

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра промышленной теплоэнергетики
Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,
Начальник СПВС, ООО «ПТ-СЕРВИС»
_____ В.А. Колмыков
« ____ » _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
к.т.н., доцент
_____ К.В. Осинцев
« ____ » _____ 2017 г.

М.П.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ
ПАРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ КПА-500Ж,
РАБОТАЮЩЕЙ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ
«ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ»
ЮУрГУ–13.04.01.2017.027.05.ПЗ ВКР

Руководитель магистерской программы:
к.т.н., профессор
_____ Е.В. Торопов
« ____ » _____ 2017 г.

Научный руководитель:
к.т.н., доцент
_____ Т.Б.Жиргалова
« ____ » _____ 2017 г.

Автор работы,
студент группы П-289
_____ С.И. Кускарбекова
« ____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Кускарбекова С.И. Совершенствование тепловой схемы парогенераторной установки КПА-500ж, работающей на жидком топливе – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э, 2017, 87 стр., 11 ил., библиогр. список – 26 наименований, 5 листов чертежей формата А1, 2 листа плаката формата А1.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена тепловая схема парогенераторной установки КПА-500Ж, которая удобна для использования в транспортабельных котельных. Однако данная схема физически и морально устарела, котлы имеют низкую производительность, неэффективен КПД установки. Предложенная схема с внесенными изменениями и новым оборудованием имеет ряд преимуществ, которые описаны в данном проекте.

Котлы, представленные в данной работе, имеют специфическую конструкцию. В связи с этим стандартный тепловой расчет не применим в данном случае.

В работе сформулирована последовательность теплового расчета. Вычислены основные показатели парового котла с учетом внесенных изменений в конструкцию. Подобрано основное оборудование для всей паровой установки с учетом замены устаревших агрегатов на современные.

Результаты расчетов показали повышение КПД котла, улучшение основных характеристик установки, повышение производительности по пару.

Отдельные главы посвящены автоматизации, вопросам экологии и безопасности жизнедеятельности.

Проанализированы два варианта тепловой схемы: с котлами отечественного производства и зарубежными аналогами.

В ходе описания работы приведены все необходимые иллюстрации, графики и чертежи.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Кускарбекова С.			Лит.	Лист	Листов
Пров.		Жиргалова Т.Б.			3	87	
Н. Контр.		Жиргалова Т.Б.			ЮУрГУ Кафедра ПТЭ		
Утв.		Осинцев К.В.					

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АКТУАЛЬНОСТЬ И ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОЙ СХЕМЫ ПАРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ КПА-500Ж, РАБОТАЮЩЕЙ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ.....	10
1.1 Тепловая схема. Описание процесса парообразования. Необходимые изменения.....	10
1.2 Основное оборудование	12
1.3 Практическая ценность	13
2 СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АНАЛОГОВ.....	14
2.1 Современные парогенераторы, используемые на предприятиях. Типы паровых котлов.....	14
2.2 Котлы зарубежных производителей	15
2.3. Котлы отечественных производителей.....	16
2.4 Выводы по сравнению зарубежных и отечественных аналогов.....	18
3 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	19
4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	20
5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ	22
5.1. Постановка задачи	22
5.2. Методика расчета. Результаты исследований.....	22
5.3. Анализ погрешностей.....	25
5.4. Перспективы совершенствования погрешностей.....	25
5.5. Вывод	26
6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	27
6.1 Исходные данные.....	27
6.2 Расчет объемов продуктов сгорания топлива.....	28
6.3 Расчет энтальпий продуктов сгорания топлива и воздуха	30
6.4 Тепловой баланс котла	31
6.5 Тепловой расчет топочной камеры	33
6.6 Расчет первого газохода	37
6.7 Расчет второго газохода	44
6.8 Расчет невязки по тепловому балансу	52
6.9 Расчет воздушного тракта. Выбор дутьевого вентилятора. Обзор горелочного устройства.....	53
6.10 Выбор вспомогательного оборудования. Характеристики основных систем транспортабельной котельной	58
7 ПРИНЦИП РАБОТЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	62
8 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ	65
8.1 Дымоудаление	65
8.2 Водоотведение.....	67
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	68
9.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	68

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

9.2 Безопасность производственных процессов и оборудования	68
10 ЭКОНОМИКА	72
10.1 Смета капитальных затрат по объекту	72
10.2 Текущие затраты	73
10.3 Расчет себестоимости производимой теплоты	74
10.4 Расчет себестоимости производимой теплоты при использовании зарубежного аналога парового котла.....	75
10.5 Определение целей проекта.....	78
10.6 Качественный анализ вариантов проектных решений.....	79
10.7 Оценка движущих и сдерживающих сил ресурсов разработки системы управления.....	81
10.8 Модель «7S» МакКинси	82
10.9 Планирование целей и задач управленческой деятельности	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ЭНТАЛЬПИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА.....	86
ПРИЛОЖЕНИЯ Б. СПЕЦИФИКАЦИИ	87

ВВЕДЕНИЕ

Котельная установка – это комплекс оборудования для производства горячей воды или пара, закрепленного на специальной раме или размещенного в блочных зданиях-контейнерах. Установка состоит из котельного агрегата и вспомогательного оборудования: газо- и воздухопроводов, трубопроводов пара и воды с арматурой, тягодутьевых устройств и др.

Котельные установки могут работать на разнообразных видах газообразного (природный и сжиженный газ, попутный нефтяной газ), жидкого (дизель, мазут, отработанное масло) и твердого топлива (уголь, пеллеты), а также на электричестве.

В настоящее время для отопления и горячего водоснабжения существуют две технологии — централизованная и автономная. В России на сегодняшний день чаще встречается централизованное теплоснабжение от ТЭЦ или крупных котельных, которые отапливают около 80% городского фонда.

Теплоэнергоцентралы и мощные котельные промышленных предприятий обычно имеют по несколько котельных установок с резервным запасом мощностей, объединенных общей питательной магистралью и сборным паропроводом. Это дает возможность проведения ремонтных работ и обслуживания без остановки работы и уменьшения вырабатываемого количества пара и горячей воды.

Серьезным недостатком централизованного теплоснабжения является состояние и износ теплотрасс, который приводит к тому, что потери тепловой энергии иногда достигают более 20% от общего количества передаваемого потребителю тепла. Это объясняет возникшую в последнее время тенденцию к увеличению внедрения автономной технологии теплоснабжения. Использование автономных котельных установок малой мощности, предназначенных для отопления одного или нескольких потребителей позволяет значительно сократить энергетические потери от внешнего охлаждения и утечек теплоносителя из-за аварий тепловой сети.

Для решения задач автономного теплоснабжения сейчас широко используются транспортабельные модульные котельные установки. Такая котельная может быть оснащена практически любым необходимым оборудованием и состоит из специальных модулей, представляющих из себя металлические рамные конструкции. В блочном исполнении они имеют ограждения из сэндвич-панелей, поэтому для установки не требуется строить или отводить помещение.

Отличительной чертой модулей является то, что их вес и габариты позволяют их легко перевозить как железнодорожным, так и автотранспортом. На время транспортировки недостающие стены заменяют на съёмные панели.

Паровые котельные предназначены для выработки насыщенного пара, который применяется как для отопления, так и в технологических процессах различных отраслей промышленности:

– для разогрева вязких сред (мазут, масло) при транспортировке, для пропарки древесины, комбикорма, изделий легкой промышленности, и других процессах, требующих одновременного нагрева и увлажнения;

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

- в строительной отрасли и коммунальном хозяйстве – для предотвращения смерзания в бункерах инертных веществ (например, песка или гравия), для стерилизации и дезинфекции, а также в сельскохозяйственном производстве;
- обогрев строительных объектов;
- тепловое обеспечение вахтовых поселков в осенне-зимний период;
- оперативная и бесперебойная подача тепловой энергии в систему ЖКХ, в случае аварии;
- подача тепла, в случае возникновения чрезвычайных происшествий.

Основные преимущества использования транспортабельных котельных:

Надежность и продолжительный срок службы. Благодаря чему затраты на обслуживание и ремонт таких систем минимальны.

Автоматизированная работа котельной. Это также немаловажный фактор в пользу использования таких установок. Благодаря этому качеству не нужно нанимать дополнительный персонал для ее обслуживания, что также снижает материальные расходы.

Блочный принцип сборки. К установке прилагаются все необходимые запасные части, необходимые для слаженной и непрерывной работы котельной установки. Это помогает предотвратить прерывания отопления объектов на длительный период.

Комплектация установки малогабаритными котлами. Что обеспечивает относительно легкий вес всей системы.

Современные, высококачественные горелочные устройства. Что в свою очередь позволяет значительно снизить выброс веществ, загрязняющих атмосферу до установленных норм.

В труднодоступных северных районах России, где процветает отрасль по добыче нефти, остро стоит проблема доставки тепла в холодное время года потребителям.

В связи с этим, большую популярность приобрели транспортабельные котельные, которые включают в себя такие преимущества, как компактность и мобильность.

В данной работе предлагается использование основного принципа парогенераторной установки КПА-500Ж в транспортабельных котельных с внесенными изменениями в тепловой схеме и с заменой оборудования на более современные агрегаты с улучшенными параметрами.

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

1 АКТУАЛЬНОСТЬ И ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛО-ВОЙ СХЕМЫ ПАРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ КПА-500Ж, РАБОТАЮЩЕЙ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

1.1 Тепловая схема. Описание процесса парообразования. Необходимые изменения

Котлы КПА-500ж применялись на предприятиях коммунально-бытового обслуживания и предназначались для выработки насыщенного водяного пара, который использовался для технологических нужд.

Основные технические характеристики парового котла КПА-500ж представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики котла КПА 500ж

Наименование параметра	Значение	Единица измерения
Паропроизводительность	400	кг/ч
Давление пара	0,9 (9)	МПа (кгс/см ²)
Топливо	Дизельное	-
Объем водяного пространства	0,062	м ³
Объем топочного пространства	0,2	м ³
Коэффициент полезного действия	80	%

Прямоточный котел предназначен для работы под избыточным давлением в топке. Топочная камера образована внутренним цилиндрическим змеевиком поверхности нагрева. Экранами топки служат вертикально и горизонтально расположенные спирали змеевика. Конвективная поверхность нагрева включает наружный змеевик и тыльную часть внутреннего змеевика. Под топочной камерой существует защитный слой из жароупорного бетона, который является также и стабилизатором горения. Каркасом котла служат две концентрические цилиндрические обечайки.

В кольцевой зазор между обечайками вентилятором подается воздух, необходимый для горения топлива. Воздух, охлаждая наружную и внутреннюю обечайки, одновременно нагревается, что способствует стабилизации горения топлива. Применение охлаждаемого воздухом кольцевого канала позволяет отказаться от обмуровки конвективного газохода котла.

При горении топлива в топке вода, проходящая по змеевику, нагревается. Пароводяная смесь, образующаяся при температуре насыщения (кипения), сепаруется на пар и воду в сепараторе, установленном на выходе из змеевковой поверхности нагрева [1].

На рисунке 1 изображена исходная принципиальная схема парогенераторной установки КПА-500Ж и перечислено основное оборудование.

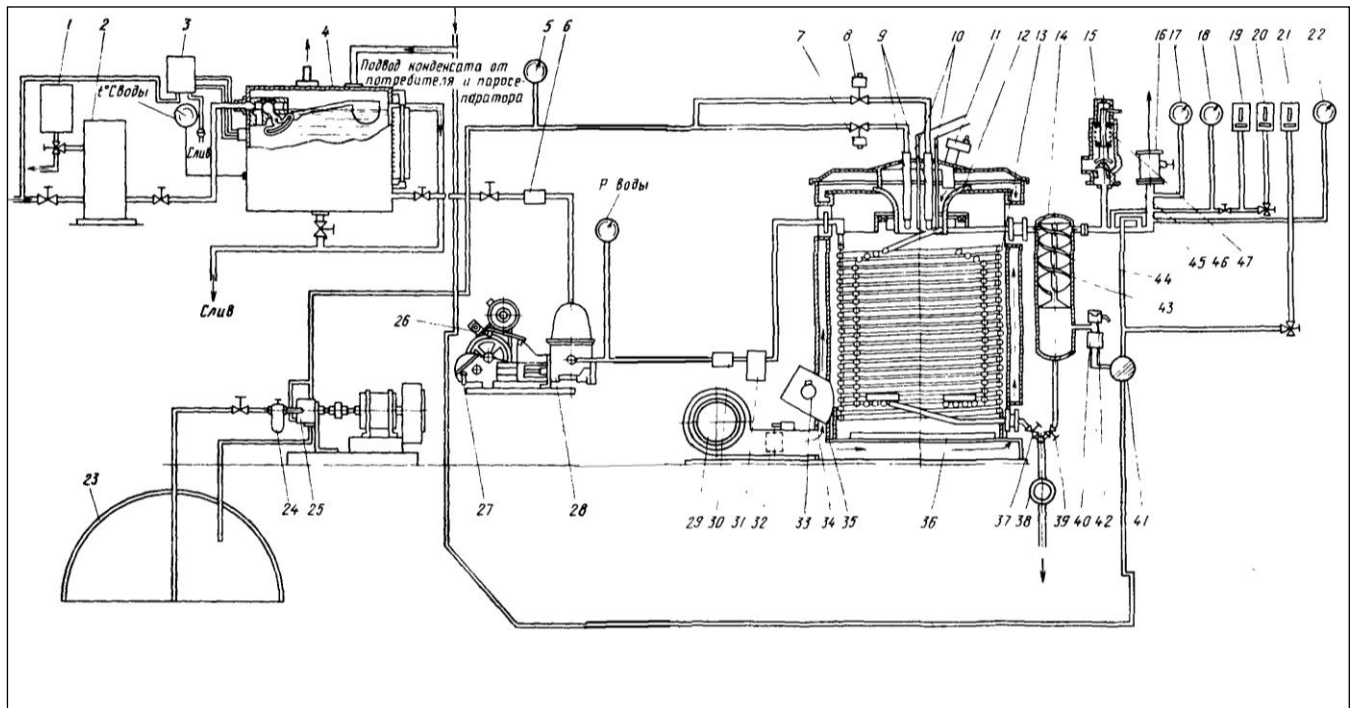


Рисунок 1 – Принципиальная схема парогенераторной установки КПА-500Ж

На рисунке 1 представлены следующие основные элементы схемы: 1-солерастворитель; 2-водоумягчительная установка; 3-дозатор гидразина и фосфата; 4-бак питательной воды; 5-манометр на топливопроводе; 6-фильтр; 7,8-электромагнитные клапаны; 9-топливные форсунки; 10-электроды зажигания топлива; 11-фотосопротивление; 12-горелка; 13-змеевиковая поверхность нагрева котла; 14-сепаратор пара; 15-предохранительный клапан; 16-парозапорный клапан; 17-термометр для контроля температуры пара; 18-манометр, показывающий давление пара; 19-автомат контроля давления АКД-1; 20-автомат контроля давления АКД-2; 21-датчик давления пара; 22-датчик температуры пара; 23-бак жидкого топлива; 24-топливный фильтр, 25-топливный насос; 26-датчик контроля натяжения ремней привода питательного насоса; 27-масломерная линейка; 28-питательный насос; 29-воздушный вентилятор; 30-обратный клапан; 31-предохранительный клапан на питательном трубопроводе; 32-воздушная дроссельная заслонка; 33-термостат; 34-кожух котла; 35-корпус котла; 36-шамотный настил; 37-кран для удаления шлама; 38-смотровое окно для контроля заполнения котла водой; 39-сливной кран; 40-фильтр; 41-конденсатоотводчик; 42-воздушник; 43-корпус сепаратора пара; 44-шnek; 45-корпус предохранительного клапана; 46-клапан; 47-пружина предохранительного клапана [1].

В схеме, изображенной на рисунке 1, предлагается внести следующие изменения:

- 1) реконструкция парового котла;
- 2) увеличение паропроизводительности до 2 т/ч одного котла (установка в общей схеме двух котлов) путем увеличения длины змеевика;
- 3) замена основного и вспомогательного оборудования для обеспечения повышенной производительности. Основное оборудование для новой схемы должно

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

11

быть подобрано в соответствии с новыми повышенными параметрами и климатическими условиями северных регионов России [2].

1.2 Основное оборудование

В отличие от старой схемы, в новой установке вода проходит через солерастворитель и натрий-катионитный фильтр, а далее идет в питательную емкость, которая подогревается возвратным конденсатом.

Так же в новой схеме отсутствует сепаратор. Предлагается установить паровой коллектор, через который пар поступает потребителю, а скопившийся конденсат стекает в нижний трубопровод и возвращается в оборот.

Паровой коллектор представляет собой трубу (диаметр будет зависеть от нагрузки) и врезанные в нее патрубки для подвода и отвода пара и конденсата. На концах трубы должны быть установлены фланцевые заглушки. Высота трубы рассчитывается в соответствии с рациональным расположением патрубков.

Емкость для сбора и хранения умягченной воды предлагается изготавливать из металлических листов, закладывая необходимые патрубки для присоединения коммуникаций подвода и отвода воды.

Предлагается установить дутьевые вентиляторы с односторонним всасыванием. Забор воздуха не может осуществляться с улицы, т.к. воздух холодный, что понизит производительность котла. Систему подачи воздуха необходимо сделать таким образом, чтобы воздух, подаваемый в котлы, был теплым:

а) забор воздуха непосредственно из котельной при условии хорошей вентиляции;

б) забор воздуха с улицы и нагрев его через калориферы конденсатом, который возвращается от потребителя.

Паровой котел новой схемы отличается от предыдущего габаритами и расположением горелочного устройства и вентилятора. Подобная конструкция позволяет облегчить отвод дымовых газов через дымовые трубы. Изменение расположения горелочного устройства удобно для обслуживания и подвода топлива. Котел работает под наддувом и может обходиться без дымососа, за счет самотяги дымовой трубы.

Топливная система должна обеспечить прием и хранение топлива (топливный бак должен быть объемом, который подобран в соответствии с габаритами контейнера и необходимым запасом топлива допустимой температуры на необходимое количество котлов), очистку от механических примесей (механические фильтры), непрерывную подачу топлива к двигателям и далее на форсунки через сеть трубопроводов.

Количество питательных насосов варьируется от того, какой напор воды необходимо обеспечить (с учетом гидравлического сопротивления каждого котла). Так же предусматривается установка резервных насосов.

Современная котельная должна быть оснащена современными контрольно-измерительными приборами и автоматикой. Каждый параметр должен отражаться на щите управления, который расположен в операторском пункте. С помощью

данного щита так же можно регулировать основные параметры установки и выходить на другие режимы работы [3]

1.3 Практическая ценность

Практическая ценность новой схемы заключается в том что, габаритные размеры каждого элемента схемы позволяют компоновать установку в ISO-контейнер, для легкой транспортировки любым транспортом на труднодоступные объекты в любую точку страны.

Обновленное оборудование и улучшенная схема установки позволяют автоматизировать весь процесс получения пара. Установка не требует постоянного наблюдения, а только выстраивания необходимых параметров в соответствии с температурой наружного воздуха по режимной карте.

Измененная конструкция котла облегчает его обслуживание во время ремонта.

Возможность самостоятельного изготовления водоподготовительной установки, питательной емкости и топливного бака и топливной системы в целом, позволяют сократить капитальные затраты и уменьшить срок окупаемости.

С каждым годом в России действие Государственной программы №328 «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» от 15.04.2014 по замещению импортной продукции расширяется. Выпуск отечественными производителями разного оборудования взамен ранее закупавшегося у компаний из других стран позволяет потребителю значительно экономить на стоимости, как самой продукции, так и на затратах, связанных с доставкой ее до своего склада и таможенной очисткой.

В данной котельной существует возможность установить оборудование, произведенное в России, которое соответствует всем стандартам, подходит по параметрам, габаритам и климатическому исполнению.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.01.2017.027.05 ПЗ					

2 СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АНАЛОГОВ

2.1 Современные парогенераторы, используемые на предприятиях. Типы паровых котлов

В настоящее время пар различной температуры и давления широко применяется на предприятиях металлургической, нефтеперерабатывающей, пищевой и фармацевтической промышленности, в строительстве и производстве железобетонных изделий, в сельском хозяйстве и общественном питании, а также на множестве других производств. Для получения пара используют паровые котлы (парогенераторы), в которых энергия сжигаемого топлива или электрическая энергия переходит в энергию пара.

Популярность парогенераторов объясняется целым рядом факторов, среди которых можно выделить:

1. Эффективность. Высокий КПД позволяет получить необходимый объем пара с минимальными затратами.
2. Широкий диапазон мощности.
3. Компактность. Парогенератор можно разместить в производственном помещении.
4. Безопасность. Все парогенераторы безопасны как для обслуживающего персонала, так и для окружающей среды.
5. Автономность. Котлы не нуждаются в постоянном присутствии обслуживающего персонала.

Котлы для производства пара можно разделить на два типа:

1. Жаротрубные паровые котлы;
2. Прямоточные паровые котлы (змеевиковые паровые котлы).

Они отличаются тем, что в жаротрубных котлах горячие газы проходят по трубам, а вода обтекает их с наружной стороны. В водотрубных котлах наоборот, дымовые газы нагревают воду, протекающую внутри труб.

Парогенераторы могут работать с использованием газообразного или жидкого (дизельное топливо, мазут) топлива, а также на электрической энергии. Однако наименьшее распространение на крупных предприятиях получили электрические парогенераторы. Произошло это в силу объективных причин: высокая стоимость электроэнергии заметно повышает затраты на выработку тонны пара. Впрочем, в тех местах, куда невозможна или затруднена поставка топлива и там, где необходимость в паре возникает лишь кратковременно, они просто незаменимы.

Использование газа, в качестве топлива, дает ряд преимуществ. В отличие от жидкого топлива газ не требует предварительного нагрева и при сгорании не образует копоти, которая скапливается на стенках труб уходящих газов. Благодаря этому стало возможным устанавливать на пути хода дымовых газов экономайзер.

Экономайзер представляет собой устройство, в котором посредством тепла уходящих газов происходит предварительный подогрев поступающей в котел питательной воды или воздуха для горения. Все это позволяет значительно повысить КПД установки. Поэтому перед выбором котла необходимо определиться с видом

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

топлива. Для чего необходимо учесть целый ряд факторов, главные среди которых: стоимость топлива и возможность его бесперебойной доставки на протяжении всего года.

2.2 Котлы зарубежных производителей

Достойную нишу на рынке отопительного оборудования занимают жидкотопливные котлы зарубежных производителей: ACV, EnergyLogyc, Buderos Logano, Saturn, Ferolli, Viessmann, Kiturami и BABCOCK WANSON.

Бельгийская компания ACV реализует модели линии Delta Pro S – двухконтурные котлы со встроенным бойлером.

Технико-эксплуатационные особенности: материал изготовления теплообменника – сталь; пенополиуретановая изоляция корпуса; работа на дизельном топливе или газе; панель управления с термометром, регулировочным термостатом. Жидкотопливный котел «подстраивается» под сезон – предусмотрен переключатель «зима/лето».

Котлы на отработанном масле американской компании EnergyLogyc отличаются от аналогов автоматизированными процессами настройки горелки и сжигания топлива. В качестве горючего используются отработанное масло, дизтопливо, растительное масло или керосин.

Компания Buderos (Германия) выпускает дизельные котлы, форсунки, горелки и прочее оборудование, необходимое для эксплуатации отопительной системы.

Котельные установки Buderos Logano производятся в двух сериях: Buderos Logano категории «G» — предназначены для частного использования, их мощность составляет 25-95 кВт; Buderos Logano категории «S» — оборудование промышленного назначения. Агрегаты отличаются обтекаемым дизайном, удобной системой управления, встроенным шумоглушителем.

Напольные двухконтурные котлы Kiturami предназначены для бытового и промышленного использования. Отличительные особенности модели: обеспечение отопления и горячего водоснабжения помещений; теплообменник котла изготовлен из высоколегированной стали; дополнительный теплообменник ГВС на 99% состоит из меди, что повышает эффективность обогрева; в качестве теплоносителя подходит антифриз и вода.

В специальной металлической плате за счет высокой температуры происходит вторичное сгорание. Это позволяет экономично расходовать топливо и сокращает выброс вредных веществ в атмосферу [4].

Вертикальные парогенераторы серии VAP (рисунок 2) производства BABCOCK WANSON имеют также ряд отличительных характеристик: надежная конструкция без сосудов под давлением; при малом рабочем объеме воды, находящемся под давлением, обеспечивается полная безопасность даже при очень высоком давлении; вертикальные трехпроходные монотрубные змеевиковые парогенераторы со встроенным подогревом воздуха, подаваемого на горелку [5].

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

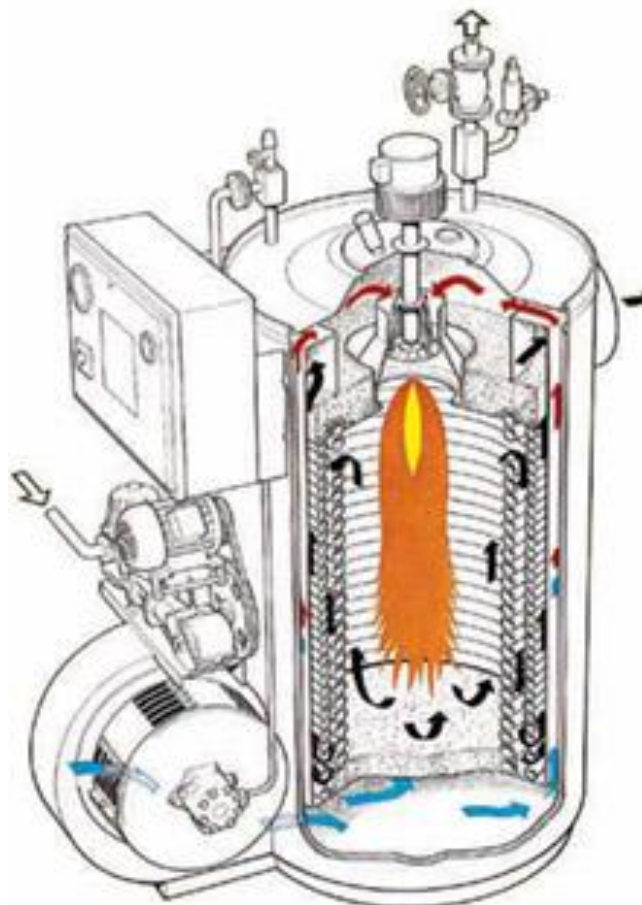


Рисунок 2 – Паровой котел змеевикового типа серии VAP производства BABCOCK WANSON

2.3. Котлы отечественных производителей

Современные котлы российского производства по своим характеристикам не уступают своим аналогам зарубежных производителей. Отечественные котлы пользуются большим спросом, как крупными предприятиями, так и небольшими хозяйствами, они обеспечивают теплом и горячей водой, используются в различных технологических процессах.

Российское котлостроение постоянно совершенствует конструкцию котлов, применяет новейшие технологии в проектировании изготовления котлов.

Отечественные производители промышленных котлов при их проектировании и производстве учитывают, прежде всего, суровые климатические условия почти всех регионов нашей страны, особенно Сибири и Дальнего Севера, применяют соответствующие материалы и механизмы и этим выгодно отличаются от зарубежных производителей.

За последние годы на российском рынке появилось большое количество котельного оборудования зарубежных марок, но котлы отечественного производства по-прежнему пользуются большим спросом. Это вызвано целым рядом объективных причин.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

16

Во-первых, импортные котлы, отличаясь современным дизайном и удобными габаритами, имеют и высокую цену монтажа и оборудования, вызванную тем, что все комплектующие таких котлов обязательно должны полностью соответствовать качеству самого котла. Применять дешевое оборудование не рекомендуется, так как это может существенно сократить срок службы всей отопительной системы.

Во-вторых, импортные котлы не могут эффективно работать в условиях нестабильной подачи топлива и требуют высокого качества питательной воды, что в свою очередь приводит к необходимости организации системы водоподготовки и, как результат, к повышению стоимости. Котлы отечественного производства способны работать на питательной воде любого качества и при нестабильной подаче топлива.

Кроме этого, российские котлы обладают рядом других преимуществ, делающих их конкурентоспособными на российском рынке:

1. низкая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами;
2. простота и удобство эксплуатации;
3. проектирование и монтаж с учетом особенностей условий эксплуатации, в том числе климатических;
4. соответствие российским нормативам и стандартам;
5. высокая ремонтпригодность;
6. надежность и возможность эксплуатации котлов дольше запланированных сроков;
7. возможность изготовления и монтажа по индивидуальным проектам;
8. возможность устранения неполадок, выявленных в процессе эксплуатации, при участии завода-изготовителя [6].

Водотрубные котлы змеевикового типа на отечественном рынке Уральского региона представлены следующими производителями: ООО «Завод паровых установок UNISTEAM» г.Миасс, ООО «Уральский завод спецтехники» г.Челябинск.

Модели серии UNISTEAM комплектуются сепаратором пара в случае необходимости получения сухого ненасыщенного пара на выходе.

Подача питательной воды для котла, а также топлива или газа происходит от источника заказчика и осуществляется путем подсоединения через удобно расположенные разъемы.

Данные производители используют комбинированные горелки: газ/дизель.

Система автоматики и интуитивного управления парогенераторов UNISTEAM позволяет полностью контролировать процесс производства пара и вести учет расходов удаленно через мобильные гаджеты на платформе iOS и Android, а также через интернет-браузеры Safari, Google Chrome, Internet Explorer [7].

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

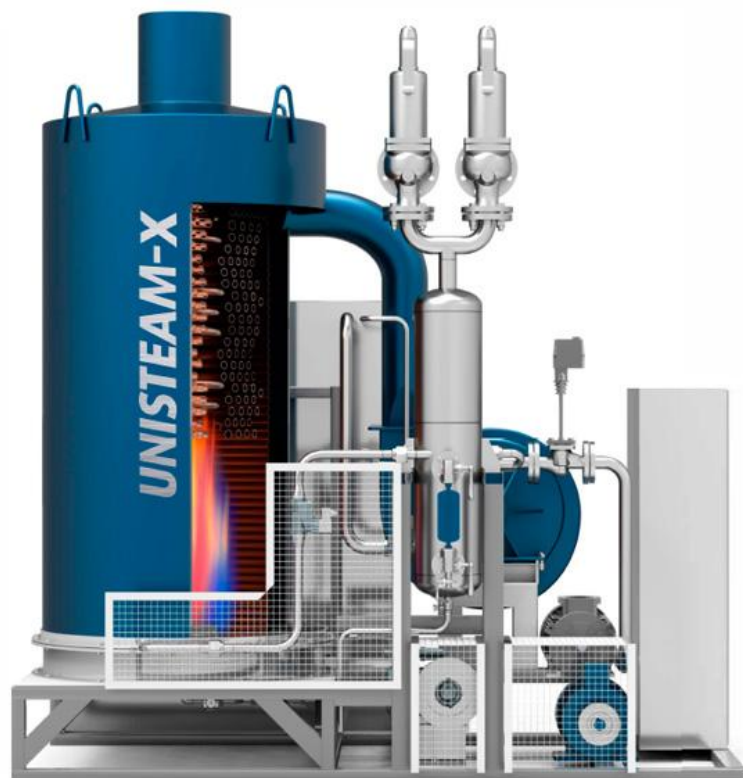


Рисунок 3 – Модуль парового котла серии UNISTEAM-X, производства ООО «Завод паровых установок UNISTEAM»

2.4 Выводы по сравнению зарубежных и отечественных аналогов

Современные отечественные производители не уступают зарубежным аналогам, стараясь соответствовать современным стандартам и требованиям потребителей.

Российские производители адаптируют оборудование по климатическим условиям, что повышает спрос. Видна тенденция по улучшению автоматики, материалов основных составляющих котлов. Производители уделяют больше внимания на используемое топливо и на воздействие парогенераторов на экологию. Использование отечественных комплектующих в котлах, облегчает замену и ремонт вышедших из строя частей. Данный момент положительно влияет на производство Российских производителей парогенераторов, т.к. зарубежные аналоги ЗИП зачастую в разы дороже по цене и сроки поставки намного дольше.

Таким образом, видны огромные перспективы в развитии отечественного рынка по производству водотрубных змеевиковых и жаротрубных парогенераторов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

18

3 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях, нормативно-законодательные акты и государственные стандарты Российской Федерации.

Базовыми источниками литературы, широко предоставляющими теоретические знания и раскрывающими методы расчетов основного и вспомогательного оборудования, послужили работы В.И. Частухина, А.К. Зыкова, Ю.М. Липова и др.

Для сравнения зарубежных и отечественных аналогов были изучены рекламные материалы и общая информация на официальных сайтах производителей паровых водотрубных котлов змеевикового типа. Также были изучены статьи в различных интернет-ресурсах (электронные журналы, каталоги, научные работы).

С целью обоснования представленных в данной работе методов энергосбережения был изучен Федеральный Закон от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». В учебных пособиях Мунц В.А. и Клименко А.В. подробно представлены факторы, увеличивающие расход топлива в котельных, а так же пути решения данных проблем.

Последовательность выполнения анализа двух вариантов источников теплоснабжения для данной работы системно представлена в работе Алабугина А.А., Алабугиной Р.А. «Экономико-управленческая часть дипломного проекта».

Для разработки раздела по безопасности жизнедеятельности были изучены основные нормативные документы по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса и по пожарной безопасности. В работе отражены конкретные аспекты из документов для данного проекта.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

4 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Для снижения затрат энергетических ресурсов применялись следующие технологии и учитывались нижеприведенные условия для энергосбережения [8-13]:

1. В качестве основного оборудования выбраны современные модели котлов, соответствующие стандартам, СН 89.13330.2012 «Котельные установки» и ФЗ № 261 «Об энергосбережении»;

2. Автоматизированное погодозависимое регулирование выработки и отпуска тепловой энергии. Обеспечивает оптимизацию затрат на выработку тепловой энергии и экономию топлива на 12 - 15% от котельных без погодозависимого регулирования;

3. Применение автоматизированных горелок, обеспечивающих КПД котлоагрегатов, не ниже 90%. Современные горелки и котлы имеют КПД 91 - 94%, против устаревших котлоагрегатов без автоматизации, имеющих КПД 75 - 80%. Современные вентиляторные горелки оптимально подходят по мощности к котлу, тем самым не затрачивая энергию на большой запас мощности.

4. В конструкции котлов, которые предусмотрены проектом, имеется воздухоподогреватель в кожухе котла. Подогретый воздух, подаваемый дутьевым вентилятором, подается напрямую в горелку. Таким образом, повышается КПД котла.

5. Потери теплоты с химической неполнотой сгорания топлива сводятся к нулю, если горелки подобраны правильно, а качество изготовления и монтаж данного оборудования высокое.

6. Частотные приводы и устройства плавного пуска на электродвигателях позволяют снизить расход электроэнергии на 25 - 30 %, а также продлить срок эксплуатации двигателя на 15 %. Применение плавного пуска позволяет защитить оборудование и трубопроводы от гидроударов;

7. Современные автоматизированные установки подготовки воды позволяют снизить размер отложений в котлах и трубопроводах, и соответственно улучшить теплосъем и теплопередачу;

8. Для предотвращения аварий в комплект обслуживающего оборудования входит передвижная экспресс-лаборатория, которая позволяет в полевых условиях контролировать качество воды;

9. Для контроля над потреблением энергоресурсов в котельной обязательно устанавливаются узлы учета;

10. Для снижения потерь в окружающую среду трубопроводы оснащены хорошей теплоизоляцией (обмуровкой), состоящей из стекловаты высокой плотности. Теплоизоляцией котла служит воздухоподогреватель, который входит в конструкцию котла (вокруг котла в кожухе);

11. Снижению потерь тепла с уходящими газами способствует удобное и простое техническое обслуживание по очистке внутренних элементов котла, увеличивая тем самым коэффициент теплопередачи от дымовых газов к воде;

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

12. Проектом предусмотрено установка двух паровых котлов одинаковой мощности. Рациональным распределением нагрузки между котлами, которые работают одновременно, можно влиять на суммарные энергетические затраты котельной, в зависимости от модели котла и производительности. Самое выгодное распределение суммарной нагрузки между котлами будет при условии равного прироста расходов топлива;

13. Эксплуатация котлов производится согласно его режимной карте, которая составляется по результатам теплотехнических испытаний. Режимная карта требуется для грамотной эксплуатации котла. В данном документе отражается информация по основным параметрам работы котла, его КПД, удельный расход топлива при различной производительности и т.д. При соблюдении режимов процесс горения является наиболее стабильным и повышается работа котла в целом;

14. Проектом предусмотрен возврат конденсата, который поступает в емкость с питательной водой, подогревая ее. Экономия отражается на затратах топлива;

15. В проекте заложена система подготовки жидкого топлива (дизельного топлива): очистка через фильтры грубой и тонкой очистки, а также подогрев. Технология позволяет улучшить теплотехнические свойства горючего вещества, предотвратить забивание форсунок. Таким образом, повышается экономичность сжигания.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ

5.1. Постановка задачи

Исследуемый паровой котел, входящий в установку КПА-500ж имеет ряд модификаций, которые активно применяются в промышленности на данный момент. Однако, изучив литературу, я пришла к выводу, что нет тепловых расчетов для данного котла, зафиксированных в официальных источниках.

Сложность данного расчета заключается в нестандартной конструкции котла, поэтому типовые расчеты не подходят для данного парогенератора.

Тепловой расчет котла может быть двух видов: конструктивный и поверочный. Конструктивный расчет для данного котла поможет определить поверхность нагрева при изменении паропроизводительности.

Поверочный расчет в свою очередь нужен для определения показателей работы котла при переходе на сжигание другого топлива, влияния этого фактора на производительность, параметры пара и как необходимо провести реконструкцию котла. Зная данные из теплового расчета рассматриваемого парового котла, можно уменьшить известные потери и предотвратить наиболее вероятные, что положительно скажется на коэффициенте полезного действия котла и всей установки в целом.

Поверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности котла при работе на заданном топливе, выявляют необходимые реконструктивные мероприятия и выбирают соответствующее вспомогательное оборудование. Полученный исходный материал применяется для следующих расчетов: аэродинамического, гидравлического, прочности труб и др.

Имея точное представление о работе данного котла, можно менять топливо и соответственно горелочное устройство, что является в свою очередь перспективой для котельных установок, в которых используются аналогичные котлы, но на жидком топливе. На данный момент нет котлов подобной конструкции, работающей на природном газе, что было бы более экономично для эксплуатирующей стороны.

5.2. Методика расчета. Результаты исследований

Методика расчета базируется на нормативном методе теплового расчета котлов. В исследуемой работе рассматривался поверочный расчет для парового котла, принятой конструкции, с заданными размерами и с изменениями нагрузки. Характеристики топлива были приняты из справочной литературы. Температуры питательной воды, пара, давление сред взяты по данным производителей подобных котлов. Температура уходящих газов принята предварительная.

В первую очередь произведены расчеты по топливу. Рассматривалось жидкое топливо в связи с повсеместным использованием данного вида горючего вещества в настоящее время в подобных установках. При заданных значениях зольности и влажности выполнен пересчет состава и теплоты сгорания топлива, задан коэф-

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

коэффициент избытка воздуха, расчет объемов воздуха и продуктов сгорания, найдены энтальпии воздуха и продукты сгорания.

Тепловой баланс парогенератора выражает количественное соотношение между поступившей в агрегат теплотой и суммой полезно использованной теплоты и тепловых потерь. Рассчитаны потери тепла по основным статьям. Вычислен коэффициент полезного действия парового котла. Для данного котла при использовании разного топлива КПД при низшей теплоте сгорания топлива составляет больше 87%, что говорит о достаточной высокой производительности агрегата по сравнению с устаревшей моделью, которая положена в основу. Расход топлива вычислен по параметрам, которые приняты по данным из справочной информации изготовителей при заданной паропроизводительности.

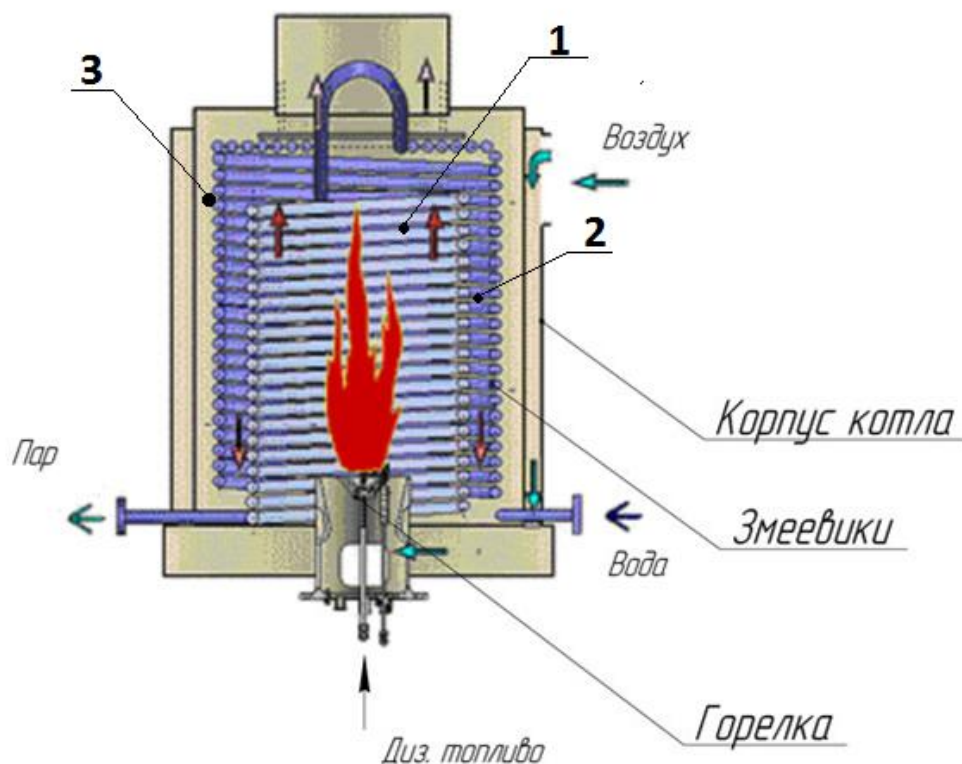


Рисунок 4 – Паровой котел змеевикового типа:
1 – топочная камера; 2 – первый газоход; 3 – второй газоход

На рисунке 4 изображена конструкция рассматриваемого парового котла змеевикового типа. Внутренний и внешний змеевики образуют пространство, по которым продукты сгорания движутся к дымовой трубе. Уходящие газы в каждом газоходе передают тепло одновременно среде, протекающей внутри змеевиков в виде жидкой и паровой фазы.

При заданных размерах топочной камеры вычисляются площади потолочной части и боковых стен, т.е. общая площадь нагрева. При рассчитанных тепловыделениях в топке и найденной соответственно адиабатической температуре в данной части котла, принимается температура газов на выходе из топки. Вычисляется лучистое тепло, воспринятое топкой. По результатам расчета для конвективного ко-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

23

личества тепла, воспринятого данной частью котла, получены малые значения, которыми можно пренебречь. Исходя из относительного расположения горелки, суммарной теплоемкости продуктов сгорания и характера распределения температуры, вычисляется теоретическая температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры.

Продукты сгорания после топочной камеры направляются в первый газоход, образованный малым и большим змеевиками. Проходя между ними, газы отдают тепло в обе стороны. Поэтому расчет данного газохода построен следующим образом:

1. Деление первого газохода относительно передачи тепла по этапам: от газов к внешней стороне внутреннего змеевика и от газов к внутренней стороне внешнего змеевика;
2. Расчет для каждого этапа производится при диапазоне двух принятых температур на выходе из данного газохода;
3. Определение количества тепла, отданного продуктами сгорания. Данное количество тепла принимается равным для каждой принимающей стороны змеевиков первого газохода;
4. Определение количества тепла, воспринятое поверхностью внешней стороной внутреннего змеевика и внутренней стороной внешнего змеевика при эквивалентном диаметре рассматриваемого газохода. Конечные результаты по данному пункту складываются для каждой принятой температуры;
5. Построение графика: $Q = f(t^{\circ}\text{C})$. На пересечении прямых, находится среднее значение температуры на выходе из газохода. На рисунке 5 изображен пример построения графика;
6. Пересчет первого газохода при найденной средней температуре по аналогичному расчету.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

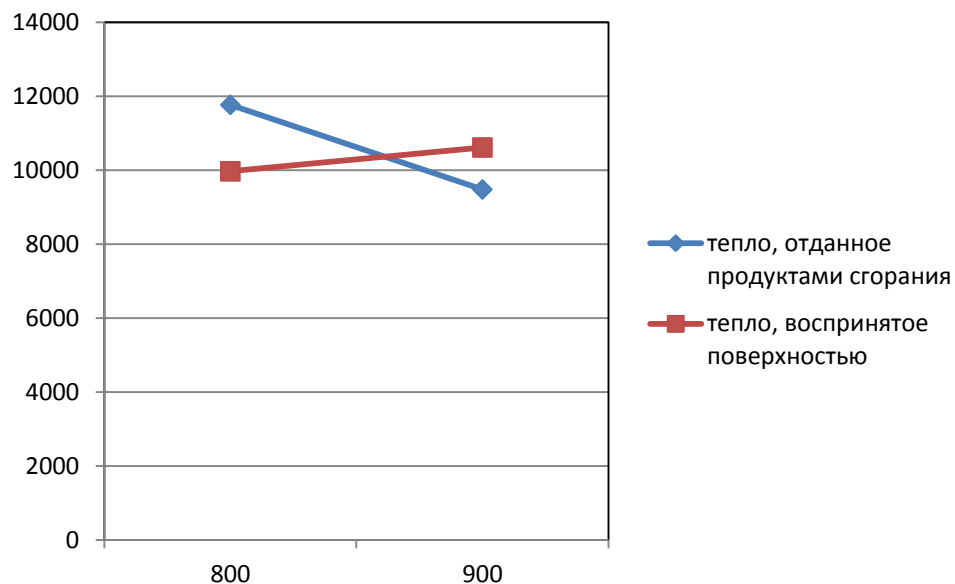


Рисунок 5 – Пример графика, отображающего среднюю температуру на выходе из газоходов

Второй газоход рассчитывается аналогично как первый, с учетом того, что входная температур уходящих газов второго хода равна выходной температуре продуктов сгорания первого газохода. Продукты сгорания после второго газохода направляются в дымовую трубу, следовательно, результатом последних вычислений является температура уходящих газов.

По данным расчета проведена невязка баланса, которая указала погрешность в 12%, что не более инженерной погрешности равной 15%.

5.3. Анализ погрешностей

При выполнении данного теплового расчета значения ряда величин, например коэффициента избытка воздуха в топке и др. принимаются ориентировочные.

Спецификой данного расчета котла является неизвестность промежуточных температур газов и рабочего тела – теплоносителя, включая температуру уходящих газов, поэтому расчет выполняют методом последовательных приближений, задаваясь в начале некоторым значением температуры уходящих из котла газов, а затем сравнивая его с результатами расчета.

Ряд конструктивных размеров определены с помощью теоретических формул, которые получены дедуктивным методом при тех или иных допущениях, относящихся к рассматриваемым величинам.

5.4. Перспективы совершенствования погрешностей

Для устранения погрешностей необходимо провести ряд экспериментов с существующей моделью парового котла для получения информации по точным размерам конструкции, температурам внутри газоходов и уходящих газов на вы-

ходе из дымовой трубы. Также необходимы точные замеры параметров входящей среды, топлива и полученного пара. Данную информацию можно получить с помощью современных устройств (термодатчики температур и давлений, газоанализаторы и т.п.), которые позволяют выдержать высокие температуры и обработать данные с наименьшей погрешностью.

5.5. Вывод

В результате научно-исследовательской работы была составлена методика теплового расчета рассматриваемой конструкции парового котла змеевикового типа для заданных нагрузки и виде топлива. Определены основные характеристики агрегата: теоретические температура уходящих газов на границах между отдельными поверхностями нагрева, расход топлива, расходы и скорости воздуха и дымовых газов, КПД котла.

Получены исходные данные, позволяющие произвести следующие этапы расчетов: аэродинамического, гидравлического, прочностного и т.д.

На основе проведенной работы применительно к конкретному котлу сделаны заключения: изменяя конструкцию котла из установки КПА-500ж можно существенно повысить эффективность парогенератора и установки в целом. Благоприятно отразится на работе установки замена жидкого топлива на газ. Данный шаг повлечет за собой некоторые конструктивные изменения, повысит КПД котла, уменьшит выбросы загрязняющих веществ, увеличит спрос среди потребителей в данной отрасли этого продукта.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

6.1 Исходные данные

Транспортабельная котельная установка (далее именуемая «котельная», «установка»), которая по проекту состоит из: водоподготовительной установки, питательной емкости, топливного бака и коммуникаций, предназначенных для выработки насыщенного пара рабочим давлением 0,78 МПа (8 кгс/см²).

Котельная может использоваться для обогрева внутренних помещений и иных технологических нужд, а так же как самостоятельно работающая установка.

Установка может эксплуатироваться в условиях холодного климата (температура наружного воздуха до –50°С). Для расчета приняты исходные данные, которые будут основными показателями работы для проектируемой транспортабельной котельной. Исходные данные для котла отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения
Паропроизводительность котла	D	1,5	т/ч
		0,417	кг/с
Давление пара на выходе из котла	P	0,8	МПа
Температура питательной воды	$t_{пв}$	30	°С
Температура подсасываемого воздуха	t_{yx}	40	°С
Вид топлива	Дизельное		
Длина котла	L_k	1,537	м
Диаметр котла (с изоляцией)	D_k	0,918	м
Энтальпия насыщенного пара	i''	2773,25	кДж/кг
Энтальпия питательной воды	$i'_{пв}$	125,7	кДж/кг
Температура кипения при соответствующем давлении	t_s	169,61	°С
Температура холодного воздуха с улицы	$t_{воз}$	-25	°С
Температура пара на выходе из котла	$t_{пар}$	174,5	°С

Целью теплового поверочного расчета является определение температуры воды, воздуха и продуктов сгорания на границах между поверхностями нагрева на выходе из котла, коэффициент полезного действия котла, расход топлива. В результате расчета получают исходные данные, необходимые для выбора вспомогательного оборудования и выполнения гидравлических, аэродинамических и прочностных расчетов.

Расчетные характеристики топлива (дизель):

теплотворная способность – $Q_H^p = 42700 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

В таблице 3 представлен расчетный состав топлива [14].

Таблица 3 – Расчетный состав топлива

C_p	H_p	S_p	N_p	O_p	A_p	W_p
86,3	13,3	0,3	0,03	0,07	0	0

6.2 Расчет объемов продуктов сгорания топлива

Теоретический объем воздуха при коэффициенте расхода воздуха $\alpha=1,15$ для жидкого топлива:

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C_p + 0,375 \cdot S_p) + 0,265 \cdot H_p - 0,0333 \cdot O_p, \quad (1)$$

Теоретический объем продуктов сгорания топлива при $\alpha=1,15$:

1. Объем двухатомных газов:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_p, \quad (2)$$

2. Объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C_p + 0,375 \cdot S_p), \quad (3)$$

3. Объем водяных паров:

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 \cdot H_p + 0,0124 \cdot W_p + 0,016 \cdot V_0, \quad (4)$$

Определим объем продуктов сгорания, объемные доли трехатомных газов и другие характеристики продуктов сгорания в поверхностях нагрева.

Действительный объем водяных паров:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_0, \quad (5)$$

Действительный объем продуктов сгорания:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (1 + 1,6 \cdot 0,01) \cdot (\alpha - 1) \cdot V_0, \quad (6)$$

Объемная доля водяных паров в продуктах сгорания:

$$\Gamma_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_r}, \quad (7)$$

Объемная доля трехатомных газов:

$$\Gamma_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\Gamma}}, \quad (8)$$

Суммарная доля водяных паров и трехатомных газов:

$$\Gamma_n = \Gamma_{\text{H}_2\text{O}} + \Gamma_{\text{RO}_2}, \quad (9)$$

Результаты расчетов объемов продуктов сгорания топлива занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Объемы продуктов сгорания топлива

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения
Коэффициент расхода воздуха	α	1,15	-
Теоретический объем воздуха	V^0	11,204	м ³ /кг
Объем трехатомных сухих газов	V_{RO_2}	1,612	м ³ /кг
Объем водяных паров	$V_{\text{H}_2\text{O}}^0$	1,656	м ³ /кг
Действительный объем водяных паров	$V_{\text{H}_2\text{O}}$	1,683	м ³ /кг
Объем азота	$V_{\text{N}_2}^0$	8,852	м ³ /кг
Действительный объем продуктов сгорания	V_{Γ}	13,827	м ³ /кг
Объемная доля водяных паров в продуктах сгорания	$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	0,122	-
Объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания	Γ_{RO_2}	0,117	-
Суммарная доля водяных паров и трехатомных газов	Γ_n	0,238	-

6.3 Расчет энтальпий продуктов сгорания топлива и воздуха

Теплосодержание продуктов сгорания обозначается I_{Γ} , кДж/кг, кДж/м³. Данные расчета теоретических энтальпий при постоянном значении коэффициента расхода воздуха занесены в таблицу 8. В общем случае:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + I_{\text{B}}^0 \cdot (\alpha - 1), \quad (10)$$

$$I_{\Gamma}^0 = I_{\text{RO}_2}^0 + I_{\text{H}_2\text{O}}^0 + I_{\text{N}_2}^0, \quad (11)$$

Где I_{Γ}^0 и I_{B}^0 - теоретические теплосодержания газов и воздуха, кДж/кг.

$$I_{\text{RO}_2}^0 = V_{\text{RO}_2} \cdot (c\vartheta)_{\text{RO}_2}, \quad (12)$$

$$I_{\text{H}_2\text{O}}^0 = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (13)$$

$$I_{\text{N}_2}^0 = V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{N}_2}, \quad (14)$$

где c_{RO_2} , $c_{\text{H}_2\text{O}}$, c_{N_2} , c_{B} - теплоемкости трехатомных газов, водяных паров, азота и холодного воздуха (при температуре t_{XB}) и постоянном давлении (равному атмосферному), кДж/кг;

ϑ - температура газов, °С.

Теплосодержание воздуха, кДж/кг:

$$I_{\text{B}}^0 = V^0 \cdot (c \cdot t)_{\text{B}}, \quad (15)$$

Результаты по расчету энтальпий продуктов сгорания топлива и воздуха представлены в приложении А [14].

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

6.4 Тепловой баланс котла

Составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел количества тепла, называемым располагаемым теплом Q_p' , и суммой полезно использованного тепла Q_1 и тепловых потерь Q_2, Q_3, Q_5 . На основании теплового баланса вычисляется коэффициент полезного действия и необходимый расход топлива при сжигании 1 кг жидкого топлива при 0°C и 760 мм. рт. ст.

Формулы, результаты расчета и примечания по расчетным или принятым данным сведены в таблицу 5 [14].

Таблица 5 – Тепловой баланс котла

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула или примечание
Низшая теплота сгорания топлива	Q_p^p	42700	кДж/кг	справочное значение
Температура топлива	$t_{тл}$	20	°С	Задается по рекомендуемым справочным значениям
Теплоемкость топлива	$C_{тл}$	2,1	кДж/м ³	Задается по рекомендуемым справочным значениям
Физическое тепло топлива	$Q_{тл}$	42	кДж/кг	$t_{тл} \cdot c_{тл}$
Располагаемое тепло топлива на рабочую массу	Q_p^p	42742	кДж/кг	$Q_n + Q_{тл}$
Энтальпия уходящих газов	I_{yx}	4840,97	кДж/кг	Из приложения А
Энтальпия холодного воздуха	$I_{хв}$	584,40	кДж/кг	Из приложения А
Потери тепла с уходящими газами	q_2	9,75	%	$(I_{yx} - \alpha \cdot I_{хв}) \times 100 / Q_p^p$
Потери тепла от химического недожога	q_3	0,50	%	Задается по рекомендуемым справочным значениям
Потери тепла от наружного охлаждения	q_5	1,00	%	Задается по рекомендуемым справочным значениям

Продолжение таблицы 5

Коэффициент полезного действия	η	88,75	%	$(100 - q_2 - q_3 - q_5)$
		0,887	в долях	
Расход топлива	В	0,026	кг/с	$D \cdot (i'' - i'_{пв}) / Q_p^p$
		61,94	кг/ч	
Коэффициент сохранения теплоты	φ	0,9889	-	$1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}$

Исходя из теплового расчета котла по заданным параметрам, коэффициент полезного действия составляет 88,75%, что указывает на более высокую производительность агрегата по сравнению с исходным вариантом котла, который входил в состав паровой установки КПА-500ж. Подобный результат указывает на эффективность всех изменений в конструкции котла, которые предложены в данном проекте.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.01.2017.027.05 ПЗ					32

6.5 Тепловой расчет топочной камеры

Задача теплового расчета топочной камеры заключается в определении ее тепловосприятости, размеров необходимой лучевоспринимающей поверхности экранов и объема топки, обеспечивающих снижение температуры продуктов сгорания до заданного значения.

Передача теплоты экранам топочной камеры происходит главным образом за счет излучения высокотемпературного ядра факела, а также раскаленных золовых частиц и трехатомных газов и двухатомных газов, заполняющих топочный объем.

Общее количество переданной теплоты в топке определяется разностью между полезным тепловыделением в зоне горения и энтальпией газов на выходе из топки [15].

Расчет топочной камеры с используемыми формулами занесен в таблицу 6.

Таблица 6 – Тепловой расчет топочной камеры

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Диаметр камеры сгорания	d_T	0,574	м	Принятые данные для конструкции котла
Высота топки	L_T	1,4	м	Принятые данные для конструкции котла
Объем топки	V_T	0,36	$м^3$	$0,785 \cdot d_T^2 \cdot L_T$
Диаметр крышки (потолочной части)	$d_{пт}$	0,802	м	Принятые данные для конструкции котла
Диаметр дымовой трубы	$d_{д.т.}$	0,3	м	Принятые данные для конструкции котла
Площадь потолочной части	$F_{пт}$	0,44	$м^2$	$0,785 \cdot (d_{пт}^2 - d_{д.т.}^2)$
Площадь боковых стен	$F_{бок}$	2,52	$м^2$	$3,14 \cdot d_T \cdot L_T$
Общая площадь нагрева	F_{Σ}	2,96	$м^2$	$F_{пт} + F_{бок}$
Физическое тепло воздуха при $(c_v)_в = 65,54$ кДж/кг ($30^{\circ}C$)	Q_v	75,37	кДж/кг	$65,54 \cdot \alpha$

Продолжение таблицы 6

Тепловыделение в топке	Q_T	42603,66	кДж/кг	$\left[Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3}{100} \right] + Q_B$
Адиабатическая температура горения в топке (по Q_T)	$\vartheta_{ад}$	1877	°С	По приложению А
Температура газов на выходе из топки (предварительно)	T_T	1300	°С	задается
Энтальпия газов на выходе из топки (по T_T)	Γ''_T	28340,85	кДж/кг	По приложению А
Эффективная температура топочной среды	T_ϕ	1701,08	К	$0,925 \times \sqrt{[(\vartheta_{ад} + 273) \cdot (T_T + 273)]}$
Степень экранирования топочной камеры	χ	1	-	задается
Лучевоспринимающая поверхность стен топочной камеры	$H_{л}$	2,96	м ²	$\chi \cdot F_\Sigma$
Коэффициент излучения абсолютно черного тела	σ_0	5,67	$\times 10^{-11}$ Т/(м ² К ⁴)	справочное значение
Эффективная поглощательная способность жаровой трубы	ал	0,88	-	задается
Видимое тепловое напряжение топочного объема	q_F	3043,58	кВт/м ³	$\frac{B \cdot Q_H}{V_T}$
Коэффициент заполнения топки светящейся частью факела (по qv)	m	1	-	задается
Эффективная толщина излучающего слоя топки	s	0,44	м	$3,6 \cdot \frac{V_T}{F_\Sigma}$
Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами	k_c	1,72	1/(МПа)	$1,2 \cdot \left[\left(\frac{C_p}{H_p} \right)^{0,4} \right] \times \left[1,6 \cdot \frac{T_T}{1000} - 0,5 \right] \div (1 + \alpha^2)$

Продолжение таблицы 6

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Коэффициент ослабления лучей газовой средой	$k_{г-тн}$	3,60	1/(МПа)	$\left[\frac{(7,8 + 16 \cdot r_{H2O})}{(10 \cdot 0,1 \cdot r_n \cdot s)^{0,5}} - 1 \right] \times$ $\times \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_T}{1000} \right) \cdot r_n$
Коэффициент ослабления лучей светящейся частью факела	$k_{св}$	5,32	1/(МПа)	$k_c + k_T \cdot r_n$
Степень черноты светящейся части факела	$a_{св}$	0,21	-	$1 - e^{(-k_{св} \cdot 0,1 \cdot s)}$
Степень черноты несветящейся части факела	a_T	0,15	-	$1 - e^{(-k_T \cdot r_n \cdot 0,1 \cdot s)}$
Эффективная степень черноты факела	a_ϕ	0,21	-	$m \cdot (a_{св} - a_T) + a_T$
Приведенная степень черноты топочной камеры	a_k	0,20	-	$\frac{1}{1/\alpha_L + \chi \cdot \left[\left(1/\alpha_\phi \right) - 1 \right]}$
Средняя температура среды	$T_{ср}$	442,61	К	$t_s + 273$
Лучистое тепло, воспринятое топкой	Q_L	11011,16	кДж/кг	$\frac{\sigma_0 \cdot 10^{-11} \cdot \alpha_k \cdot H_L \cdot (T_\phi^4 - T_{ср}^4)}{B}$
Площадь сечения топки	$F_{сеч}$	0,26	м ²	$\frac{3,14 \cdot d_T^2}{4}$
Скорость газов в топке	$\tilde{\omega}$	0,55	м/с	$\frac{\alpha \cdot V_0 \cdot B \cdot 0,1 \cdot T_\phi}{(273 \cdot 1,47) \cdot F_{сеч}}$
Физические характеристики дымовых газов среднего состава	$\nu \cdot 10^6$	263,7	м ² /с	задается
	$\lambda \cdot 100$	14,6	Вт/(м·К)	
	Pr	0,5376	-	

Окончание таблицы 6

Коэффициент теплоотдачи конвекцией в топке	$a_{тк}$	0,000003 3	-	$\left(0,023 \cdot \lambda \cdot \frac{100}{d_t}\right) \times$ $\times \left(\frac{\tilde{\omega} \cdot d_t}{(v \cdot 10^6)^{0,8}}\right) \times (Pr^{0,4})$
Конвективное количество тепла, воспринятое топочной камерой	Q_k	0,48	кДж/кг	$\frac{\alpha_k^T \cdot F_{\Sigma} \cdot (T_{\phi} - T_{cp})}{B}$
Коэффициент сохранения тепла	ψ	0,99	-	$1 - [q_5 / (\eta - q_5)]$
Суммарная теплоемкость продуктов сгорания	V_{cp}^c	24,72	кДж/(кг ⁰ С)	$\frac{Q_T - I''_T}{\vartheta_{ад} - T_T}$
Средний коэффициент тепловой эффективности экранов	ϕ_{cp}	0,55	-	$0,55 \cdot \frac{H_L}{F_{\Sigma}}$
Относительное расположение горелки	X	0,00	м	задается (по расположению горелок)
Параметр М, учитывающий характер распределения температуры	M	0,50	-	$0,5 + X$
Температура на выходе из топки	ν''_T	1306,43	°С	$\left(\frac{\vartheta_a}{M \cdot \left(\frac{5,67 \cdot \phi_{cp} \cdot F_{\Sigma} \cdot \alpha_T \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \phi \cdot B_p \cdot V_{cp}^c} \right)^{0,6} + 1} \right) - 273$
Энтальпия газов на выходе из топки (по ν''_T)	I''_T	28484,30	кДж/кг	По приложению А
Тепловосприятие в топке по балансу	Q_6	14100,27	кДж/кг	$\phi \cdot (Q_T - I''_T)$
Точка росы (при $Ar=0$)	t_p	207,92	°С	$t_s + 2000 \cdot \sqrt[3]{\frac{S_p}{Q_H}}$

По расчету на выходе из топочной камеры температура газов составляет 1306,43°С. Выполняется условие, согласно которому разница между заданной (по расчету предварительная температура на выходе из топочной камеры была принята 1300°С) и полученной температурами должна быть не более ±100°С.

6.6 Расчет первого газохода

Тепловому расчету теплообменных поверхностей предшествует распределение тепловосприятий по поверхностям нагрева, в результате чего оцениваются параметры теплообменивающихся сред на границах поверхностей. Эти данные в дальнейшем используются для нахождения температурных напоров и расчета теплообмена в поверхностях нагрева.

Расчет тепловосприятия поверхностей и распределение теплоты между отдельными пакетами производится для известной (в данном случае принятой) компоновки проектируемого котла конструкции его узлов и должны обеспечивать надежную и экономичную работу.

Тепловая схема котла отражает наличие теплообменных поверхностей или их ступеней, последовательность их включения по газовому тракту, взаимное движение сред в поверхностях, расположение узлов регулирования, обводных трактов, а также температуры сред на границах поверхностей и их тепловосприятия.

Для расчета тепловосприятий используются уравнения теплового баланса отдельных поверхностей. Проверка правильности распределения тепловосприятий осуществляется сведением общего теплового баланса котла [15].

Порядок расчета описан в главе 5, п. 5.2. Результаты расчета первого газохода, где рассматривается передача тепла от газов к внешней стороне внутреннего змеевика, с формулами сведены в таблицу 7.

Таблица 7– Расчет первого газохода (передача тепла от газов к внешней стороне внутреннего змеевика)

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Диаметр наружный	$D_{нар}$	0,746	м	Принятые данные для конструкции котла
Диаметр внутренний	$d_{вн}$	0,63	м	Принятые данные для конструкции котла
Площадь живого сечения для прохода газов в 1 ходе	$F_{сеч}$	0,125	м ²	$\frac{3,14}{4} \cdot (D_{нар}^2 - d_{вн}^2)$
Длина наружный змеевик	$L_{нар}$	135,8	м	Принятые данные для конструкции котла
Длина внутренний змеевик	$L_{вн}$	99,2	м	Принятые данные для конструкции котла

Продолжение таблицы 7

Число витков в наружном змеевике	$n_{нар}$	58	шт	$\frac{L_{нар}}{3,14 \cdot D_{нар}}$
Число витков во внутреннем змеевике	$n_{вн}$	50	шт	$\frac{L_{вн}}{3,14 \cdot d_{вн}}$
Диаметры труб	$d_{труб}$	0,028	м	Принятые данные для конструкции котла
Высота наружного змеевика	$h_{нар}$	1,62	м	$n_{нар} \cdot d_{труб}$
Высота внутреннего змеевика	$h_{вн}$	1,40	м	$n_{вн} \cdot d_{труб}$
Температура газов на выходе	$t_{вых.1г}$		°C	задаемься
	800	900		
Средняя температура газов	$t_{ср}$	850	°C	среднее по предыдущим значениям
Энтальпия газов на выходе (по таблице энтальпий)	$I_{вых.1г}$		кДж/кг	По приложению А
	16585,54	18898,87		
Разница температур	Δt_6	1136,82	°C	$\vartheta''_T - t_s$
	Δt_M	625,5		$t_{вых.1г}^1 - t_{п}$
	Δt_M	725,5		$t_{вых.1г}^2 - t_{п}$
Температурный напор	Δt		°C	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}$
	856,8169	916,848		
Определение количества теплоты, отданной продуктами сгорания	Q_6		кДж/кг	$\varphi \cdot (I''_T - I_{вых}^{1г} + \alpha \cdot 0)$
	11766,18	9478,624		
Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе	$w_{г1}$		м/с	$\frac{V_r \cdot B \cdot (t_{ср} + 273)}{F_{сеч} \cdot 273}$
	11,72			
Эквивалентный диаметр	$d_{экв}$	0,70	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
a_n	21,4		Вт/(м ² ×К)	по номограмме 1 [14]
l/d	2,17		-	
C_l	1,80		-	
C_ϕ	0,76		-	
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	29,2752	-	$\alpha_n \cdot C_l \cdot C_\phi$

Окончание таблицы 7

Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{эф}$	0,753	М	$\frac{3,6 \cdot F_{сеч} \cdot \omega_{г1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{вн} + D \cdot H_{нар}) + F_{пт}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_{г}$	4,2	-	*
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{зл}$	0,0	-	**
Суммарная оптич. толщина	k_{ps}	0,075	-	$s_{эф} \cdot k_{г} \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,073	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	$\alpha_{л}$	7,21	Вт/(м ² ×К))	***
Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	34,66	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_{л})$
Коэффициент теплопередачи	K	20,80	Вт/(м ² ×К))	$0,6 \cdot \alpha_1$
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	4844,704	5184,138		

* - $k_{г} = \left(\frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H2O}}{\sqrt{p \cdot r_n \cdot s}} - 0,1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_{ср}}{1000} \right)$, где $p = 0,1$;

** - $k_{зл} = \frac{4300 \cdot 1,3}{\sqrt[3]{T^2 \cdot d_{зл}^2}}$, для жидкого топлива $k_{зл} = 0$;

*** - $\alpha_{л} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot \alpha \cdot T_{ср}^3 \cdot \left(\frac{1 - \left(\frac{T_s}{T_{ср}} \right)^4}{1 - \frac{T_s}{T_{ср}}} \right)$;

**** - $S = 3,14 \cdot (d \cdot h_{вн} + D \cdot H_{нар}) + F_{пт}$.

Результаты расчета первого газохода, где рассматривается передача тепла от газов к внутренней стороне внешнего змеевика, с формулами сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет первого газохода (передача тепла от газов к внутренней стороне внешнего змеевика)

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Диаметр наружный	$D_{нар}$	0,746	м	Принятые данные для конструкции котла
Диаметр внутренний	$d_{вн}$	0,63	м	Принятые данные для конструкции котла
Площадь живого сечения для прохода газов в 1 ходе	$F_{сеч}$	0,125	$м^2$	$\frac{3,14}{4} \cdot (D_{нар}^2 - d_{вн}^2)$
Длина наружный змеевик	$L_{нар}$	135,8	м	Принятые данные для конструкции котла
Длина внутренний змеевик	$L_{вн}$	99,2	м	Принятые данные для конструкции котла
Число витков в наружном змеевике	$n_{нар}$	58	шт	$\frac{L_{нар}}{3,14 \cdot D_{нар}}$
Число витков во внутреннем змеевике	$n_{вн}$	50	шт	$\frac{L_{вн}}{3,14 \cdot d_{вн}}$
Диаметры труб	$d_{труб}$	0,028	м	Принятые данные для конструкции котла
Высота наружного змеевика	$h_{нар}$	1,62	м	$n_{нар} \cdot d_{труб}$
Высота внутреннего змеевика	$h_{вн}$	1,40	м	$n_{вн} \cdot d_{труб}$
Температура газов на выходе	$t_{вых.1г}$		°C	задаемься
	800	900		
Средняя температура газов	$t_{ср}$	850	°C	среднее по предыдущим значениям
Энтальпия газов на выходе (по таблице энтальпий)	$I_{вых.1г}$		кДж/кг	По приложению А
	16585,54	18898,87		
Разница температур	Δt_6	1136,82	°C	$\vartheta_T'' - t_s$
	Δt_M	770		$t_{вых.1г}^1 - t_{пв}$
	Δt_M	870		$t_{вых.1г}^2 - t_{пв}$

Продолжение таблицы 8

Температурный напор	Δt		°C	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$
	942,6	998,6		
Определение количества теплоты, отданной продуктами сгорания	Q_6		кДж/кг	$\varphi \cdot (I'' - I_{\text{ВЫХ}}^{1\Gamma} + \alpha \cdot 0)$
	11766,18	9478,624		
Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе	$w_{\Gamma 1}$		м/с	$\frac{V_{\Gamma} \cdot B \cdot (t_{\text{ср}} + 273)}{F_{\text{сеч}} \cdot 273}$
	11,72			
Эквивалентный диаметр	$d_{\text{ЭКВ}}$	0,70	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
a_n	21,4		Вт/(м ² ×К)	по номограмме [14]
l/d	2,17		-	
C_1	1,80		-	
C_{ϕ}	0,76		-	
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	29,2752	-	$\alpha_n \cdot c_l \cdot c_{\phi}$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{\text{эф}}$	0,753	м	$\frac{3,6 \cdot F_{\text{сеч}} \cdot \omega_{\Gamma 1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{\text{ВН}} + D \cdot H_{\text{нап}}) + F_{\text{ПТ}}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_{Γ}	4,2	-	*
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{ЗЛ}}$	0,0	-	**
Суммарная оптич. толщина	k_{ps}	0,075	-	$s_{\text{эф}} \cdot k_{\Gamma} \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,073	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	$\alpha_{\text{л}}$	7,21	Вт/(м ² ×К))	***
Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	34,66	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_{\text{л}})$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

41

Окончание таблицы 8

Коэффициент теплопередачи	К	20,80	Вт/(м ² ×К))	$0,6 \cdot \alpha_1$
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	5329,7	5646,35		

Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностью, для каждого крайнего значения из диапазона заданных температур для данного газохода, рассчитано и отображено в таблице 9.

Таблица 9 – Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностью

Наименование параметра	Обозначение и значение параметра		Единица измерения	Формула
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	ΣQ_2		кДж/кг	$Q_1^1 + Q_1^2$
	10174,4	10830,48		

По графику, изображенному на рисунке 6, находим усредненное значение температуры горячих газов на выходе из первого газохода.

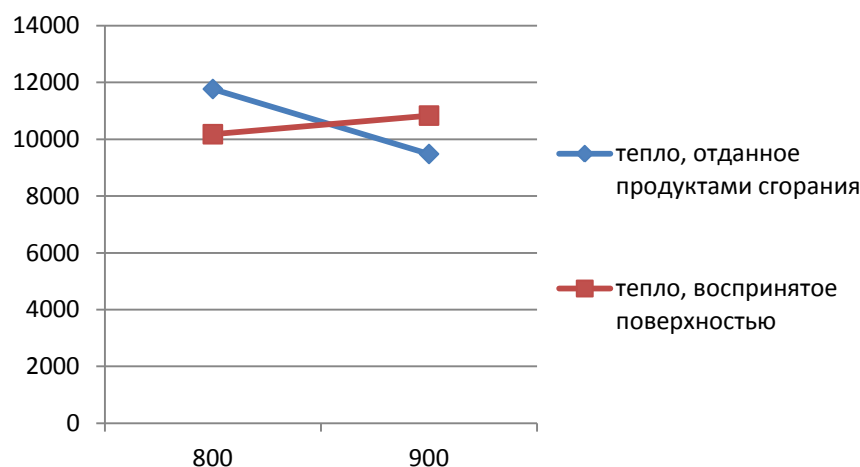


Рисунок 6 – Нахождение усредненного значения температуры на выходе из первого газохода

При найденном значении температуры на выходе из первого газохода необходимо повторить расчет. В таблице 10 занесен расчет общих коэффициентов для каждой принимающей стороны первого газохода по усредненному значению температуры на выходе.

Таблица 10 – Расчет первого газохода по усредненному значению температуры на выходе

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Температура газов на выходе	ϑ_1''	850	°С	Найдено по графику
Энтальпия газов на выходе (по таблице энтальпий)	$I_{\text{вых.1Г}}$	17742,21	кДж/кг	По приложению А
Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе	$w_{Г1}$	11,72	м/с	$\frac{V_{Г} \cdot B \cdot (t_{\text{ср}} + 273)}{F_{\text{сеч}} \cdot 273}$
Эквивалентный диаметр	$d_{\text{эkv}}$	0,70	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
Коэффициенты	a_n	21,5	Вт/(м ² ×К)	по номограмме [14]
	l/d	2,17	-	
	C_l	1,75	-	
	C_{ϕ}	0,76	-	
Коэффициент, теплоотдачи конвекцией	α_k	28,6	-	$\alpha_n \cdot C_l \cdot C_{\phi}$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{\text{эф}}$	0,753	м	$\frac{3,6 \cdot F_{\text{сеч}} \cdot \omega_{Г1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{\text{вн}} + D \cdot H_{\text{нар}}) + F_{\text{пт}}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_{Г}$	4,2	-	*
Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зл}}$	0,0	-	**
Суммарная оптическая толщина	k_{ps}	0,075	-	$S_{\text{эф}} \cdot k_{Г} \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,073	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	$\alpha_{\text{л}}$	7,21	Вт/(м ² ×К))	***

Продолжение таблицы 10

Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	34,02	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_l)$
Коэффициент теплопередачи	К	20,41	Вт/(м ² ×К)	$0,6 \cdot \alpha_1$

В таблицах 11 и 12 занесены значения пересчетов при передаче тепла к разным поверхностям внутреннего и внешнего змеевиков. Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностью, посчитано и занесено в таблицу 13.

Таблица 11 – Расчет для первого газохода при передаче тепла к внешней стороне внутреннего змеевика

Разница температур	Δt_6	1136,82	°С	$\vartheta_T'' - t_s$
	Δt_M	675,5		$t_{\text{ВЫХ.1Г.}} - t_{\text{П}}$
Температурный напор	Δt		°С	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}$
	887,24			
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	4923,19			

Таблица 12– Расчет для первого газохода при передаче тепла к внутренней стороне внешнего змеевика

Разница температур	Δt_6	1136,82	°С	$\vartheta_T'' - t_s$
	Δt_M	820		$t_{\text{ВЫХ.1Г.}} - t_{\text{ПВ}}$
Температурный напор	Δt		°С	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}$
	970,89			
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	5387,38			

Таблица 13 – Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностями

Наименование параметра	Обозначение и значение параметра	Единица измерения	Формула
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	ΣQ_2	кДж/кг	$Q_1^1 + Q_1^2$
	10310,57		

6.7 Расчет второго газохода

Расчет второго газохода составляется аналогично по расчету для первого. В данном случае рассматривается передача тепла от газов к внешней стороне внешнего змеевика и от газов к воздуху, который проходит между двойными стенками кожуха, которые образуют подобие теплообменника.

В таблицы 14 и 15 занесены результаты расчета второго газохода при предварительных температурах уходящих газов.

Таблица 14 – Расчет второго газохода (при передаче тепла от газов к внешней стороне внешнего змеевика)

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Диаметр наружный (без воздухоподогревателя)	$D_{нар}$	0,84	м	Принятые данные для конструкции котла
Диаметр внутренний (змеевик наружный)	$d_{вн}$	0,81	м	Принятые данные для конструкции котла
Площадь живого сечения для прохода газов в 2 ходе	$F_{сеч}$	0,039	м ²	$\frac{3,14}{4} \cdot (D_{н}^2 - d_{вн}^2)$
Высота кожуха	$h_{кож}$	1,534	м	Принятые данные для конструкции котла
Температура газов на выходе	$t_{вых.2г}$		°С	задается
	200	250		
Средняя температура газов	$t_{ср}$	225	°С	среднее по предыдущим значениям
Энтальпия газов на выходе	$I_{вых.2г}$		кДж/кг	по приложению А
	3842,77	4840,96		
Разница температур	Δt_6	820	°С	$\vartheta_1'' - t_{пв}$
	Δt_m	30,39		$t_{вых.1г}^1 - t_s$
	Δt_m	80,39		$t_{вых.1г}^2 - t_s$
Температурный напор	Δt		°С	$\frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$
	239,9	318,82		
Определение количества теплоты, отданной продуктами сгорания	Q_6		кДж/кг	$\varphi \cdot (I_{вых}^{1г} - I_{вых}^{2г} + \alpha \cdot 0)$
	13744,6	12757,5		
Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе	$w_{г1}$		м/с	$\frac{V_{г} \cdot B \cdot (t_{ср} + 273)}{F_{сеч} \cdot 273}$
	16,75			

Продолжение таблицы 14

Эквивалентный диаметр	$d_{\text{экв}}$	0,82	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
a_H		27,5	Вт/(м ² ×К)	по номограмме [14]
l/d		1,87	-	
C_1		2,2	-	
C_ϕ		1,15	-	
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	69,57	-	$\alpha_H \cdot C_l \cdot C_\phi$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{\text{эф}}$	0,026	м	$\frac{3,6 \cdot F_{\text{сеч}} \cdot \omega_{\Gamma 1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{\text{вн}} + D \cdot h_{\text{кож}}) + F_{\text{пт}}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_Γ	31,7	-	*
Коэффициент ослабления лучей зольевыми частицами	$k_{\text{зл}}$	0,0	-	**
Суммарная оптич. толщина	k_{ps}	0,02	-	$S_{\text{эф}} \cdot k_\Gamma \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,02	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	α_l	0,33	Вт/(м ² ×К))	***
Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	66,41	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_l)$
Коэффициент теплопередачи	K	39,85	Вт/(м ² ×К))	$0,6 \cdot \alpha_1$
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	3027,7	4023,87		

Таблица 15 – Расчет второго газохода (от газов к воздуху)

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Диаметр наружный (воздухоподогревателя)	$D_{нар}$	0,84	м	Принятые данные для конструкции котла
Диаметр внутренний (воздухоподогревателя)	$d_{вн}$	0,81	м	Принятые данные для конструкции котла
Площадь живого сечения для прохода воздуха в воздухоподогревателе	$F_{сеч}$	0,039	$м^2$	$\frac{3,14}{4} \cdot (D_{н}^2 - d_{вн}^2)$
Высота кожуха	$h_{кож}$	1,534	м	Принятые данные для конструкции котла
Температура газов на выходе	$t_{вых.2г}$		°C	задаемься
	200	250		
Средняя температура газов	$t_{ср}$	225	°C	среднее по предыдущим значениям
Энтальпия газов на выходе	$I_{вых.2г}$		кДж/кг	по приложению А
	3842,77	4840,96		
Разница температур	Δt_{δ}	810	°C	$\vartheta_1'' - t_{пв}$
	$\Delta t_{м}$	225		$t_{вых.2г.}^1 - t_{воз}$
	$\Delta t_{м}$	275		$t_{вых.2г.}^2 - t_{воз}$
Температурный напор	Δt		°C	$\frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}}$
	457,211	495,81		
Определение количества теплоты, отданной продуктами сгорания	Q_{δ}		кДж/кг	$\varphi \cdot \left(I_{вых}^{1г} - I_{вых}^{2г} + \alpha \cdot 0 \right)$
	13744,6	12757,5		
Средняя скорость продуктов сгорания в воздухоподогревателе	$w_{г1}$		м/с	$\frac{V_{г} \cdot V \cdot (t_{ср} + 273)}{F_{сеч} \cdot 273}$
	16,75			
Эквивалентный диаметр	$d_{экр}$	0,82	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
$a_{н}$	27,5		Вт/($м^2 \times K$)	по номограмме [14]
l/d	1,87		-	
C_1	2,2		-	
C_{ϕ}	1,15		-	

Продолжение таблицы 15

Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	69,57	-	$\alpha_H \cdot C_l \cdot C_\Phi$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{эф}$	0,026	м	$\frac{3,6 \cdot F_{сеч} \cdot \omega_{Г1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{вн} + D \cdot h_{кож}) + F_{пт}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_Γ	31,7	-	*
Коэффициент ослабления лучей зольевыми частицами	$k_{зл}$	0,0	-	**
Суммарная оптическая толщина	kps	0,02	-	$s_{эф} \cdot k_\Gamma \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,02	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	α_l	0,33	Вт/(м ² ×К)	***
Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	66,41	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_l)$
Коэффициент теплопередачи	K	39,85	Вт/(м ² ×К)	$0,6 \cdot \alpha_1$
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	5770,45	6257,56		

Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностью, для каждого крайнего значения из диапазона заданных температур для второго газохода, рассчитано и отображено в таблице 16.

Таблица 16 – Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностью

Наименование параметра	Обозначение и значение параметра		Единица измерения	Формула
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	ΣQ_2		кДж/кг	$Q_2^1 + Q_2^2$
	8798,15	10281,4		

На рисунке 7 изображен график, по которому находится усредненное значение температуры дымовых газов на выходе из второго газохода, что является температурой уходящих газов на входе в дымовую трубу.

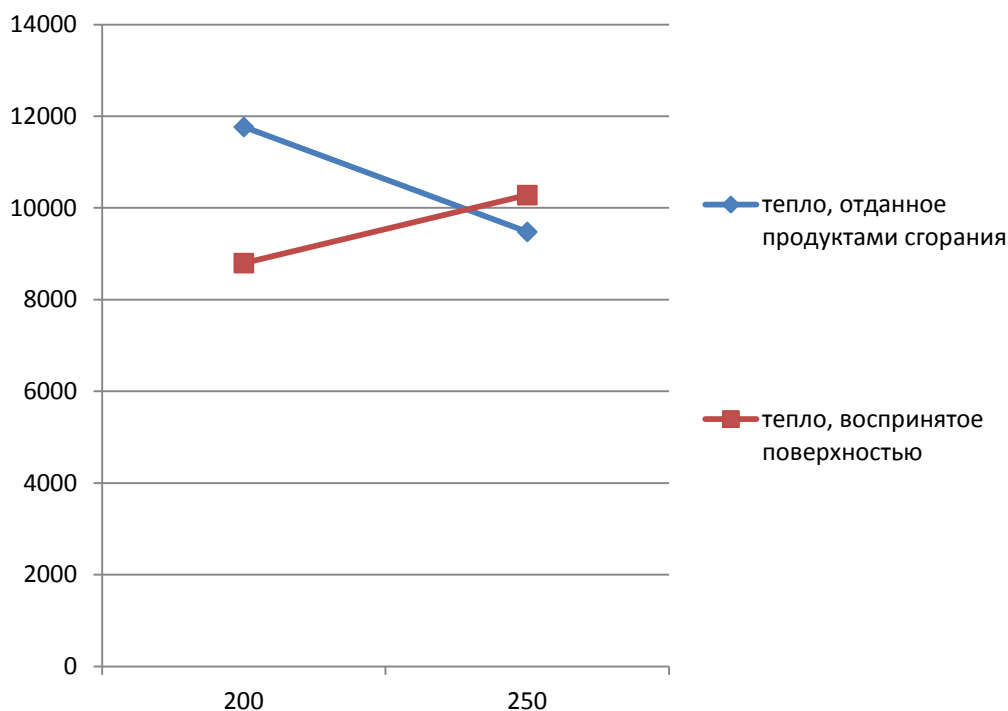


Рисунок 7 – Нахождение усредненного значения температуры на выходе из второго газохода

Далее производится пересчет параметров для второго газохода по найденной температуре. Результаты сведены в таблицы 17-20.

Таблица 17 – Расчет общих коэффициентов для каждой принимающей тепло поверхности первого газохода по усредненному значению температуры на выходе

Наименование параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Температура газов на выходе	ϑ_2''		°C	по графику
	240			
Энтальпия газов на выходе (по таблице энтальпий)	$I_{\text{вых.2г}}$		кДж/кг	По приложению А
	4641			
Средняя скорость продуктов сгорания в газоходе	$w_{г2}$		м/с	$\frac{V_{г} \cdot V \cdot (t_{ср} + 273)}{F_{сеч} \cdot 273}$
	17,26			

Продолжение таблицы 17

Эквивалентный диаметр	$d_{\text{экв}}$	0,82	м	$\frac{D^2 \cdot H + d^2 \cdot h}{D \cdot H + d \cdot h}$
a_n	28,5		Вт/(м ² ×К)	по номограмме [14]
l/d	1,87		-	
C_l	2,20		-	
C_ϕ	1,20		-	
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	75,24	-	$\alpha_n \cdot C_l \cdot C_\phi$
Эффективная толщина излучающего слоя	$S_{\text{эф}}$	0,026	м	$\frac{3,6 \cdot F_{\text{сеч}} \cdot \omega_{r1}}{3,14 \cdot (d \cdot h_{\text{вн}} + D \cdot H_{\text{нар}}) + F_{\text{птр}}}$
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	k_r	31,5	-	*
Коэффициент ослабления лучей зольевыми частицами	$k_{\text{зл}}$	0,0	-	**
Суммарная оптич. толщина	kps	0,020	-	$s_{\text{эф}} \cdot k_r \cdot 0,1 \cdot r_n$
Степень черноты газового потока	α	0,020	-	$1 - e^{(-k \cdot p \cdot s)}$
Коэффициент теплоотдачи излучением в конвективной части	α_l	0,35	Вт/(м ² ×К)	***
Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности	α_1	71,81	Вт/(м ² ×К)	$0,95 \cdot (\alpha_k + \alpha_l)$
Коэффициент теплопередачи	K	43,09	Вт/(м ² ×К)	$0,6 \cdot \alpha_1$

Таблица 18 – Расчет для второго газохода при передаче тепла к внешней стороне внешнего змеевика

Разница температур	Δt_{δ}	820	°C	$\vartheta_T'' - t_s$
	Δt_M	70,39		$t_{\text{ВЫХ.1Г.}} - t_{\text{П}}$
Температурный напор	Δt		°C	$\frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}}$
	305,65			
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	4171,12			

Таблица 19– Расчет для второго газохода при передаче тепла к воздуху

Разница температур	Δt_{δ}	810	°C	$\vartheta_T'' - t_s$
	Δt_M	265		$t_{\text{ВЫХ.1Г.}} - t_{\text{ПВ}}$
Температурный напор	Δt		°C	$\frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{2,3 \cdot \log \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}}$
	488,33			
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	Q_1		кДж/кг	$\frac{k \cdot S^{****} \cdot \Delta t}{B_p}$
	6664,06			

Таблица 20 – Суммарное количество теплоты, воспринятое поверхностями

Наименование параметра	Обозначение и значение параметра	Единица измерения	Формула
Количество теплоты, воспринятое поверхностью	ΣQ_2	кДж/кг	$Q_1^1 + Q_1^2$
	10835,18		

6.8 Расчет невязки по тепловому балансу

Для того, чтобы понять, что расчет является законченным, необходимо провести расчет невязки теплового баланса парогенератора.

Инженерная погрешность составляет 15%. Невыполнение условия требует пересчета теплового баланса котла.

Результаты вычислений и расчетные формулы занесены в таблицу 21.

Таблица 21–Невязка по балансу

Наименование параметра	Обозначение параметра	Значение параметра	Единица измерения	Формула
Располагаемая теплота топлива	Q_p^p	42742,00	кДж/кг	из таблицы 5
Температура уходящих газов	t_{yx}	240	°С	из таблицы 17, рисунок 7
Энтальпия уходящих газов	I_{yx}	4641,00	кДж/кг	из таблицы 17
Потеря теплоты с уходящими газами	q_2	9,75	%	из таблицы 5
КПД	$\eta_{ка}$	0,89	%	$\frac{100 - q_2 - q_3 - q_4}{100}$
Невязка баланса	ΔQ	2685,9	кДж/кг	$Q_p^p \cdot \eta_{ка} - (\Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + Q_6)$
Погрешность	δ	6,28	%	$\frac{\Delta Q}{Q_p^p} \cdot 100$

Погрешность составляет 6,28%, что является допустимой. Расчет считается законченным.

6.9 Расчет воздушного тракта. Выбор дутьевого вентилятора. Обзор горелочного устройства

Расчет воздушного тракта, как и газового, ведется на номинальную нагрузку котельного агрегата. Все исходные данные: температура воздуха, живое сечение и средняя скорость воздуха в воздухоподогревателе и другие данные – принимаются из теплового расчета или определяются по Нормативному методу теплового расчета [16].

Температура холодного воздуха, который засасывается дутьевым вентилятором, при расчете принимается в соответствии с Нормативным методом теплового расчета равной 30°C.

На 3D-модели котельной установки отображены наглядно заложенные проектом воздушные тракты от дутьевого вентилятора к котлам.

В процессе расчета общий воздушный тракт был разделен на участки с разными длинами в соответствии с габаритами всей установки. Учтены местные сопротивления в виде углов и гибких вставок. Диаметры приняты по стандартным значениям трубопроводов для воздухопроводов.

При расчете учитывалось, что в котле воздух проходит подогреватель-теплообменник, который образует кожух самого генератора. Данный участок также занесен в расчет и в общую длину воздушного тракта.

В таблице 22 отображены исходные данные для расчета воздушного тракта.

Таблица 22 – Исходные данные для расчета воздушного тракта

Наименование величины и обозначение	Значение	Единица измерения	Примечание
Участки воздушного тракта «Вентилятор-котел»			
L1	1,50	м	
L2	1,50	м	
L3	2,00	м	
L4	0,40	м	
Местные сопротивления			
Углы 90 °	3	шт	
Гибкая вставка	1	шт	
Выход из воздуховода в котел	1	шт	с поворотом воздушного потока
Диаметр трубы воздуховода			
D	0,2	м	
Коэффициент трения, λ	0,02	-	для стали
Скорость воздуха			
W	7	м/с	не более 10

Плотность воздуха при н.у.			
ρ	1,275	кг/м ³	
Участки воздушного тракта «Подогреватель в котле»			
Подогреватель: кольцевой тип (труба в трубе)			
$D_{нар}$	0,92	м	
$d_{вн}$	0,836	м	
Высота котла, Н (подогревателя)	1,534	м	

Количество холодного воздуха засасываемого дутьевым вентилятором, определяется по формуле:

$$V_{x.в.} = B_p \cdot V_0 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{t_{x.в.} + 273}{273} \right), \quad (16)$$

Где B_p – расход топлива, по тепловому расчету котла;

V_0 – теоретический объем воздуха;

α – коэффициент избытка воздуха;

$t_{x.в.}$ – температура холодного воздуха, принятая по Нормативному методу.

Расчет сопротивления воздухопроводов сводится в основном к определению местных сопротивлений.

Расчет с формулами по участку воздушного тракта от вентилятора до котла занесен в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет участка воздушного тракта «Вентилятор - котел»

Наименование и обозначение величины	Значение	Единица измерения	Формула
Кол-во холодного воздуха, засасываемого вентилятором, $V_{x.в.}$	0,37	м ³ /с	По формуле 16
	1328,74	м ³ /4	
Производительность вентилятора, Q_v . С запасом в 1,5.	1993,11	м ³ /ч	$V_{x.в.} \times 1,5$
Площадь поперечного сечения, F	0,0527	м ²	$V_{x.в.} / (3600 \cdot W)$
Расчетный диаметр трубы, $D_{расч}$	0,259	м	$\sqrt{(4 \cdot F / 3,14)}$
Выбранный диаметр трубы, D	0,273	м	выбор по ГОСТ
Пересчет площади живого сечения, F	0,059	м ²	$3,14 \cdot D^2 / 4$

Продолжение таблицы 23

Эквивалентный диаметр воздуховода, $d_{\text{экв}}$	0,273	м	Для круглых равен D
Скорость воздуха в трубе, W (пересчет)	6,31	м/с	$V_{\text{х.в.}}/F$
Плотность холодного воздуха, $\rho_{\text{х.в.}}$	1,149	кг/м ³	$\rho \cdot 273/(273 + t_{\text{х.в.}})$
Динамический напор, Рд (при скорости после пересчета)	22,86	Па	$\rho_{\text{х.в.}} \cdot W^2/2$
Потери давления от ния, ΔP , участок 1-2-3-4 сумма	9,04	Па	$\frac{\lambda \cdot \sum_1^4 L \cdot \rho_{\text{х.в.}} \cdot W^2}{(2 \cdot d_{\text{экв}})}$
Коэффициент местного сопротивления угла-90°, ξ_1	1,00	-	Справочное значение
Коэффициент местного сопротивления гибкая вставка, ξ	0,05	-	Справочное значение
Потери давления в местных сопротивлениях, $\Delta P_{\text{м.с.}}$	69,7	Па	$(\xi_1 \cdot 3 + \xi) \cdot P_{\text{д}}$
Суммарные потери давления на участке 1-2-3-4, $\Sigma \Delta P_1$	78,8	Па	$\Delta P_{\text{м.с.}} + \Delta P$

Далее рассматривается участок воздушного тракта, в который входит только подогреватель в котле. Расчеты с результатами занесены в таблицу 24.

Таблица 24 – Расчет воздушного тракта «Подогреватель в котле»

Наименование величины и ее обозначение	Значение	Единица измерения	Формула
Эквивалентный диаметр подогревателя, $d_{\text{экв}}$	0,084	м	$D_{\text{нар}} - d_{\text{вн}}$
Площадь поперечного сечения, F1	0,116	м ²	$3,14 \cdot (D_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2)/4$
Средняя температура воздуха в воздухоподогревателе, $t_{\text{вп}}$	215	°С	$(t_{\text{х.в.}} + t_{\text{у.х}})/2$
Средний объем воздуха через воздухоподогреватель, $V_{\text{вп}}$	2140,0	м ³ /ч	$B_p \cdot V_0 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{t_{\text{вп}} + 273}{273}\right)$
Скорость воздуха в воздухоподогревателе, $W_{\text{вп}}$	5,13	м/с	$\frac{V_{\text{вп}}}{3600 \cdot F1}$

Продолжение таблицы 24

Плотность горячего воздуха, $\rho_{вп}$	0,713	кг/м ³	$\rho \cdot 273 / (273 + t_{вп})$
Динамический напор, P_d	9,40	Па	$\rho_{вд} \cdot W^2 / 2$
Потери давления от трения в воздухоподогревателе, ΔP	3,43	Па	$\lambda \cdot H \cdot P_d / d_{экв}$
Угол поворота входа в подогреватель воздушного потока	45,00	градус	Задано по проекту
Отношение сечений, (резкое расширение из трубы в подогреватель)	0,51	-	$F / F1$
Коэффициент местного сопротивления, ξ_1 расширения	0,25	-	Справочное значение
Коэффициент местного сопротивления, ξ тангенциального течения	1,00	-	Справочное значение
Потери давления в местных сопротивлениях, $\Delta P_{м.с.}$	11,7	Па	$(\xi_1 + \xi) \cdot P_d$
Сумма потерь на данном участке, $\Sigma \Delta P_2$	15,18	Па	$\Delta P_{м.с.} + \Delta P$
Общая сумма потерь давления, $\Sigma \Delta P$	93,95	Па	$\Sigma \Delta P_1 + \Sigma \Delta P_2$

Для котлов по проекту выбрано горелочное устройство «УПУ 1600.100.01.07.000», которое работает на жидком топливе. Тепловая мощность горелки в диапазоне: 330-1280 кВт, а расход топлива варьируется от 5 до 110 л/ч.

В горелочном устройстве предусмотрено две форсунки марки DANFOSS. Данное количество форсунок позволяет плавно переключать котел на разные режимы. Данная функция каскадного режима работы позволяет существенно сэкономить топливо.

Тип первой форсунки: OD – B10 g/h, производительностью 37,7 кг/ч, вторая – OD – B12 g/h с производительностью более 50 кг/ч.

Конструктивно горелочное устройство оказывает местное сопротивление, которое стоит учитывать в воздушном тракте, т.к. нагретый воздух проходит через отверстия в горелочном устройстве, смешиваясь с топливом, которое впрыскивается под определенным углом. Диаметр горелки $D_{гор}$ равен по паспорту 0,15 м. В таблице 25 занесены расчеты с формулами по участку воздушного тракта, который включает в себя только горелочное устройство.

Таблица 25 – Участок воздушного тракта «Горелочное устройство»

Наименование величины и его обозначения	Значение	Единица измерения	Формула
Площадь поперечного сечения, $F_{гор}$	0,018	м ²	$3,14 \cdot D_{гор}^2 / 4$
Скорость воздуха в горелке, $W_{гор}$	33,66	м/с	$V_{вп} / (3600 \cdot F_{гор})$
Динамический напор, P_d	403,97	Па	$\rho_{вд} \cdot (W_{гор}^2 / 2)$
Сопротивление горелки, $\xi_{гор}$	3	-	Справочное значение
Потери давления из-за сопротивления горелки, $\Delta P_{гор}$	1211,91	Па	$\xi_{гор} \cdot P_d$

Общая сумма потерь на всем воздушном тракте составила:

$$P_{общ} = \sum \Delta P + \Delta P_{гор}, \quad (17)$$

$$P_{общ} = 93,95 + 1211,91 = 1305,86 \text{ Па.}$$

Необходимый напор, который должен развить вентилятор:

$$H_v = \frac{1,1 \cdot P_{общ}}{9,8}, \quad (18)$$

$$H_v = \frac{1,1 \cdot 1305,86}{9,8} = 146,6 \text{ мм. вод. ст.}$$

По результатам расчета и аэродинамическим характеристикам был произведен выбор дутьевого вентилятора. Выбран центробежный дутьевой вентилятор одностороннего всасывания ВДН-8 с частотой вращения 980 об/мин, с затрачиваемой мощностью 1,3 кВт. Коэффициент полезного действия по графику для данного вентилятора при рассчитанной нагрузке составляет 68,5%.

6.10 Выбор вспомогательного оборудования. Характеристики основных систем транспортабельной котельной

Водный режим должен обеспечивать работу котла и питательного тракта без повреждения их элементов, вследствие отложений накипи и шлама или в результате коррозии металла, а также обеспечить получение пара надлежащего качества. Безнакипный режим котла должен обеспечиваться устройством докотловой обработки воды. Добавляемая вода должна проходить обработку в водоподготовительной установке, которая должна обеспечить осветление и умягчение её. Нормы качества питательной и котловой воды устанавливаются нормативными документами, но не должны быть выше значений, указанных в таблице 26.

Таблица 26 – Требования к качеству питательной и котловой воды

Вид воды	Показатели	Размерность	Предельное значение
Питательная	Прозрачность по шрифту, не менее	см	30
	Общая жесткость	мкг-экв/л	10
	Содержание нефтепродуктов	мг/л	5
	Значение pH (при 25 °С)	-	8,5-10,5
Котловая	Солесодержание, не более	Мг/л	2000±500

В транспортабельной котельной предусмотрена водоподготовительная установка (далее по тексту ВПУ), которая предназначена для умягчения питательной воды из хозяйственно-питьевого водопровода для котельных агрегатов и других объектов, где требуется умягчённая вода.

Основными элементами установки ВПУ являются: противоточный ионитный фильтр, фильтр осветлительный, агрегат электронасосный, трубопроводы и арматура. Оборудование установки смонтировано на раме.

Работа установки ВПУ включает в себя выполнение следующих операций:

- умягчение воды;
- взрыхление катионита в ионитном фильтре;
- регенерация катионита;
- отмывка катионита от продуктов регенерации;
- взрыхление катионита осветлительного фильтра;
- отмывка катионита осветлительного фильтра.

При умягчении исходная вода насосом подаётся в осветлительный фильтр, далее, поступает в ионитный противоточный фильтр и, пройдя его сверху вниз, поступает в бак питательной воды.

Для взрыхления слоя катионита исходная вода, пройдя осветлительный фильтр, поступает в нижнее распределительное устройство ионитного фильтра и сбрасывается в безнапорный дренаж.

При появлении прозрачной воды взрыхление прекращают.

Для восстановления ионообменной способности катионита производится регенерация катионита раствором хлористого натрия.

Отмывка катионита проводится исходной водой, которая подаётся от осветлительного фильтра.

Взрыхление и промывка катионита осветлительного фильтра производится при увеличении потери напора в фильтре до 0,1 МПа и ухудшении качества осветленной воды. Взрыхление всего слоя фильтрующей засыпки производится восходящим потоком. Взрыхление фильтрующей засыпки осуществляется до резкого просветления промывочной воды.

После взрыхления фильтрующей засыпки осветлительного фильтра производят её отмывку до резкого просветления промывочной воды [17].

Производительность ВПУ выбрана исходя из количества и производительности котлов в установке. В таблице 27 отражены основные показатели водоподготовительной установки, предусмотренной проектом.

Таблица 27 – Характеристика водоподготовительной установки

Наименование	Значение	Единица измерения
Количество блоков водоподготовки ВПУ	2	шт
Производительность одного блока	2,5	м ³ /ч
Рабочее давление исходной воды, не более	0,4 (4,08)	МПа (кгс/см ²)
Температура воды, не более	40	°С
Качество исходной воды:		
жесткость общая	5	мг-экв/л
содержание взвешенных частиц	50	мг/л
Качество умягченной воды:		
жесткость	10	мг-экв/л
Габаритные размеры, не более:		
длина	2,05	м
ширина	0,95	
высота	2,25	
Масса установки без фильтрующей загрузки	800	кг

Для перекачивания воды из скважины в котельную установку необходимо установить насос с высоким уровнем напора при низком уровне подачи. Принято установить консольный горизонтальный одноступенчатый самовсасывающий насос ВКС-2/26, смонтированным с электродвигателем на одной раме. Основные характеристики выбранного насоса в базовом исполнении по информации из каталога производителя [18]:

- Подача: 7,2 м³/ч;
- Напор: 26 м;
- Высота самовсасывания: 4 м;
- Потребляемая мощность: 4,6 кВт (максимум);

- Допускаемый кавитационный запас: не более 5м;
- Давление на входе: не более 0,25 МПа.

Умягченная вода собирается в емкости питательной воды. Объем бака исходя из потребностей котлов, с запасом составил 9,085 м³.

Вода питательным насосом нагнетается в змеевики котла. В транспортабельной котельной установке предусмотрен блок питательных насосов, состоящий из 4 насосов. Выбор насосов осуществлялся исходя из общего расхода воды котлами с запасом в 20 %. Резервный предусмотрен на случай выхода из строя одного из насосов, чтобы не останавливать работу установки в целом и не прекращать процесс выработки пара в необходимом количестве с параметрами, которые предусмотрены режимной картой. Питательный насос выбран зарубежной марки «Lowara» как исключение, в связи с тем, что габариты отечественных насосов велики для транспортабельной котельной.

Основные характеристики выбранных насосов представлены в таблице 28 [19]:

Таблица 28 – Характеристики питательных насосов

Наименование	Значение (тип)	Единица измерения
тип насоса	Lowara, 5SV14F022T	-
количество	4	шт
мощность	2,2	кВт
максимальный расход	8,5	м ³ /ч
максимальный напор	10,5 (107)	МПа (кгс/см ²)

Выработанный котлом пар подается на объект с помощью парового коллектора, установленного в самом помещении транспортабельной котельной, комплекта магистральных труб, поворотных колен и запорного узла.

Отдельным элементом в транспортабельной установке можно выделить топливную систему. Топливная система состоит из следующих основных компонентов:

- Топливный бак объемом 0,5 м³;
- Топливные насосы в количестве 2 шт. на каждый котел, марки НШ-10-У-3;
- Система трубопроводов;
- Узлы, запорная арматура, контрольно-измерительные приборы.

Основные характеристики выбранного топливного насоса отражены в таблице 29 [20]:

Таблица 29 – Характеристика топливного насоса

Наименование	Значение	Единица измерения
тип насоса	НШ-10-У-3	-
количество	2	шт
расход	1,26	м ³ /ч
давление на выходе (максимальное)	21 (214)	МПа (кгс/см ²)
тип электродвигателя	АИР 80В4	-
мощность	1,5	кВт
число оборотов	1500	об/мин

7 ПРИНЦИП РАБОТЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Вода питательным насосом нагнетается в змеевики котла. Проходя по змеевикам, вода нагревается и превращается в пар.

Выработанный котлом пар подается на объект с помощью комплекта магистральных труб, поворотных колен, запорного узла.

Описание и работа основного оборудования: котел паровой вертикальный, цилиндрический, прямоточный с нижним расположением горелочного устройства.

Поверхности нагрева выполнены в виде двух цилиндрических змеевиков – наружного и внутреннего.

Наружный змеевик в верхней части стыкуется с плоским спиральным змеевиком. Концы труб наружного и внутреннего змеевиков выведены через отверстие полоской спирали и сварены между собой соединительной петлей. Отверстие закрывается крышкой, в которой предусмотрены вырезы в местах прохода труб петли.

Все змеевики выполнены из котельных труб 28x3,5-20 ТУ 14-3-460-75, материал труб – сталь 20.

Пространство, образованное цилиндрами змеевиков и стенкой внутреннего кожуха котла, служит для прохода топочных газов. Два цилиндрических кожуха котла образуют кольцевую камеру для прохода воздуха от вентилятора к горелочному устройству через отверстия, выполненные в основании котла.

В верхней части котла установлен искрогаситель сетчатого типа. Штуцеры сажеудалителя выведены наружу основания котла. Удаление сажи с поверхности змеевиков производится продувкой сжатым воздухом.

В нижней части котла имеется люк, в котором установлено горелочное устройство.

Горелочное устройство включает в себя корпус, тарелку и две форсунки механического типа, электрод со спиралью.

Завихритель форсунки обеспечивает тангенциальную закрутку топлива, которое через сопло подается в топку котла.

Запальное устройство включает в себя: нагревательную нихромовую спираль и контактный электрод с изоляторами, подключенный к электросистеме установки.

Форсунки и запальное устройство могут перемещаться относительно основания в вертикальном направлении и фиксируются с помощью болтов.

На основании имеется отверстие, в котором установлен датчик прибора «Пламя М02». Датчик контролирует наличие пламени в топке котла и при отсутствии пламени дает сигнал на перекрытие подачи топлива.

На пульте управления, который установлен в операторской, при отсутствии пламени загорается контрольная лампочка «Нет факела».

Трубопровод для удаления воздуха из котла одновременно используется для продувки котла при его остановке.

Для проведения химической очистки змеевиков котла используется трубопровод подвода питательной воды.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Система трубопроводов установки обеспечивает возможность дренажа и продувки всех элементов парового котла и трубопроводов пароводяной линии.

На трубопроводе для удаления воздуха из котла имеется возможность подсоединения продувочного шланга.

При выполнении операций:

- удаление воздуха из парового котла;
- продувка котла и спуск воды при его остановке, используются трубопроводы, на которых установлены дренажные вентили.

Воздух к горелочному устройству котла нагнетается дутьевым вентилятором высокого давления, который соединен с котлом воздухопроводом. Регулировку подачи воздуха производят заслонкой. Регулировка осуществляется с пульта поворотным регулятором.

Контрольно-измерительные приборы позволяют контролировать работу и следить за основными параметрами на котле. Приборы смонтированы на пульте управления.

На пульте управления размещены приборы, показывающие:

- уровень топлива;
- уровень питательной воды;
- давление топлива;
- давление воды;
- давление воздуха;
- превышение давления пара;
- превышение температуры пара;
- отсутствие факела;

Дополнительно на пульте управления в операторской размещены переключатели и кнопки:

- включение щита;
- включение/отключение вентилятора;
- регулятор подачи топлива;
- запальник 1 и 2;
- регуляторы давления топлива и воды.

В рабочей зоне установлены шкафы управления насосами, на которых размещены кнопки включения/отключения питательных насосов, а так же 3-х позиционный поворотный тумблер насоса химводоочистки.

Шкаф управления топливными насосами, позволяет запускать и отключать данные насосы, а с помощью поворотного тумблера регулировать подачу топлива.

В технологических линиях установлены приборы контроля и датчики:

- температуры пара на выходе из котла;
- давления пара на выходе из котла;
- давления топлива на входе в котел;
- температуры воды в баке;
- поступления воздуха в котел.

Отслеживаются уровни с помощью уровнемеров:

- воды в питательной емкости;

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

- ТОПЛИВА В ТОПЛИВНОМ баке.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

8 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

8.1 Дымоудаление

В транспортабельной котельной установке подразумевается установка дымовых труб на каждый котел (по одной трубе) для удаления дымовых газов.

Диаметр дымовых труб зависит от патрубка, который имеется в котле. Для котлов по проекту предусмотрены дымовые трубы диаметром в 300 мм.

При расчете выбросов проверялось, как при заданной изначально высоте труб выполняется условие, при котором максимальная приземная концентрация не превышает нормы [21].

Расчет расхода топлива на котел вычисляется в п. 6.4, таблица 5. Температура уходящих газов указана в п. 6.8, таблице 17.

Объем продуктов сгорания, образующихся при работе котла за одну секунду:

$$V = B \cdot V_{\Gamma} \cdot \frac{p_{\text{атм}} \cdot T_{\text{ух}}}{p_{\text{атм}}^{\text{расч}} \cdot T_{\text{ну}}}, \quad (19)$$
$$V = 0,026 \cdot 13,827 \cdot \frac{760 \cdot (240 + 273)}{745 \cdot 273} = 0,69 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выброс окислов азота рассчитывается по формуле (20):

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot K_{\text{NO}_2} \cdot (1 - \beta), \quad (20)$$

где β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов окислов азота в результате технических решений, $\beta = 0$;

K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на МДж теплоты. Значения K_{NO_2} определяются по графикам 1.1 [12].

$$K_{\text{NO}_2} = 0,0954 \frac{\text{кг}}{\text{МДж}};$$

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 0,026 \cdot 42,7 \cdot 10^3 \cdot 0,0954 \cdot (1 - 0) = 0,106 \text{ г/с}.$$

Выброс окиси углерода вычисляется:

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot K_{\text{CO}} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (21)$$

где K_{CO} – количество окиси углерода на единицу теплоты, выделившееся при горении топлива, $K_{\text{CO}} = 0,25$ кг/МДж.

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot 0,026 \cdot 42,7 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 0,278 \text{ г/с}.$$

Концентрация вредных примесей на выходе из дымовой трубы рассчитывается:

$$C_i = \frac{M_i}{V}, \quad (22)$$

Концентрация окислов азота на выходе из дымовой трубы:

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{0,106}{0,69} = 0,154 \text{ г/м}^3.$$

Концентрация окиси углерода на выходе из дымовой трубы:

$$C_{CO} = \frac{0,278}{0,69} = 0,403 \text{ г/м}^3.$$

Скорость дымовых газов на выходе из устья трубы:

$$\omega = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}, \quad (23)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,69}{3,14 \cdot 0,3^2} = 9,754 \text{ м/с.}$$

Максимальная приземная концентрация вредных веществ при выбросе из одиночного источника определяется:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \quad (24)$$

Где F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, F=1 для газообразных примесей;

A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (характер изменений температуры с высотой) для неблагоприятных метеорологических условий. Для Урала A=160;

H - геометрическая высота трубы, H=7 м.

ΔT - разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха, $\Delta T = 240 - (-25) = 265^\circ\text{C}$;

m, n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газозвдушной смеси из устья источника выброса.

Коэффициент m определяется по формуле (26) в зависимости от параметра f, который рассчитывается по формуле (25):

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (25)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 9,754 \cdot 0,3}{7^2 \cdot 265} = 0,225.$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (26)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,225} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,225}} = 1,08.$$

Коэффициент n зависит от параметра ϑ_M , который определяется по формуле (27):

$$\vartheta_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}, \quad (27)$$

$$\vartheta_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,69 \cdot 265}{7}} = 1,93,$$

$\vartheta_M = 1,93 < 2$ – следовательно, n определяется:

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$n=3-\sqrt{(9_M-0,3)\cdot(4,36-9_M)}, \quad (28)$$

$$n=3-\sqrt{(1,93-0,3)\cdot(4,36-1,93)}=1,0102.$$

Максимальная приземная концентрация окислов азота:

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{160 \cdot 0,106 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1,0102}{7^2 \cdot \sqrt[3]{0,69 \cdot 265}} = 0,066 \text{ мг/м}^3.$$

Максимальная приземная концентрация окиси углерода:

$$C_{\text{CO}} = \frac{160 \cdot 0,278 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1,0102}{7^2 \cdot \sqrt[3]{0,69 \cdot 265}} = 0,174 \text{ мг/м}^3.$$

Рассчитанная приземная концентрация выбросов соответствует выбросу из одной трубы для одного котла.

Проверка соответствия норм выбросов выполняется по формуле (29):

$$\frac{\sum C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}(\text{NO}_2)} + \frac{\sum C_{\text{CO}}}{\text{ПДК}(\text{CO})} \leq 1, \quad (29)$$

$$\frac{0,066}{0,085} + \frac{0,174}{3} = 0,842 < 1.$$

$\sum C_{\text{CO}} < \text{ПДК}(\text{CO})$, $0,174 < 3 \text{ мг/м}^3$ - состояние удовлетворительное;

$\sum C_{\text{NO}_2} < \text{ПДК}(\text{NO}_2)$, $0,066 < 0,085 \text{ мг/м}^3$ - состояние удовлетворительное;

Таким образом, проверка соответствия норм выбросов выполняется, максимальная приземная концентрация не превышает нормы, следовательно, дымовые трубы высотой 7 м в зимний период удовлетворяют условиям рассеивания вредных выбросов. В летний период котельная не работает.

8.2 Водоотведение

В транспортабельной котельной предусмотрена система дренажа в специальные емкости. Сточные воды самотеком поступают в емкость.

Отвод сточных вод в дренажную емкость осуществляется от технологического оборудования:

- при аварийном сливе от котлов;
- от предохранительных клапанов;
- при сливе системы при плановых ремонтах.

Откачка и вывоз стоков должны производиться специализированной организацией, имеющей разрешение на проведение данных работ.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

9.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Транспортабельная котельная предназначена для выработки насыщенного пара для обогрева помещений. Все оборудование размещается в блок-контейнере, который устанавливается отдельно от потребителя. Котлы работают на жидком топливе.

Компоновка котельной включает в себя два паровых котла с горелками, дутьевые вентиляторы, насосы, распределительное оборудование, установки водоподготовки с подпиточным баком, регулирующие устройства. Все оборудование снабжено автоматикой. Обслуживающий персонал следит за стабильной работой с помощью пульта управления и обязан реагировать на экстренные случаи. Существуют следующие вредные и опасные производственные факторы рабочей среды и трудового процесса [22]:

Физические:

- тепловое излучение;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- повышенный уровень статического электричества.

Травмоопасные:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенная температура поверхности оборудования.

Химические:

- продукты горения топлива.

Факторы трудового процесса:

- интеллектуальные нагрузки;
- сенсорные нагрузки;
- эмоциональные нагрузки;
- режим работы;
- степень монотонности нагрузок.

9.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

Основными потребителями электроэнергии котельной являются электродвигатели тепломеханического оборудования, электродвигатели насосов и светильники искусственного освещения.

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ 7-го издания) по надежности электроснабжения котельная относится ко II категории – электро-

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

приемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

В котельной предусмотрено рабочее, аварийное освещение и ремонтное освещение. В качестве источников света в котельной выбраны светильники с люминесцентными лампами.

Светильники аварийного освещения предусмотрены в исполнении надежном против взрыва, запитаны от щита аварийного освещения ЩОА. Норма освещенности в котельной составляет 200 лк. Выключатели аварийного электроосвещения установлены вне помещения котельной.

Для безопасности людей от поражения электрическим током предусматривается защитное заземление. Котельная и дымовые трубы относятся к классу «Обычные объекты», уровень защиты от прямых ударов молнии (ПУМ) – III, т.е. должны иметь защиту и надежность защиты от ПУМ составляет 0,9. В качестве молниеприемника используется металлический стержень 20 мм, приваренный к дымовым трубам, в качестве токоотвода – металлические дымовые трубы толщиной 8мм. Заземлитель защиты от прямых ударов молнии объединен с заземлителем электроустановки. В вводно-распределительном устройстве (ВРУ) на группы, питающие штепсельные розетки, устанавливаются устройства защитного отключения с током срабатывания – 30 мА. Правила выполнения системы уравнивания потенциалов в котельной определены международным стандартом МЭК 364-4-41 и ПУЭ, которые предусматривают присоединение проводящих частей (защитного проводника линии, заземляющих проводников от заземлителя, металлических строительных конструкций здания, металлических труб коммуникаций) к главной заземляющей шине внутри вводного устройства. В шкафах нулевой и защитный проводники разделены.

Технологический процесс связан со сжиганием топлива. Возможный источник пожара в котельной – это утечка топлива и образование взрывоопасных смесей. Также возможной причиной возникновения пожара может быть несоблюдение правил пожарной безопасности.

Необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования» (с изменениями №1);
- СП 89.13330.2012 «Котельные установки» Актуализированная редакция;
- СП 118.13330.2012* Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с Изменениями № 1, 2).

Данный проект предусматривает проектирование транспортабельной котельной, которое включает котельный зал, операторскую, а также, две дымовые трубы, расположенные вне помещения и служащие для отвода дымовых газов.

Здание по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории – Г (характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении – горючие жидкости, которые сжигаются в качестве топлива). Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности:

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

- котельный зал – Г;
 - операторская – Д (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии).
- Степень огнестойкости здания – II (здания производственного и складского назначения).

Для достижения степени огнестойкости II конструкции каркаса контейнера, балок, ферм и связей с внутренней стороны окрашиваются огнезащитной краской с обязательным контролем и восстановлением данного покрытия. Устойчивость здания при пожаре должна обеспечиваться пределами огнестойкости несущих конструкции, соответствующих II степени огнестойкости по таблице 30 [23].

Таблица 30 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

Строительные конструкции	Предел огнестойкости
Несущие элементы здания (колонны, балки и фермы)	R90
Наружные стены (ненесущие)	E15

Технологические процессы с различной взрывопожарной и пожарной опасностью (котельный зал и операторская) необходимо размещать в отдельных помещениях – отделенных противопожарными перегородками (EI 45).

Для организации охранно-пожарной сигнализации котельной предусматривается установка прибора приемно-контрольного охранно-пожарного типа в помещении котельной. Прибор предназначен для контроля шлейфов сигнализации (ШС) с установленными в них охранными и пожарными извещателями, выдачи извещений: пожар/тревога с помощью реле из состава пульта централизованного наблюдения; неисправность с помощью электронного ключа, а также управления на объекте звуковым и световым оповещателями. Пульт обеспечивает индикацию состояний ШС на встроенных индикаторах, сохранение событий по ШС.

Пожарная сигнализация должна быть выполнена дымовыми извещателями, извещателями пламени и ручными извещателями, расположенными у входа в котельную.

Электроснабжение оборудования пожарно-охранной сигнализации необходимо выполнить в соответствии с ПУЭ по I категории (электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, повреждение основного оборудования и расстройство сложного технологического процесса) и осуществлять от сети 220В; резервное питание =12В от встроенных в прибор аккумуляторов, обеспечивающих работу прибора в дежурном режиме не менее 24 часов. При питании прибора от сети осуществляется подзаряд аккумуляторов.

Для борьбы с пожаром помещении котельной необходимо оборудовать противопожарным инвентарем [24]. Перечень инвентаря:

- воздушно-пенные огнетушители;
- ящики с песком;
- лом;
- лопаты;
- ведра.

Весь инвентарь необходимо расположить в доступном месте.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

10 ЭКОНОМИКА

10.1 Смета капитальных затрат по объекту

Капитальные вложения на строительство транспортабельной котельной определены в текущих ценах мая 2017 года. Расчеты стоимости основного оборудования и капитальных затрат на строительство котельной представлены в таблицах 31 и 32 [25].

Таблица 31 – Стоимость основного оборудования транспортабельной котельной

Оборудование	Количество, единиц	Стоимость 1 единицы, руб.	Стоимость суммарная, руб.
Блок-контейнер, 5-ти тонный	1	91 000	91 000
Паровой котел, производительностью 2000 кг/ч	2	185 000	370 000
Горелочное устройство для жидкого топлива УПУ 1600.100.01.07.000	2	30 000	60 000
Парораспределитель со стойкой	1	13 500	13 500
Питательный насос Lowara, 5SV14F022T с электродвигателем	4	46 000	184 000
Насос топливной системы НШ-10-У-3 с электродвигателем	2	1 203	2 406
Емкость питательная, 9,085 м ³	1	21 160	21 160
Емкость топливная, 0,5 м ³	1	10 460	10 460
Водоподготовительная установка ВПУ-2,5У-М в комплекте с насосом ВКС-2/26 с электродвигателем	1	210 000	420 000
Вентилятор ВДН-8 с электродвигателем	2	26 870	53 740
Трубы дымовые с зонтом (7 м)	2	30 653	30 653
Арматура	-	447 827	447 827
Электрооборудование	-	437 393	437 393
Расходные материалы	-	118 262	118 262
Доработка контейнера и комплектующие	-	456 816	456 816
Противопожарное оборудование	-	9 870	9 870
		Итого	2 727 087

Таблица 32 – Капитальные затраты на строительство транспортабельной котельной

Наименование работ	Затраты	
	руб.	%
Строительно-монтажные работы	1 250 000	30,3
Проектные работы	95 000	2,3
Стоимость оборудования	2 727 087	66,1
Прочие затраты	53642	1,3
Итого (К ₁)	4 125 729	100

10.2 Текущие затраты

Годовые затраты на топливо:

$$I_T = C_T \cdot V_{\text{год}}, \quad (30)$$

Где C_T - цена дизельного топлива ГОСТ-305-82, 28 руб/л (по данным на май 2017 г.) [26];

$V_{\text{год}}$ - годовой расход топлива, $V_{\text{год}} = 542594,4 \text{ кг/год} = 630923,7 \text{ л/год}$.

Годовые затраты на техническую воду отсутствуют, т.к. подразумевается забор воды из скважины.

Годовые затраты на электроэнергию:

$$I_E = C_E \cdot E_{\text{год}}, \quad (31)$$

Где C_E - цена электроэнергии, 2,44 руб/(кВт·ч), (по данным 2017 г.);

$E_{\text{год}}$ - годовой расход электроэнергии, $E_{\text{год}} = 328800 \text{ (кВт·ч)/год}$.

Амортизация оборудования:

$$I_A = N_A \cdot O_{\text{об}}, \quad (32)$$

Где $N_A = 10\%$ - норма амортизации;

$O_{\text{об}}$ – общая стоимость оборудования, руб.

Затраты на содержание и текущий ремонт сооружений:

$$I_{\text{тр}} = 0,0025 \cdot O_{\text{об}}, \quad (33)$$

Содержание оборудования по части материалов и запасных частей для ремонта:

$$I_{\text{со}} = 0,01 \cdot O_{\text{об}}, \quad (34)$$

Котельная работает в автоматическом режиме и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Прочие расходы будут зависеть от мощности котельной.

$$I_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (I_A + I_{\text{тр}}), \quad (35)$$

10.3 Расчет себестоимости производимой теплоты

Себестоимость производимой теплоты:

$$s = \frac{C_1}{Q_{\text{год}}}, \quad (36)$$

где $Q_{\text{год}}$ – полезно используемая тепловая энергия, $Q_{\text{год}} = 11310,72$ Гкал/год.

Текущие затраты при эксплуатации транспортабельной котельной отображены в таблице 33.

Таблица 33 – Текущие затраты при эксплуатации транспортабельной котельной

Расчетная величина	Обозначение	Расчетная формула	Результат	Размерность
Топливо	I_T	Формула (30)	17665863,6	руб/год
Электроэнергия	$I_э$	Формула (31)	802272	руб/год
Амортизация оборудования	I_A	Формула (32)	272708,7	руб/год
Содержание и текущий ремонт сооружений	$I_{тр}$	Формула (33)	6817,72	руб/год
Содержание оборудования по части материалов и запасных частей для ремонта	$I_{со}$	Формула (34)	27270,87	руб/год
Прочие расходы	$I_{пр}$	Формула (35)	55905,28	руб/год
Итого	C_1	$C_1 = \sum I_i$	18830838,17	руб/год
Себестоимость производимой теплоты	S_1	Формула (36)	1664,87	руб/Гкал

10.4 Расчет себестоимости производимой теплоты при использовании зарубежного аналога парового котла

Рассмотрим вариант использования в схеме зарубежный аналог паровых прямоточных котлов: парогенератор марки «BABCOCK WANSON» серии VAP, производства Франции, с аналогичной тепловой мощностью, выходными параметрами пара и похожей компоновкой.

Главные технические и экономические различия данных котлов от рассматриваемых агрегатов в проекте:

- расположение горелочного устройства наверху, что затрудняет обслуживание;
- в комплект входит дутьевой вентилятор;
- трудная замена вышедших из строя деталей в связи с удаленностью поставщика и долгой доставкой;
- цены на котлы и комплектующие в иностранной валюте, что сильно влияет на итоговую стоимость агрегата в рублях при колебании курса.

Капитальные вложения на строительство транспортабельной котельной определены в текущих ценах и курсах валюты на май 2017 года. Расчеты стоимости основного оборудования и капитальных затрат на строительство котельной представлены в таблицах 34 и 35 [25].

Таблица 34 – Стоимость основного оборудования транспортабельной котельной

Оборудование	Количество, единиц	Стоимость 1 единицы, руб.	Стоимость суммарная, руб.
Блок-контейнер, 5-ти тонный	1	91 000	91 000
Паровой котел серия VAP марка «BABCOCK WANSON»	2	3469384,8	6938769,6
Горелочное устройство для жидкого топлива УПУ 1600.100.01.07.000	2	30 000	60 000
Парораспределитель со стойкой	1	13 500	13 500
Питательный насос Lowara, 5SV14F022T с электродвигателем	4	46 000	184 000
Насос топливной системы НШ-10-У-3 с электродвигателем	2	1 203	2 406
Емкость питательная, 9,085 м ³	1	21 160	21 160
Емкость топливная, 0,5 м ³	1	10 460	10 460
Водоподготовительная установка ВПУ-2,5У-М в комплекте с насосом ВКС-2/26 с электродвигателем	1	210 000	420 000
Трубы дымовые с зонтом (7 м)	2	30 653	30 653
Арматура	-	447 827	447 827

Продолжение таблицы 34

Электрооборудование	-	437 393	437 393
Расходные материалы	-	118 262	118 262
Доработка контейнера и комплектующие	-	456 816	456 816
Противопожарное оборудование	-	9 870	9 870
Итого			9 242 116,6

Таблица 35 – Капитальные затраты на строительство транспортабельной котельной

Наименование работ	Затраты	
	руб.	%
Строительно-монтажные работы	1 250 000	11,75
Проектные работы	95 000	0,89
Стоимость оборудования	9 242 116,6	86,86
Прочие затраты	53642	0,5
Итого (К ₁)	10 640 758,6	100

Текущие затраты при эксплуатации транспортабельной котельной по второму варианту отображены в таблице 36.

Таблица 36 – Текущие затраты при эксплуатации транспортабельной котельной по второму варианту

Расчетная величина	Обозначение	Расчетная формула	Результат	Размерность
Топливо	I_T	Формула (30)	17665863,6	руб/год
Электроэнергия	$I_э$	Формула (31)	802272	руб/год
Амортизация оборудования	I_A	Формула (32)	924211,66	руб/год
Содержание и текущий ремонт сооружений	$I_{тр}$	Формула (33)	23105,3	руб/год

Продолжение таблицы 36

Содержание оборудования по части материалов и запасных частей для ремонта	I_{co}	Формула (34)	92421,17	руб/год
Прочие расходы	$I_{пр}$	Формула (35)	189463,4	руб/год
Итого	C_2	$C_2 = \sum I_i$	19697337,13	руб/год

Продолжение таблицы 34

Себестоимость производимой теплоты	S ₂	Формула (36)	1741,48	руб/Гкал
------------------------------------	----------------	--------------	---------	----------

Сравнение стоимости основного оборудования по двум вариантам:

$$\frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{\Sigma_1} \cdot 100\% = \frac{9242116,6 - 2727087}{2727087} \cdot 100\% = 238,9\%$$

Сравнение себестоимости производимой теплоты по двум вариантам:

$$\frac{S_2 - S_1}{S_1} \cdot 100\% = \frac{1741,48 - 1664,87}{1664,87} \cdot 100\% = 4,6\%$$

Из расчетов видно, что стоимость оборудования по второму варианту больше первого более чем на 200 процентов, а разница себестоимости производимой теплоты составляет 4,6%. Таким образом, первый вариант котельной с использованием отечественных котлов с предлагаемыми изменениями по проекту имеет больше преимуществ в техническом и экономическом планах.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

10.5 Определение целей проекта

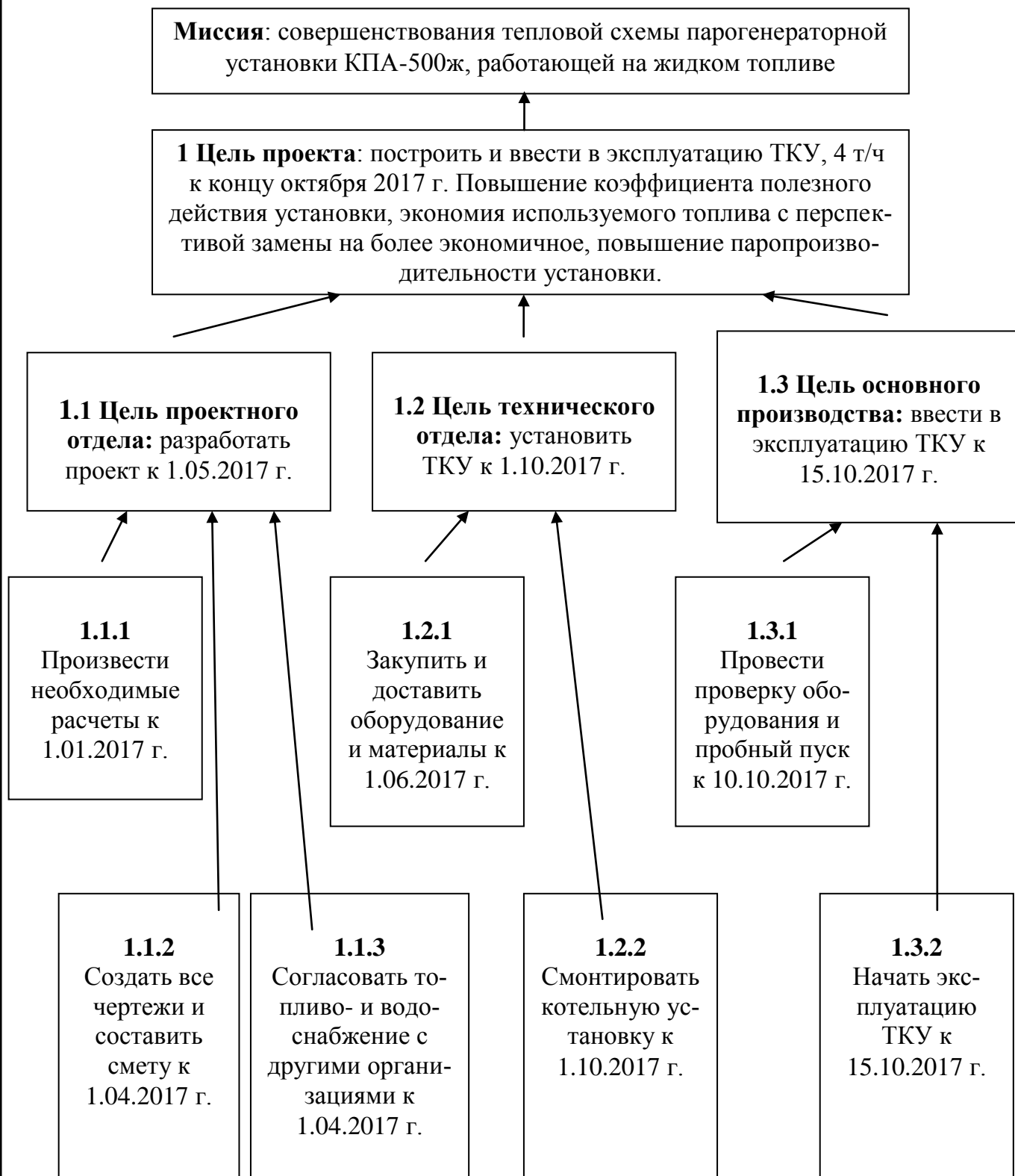


Рисунок 8 – Дерево целей проекта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

78

10.6 Качественный анализ вариантов проектных решений

Сравнительный анализ вариантов повышения энергоэффективности осуществляется методом SWOT.

SWOT-анализ позволяет определить сильные и слабые стороны предприятия, проанализировать возможные угрозы, исходящие из внешней среды. SWOT-анализ теплоснабжения потребителей по 1 варианту представлен в таблице 37.

Таблица 37 – SWOT-анализ тепловой схемы по 1 варианту

Сильные стороны (S): 1. Независимость от центральной тепловой сети; 2. Высокие сроки службы нового оборудования; 3. Более короткие сроки выполнения ремонтных работ; 4. Автоматический режим работы оборудования; 5. Возможность регулирования тепловой мощности.	Слабые стороны (W): 1. Относительно высокий уровень капитальных затрат; 2. Наличие вредных выбросов (с уходящими дымовыми газами).
Возможности (O): 1. Появление новых технологий; 2. Ускоренная амортизация.	Угрозы (T): 1. Рост цен на основное топливо.

SWOT-анализ теплоснабжения потребителей по 2 варианту с изменениями относительно 1 варианта представлен в таблице 38.

Таблица 38 – SWOT-анализ тепловой схемы по 2 варианту

<p>Сильные стороны (S):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Независимость от центральной тепловой сети; 2. Высокие сроки службы нового оборудования; 3. Более короткие сроки выполнения ремонтных работ; 4. Автоматический режим работы оборудования; 5. Возможность регулирования тепловой мощности. 	<p>Слабые стороны (W):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокий уровень капитальных затрат; 2. Наличие вредных выбросов (с уходящими дымовыми газами) 3. Себестоимость производимой теплоты больше, чем по первому варианту.
<p>Возможности (O):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ускоренная амортизация. 	<p>Угрозы (T):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение капитальных затрат на строительство с изменением курса валют; 2. Рост цен на основное топливо.

Вывод: строительство транспортабельной котельной несет больше преимуществ по первому варианту по сравнению со вторым.

Новое оборудование котельной выполнено по новейшим технологиям, обладает высокими сроками службы и достаточно большими межремонтными периодами. Учитывая вышеприведенные факторы, котельная будет служить долго и надежно. Полная автоматизация позволит ускорить технологический процесс и сэкономить на обслуживающем персонале.

SWOT-анализ тепловых схем по двум вариантам наглядно показал, что больше сильных сторон у первой схемы. Второй вариант имеет серьезные слабые стороны и угрозы.

10.7 Оценка движущих и сдерживающих сил ресурсов разработки системы управления

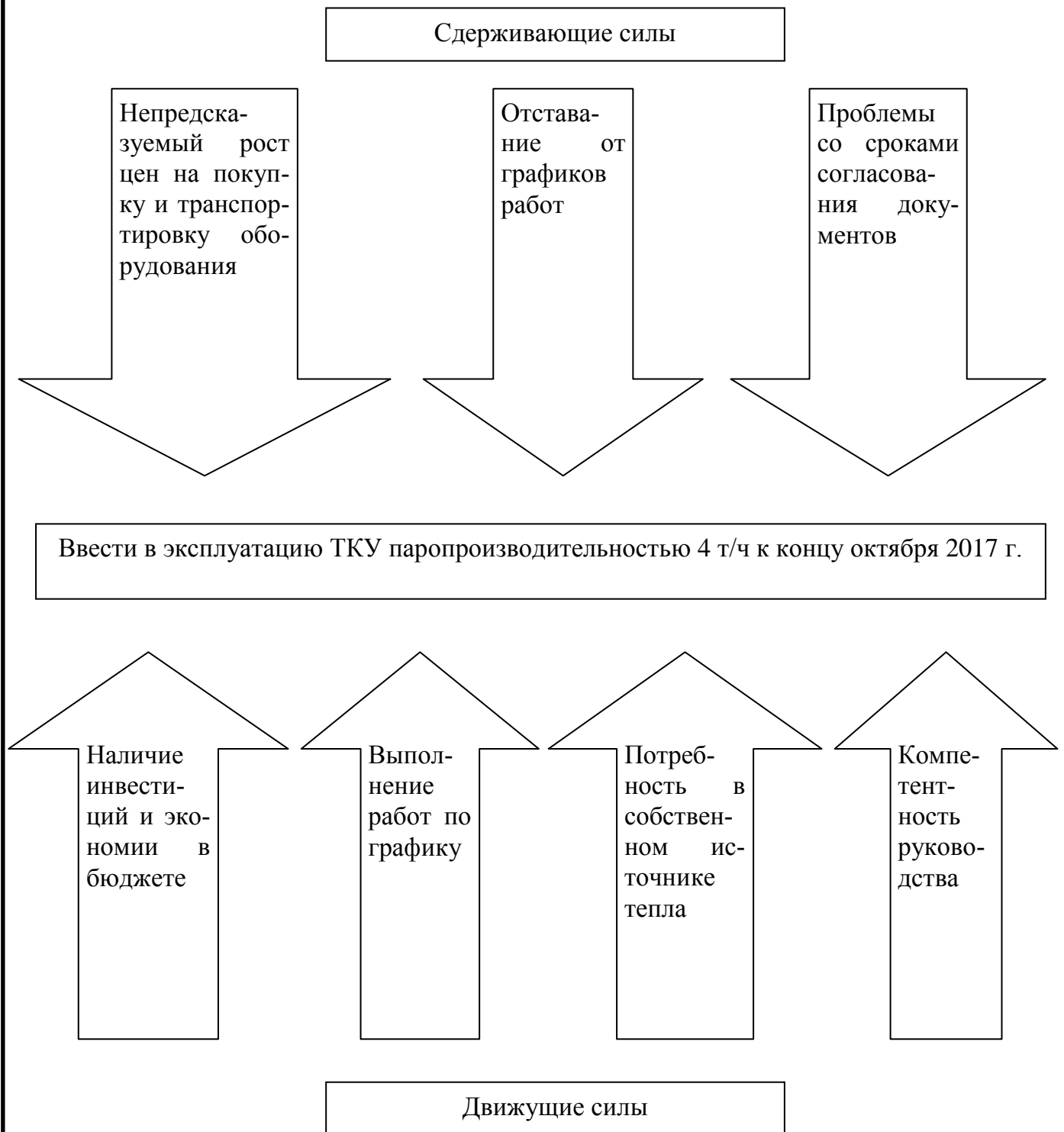


Рисунок 9 – Поле сил изменений системы

Вывод: движущие силы преобладают над сдерживающими. Следовательно, цель реализуема.

10.8 Модель «7S» МакКинси

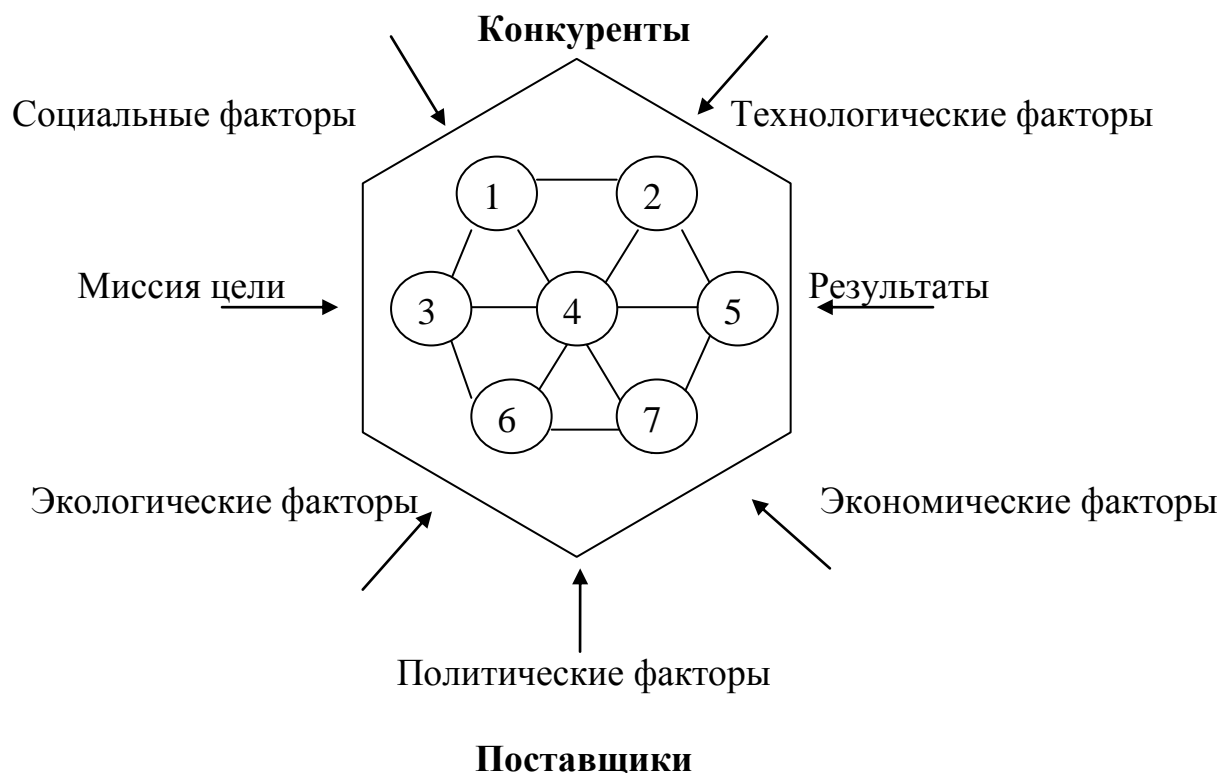


Рисунок 10 – Модель «7S» МакКинси

Внутренние факторы:

1. Принятие управленческих решений;
2. Стиль руководства;
3. Организационная структура;
4. Организационная культура;
5. Управление персоналом;
6. Стратегическое планирование;
7. Операционная подсистема.

Внешние факторы:

1. Социальные: наличие квалификационных кадров и их компетентность;
2. Технологические: наличие качественного и современного оборудования на рынке, и постоянное развитие технологий;
3. Экономические: недостаток инвестиций; рост налогов на производство; риск увеличения стоимости на материальные и топливные ресурсы; инфляция;
4. Экологические: плохое рассеивание вредных примесей при определенных погодных условиях;
5. Политические: ограничение на выброс вредных веществ в окружающую среду; государственное регулирование на жидкое топливо и электроэнергию, что влияет на цену производимой продукции.

Конкуренты на Уральском регионе: ООО «Завод паровых установок UNISTEAM» г.Миасс, ООО «Уральский завод спецтехники» г.Челябинск.

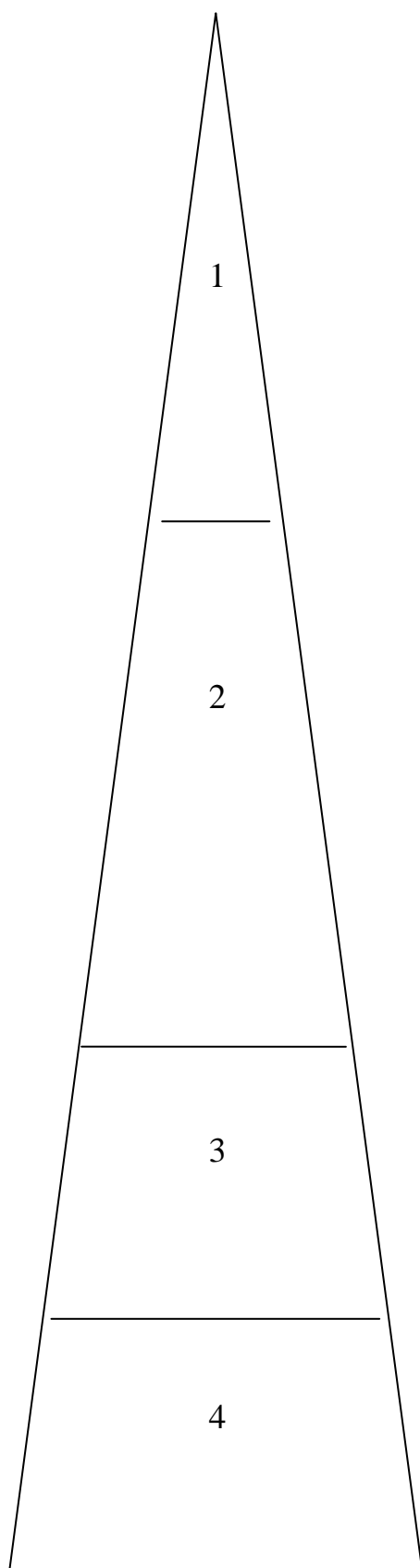
Поставки: использование транспортабельной котельной во всех регионах Российской Федерации, в том числе и труднодоступных районах страны.

Вывод: котельные установки стали очень популярными в наше время, так как они удобны, недорогие и просты в эксплуатации. Если, например, потребитель находится в том месте, где нет возможности подключиться к централизованной магистрали, то тогда транспортабельные котельные установки – это отличнейший выход из сложившейся ситуации.

ТКУ, внутри которых расположены жидкотопливные котлы, также широко используются населением. Особенно они нужны там, где нет подключения к централизованной газовой магистрали. В эксплуатации они просты и неприхотливы. Для начала их работы не надо будет собирать много различных документов по разрешению.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

10.9 Планирование целей и задач управленческой деятельности



Видение: внедрить к 2022 г. транспортабельные котельные установки с паровыми котлами змеевикового типа

Миссия: усовершенствовать работу установки, улучшив основные показатели ТКУ: КПД увеличить, расход топлива должен быть меньше, понизить температуру уходящих газов.

Цели предприятия:

1. Совершенствование схемы котельной;
2. Построить и внедрить больше транспортабельных котельных к 2022 г.
3. Ввести в эксплуатацию ТКУ паропроизводительностью 4 т/ч к октябрю 2017 г.

Стратегия - это долговременные наиболее принципиальные важные установки, планы, намерения руководства предприятия в отношении производства, доходов, расходов и капиталовложений.

Функции управления: прогнозировать и планировать, координировать, распоряжаться, организовывать посредством структур, контролировать, мотивировать.

Рисунок 11 – Пирамида целеполагания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.01.2017.027.05 ПЗ

Лист

84

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена принципиальная схема парогенераторной установки КПА-500Ж, которая удобна для использования в транспортабельных котельных. Однако данная схема физически и морально устарела, котлы имеют низкую производительность, неэффективен КПД установки. Предложенная схема с внесенными изменениями и новым оборудованием имеет ряд преимуществ, которые описаны в данном проекте.

Котлы, представленные в данной работе, имеют специфическую конструкцию. В связи с этим стандартный тепловой расчет не применим в данном случае.

На основании нормативно-справочной и технической литературы составлен и произведен тепловой расчет котла с повышенной паропроизводительностью в 2000 кг/ч. Вычислено необходимое количество топлива, которое необходимо затратить для работы одного котла. Рассчитана температура уходящих газов, которая составила 240°C. Коэффициент полезного действия котла с внесенными изменениями составил 89%.

Для обеспечения необходимого количества воздуха в горелочное устройство и наилучшего процесса горения спроектирована система подачи воздуха. Рассчитан воздушный тракт, по аэродинамическим характеристикам подобран и выбран тягодутьевое устройство ВДН-8.

Описано основное оборудование, которое предлагается внедрить для увеличения паропроизводительности установки. Изложен основной принцип работы устройств.

В экономической части проекта проанализированы два варианта тепловой схемы, в которых предлагается использовать разные котлы: отечественный и зарубежный варианты. По результатам расчетов был выбран проект с отечественным котлом.

В разделе БЖД выявлены опасные и вредные производственные факторы рабочей среды и трудового процесса, описана безопасность производственных процессов и оборудования, а также изучена пожаробезопасность.

Для обеспечения экологических норм по выбросам вредных и загрязняющих веществ выполнен поверочный расчет дымовой трубы, в результате которого определена максимальная приземистая концентрация вредных выбросов, не превышающая предельно-допустимого значения, и принято решение, что для рассматриваемых котлов необходимо установить дымовые трубы высотой в 7 метров.

В графической части проекта представлены чертежи тепловая схема котельной, поперечный разрез котла, 3D-модель транспортабельной котельной установки, схема автоматизации котлов и демонстрационный лист по экономике и по научной части.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зыков А.К. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие. / А.К. Зыков – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
2. Соколов Б.А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных. / Б.А. Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.
3. Приказ Минстроя России от 28 августа 1992 года «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 388 К (115 °С) (с Изменениями № 1, 2, 3)» - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002 г.
4. Статья «Котлы, работающие на жидком топливе: устройство, виды, обзор популярных моделей» – <http://sovnet-ingenera.com>
5. Компания BABCOCK WANSON – <http://babcock-wanson.ru>
6. Статья «Отечественные котлы» – <http://kotel-kvr.ru>
7. Официальный сайт ООО «Завод паровых установок Юнистим» - <http://unisteam.com>
8. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Данилов О.Л., Горяев А.Б., Яковлев И.В. и др. / под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.
9. Мунц, В.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / В.А.Мунц. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2010. – 136 с.
10. Пилипенко, Н.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. / Н.В. Пилипенко, И.А. Сиваков. — СПб.: НИУ ИТМО, 2013. — 274 с.
11. Михайлов, С.А. Стратегическое управление энергосбережением в промышленности. — М.: Финансы и статистика, 2010. — 288 с.
12. Посашков, М.В. Энергосбережение в системах теплоснабжения. / М.В. Посашков, В.И. Немченко, Г.И. Титов. — Самара: СГАСУ, 2014. — 192 с.
13. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. — М.: Машиностроение, 2011. — 374 с.
14. Кузнецов Н.В., Митор В.В., Дубровский И.Е. Тепловой расчет котельных агрегатов: нормативный метод. / под редакцией Н.В. Кузнецова. – М.: ЭКОЛИТ, 2011 г. – 296 с.
15. Липов Ю.М. Компоновка и тепловой расчет парового котла: Учебное пособие для ВУЗов / Ю.М. Липов, Ю.Ф. Самойлов, Т.В. Виленский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
16. Мочан С.И. Аэродинамический расчет котельных установок: нормативный метод, 3-е изд. / под редакцией С.И. Мочан – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.
17. Технические характеристики водоподготовительных установок ВПУ – <http://www.bikz.ru>
18. Технические характеристики насосов ВКС 2/26 – <http://www.hms.ru>
19. Технические характеристики насосов LOWARA – <http://www.xylem.ru>

20. Технические характеристики насосов НШ-10У-3 – <http://www.td-turba.ru>

21. Лебедева, Е.А. Охрана воздушного бассейна от вредных технологических и вентиляционных выбросов: учебное пособие / Е.А. Лебедева. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010. – 196 с.

22. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». – М., 2005.

23. Федеральный Закон от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М., 2008.

24. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме». – М., 2012.

25. Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть дипломного проекта: учебное пособие / А.А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 46 с.

26. Тарифы – <http://www.energo-consultant.ru/>.

					13.04.01.2017.027.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ЭНТАЛЬПИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА

$t, ^\circ\text{C}$	$(Cv)_{\text{RO}_2}$	$(Cv)_{\text{N}_2}$	$(Cv)_{\text{H}_2\text{O}}$	$(Cv)_{\text{B}}$	$\Gamma^0_{\text{RO}_2}$	$\Gamma^0_{\text{N}_2}$	$\Gamma^0_{\text{H}_2\text{O}}$	Γ^0_{r}	Γ^0_{B}	I_{r}
	кДж/м ³				кДж/кг					
30				39					436,97	65,54
100	171,7	130,1	150,5	132,7	276,86	1151,59	249,16	1677,61	1486,80	1900,63
200	360	261	304	267	580,48	2310,26	503,29	3394,04	2991,53	3842,77
300	563	394	463	403	907,81	3487,53	766,53	5161,87	4515,31	5839,16
400	776	529	626	542	1251,27	4682,49	1036,39	6970,14	6072,70	7881,05
600	1231	808	969	830	1984,93	7152,08	1604,25	10741,26	9299,52	12136,19
800	1712	1098	1334	1129	2760,53	9719,05	2208,53	14688,10	12649,59	16585,54
1000	2213	1398	1723	1438	3568,37	12374,52	2852,54	18795,43	16111,70	21212,19
1100	2458	1551	1925	1595	3963,42	13728,82	3186,97	20879,20	17870,76	23559,82
1200	2717	1705	2132	1754	4381,05	15091,96	3529,67	23002,68	19652,24	25950,51
1400	3239	2009	2559	2076	5222,75	17782,84	4236,60	27242,19	23260,00	30731,19
1600	3769	2324	3002	2403	6077,35	20571,09	4970,01	31618,46	26923,79	35657,03
1800	4305	2644	3458	2732	6941,63	23403,60	5724,95	36070,19	30609,98	40661,68
2000	4844	2965	3926	3066	7810,74	26244,96	6499,76	40555,47	34352,20	45708,30
2100	5115	3127	4163	3234	8247,72	27678,92	6892,13	42818,77	36234,51	48253,95
2200	5386	3289	4402	3402	8684,69	29112,88	7287,81	45085,38	38116,83	50802,91

ПРИЛОЖЕНИЯ Б. СПЕЦИФИКАЦИИ

					140100.62.2015.070.15 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87