядра легких элементов (например, дейтерий и тритий) соединяются, образуя ядро более тяжелого элемента (например, гелия) и высвобождая энергию. Эта реакция может происходить при комнатной температуре и давлении, что отличает ХЯС от традиционного ядерного синтеза, который происходит только при очень высоких температурах и давлениях, подобных тем, что встречаются в ядерном реакторе. В данной работе рассмотрены возможности, плюсы и минусы холодного ядерного синтеза, а также актуальность его исследований для развития энергетики и экологии.*

Введение:

Проблема необходимости перехода на экологически чистые источники энергии стала одной из главных в наше время. В связи с этим, холодный ядерный синтез представляет собой интересную альтернативу для традиционных источников энергии, таких как уголь, нефть и газ.

Основная часть:

Холодный ядерный синтез был впервые обнаружен в 1989 году двумя учеными: Мартином Флейшманом и Стэнли Понсом. Однако их исследования были критикованы из-за того, что другие ученые не могли воспроизвести их результаты. С тех пор проводилось множество исследований в области Холодного ядерного синтеза, и сейчас существует несколько различных подходов к созданию установок, работающих на основе этого явления.

Одним из примеров устройств, использующих холодный ядерный синтез, является установка, созданная итальянским ученым Андреа Росси. Она использует процесс каталитического расщепления водорода, чтобы запустить реакцию холодного синтеза. Эта установка была испытана на практике и, несмотря на споры среди ученых относительно эффективности процесса, продолжает привлекать внимание научного сообщества.

Холодный ядерный синтез имеет потенциально огромный потенциал как источник энергии, так как реакция высвобождает большое количество энергии при небольшом количестве исходных материалов и без выброса вредных веществ в атмосферу. Однако, так как процесс синтеза пока еще не полностью понят и не до конца изучен, его применение ограничено некоторыми техническими проблемами и потенциальными рисками, связанными с

необходимостью работать с радиоактивными материалами. Кроме того, такие установки требуют высокотехнологичной и дорогостоящей оборудования, которое нужно постоянно обслуживать и модернизировать. Также существуют риски неудачных реакций, которые могут привести к авариям или выбросу радиоактивных материалов в окружающую среду.

В настоящее время ХЯС все еще находится на стадии исследований, и его применение в коммерческих целях остается неопределенным. Некоторые ученые считают, что для реализации ХЯС нужны еще много лет исследований и разработок. Однако другие исследователи продолжают работать в этой области, считая, что в будущем ХЯС может стать одним из главных источников чистой и дешевой энергии.

Тем не менее, существует значительный интерес к исследованию холодного ядерного синтеза, и несколько научных групп по всему миру работают над разработкой этой технологии. Кроме того, некоторые стороны уже начали производить экспериментальные установки для исследования холодного ядерного синтеза. Например, компания E-Cat SK из Швеции разработала установку под названием E-Cat SKL, которая использует каталитический процесс для запуска холодного ядерного синтеза. Другая компания, Brillouin Energy, разрабатывает установку под названием Brillouin Hot Tube, которая также использует каталитический процесс.

Для дальнейшего развития необходимы дополнительные исследования и разработки в нескольких направлениях. Одним из главных направлений является улучшение технологии и материалов, используемых в установках с холодным ядерным синтезом, чтобы повысить эффективность процесса и уменьшить риски аварийных ситуаций. Например, нужно создать более длительно действующие и стабильные катализаторы, улучшить методы управления реакцией, снизить токсичность используемых материалов.

Кроме того, важным фактором для дальнейшего развития является увеличение финансирования и сотрудничества между научными институтами и промышленными компаниями. Расширение совместных проектов и партнерств поможет ускорить исследования и внедрение новых технологий в промышленность.

Также необходимо продолжать исследования в области безопасности и экологических последствий холодного ядерного синтеза. Для этого требуется проводить эксперименты в контролируемых условиях и анализировать возможные риски для окружающей среды и здоровья людей.

В целом, разработка является сложным и длительным процессом, требующим высокой технологичности и финансовых затрат. Несмотря на это, ученые продолжают работать в этой области, считая, что ХЯС может стать одним из главных источников энергии в будущем, благодаря своей высокой эффективности и чистоте.

Одним из главных преимуществ холодного ядерного синтеза является его чистота по сравнению с традиционными источниками энергии. При процессе холодного ядерного синтеза не происходит выброса углекислого газа, сернистых соединений и других вредных веществ, которые являются

основными причинами глобального потепления и загрязнения окружающей среды. Кроме того, количество ядерных отходов, производимых в процессе ХЯС, гораздо меньше по сравнению с ядерными реакторами на основе расщепления, что снижает риск радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Еще одним преимуществом является эффективность. Одна граммовая порция топлива, используемого в ХЯС, может производить энергию, эквивалентную 25 000 тоннам угля, что делает его одним из наиболее эффективных источников энергии.

Кроме того, холодный ядерный синтез может быть использован в качестве источника энергии для длительных космических миссий. Так как используются легкие элементы, такие как дейтерий и тритий, его возможно использовать для производства энергии в космическом корабле или на других планетах, где нет доступа к традиционным источникам энергии.

Таким образом, холодный ядерный синтез имеет множество потенциальных преимуществ, таких как чистота, эффективность и возможность использования в космических миссиях. Однако, как и любая новая технология, ХЯС также имеет свои риски и недостатки, которые нужно учитывать при его развитии и применении.

Среди главных рисков, связанных с ХЯС, можно выделить:

1. Безопасность: ХЯС требует высоких температур и давлений для инициирования ядерного синтеза, что может привести к потенциально опасным ситуациям, таким как утечка топлива или даже взрыв. Также необходимы меры для защиты от радиации.

2. Дороговизна: В настоящее время ХЯС является дорогостоящей технологией, что может препятствовать ее широкому применению.

3. Недостаток топлива: Дейтерий, один из основных компонентов топлива ХЯС, является редким и дорогим элементом, поэтому его добыча может оказаться сложной и затратной задачей.

4. Сложность: Технология ХЯС еще находится в стадии исследований и разработок, и ее реализация может потребовать большого количества времени, сил и ресурсов.

В целом, несмотря на риски и недостатки, ХЯС является многообещающей технологией, которая может привести к революции в производстве энергии. Ее преимущества, такие как чистота и эффективность, могут стать ключевыми факторами в борьбе с изменением климата и глобальными энергетическими вызовами. Однако для успешной реализации ХЯС необходимо продолжать исследования, развивать новые технологии и обеспечивать безопасность при ее использовании.

Действительно, для успешной реализации необходимо продолжать исследования, развивать новые технологии и обеспечивать безопасность при ее использовании. Несмотря на то, что в настоящее время уже имеются определенные достижения в этой области, такие как запуск экспериментальных установок, еще много работы требуется для того, чтобы

сделать холодный ядерный синтез пригодным для коммерческого использования.

Для разработки ХЯС необходимы новые материалы, которые были бы способны выдерживать высокие температуры и давления. Также нужны новые методы и технологии, которые позволят контролировать и управлять процессом ядерного синтеза. На данный момент большое внимание уделяется использованию лазеров и других энергетических источников для создания необходимых условий.

Кроме того, для обеспечения безопасности при использовании необходимо разработать эффективные системы охлаждения, которые бы предотвращали перегрев и утечку топлива. Также необходимо обеспечить защиту от радиации и разработать планы эвакуации в случае чрезвычайных ситуаций.

В целом, холодный ядерный синтез представляет собой сложную и многогранную технологию, которая требует множества исследований, разработок и инвестиций. Однако, если эти проблемы будут решены, то холодный ядерный синтез может стать революционной технологией, которая будет обеспечивать энергетическую безопасность и способствовать борьбе с изменением климата.

Заключение:

Холодный ядерный синтез является интересной альтернативой для традиционных источников энергии, таких как уголь, нефть и газ, и представляет собой потенциально неограниченный источник энергии. Однако, процесс все еще находится в стадии исследований, и существуют некоторые проблемы, которые могут ограничить его широкое использование. В связи с этим, дальнейшие исследования в области холодного ядерного синтеза могут привести к более эффективным и безопасным технологиям производства энергии.

Литература

1. K. Makinde, N. C. Chiemela, and E. O. Agunloye. Технология холодного синтеза: история, прогресс и перспективы на будущее. *Journal of Fusion Energy*, 37(2):165-178, 2018., 37(2):165-178, 2018.
2. E. Storms. *The Science of Low Energy Nuclear Reaction: Наука о низкоэнергетических ядерных реакциях: всесторонний сборник свидетельств и объяснений холодного синтеза.* World Scientific, 2007.
3. Y. C. Kim, S. E. Ahn, J. H. Neo, and M. K. Kim. Наука о низкоэнергетических ядерных реакциях: всесторонний сборник свидетельств и объяснений холодного синтеза. *Journal of Fusion Energy*, 32(6):669-676, 2013.
4. G. L. Kulcinski. Холодный синтез: наука или фантастика? *Journal of Fusion Energy*, 9(3):277-294, 1990.
5. E. Mallove and J. M. Dash. *Холодный синтез: научное фиаско века.* Springer, 1991

УДК 628.81

**ИНФРАКРАСНЫЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
INFRARED ELECTRIC HEATING IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

П.Д. Кагочкин; А.С. Шенец

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

prokopenya@bntu.by

P. Kagochkin; A. Shenets

Supervisor – I. Prokopenya, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные достоинства, область использования, а также потенциальные возможности систем инфракрасного обогрева.*

***Abstract:** This article discusses the main advantages, the scope of use, as well as the potential capabilities of infrared heating systems.*

***Ключевые слова:** инфракрасные системы, излучатель, обогрев, применение.*

***Keywords:** infrared systems, emitter, heating, application.*

Введение

С целью отопления различных производственных и сельскохозяйственных помещений можно использовать электрические инфракрасные (ИК) системы в качестве замены традиционных конвективных (водяного или воздушного) систем отопления.

Основная часть

Преимущества перед системами воздушного и водяного отопления особенно проявляются в производственных крупногабаритных корпусах, в цехах высотой более 6 метров, где энергозатраты на обогрев в пересчете на условное топливо можно снизить более, чем в два раза.

Данная ситуация возникает в результате различных механизмов теплопереноса. При водяной системе отопления нагревательным устройством является радиатор. Воздух, омывая его поверхность, нагревается, плотность его снижается, и он поднимается вверх. При этом тепло передается стенам, потолочному перекрытию, предметам, находящимся в помещении. Охладившись, воздух опускается вниз, где вновь нагревается от радиатора. Поэтому температура воздуха в помещении всегда выше температуры поверхности ограждений и предметов, а ее рост по высоте составляет примерно $1,5^{\circ}\text{C}/\text{м}$. При воздушном отоплении воздух прокачивается через калорифер и уже теплым подается в помещение. Создаваемая температурная обстановка в этом случае аналогична описанной; изменение температуры воздуха по высоте здесь составляет около $2,0^{\circ}\text{C}/\text{м}$. [1]

При инфракрасном обогреве помещения установленные в нем излучатели генерируют лучистый поток, который, частично поглощаясь воздухом, падает

на ограждения и предметы. За счет поглощения и отражения этот поток полностью распределяется между телами, находящимися в помещении, и нагревает их. За счет этого температура ограждающих поверхностей (стен, пола) выше температуры окружающей среды. Рост температуры по высоте значительно меньше, чем при конвективном отоплении. Данные особенности создаваемой температурной обстановки обуславливают преимущества ИК-обогрева. [1]

Несмотря на все преимущества внедрение лучистого отопления в настоящее время идет медленно. Причинами чего является возникновение трудностей в выборе типа инфракрасных излучателей и их расстановке, обеспечивающих эффективность использования такого способа отопления. Что в свою очередь связано с недостатком технической информации, предоставляемой производителями инфракрасного оборудования.

Отечественный рынок наполнен множеством электрообогревательных приборов, среди которых - и инфракрасные обогреватели. Они различаются своим устройством, мощностью, назначением, материалами конструктивных элементов и дизайном. С вводом в эксплуатацию атомной станции спрос на них будет только увеличиваться. [2]

Например, классификация по температурным уровням, следующая: низко, средне и высокотемпературные. По системе нагрева: газовые инфракрасные нагреватели, использующие высокую температуру уходящих дымовых газов, и трубчатые электронагреватели (ТЭНы).

Так как процесс лучеиспускания происходит по всем направлениям, то с целью фокусирования теплового излучения в зону обогрева используют рефлекторы (отражатели). Рефлекторы преимущественно выполняются из полированного алюминия либо другого металла с высоким коэффициентом отражения (рис. 1-3).

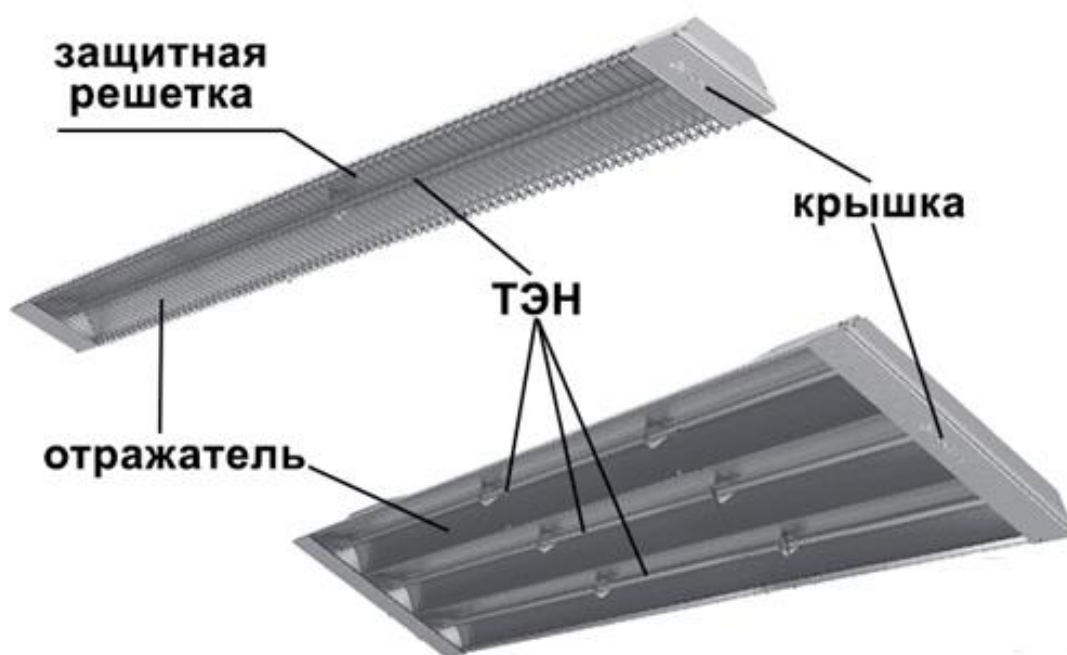


Рисунок 1 - Высокотемпературный электрический инфракрасный излучатель



Рисунок 2 – Инфракрасный газовый нагреватель открытой конструкции



Рисунок 3 – Керамический инфракрасный излучатель

Инфракрасный обогрев нашел применение в обогреве производственных помещений (заводские цеха, склады, транспортные предприятия с большими гаражами и ангарами). ИК обогреватели задают необходимую температуру именно в рабочих зонах, где находятся люди и оборудование.

Приборы инфракрасного отопления применяются на фермах, инкубаторах, теплицах и оранжереях для создания и поддержания необходимого микроклимата.

В медицине уже давно известна полезность ИК излучения для организма человека. Оно оказывает антиспазматическое, противовоспалительное, стимулятивное действия. Применяется для лечения лимфатической системы, суставов, органов брюшной полости, грудной клетки, печени и желудочного пузыря. [1]

Помимо вышперечисленного, системы инфракрасного обогрева могут быть также актуальны в общественных и торговых заведениях. Обогрев террасы ресторанов, конференц-залов и т.д.

Заключение

Конструкция инфракрасных излучателей постоянно совершенствуется. Появляются новые модели с различными оптико-энергетическими характеристиками и внешним дизайном [1].

Проведение расчетных исследований при проектировании инфракрасных систем обогрева на основе различных моделей излучателей очень трудоемко. Значительно практичнее указывать в характеристиках аппарата, помимо основных параметров (мощности, ресурса работы, веса и т.п.), еще и его индикатрису, эпюра которой может прикладываться в паспорт изделия.

Литература

1. Достоинства и потенциальные возможности систем ИК-обогрева / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2005. – № 7. – С. 10-12.
2. Ахрамович А.П., Шмелев Е.С. Развитие инфракрасного электрообогрева в Республике Беларусь // Энергоэффективность. – 2021. – № 9. – С. 30-32.