

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

подпись

инициалы, фамилия

« _____ »

2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Реконструкция котельной установки с заменой воздухоподогревателя

тема

Научный Руководитель/
руководитель

подпись, дата

ст. преподаватель

должность, ученая степень

Л.Я. Жадаева

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

К.А. Михайлов

инициалы, фамилия

Красноярск

2023

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа «Реконструкция котельной установки с заменой воздухоподогревателя» содержит 67 страниц текстового документа, 8 использованных источников, 2 рисунка и 3 таблицы.

Ключевые слова: КОТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ, КПД.

Объект исследования: котлоагрегат ТГМЕ-464, рекуперативный воздухоподогреватель, регенеративный воздухоподогреватель, тяга-дутьевое оборудование.

Цель работы: разработка проекта модернизации котельного оборудования котлоагрегата ТГМЕ-464 с заменой регенеративного воздухоподогревателя на рекуперативный.

Был произведён расчёт регенеративного воздухоподогревателя, расчёт коэффициента полезного действия, расхода топлива, расчёт дутьевого оборудования, а также экономический расчет.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СВЕДЕНИЯ ОБ МОДЕРНИЗИРУЕМОМ ОБОРУДОВАНИИ.....	9
1.1 Котельный агрегат ТГМЕ-464.....	9
1.2 Топочная камера	11
1.6 Барабан и сепарационные устройства	12
1.7 Потолочно-настенный пароперегреватель.....	14
1.8 Фронтальная стена конвективной шахты.....	14
1.9 Радиационный пароперегреватель	15
1.10 Ширмовый пароперегреватель	16
1.11 Уплотнения потолочного и настенного пароперегревателя	17
1.12 Конвективный пароперегреватель	17
1.13 Конденсационная установка.....	18
1.14 Регулирование температуры пара	20
1.15 Впрыскивающие пароохладители.....	21
1.16 Водяной экономайзер	22
1.17 Трубопроводы в пределах котла	23
1.18 Схема узла впрысков	25
1.19 Регенеративный воздухоподогреватель	26
1.20 Газовоздушный тракт котла	26
1.21 Каркас котла	28
1.22 Изоляция котла.....	29
1.23 Газопровод в пределах котла.....	31
1.24 Дутьевой вентилятор	32
1.25 Дымосос	34
1.26 Маслостанция механизмов	36
2 РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ.....	39
3 РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	49
4 РАСЧЁТ ТЯГО-ДУТЬЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	59

5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРОЕКТА	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	67

ВВЕДЕНИЕ

В конструкцию паровых котлоагрегатов средней и большой мощности в газовоздушный тракт входит теплообменник (далее воздухоподогреватель) для подогрева входящей воздушной среды. Делается это с целью увеличения коэффициента полезного действия (далее КПД) котлоагрегата путём использования теплоты уходящих продуктов сгорания. Коэффициент полезного действия (КПД) – это отношение полезной теплоты, пошедшей на нагрев теплоносителя, к располагаемой теплоте (теплоте, поступившей в котельный агрегат). КПД котла является важным показателем, который показывает, какую часть энергии, полученной от сгорания топлива, удалось использовать для производства пара. Чем выше КПД, тем меньше топлива требуется для производства той же самой энергии, что приводит к экономии ресурсов и снижению эксплуатационных расходов.

Модернизация котла может привести к улучшению его эффективности и повышению КПД. Это может быть достигнуто, например, за счет замены устаревшего оборудования на более современное, установки дополнительных систем контроля и регулирования, а также за счет оптимизации режимов работы котла.[1]

Экономия денежных средств является еще одним важным показателем, который может быть получен в результате модернизации котла. Улучшение эффективности работы котла приводит к снижению расходов на топливо и эксплуатацию, что может привести к значительной экономии денежных средств. Подогретый воздух вместе с топливом подается в топочную камеру с помощью горелочных устройств. Подогретый воздух увеличивает интенсивность сгорания топлива. Воздухоподогреватели на паровые котлоагрегаты устанавливаются двух типов: регенеративные и рекуперативные. В котельных агрегатах также можно использовать различные типы воздухоподогревателей, в том числе и регенеративные и рекуперативные (далее РВП). Регенеративные воздухоподогреватели в котельных агрегатах

часто состоят из теплообменника с вращающимся ротором, на котором расположены керамические камеры. Горячий воздух, выделяемый из газовых продуктов сгорания в котле, направляется через одну камеру теплообменника, нагревая его, тогда как холодный воздух поступает через другую камеру и прогревается, проходя через нагретый теплообменник. После некоторого времени потоки воздуха меняют направление, и процесс повторяется. Таким образом, энергия, которая ранее была потеряна при выходе газовых продуктов сгорания в атмосферу, может быть использована для подогрева воздуха, который потом будет использоваться в помещении, облегчая задачу отопления.[2]

Рекуперативные воздухоподогреватели в котельных агрегатах работают несколько иначе. В этом случае выделяемый из газовых продуктов сгорания горячий воздух, проходит через один теплообменник, а затем через другой теплообменник проходит воздух, поступающий из помещения. При этом тепло горячего воздуха переходит на воздух, проходящий в обратном направлении. Таким образом, горячий воздух используется для подогрева холодного воздуха, поступающего в помещение, тогда как газы, выходящие из котла, могут быть охлаждены.

Как и в случае с обычными воздухоподогревателями, рекуперативные и регенеративные воздухоподогреватели в котельных агрегатах позволяют увеличить эффективность отопления и снизить затраты на энергию. При выборе воздухоподогревателя для котельной системы следует учитывать такие факторы, как размер помещений, стоимость и энергоэффективность устройства, а также условия эксплуатации.

Плита аксиального уплотнения состоит из сварной конструкции коробчатого типа, связанной с плитой, а также имеет возможность перемещения в горизонтальном и вертикальном направлениях при помощи прижимных устройств и рычажных устройств. Конструктивно РВП состоит из следующих основных узлов:

- Корпус с крышками;

- Нагревательные пакеты;
- Ротор;
- Металлоконструкции опор и опорные устройства;
- Приводные устройства;
- Подъёмное устройство.
- Уплотнительные устройства;[3]

Недостатками регенеративного воздухоподогревателя является утечки уходящих газов в среду подаваемой воздушной среды (порядка 10 %, зависит от степени изношенности уплотнений), что увеличивает потерю тепла с уходящими газами, а также наличие вращающихся элементов и системы водяного охлаждения вала ротора и подшипников. Система вращения регенеративного воздухоподогревателя требует наличие двух мотор-редукторов большой мощности. Наличие двух мотор-редукторов обусловлено требованиями к отказоустойчивости воздухоподогревателя, так как второй мотор-редуктор выполняет роль запасного при выходе из строя первого. При выходе из строя обоих мотор-редукторов котлоагрегат немедленно останавливается аварийной защитой. Мотор редуктор работает непрерывно, что требует определённого количества электроэнергии. Это также сказывается негативно на КПД котлоагрегата. Конструктивные особенности воздухоподогревателя данной конструкции, связанные с перетоком двух сред, в частности, уходящих продуктов сгорания и подаваемой воздушной среды через уплотнения, вызывает снижение КПД котлоагрегата.

Рекуперативные воздухоподогреватели лишены недостатков, свойственных другим типам таких устройств, и не снижают КПД котлоагрегата. Они также более просты в конструкции, ремонте и обслуживании, и не требуют электрической энергии для работы. Рекуперативные воздухоподогреватели работают с неподвижной поверхностью нагрева, через которую происходит непрерывный теплообмен от продуктов сгорания к воздуху. В регенеративных воздухоподогревателях

поверхность нагрева омывается попеременно продуктами сгорания, нагреваясь при этом, и воздухом, отдающим тепло.

Одним из основных видов рекуперативных воздухоподогревателей является трубчатый воздухоподогреватель (ТВП) с вертикально расположенной трубной системой. Эти воздухоподогреватели выполняются из стальных труб наружным диаметром 30-40 мм и толщиной стенки 1,2-1,5 мм. Трубы прямые, вертикально расположенные, и прикреплены концами к трубным доскам, расположенным в шахматном порядке. Они обычно проходят внутри трубы продуктов сгорания (продольное омывание), и их тепло передается воздуху, движущемуся между трубами (поперечное омывание). Для создания перекрестного тока воздушной среды, трубную систему по высоте делят на несколько ходов при помощи промежуточных перегородок (досок), а в местах поворота установлены воздушные перепускные короба. Воздухоподогреватель окружен наружными стальными плотными стенками, и нижняя трубная доска опирается на раму, связанную с каркасом котла.[3]

Замена регенеративного воздухоподогревателя на регенеративный воздухоподогреватель определённо скажется положительно на КПД всего котлоагрегата. Целью данной дипломной работы будет расчёт положительного эффекта от замены воздухоподогревателя, а также расчёт прироста КПД и экономической выгоды данной модернизации.

1 СВЕДЕНИЯ ОБ МОДЕРНИЗИРУЕМОМ ОБОРУДОВАНИИ

1.1 Котельный агрегат ТГМЕ-464

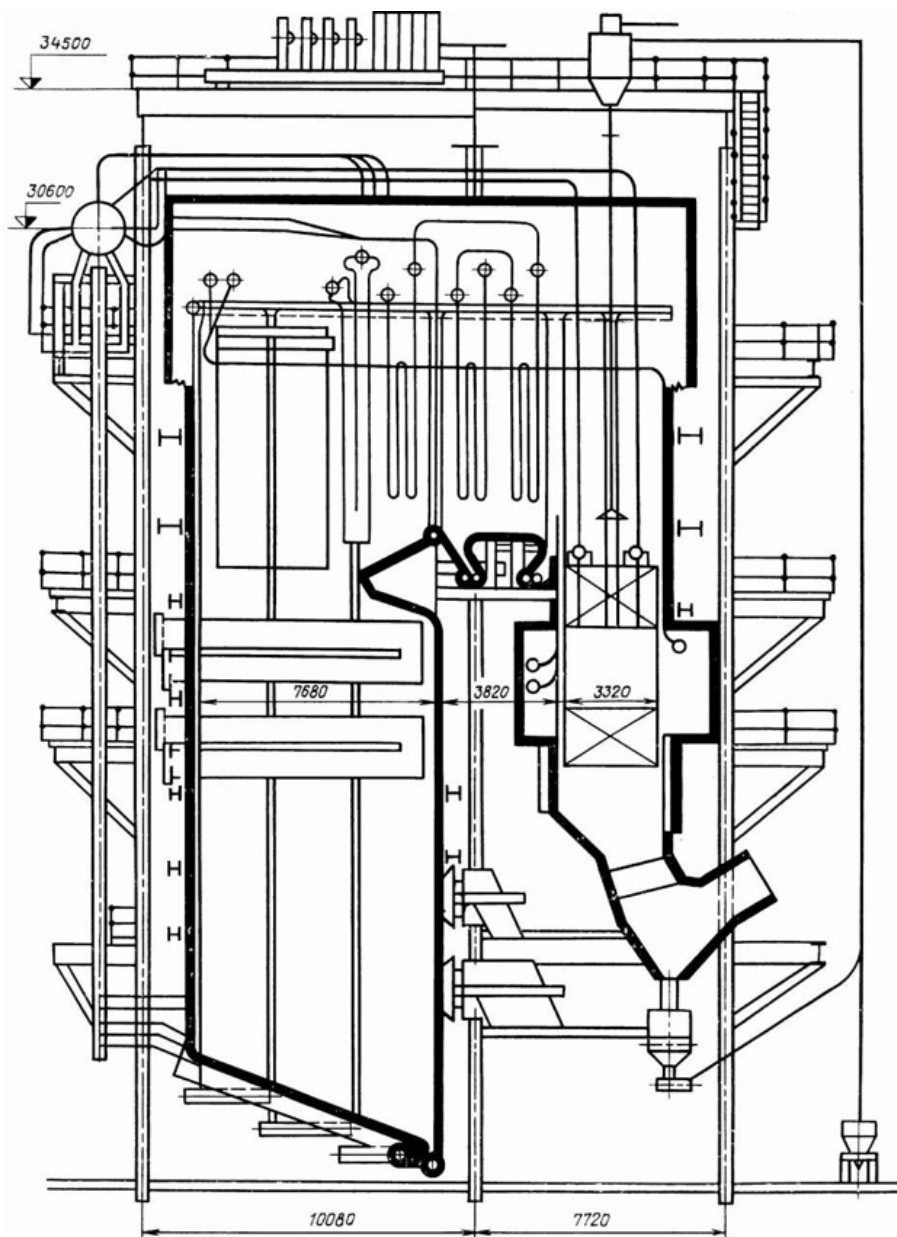


Рисунок 1 – котлоагрегат ТГМЕ-464

Котельный агрегат ТГМЕ-464 выполнен по П-образной компоновке. ТГМЕ-464 является мощным котлоагрегатом, который используется для генерации пара на больших промышленных объектах. Он применяется в различных отраслях, таких как энергетика, металлургия, нефтепереработка и другие.

Котлоагрегат ТГМЕ-464 работает на топливе, таком как природный газ, дизельное топливо или топливо на основе мазута. Котел имеет мощность 464 т/ч пара при давлении 13 атмосфер и температуре 540 градусов Цельсия. Он оснащен автоматикой и оборудованием для контроля и регулирования технологических параметров процесса.

Котлоагрегат ТГМЕ-464 имеет несколько рабочих камер, которые позволяют достичь высокой эффективности сжигания топлива и обеспечить высокую производительность. Он также обладает системой очистки дымовых газов и подачей воздуха для сжигания.

Одной из особенностей котла ТГМЕ-464 является использование технологии рециркуляции дымовых газов, что позволяет увеличить эффективность сжигания топлива и снизить его потребление. Это значительно снижает затраты на эксплуатацию котла и уменьшает вредные выбросы в атмосферу.

Котельный агрегат ТГМЕ-464 способен сжигать природный газ и дизельное топливо при помощи восьми комбинированных газомазутных горелок коаксиального типа с центральной подачей газа, установленных на задней стене топочной камеры в два ряда на отметках 6150 и 8750мм. В газовоздушный тракт котла входят регенеративный воздухоподогреватель РВП-88Н, дутьевой вентилятор ВДН-25х2, осевой дымосос ДОД-28,5 ГМ-1 и дымосос рециркуляции газов ГД-20. Котел может работать под наддувом, а также под разрежением, с уравновешенной тягой.

Для питания котла водой используется один питательный электронасос типа ПЭ-580-195. Металл трубопроводов и поверхностей нагрева на котле, в основном применена углеродистая сталь марки СТ-20, а также низколегированная сталь марок 16ГНМА, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, содержащих добавки, улучшающие жаропрочность сталей. Компоненты котла из стали СТ-20 могут работать при температурах не выше 450°С без ползучести, а элементы при температурах выше 450°С до 560°С

изготавливаются из низколегированных сталей перлитного класса. Также применяется высокопрочная углеродистая сталь марки 15ГС с незначительным содержанием марганца и кремния. Описание содержания легирующих элементов в конструкциях котлоагрегата приведены в таблице 1.

Марка стали	Содержание углерода, %	Содержание легирующих элементов, %					
		Г	С	Н	М	Х	Ф
СТ-20	0,2	-	-	-	-	-	-
15ГС	0,15	1,1	0,85	-	-	-	-
16ГНМА	0,16	1,0	-	1,2	0,5	-	-
15ХМ	0,15	-	-	-	0,5	1,0	-
12Х1МФ	0,12	-	-	-	0,3	1,0	0,3
15Х1М1Ф	0,15	-	-	-	1,0	1,2	0,3

Таблица 1 – марки стали, применяемы в котлоагрегате [4]

1.2 Топочная камера

Топочная камера имеет привычную форму прямоугольника с плановыми размерами 7680x13520 мм и общим объемом 1610 м³. Напряжение тепла в топочном объеме при номинальной нагрузке составляет 198,0x10³ ккал/м³ ч.

Стены топочной камеры открыты газонепроницаемыми панелями, сделанными из труб диаметром 60x6 (сталь 20). Полоски сечением 21,5x6 мм (сталь 20) вварены между трубами, а расстояние между ними - 80 мм. Трубы фронтального экрана под углом 15 градусов к горизонтальной плоскости и защищены от расслоения потока слоем карборунда толщиной 100 мм, начиная от плавника.

Фронтальной экран состоит из шести панелей шириной 13360 мм, каждая из которых включает 28 труб и два коллектора диаметром 219x40 мм (сталь 20). 12 труб (две на каждую панель) фронтального экрана участвуют в креплении радиационного пароперегревателя в топке. Каждая панель состоит из двух блоков, которые соединяются монтажной работой. Боковые экраны

содержатся в трех панелях шириной 760 мм, каждая из которых содержит 32 трубы и два коллектора диаметром 219x40 мм (сталь 20).

Первая панель бокового экрана разделена на два контура, в которых находятся перегородки. Контур, который состоит из 12 труб (расположенных дальше от фронта), включен во вторую ступень испарения. Две трубы каждой панели бокового экрана выступают в топку для крепления настенного радиационного пароперегревателя.

Задний экран состоит из двух крайних и четырех средних панелей, средняя из которых содержит 32 труб. Каждая средняя панель имеет две разводки под горелки на отметках 6150 мм и 8750 мм, а разводки выполнены в форме конусов и сварены между собой прутками в конической части амбразуры. Функцией карборундового слоя является амбразура горелки. Две трубы каждой панели заднего экрана имеют выступ в топку для крепления настенного радиационного пароперегревателя.

Задний экран крепится за верхние коллекторы панелей подвесками к металлоконструкциям котла. Верхний и нижний коллекторы заднего экрана имеют диаметр 219x40 мм (сталь 20), и из них выходят 20 труб диаметром 133x13 мм (сталь 20), образуя фестон. К этим трубам крепятся опоры, которые подвешивают задний экран к потолочному перекрытию каркаса.[4]

1.6 Барабан и сепарационные устройства

Барабан является одной из ключевых деталей котлоагрегата, которая служит для накопления и распределения пара в процессе работы. Барабан котлоагрегата произведен из высококачественной стали 16 ГНМА, которая обладает высокой прочностью и способностью выдерживать высокие температуры и давления.

Внутренний диаметр барабана составляет 1600 мм, что определяет его габаритные размеры. Толщина стенки составляет 112 мм, что позволяет ему выдерживать высокие давления, возникающие в процессе работы котлоагрегата. Длина барабана составляет 20110 мм, что позволяет ему

накапливать и распределять пар в достаточном количестве для обеспечения эффективной работы котлоагрегата.

Маслонасос циркуляции масла является важной частью котлоагрегата ТГМЕ-464, который обеспечивает нормальную работу двигателя. Он используется для перекачивания масла через систему смазки в целях уменьшения износа деталей и охлаждения тепловых элементов.

Принцип работы маслонасоса заключается в перекачивании масла из бака для хранения масла в систему циркуляции и обратно. Когда маслонасос включается, он создает разрежение внутри себя за счет механизма перекачки масла, который может быть насосом с ротором или поршневым насосом.

Затем масло под давлением перекачивается через трубопроводы в систему смазки двигателя. После этого масло охлаждает тепловые элементы и смазывает подвижные детали, такие как поршни и части двигателя.

Чтобы обеспечить бесперебойную работу котлоагрегата, маслонасос должен обеспечивать постоянную циркуляцию масла. В процессе работы масло подвергается загрязнению и износу, поэтому насос должен регулярно обслуживаться, чтобы гарантировать эффективную работу.

Внутри барабана размещены специальные устройства для сепарации пароводяной смеси. Пароводяная смесь проходит по пароводящим трубам и поступает в 68 циклонов диаметром 315мм, расположенных внутри барабана. В циклонах пар отделяется от воды, а вода сливается в поддоны, а пар переходит в промывочное устройство. В промывочном устройстве пар проходит через слой питательной воды на дырчатом листе, где все соли освобождаются. Слой воды поддерживается постоянно благодаря конструкции раздающих коробов, которые получают свою воду из водяного экономайзера.

Для контроля уровня воды на барабане установлен уровень в виде насечки и надписи Г.О., которая указывает на геометрическую ось барабана, расположенную на расстоянии 175мм ниже среднего уровня воды, который принят за нулевой. Кроме того, есть высший предельный уровень (+200мм) и

низший (-100мм), которые помогают избежать проблем с перепиткой. Разогрев металла барабана был демонтирован, поскольку опыт эксплуатации показал, что разница температур между верхом и низом барабана удерживается в пределах допустимого (60°C).[4]

1.7 Потолочно-настенный пароперегреватель

Потолочный пароперегреватель является одной из важных частей котлоагрегата ТГМЕ-464. Эта система предназначена для перегрева пара, который поступает в нее из парогенератора.

Потолочный пароперегреватель состоит из шести панелей, каждая из которых содержит входной и выходной коллекторы диаметром 219х56 мм и трубы диаметром 32х5 мм. Две крайние панели содержат по 48 труб, а четыре средние панели содержат по 49 труб.

Входящий пар поступает в коллекторы и затем проходит через трубки, которые расположены на каждой панели. В процессе прохождения через трубы пар нагревается до высокой температуры и перегревается. Перегретый пар затем отправляется в турбину, чтобы передать свою энергию и привести ее в движение.

Конструкция потолочного пароперегревателя, состоящего из множества труб разного диаметра и количества, обеспечивает максимальную эффективность нагрева пара. Благодаря наличию нескольких панелей и большому количеству труб, система может выдерживать высокие температуры и давления и обеспечивать стабильную работу котлоагрегата.[4]

1.8 Фронтальная стена конвективной шахты

Фронтальная стена конвективной части котла ТГМЕ-464 - это вертикально расположенная конструкция, состоящая из панелей, которые изготовлены из стали высокой прочности. Она расположена в верхней части котла и используется для передачи тепла из горячей камеры в технологический процесс. Фронтальная стена конвективной шахты образована шестью блоками.

Каждый блок состоит из двух коллекторов, входного и выходного диаметром 219x30мм (сталь 20) и панели из труб диаметром 32x5мм (сталь 12x1МФ). Шаг между трубами панели 92мм. Количество труб в панелях: 24, 25, 24, 24, 25, 24.

Фронтальная стена имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоев, каждый из которых выполняет определенные функции. В первый слой входят предстеночный канал и облицовка. Предстеночный канал - это узкий и длинный канал, расположенный перед фронтальной стеной. Второй слой состоит из основной конструкции фронтальной стены и состоит из заготовок вертикальных панелей, смонтированных на каркасе.

Третий слой - это углепластиковый экран, который защищает вертикальные панели от воздействия газовых потоков. Четвертый слой - это слой рифленых пластин, который повышает контакт жаровых газов с фронтальной стеной, а также обеспечивает улучшенную теплоотдачу.

Также в состав фронтальной стены входят поперечные и продольные щели, которые обеспечивают прохождение воздуха и охлаждение поверхности фронтальной стены, что позволяет предотвратить ее перегрев и обеспечивает стабильность работы котла.

Фронтальная стена часто подвергается высоким температурам и давлениям, поэтому ее конструкция должна обеспечивать надежность и прочность.[4]

1.9 Радиационный пароперегреватель

Радиационный пароперегреватель в котле ТГМЕ-464 имеет 12 панелей, которые располагаются на фронтальной, задней и боковых стенах. Каждая панель состоит из двух вертикальных коллекторов диаметром 159x16мм, изготовленных из стали 12X1МФ, и 21 горизонтальных U-образных змеевиков, выполненных из труб диаметром 36x5мм, также изготовленных из стали 12X1МФ. Расстояние между трубами составляет 40мм.

Фронтальные и задние панели имеют длину 7070мм, а боковые - 7425мм. Общее число панелей составляет 12. Радиационный пароперегреватель

представляет собой систему, которая предназначена для нагрева водяного пара в котле до высоких температур.

Устройство осуществляет преобразование тепловой энергии, получаемой в результате сгорания топлива в котле, в тепловую энергию пара, который затем используется для производства электроэнергии или других производственных целей.[4]

1.10 Ширмовый пароперегреватель

Ширмовый пароперегреватель в котле ТГМЕ-464 состоит из двух ступеней вертикальных ширм, каждая из которых содержит 18 ширм. Ширмы размещены на верхней части топочной камеры и подвешены перпендикулярно фронтальному экрану в 800мм от оси труб фронтального экрана. Расстояние между рядами ширм составляет 140мм. Шаг между ширмами переменный и составляет 713мм, 736мм и 782мм.

Каждая ширма состоит из 18-ти У-образных змеевиков диаметром 32х5мм, выполненных из стали 12Х1МФ, двух коллекторов диаметром 159х16мм из той же стали. Расстояние между трубами ширмы равно 40мм. Крепление змеевиков в ширмах осуществляется с помощью двух обвязочных змеевиков, соединенных между собой гребенками из жаропрочной стали 08Х20Н14С2.

Ширмовый пароперегреватель является ключевым устройством в котле ТГМЕ-464, который используется для нагрева пара до высоких температур. Он работает по принципу преобразования тепловой энергии, выделяемой при сгорании топлива в котле, в тепловую энергию пара. Данный процесс осуществляется благодаря присутствию ширм в верхней части топочной камеры. Здесь происходит интенсивный обмен теплом между газами, выходящими из печи и трубами ширмового пароперегревателя, что в результате приводит к повышению температуры пара.[4]

1.11 Уплотнения потолочного и настенного пароперегревателя

Уплотнения пароперегревателя представляют собой важный элемент котла ТГМЕ-464, который обеспечивает надежное и эффективное функционирование устройства. Пароперегреватель состоит из потолочных и настенных секций, которые объединены между собой трубопроводами.

Уплотнение потолочного пароперегревателя осуществляется с помощью специальных прокладок, которые расположены между секциями пароперегревателя. Прокладки изготавливаются из материала, который обеспечивает высокую теплоустойчивость и сохраняет свои свойства при повышенных температурах и давлениях. Это позволяет не только обеспечить герметичность соединений, но и защитить поверхности труб и секций от износа и коррозии.

Уплотнение настенного пароперегревателя реализуется посредством использования специальных герметизирующих колец, которые располагаются на стыке секций пароперегревателя. Кольца изготовлены из высококачественного материала, обеспечивающего высокую теплоустойчивость и долговечность в условиях эксплуатации котла ТГМЕ-464. Они защищают стенки секций от износа и коррозии, а также обеспечивают надежное уплотнение между элементами пароперегревателя.

Без уплотнений потолочного и настенного пароперегревателя котел ТГМЕ-464 не сможет функционировать корректно и обеспечить высокое качество производства пара. Учет особенностей конструкции и использование качественных материалов при изготовлении уплотнений обеспечивает надежную работу котла и продлевает срок его эксплуатации.[4]

1.12 Конвективный пароперегреватель

Вертикальный конвективный пароперегреватель в котле ТГМЕ-464 - это устройство, состоящее из четырех ступеней, расположенных в переходном газоходе. Первая ступень КПП (входная) состоит из шести блоков с коллекторами и змеевиками.

Каждый блок включает входной коллектор диаметром 325x25мм, выходной коллектор диаметром 325x40мм и 9 пакетов змеевиков с шагом между пакетами 240мм. В каждом пакете содержится по 6 однопетлевых змеевиков из труб диаметром 36x6мм с шагом между змеевиками 50мм. Материалом для изготовления коллекторов и труб была выбрана сталь 12Х1МФ.

Конструкция вертикального конвективного пароперегревателя обеспечивает эффективный перенос тепла от газов к пару. Пар, поступающий из предыдущих ступеней и имеющий низкую температуру, проходит через змеевики на входе первой ступени и поднимается вверх по каналам между пакетами змеевиков. Затем пар проходит через змеевики в следующей ступени, где повышается его температура еще больше.

Каждый блок в первой ступени содержит шесть пакетов змеевиков, которые обеспечивают высокую эффективность передачи тепла от газов к пару. Входной и выходной коллекторы гарантируют равномерное распределение пара внутри блока и обеспечивают надежную работу устройства в целом.

Важно отметить, что вертикальный конвективный пароперегреватель в котле ТГМЕ-464 прошел детальную настройку, что позволяет оптимизировать работу устройства и достичь максимальной эффективности из него. Для изготовления блоков использовалась сталь 12Х1МФ, которая обладает высокой стойкостью к коррозии и износу, что повышает долговечность пароперегревателя и обеспечивает надежную работу котла в целом.[5]

1.13 Конденсационная установка

УСК (устройство собственного конденсата) - это важное устройство в паровых котлах, которое используется для повышения эффективности работы котла и снижения потерь тепла. КПД котла является важным показателем, который показывает, какую часть энергии, полученной от сгорания топлива, удалось использовать для производства пара. Оно позволяет извлекать тепло

из конденсата, который образуется при охлаждении пара, и использовать его для предварительного нагрева воды, которая затем поступает в котел для превращения в пар.

Устройство собственного конденсата работает на основе принципа теплообмена. Когда пар проходит через котел, он нагревает воду, превращая ее в пар. Пар затем поступает в турбину для генерации электроэнергии или для других целей. После использования пара, он охлаждается и превращается в конденсат, который собирается в баке. Конденсат, содержащий тепло, затем поступает в устройство собственного конденсата.

Устройство собственного конденсата позволяет предварительно нагреть воду, которая поступает в котел, используя тепло из конденсата. Это позволяет повысить эффективность котла, поскольку он использует больше тепла для превращения воды в пар. Также это позволяет снизить потери тепла, которые могут возникать при охлаждении конденсата до комнатной температуры.

Важно отметить, что устройство собственного конденсата имеет некоторые ограничения в использовании. Например, оно может использоваться только в тех случаях, когда конденсат содержит достаточно тепла для предварительного нагрева воды. Также устройство собственного конденсата может быть довольно дорогим в установке и требует регулярного технического обслуживания для эффективной работы. Однако, несмотря на эти ограничения, устройство сухого конденсата является важным элементом в повышении эффективности работы паровых котлов и снижении потерь тепла.

Конструктивные и тепломеханические характеристики УСК представлены в Таблице 2.

Характеристика	Значение
1. Конденсатор:	
диаметр, мм	426x36
длина, мм	7232
поверхность нагрева, м ²	28,7
количество на котёл, шт.	6
	84

Характеристика	Значение
2. Расход питательной воды на один конденсатор, т/час	15,5
3. Расчётное кол-во конденсата, получаемого в одном конденсаторе, т/час	93,0
4. Суммарная производительность конденсационной установки, т/час	

Таблица 2 – технические характеристики конденсатора[5]

1.14 Регулирование температуры пара

В связи с высокими параметрами пара на котельных агрегатах ТГМЕ-464 заводом-изготовителем установлены предельно-допустимые температуры пара по элементам пароперегревателя указанным в таблице 3.

Наименование поверхности нагрева	Диаметр и толщина труб, мм	Материал	Предельно-допустимая температура пара за поверхностью, °С
Радиационный пароперегреватель	36x5 32x5	12x1МФ то же	415 470
Ширмовый пароперегреватель	36x6	то же	520
Конвективный пароперегреватель I ст.	36x6	то же	530
Конвективный пароперегреватель II ст.	36x5	то же	540
Конвективный пароперегреватель III ст.	36x6	то же	550
Конвективный пароперегреватель IV ст.			

Таблица 3 – предельные температуры поверхностей теплообменников котлоагрегата[5]

Температура за поверхностью соответствует температуре металла, регистрируемого на БЦУ.

Для регулирования температуры перегретого пара на котельном агрегате ТГМЕ-464 применены впрыскивающие пароохладители,

использующие конденсат, полученный в установке собственного конденсата, все они находятся в «теплом ящике» котла.

Впрыск конденсата в пароохладители осуществляется за счет разности давлений перегретого пара в пароохладителе и конденсата после УСК, которая, получается, из-за сопротивления участка пароперегревателя между барабаном и пароохладителем и зависит от расхода пара.

Впрыскивающие пароохладители установлены в трех местах последовательно по ходу пара. Первый впрыск установлен за настенным радиационным пароперегревателем (ЛРПП) и служит для защиты труб ширм от перегрева при растопке и переменных режимах работы котла. Кроме конденсата в пароохладитель I ступени может подаваться впрыск питательной воды из питательной напорной магистрали, что необходимо при отдельных режимах (растопке, работе на малых нагрузках при пониженном расходе пара). Второй впрыск, являющийся основным в регулировании, установлен между конвективными пароперегревателями I и II ступени. Третий впрыск расположен перед входом в ступень КПП-1У и служит для окончательной подрегулировки температуры пара на выходе из котла ($560^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$).[4]

1.15 Впрыскивающие пароохладители

Впрыскивающий пароохладитель представляет собой коллектор диаметром 325мм, внутри которого размещена защитная рубашка, разгруженная от давления с зазором 8мм от стенки и впрыскивающее устройство. Всего пароохладителей на котле - 6шт., 3 слева и 3 справа.

Впрыскивающие пароохладители в котле ТГМЕ-464 представляют собой систему, которая используется для охлаждения пара и увеличения его плотности. Система включает в себя специальные насадки, расположенные на определенной высоте в пароперегревателе, и систему подачи воды.

Водяной раствор поступает в насадки через систему трубопроводов, где он смешивается с горячим паром и испаряется. В результате этого происходит

охлаждение пара и увеличение плотности, что в свою очередь повышает эффективность работы котла.

Впрыскивающие пароохладители в котле ТГМЕ-464 обеспечивают точный контроль температуры и плотности пара на выходе из пароперегревателя, что позволяет достичь максимальной эффективности работы котла и оптимального качества производства пара. Эта система также позволяет защитить нагревательные поверхности котла от повреждений и коррозии, что продлевает срок его эксплуатации.

Кроме того, впрыскивающие пароохладители имеют важное значение для безопасности работы котла, так как охлаждение пара позволяет предотвратить возможные разрывы в трубах и других элементах котла.

В целом, впрыскивающие пароохладители в котле ТГМЕ-464 являются важным элементом системы производства пара, который обеспечивает надежную и безопасную работу котла, а также повышает его эффективность и продлевает срок эксплуатации.[5]

1.16 Водяной экономайзер

Водяной экономайзер – это устройство, которое устанавливается на котлы с целью повышения эффективности их работы. Он позволяет снизить расход топлива на 5-7% и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу. Водяной экономайзер, который был описан в тексте, имеет две конденсационные установки (УСК), расположенные на боковых стенах топочной камеры. Каждая УСК состоит из трех конденсаторов, одного парораздающего коллектора и одного сборника конденсата. Коллекторы и трубопроводы всех УСК выполнены из стали СТ-20.

Для более эффективной работы котла установлен водяной экономайзер в опускном газоходе. Он состоит из входных и выходных коллекторов, а также 316 сдвоенных змеевиков, выполненных из труб диаметром 28x4мм. Змеевики расположены перпендикулярно фронту котла в шахматном порядке с шагами - 85мм и - 44,3мм. Экономайзер состоит из двух частей с ремонтным разъемом

высотой 2400мм, каждая часть состоит из шести блоков. Все камеры водяного экономайзера расположены внутри газохода параллельно фронту котла. Входные камеры опираются с помощью опорных балок на металлоконструкции потолочного перекрытия.[5]

Для удержания змеевиков в правильном положении и обеспечения необходимого шага между ними, каждый пакет крепится при помощи четырех рядов стоек фигурными щеками, которые охватывают змеевики с двух сторон. Щеки верхних стоек изготовлены из стали Х17, а щеки нижних стоек - из стали 12Х1МФ. Для сохранения шага между пакетами свободные концы стоек каждого блока крепятся полосой - сталь ВСТЗКЛ2. Два верхних ряда и гибы змеевиков верхних и нижних пакетов защищены от наклепа дробью-накладками.

Каждый выходной коллектор подвешен на 12 подвесных трубах диаметром 108х12мм, выполненных из стали 20. Из подвесных труб вода собирается в двух коллекторах диаметром 273х32мм, выполненных из стали 20, откуда отводится в барабан. Указанные коллекторы крепятся при помощи подвесок к металлоконструкциям потолочного перекрытия.

Таким образом, водяной экономайзер – это эффективное устройство, которое помогает повысить эффективность работы котла.

1.17 Трубопроводы в пределах котла

Питательная вода подводится к сниженному узлу питания одним трубопроводом, на котором установлена измерительная шайба и арматура условным диаметром Ду250: задвижка с электроприводом, клапан регулирующий и клапан обратный. Сниженный узел питания (СУП) и трубопровод питательной воды от питательного насоса до СУПа - выполнен из стали 15ГС. Регулирующий клапан и задвижка байпасируются двумя линиями. На одной из них установлена арматура условным диаметром Ду100: задвижка электроприводом и клапан регулирующий шиберный. На другой байпасной линии установлены дросселирующее устройство и арматура

условным диаметром Ду65: клапан - регулирующий игольчатый и вентиль с электроприводом.

Байпас условным диаметром Ду100 предназначен для питания котла при пониженных нагрузках, байпас условным диаметром Ду65 предназначен для заполнения котла водой и питания его при растопочных нагрузках.

Питательная вода, пройдя узел питания, поступает в два входных коллектора диаметром 273x32мм (сталь 20) конденсационных установок, далее проходит конденсаторы УСК и попадает в два выходных коллектора диаметром 273x32мм (сталь 20).

Из выходных коллекторов конденсационных установок вода по восьми трубам диаметром 133x13мм (сталь 20) поступает во входные коллекторы водяного экономайзера.

К входным коллекторам водяного экономайзера присоединяется линия рециркуляции воды, диаметром 133x13мм (сталь 20), из барабана котла. На этой линии установлена задвижка с электроприводом Ду100.

Из водяного экономайзера вода поступает в подвесные трубы. Из двух коллекторов подвесных труб вода по 10 трубам диаметром 108x12мм (сталь 20) отводится в барабан котла. Из барабана насыщенный пар поступает в пароперегреватель (см. схему пароперегревателя).

Кроме указанных выше, на котле предусмотрены следующие линии:

1. Линия аварийного сброса из барабана.
2. Линия регулирования солевой кратности.
3. Линия солевого перемешивания.
4. Линия непрерывной продувки.
5. Линия сброса котловой воды из обоих выносных циклонов.
6. Линия фосфатирования.

Кроме того, на котле предусмотрены линии импульсных и главных предохранительных клапанов, воздушников, дренажей экранов, водяного экономайзера, настенного и радиационного пароперегревателей, фильтров,

линия продувки радиационного перегревателя, линия продувки конвективного пароперегревателя.[5]

1.18 Схема узла впрысков

Собственный конденсат к узлу впрысков на котле ТГМЕ-464 - это важный элемент системы подачи воды в котел, который помогает снизить затраты на топливо и повысить эффективность работы котла.

Для транспортировки конденсата используется труба диаметром 159x20мм, выполненная из стали 20. На этой трубе установлена задвижка с электроприводом Ду100. Основной поток конденсата разделяется на 6 потоков – 3 слева и 3 справа. Каждый из трубопроводов имеет вентиль Ду65 с маховиком, клапан регулирующий игольчатый Ду65 - I и II ступени, Ду20 - III ступени.

В систему подачи воды к 1 впрыску также подается питательная вода, которая поступает по отдельному трубопроводу из основной магистрали питательного трубопровода. На трубопроводе подвода питательной воды к 1 впрыску установлены вентиль с электроприводом Ду65, вентиль ручной Ду65 и клапан обратный Ду65.

Линия подвода питательной воды разделяется на 2 линии на левую и правую стороны котла, на каждой из которых установлена арматура Ду20: вентиль запорный с маховиком, клапан регулирующий игольчатый и ручной вентиль Ду65.

Таким образом, собственный конденсат к узлу впрысков на котле ТГМЕ-464 является важным компонентом системы подачи воды, который помогает повысить эффективность работы котла. Разделение конденсата на несколько потоков и наличие регулирующих клапанов позволяет точно дозировать подачу конденсата и питательной воды в каждый впрыск. Это помогает снизить затраты на топливо, повысить эффективность работы котла и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.[5]

1.19 Регенеративный воздухоподогреватель

Регенеративный воздухоподогреватель РВП-88А в паровом котле ТГМЕ-464 является важным элементом системы подачи воздуха в котел и используется для подогрева воздуха до температуры, необходимой для сгорания топлива.

Основным принципом работы РВП-88А является использование тепла, выделяемого из отходящих газов, для подогрева протекающего через него воздуха перед подачей его в котел. При этом, воздух перед подачей в РВП-88А проходит через фильтры, чтобы избавить его от пыли и других загрязнений, которые могут негативно повлиять на работу котла.

РВП-88А состоит из ряда воздухоподогревающих элементов, выполненных из стальных труб различного диаметра, обмотанных спиралью из медной проволоки. Эти элементы установлены внутри кожуха, который выполнен с пространством для прохождения отходящих газов.

В начале работы котла, воздухоподогреватель РВП-88А заполняется воздухом и подогревается отходящими от котла газами. После заполнения, воздухоподогреватель РВП-88А начинает работать в режиме регенерации, т.е. отводит подогретый воздух в котел для сгорания топлива, а отходящие газы переключают на следующий элемент.

После того, как воздухоподогреватель РВП-88А прошел цикл регенерации, он снова заполняется воздухом и цикл продолжается. Регенеративный воздухоподогреватель РВП-88А является эффективным и экономически выгодным решением для подогрева воздуха в паровом котле ТГМЕ-464, так как он позволяет использовать тепло, которое обычно было бы потеряно, для улучшения работы котла.[6]

1.20 Газовоздушный тракт котла

Газовоздушный тракт парового котла ТГМЕ-464 является важной частью системы работы котла, которая обеспечивает поступление воздушной среды и отвод газов. Для этой цели используется высоконапорный вентилятор

ВДН-25x2 с производительностью $575 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$, развиваемым напором $870 \text{ кг}/\text{м}^2$ и числом оборотов 980об/мин на II скорости. В зимний период для подогрева воздуха входящего в РВП используется рециркуляция горячей воздушной среды на всас дутьевого вентилятора.

Основной поток воздушной среды после регенеративного воздухоподогревателя направляется к горелкам, а часть горячей воздушной среды подается на уплотнение "теплого ящика" потолка. При необходимости, воздух может сбрасываться во всасывающие короба дутьевого вентилятора для увеличения запаса по дутью.

Для снижения температуры факела в топке котла и снижения выбросов NO_x используется рециркуляция дымовых газов. Дымовые газы отбираются после водяного экономайзера и подаются в воздухопровод горячей воздушной среды после РВП дымососом рециркуляции ГД-20. Производительность дымососа рециркуляции составляет $94 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$, полный напор - $490 \text{ кг}/\text{м}^2$. На всасывающих и нагнетательных коробах дымососа рециркуляции установлены плотные клапаны с дистанционным управлением. Рециркуляцией дымовых газов также можно регулировать температуру перегретого пара (газовое регулирование).

Для обеспечения запаса по дутью, дымосос рециркуляции газов может работать как дополнительный вентилятор совместно с основным дутьевым вентилятором. Резервный дымосос ДОД-28,5 ГМ-1 установлен на обводном газоходе, на котором также установлены плотный клапан и отключающая заглушка. Котельный агрегат оснащен 23 газоплотными лючками специальной конструкции, к каждому из которых выполнен подвод сжатой воздушной среды для безопасного открытия. Лючки имеют наклонную кольцевую щель размером 1мм и открываются только после подачи к ним сжатой воздушной среды при давлении не менее $4,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Таким образом, газоздушный тракт парового котла ТГМЕ-464 обеспечивает эффективную работу котла и позволяет регулировать температуру и выбросы газов. Высоконапорный вентилятор ВДН-25x2,

рециркуляция дымовых газов и резервный дымосос обесЛючки имеют наклонную кольцевую щель размером 1мм и открываются только после подачи к ним сжатой воздушной среды при давлении не менее 4,0кгс/см². [5]

1.21 Каркас котла

Каркас парового котла ТГМЕ-464 является основным элементом, который несет на себе весь вес котла и предназначен для его жесткой фиксации и долговечности. Он изготавливается из листовой стали толщиной от 6 до 32мм, которая обеспечивает необходимое сопротивление напряжениям и деформациям при работе котла. В процессе производства каркаса применяются методы штамповки, сварки, прокатки, гибки и др.

Каркас состоит из двух главных элементов: вертикальной и горизонтальной рам. Вертикальная рама образована четырьмя вертикальными колоннами, которые расположены симметрично относительно оси котла. Они имеют прямоугольное сечение и крепятся к нижней и верхней шпангоутам каркаса. Верхние концы колонн имеют форму колпака, который обеспечивает укрепление корпуса котла и уменьшает нагрузку на верхний жесткостный пояс каркаса.

Горизонтальная рама каркаса состоит из двух параллельных поперечных балок, которые расположены на расстоянии друг от друга в плоскости основания котла. Балки соединены с вертикальными колоннами и укреплены к ним при помощи саморезов. В горизонтальную раму входят также шпангоуты, которые соединяют вертикальные колонны и обеспечивают жесткость каркаса. Внутренние поверхности вертикальной и горизонтальной рам усилены уголковыми стойками, которые увеличивают жесткость каркаса и предотвращают его деформацию.

Кроме того, каркас котла ТГМЕ-464 имеет также несколько вспомогательных элементов, которые обеспечивают его надежное крепление и дополнительную жесткость. Это, например, кронштейны, крепежные элементы, подпятники, крыльчатки и прочие детали.

Таким образом, каркас парового котла ТГМЕ-464 является надежным и прочным основанием для его работы и обеспечивает его долговечность и безопасность эксплуатации.

Кроме того, каркас котла ТГМЕ-464 также выполняет функцию термоизоляции. Он покрыт слоем изоляционного материала, который предотвращает потерю тепла и сохраняет его внутри котла. Для этой цели используется теплоизоляционный материал на основе минеральной ваты с покрытием из оцинкованной стали или алюминия.

Система крепления изоляции к каркасу котла ТГМЕ-464 основана на использовании крепежных элементов, таких как саморезы и заклепки. Изоляционный материал укладывается на каркас в несколько слоев, что обеспечивает лучшую теплоизоляцию и предотвращает проникновение холодного воздуха внутрь котла.

Основная задача каркаса парового котла ТГМЕ-464 - обеспечить жесткость и надежность его работы при изменении температурных режимов и давлений.[5]

1.22 Изоляция котла

Для обеспечения подачи воздуха и отвода газов в котельном агрегате используется высоконапорный вентилятор ВДН-25х2 с производительностью $575 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$, развиваемым напором $870 \text{ кг}/\text{м}^2$ и числом оборотов 980об/мин на II скорости. В зимний период для подогрева воздуха используется рециркуляция горячей воздушной среды на всасывающем вентиляторе. Часть горячей воздушной среды подается на уплотнение потолка, а основной поток направляется к горелкам.

Для снижения температуры факела и выбросов NO_x используется рециркуляция дымовых газов. Дымовые газы отбираются после водяного экономайзера и подаются в воздухопровод горячей воздушной среды после РВП дымососом рециркуляции ГД-20. Рециркуляцией дымовых газов также можно регулировать температуру перегретого пара.

Для обеспечения запаса по дутью, дымосос рециркуляции газов может работать как дополнительный вентилятор совместно с основным дутьевым вентилятором. Резервный дымосос ДОД-28,5 ГМ-1 установлен на обводном газоходе.

Все газоходы котла выполнены из цельносварных газоплотных экранов, поэтому обмуровка на котле отсутствует. Вместо обмуровки применена изоляция. Газоплотные сварные экраны являются интенсифицированной поверхностью нагрева и имеют на 10-15% меньшую массу на единицу лучевоспринимающей поверхности по сравнению с гладкотрубными экранами.

Все газоплотные поверхности, за исключением амбразур горелок, лазов и мест прохода труб через потолок изолируются известково-кремнеземистыми плитами толщиной 160мм: 3 слоями плит толщиной по 50мм и двумя слоями мастики между плитами толщиной по 5мм. Крепление изоляции осуществляется при помощи специальных шпилек диаметром М12, приваренных к плавникам труб с шагом 506х506мм. Перед укладкой плит на плавники наносится слой мастики.

Уложенные плиты обшиваются металлическими листами толщиной 1,2мм, которые прижимаются к плитам фигурными шайбами и гайками. К первому контуру уплотнения горелок приварена сетка из проволоки диаметром 6мм с ячейками 100х100мм, которая покрыта слоем термобетона. На этот слой термобетона уложена сетка с ячейками 20х20мм из проволоки диаметром 1,6мм и покрыта магниевой обмазкой.

Места прохода через потолок труб, ширм, фестона, конвективного пароперегревателя уплотняются сварными коробами, имеющими компенсаторы температурных расширений. Уплотнительные короба забиваются теплоизоляционным асбестодиатомовым бетоном, толщина которого составляет 200мм. В местах прохода ширм толщина бетона 150мм. К верхним частям уплотнительных коробов привариваются крышки для создания плотности.

Нижний и верхний скаты аэродинамического выступа заднего экрана и пода поворотной камеры, на прямых участках изолированы: тремя слоями известково-кремнеземистых плит, толщина каждого из которых составляет 50мм и двумя слоями мастики толщиной по 5мм. Суммарная толщина обмуровки составляет 160мм. Пространство от плавника до плоскости верхних образующих труб заполняется мастикой.

Изоляция конвективной шахты выполнена из минераловатных матов, поверх которых натянута сетка №20 с толщиной 1,6мм.[5]

1.23 Газопровод в пределах котла

Газопровод котла ТГМЕ-464 предназначен для подачи природного газа к котельному агрегату по трубопроводу диаметром 426x9мм. Для контроля подвода газопровода к газификатору установлена соответствующая арматура в виде задвижки с электроприводом и газового отсечного клапана (ГК и ГОК соответственно). В случае необходимости отсечения подачи природного газа к ГК, установлен байпас ГОК, который переводит поток газа на байпасную линию и регулирующий клапан (ГРТ).

Для обеспечения эффективной продувки газопровода перед заглушкой устанавливается линия сжатой воздушной среды с целью удаления остаточного газа и устранения возможных загрязнений.

Для более равномерного распределения газа к группам горелок 1,2,5,6 и 3,4,7,8, основной газопровод разделяется на два газопровода диаметром 350x8мм, каждый из которых направлен в соответствующую группу горелок.

Перед каждой парой горелков в линию газопровода врезаны 4 трубопровода продувочных свечей диаметром 57x4 с ручными вентилями Ду50. Они необходимы для подачи газа в продувочные свечи, что позволяет осуществлять эффективное регулирование процесса горения и рациональное использование природного газа.

Для подвода газа к горелкам 1-8 используются газопроводы диаметром 219x6мм с установленными на каждом газовом блоком электромагнитных

клапанов. В состав блока входят несколько клапанов: два отсечных запорно-предохранительных клапана с электроприводом, регулирующая заслонка, электромагнитный клапан свечи безопасности и клапан опрессовки.

Для контроля за качеством газа установлены линии диаметром 12х2мм для отбора проб газа на химический анализ на трубопроводах продувочных свечей и трубопроводах свечей безопасности, на которых установлены соответствующие вентили.

Подвод газа к ЗЗУ осуществляется через газопровод, который предварительно проходит через отсечной клапан, электромагнитный клапан свечи безопасности и сжатую воздушную линию. Наконец, газ поступает к горелкам через линию диаметром 12х2мм, на которой установлены ручной вентиль Ду15 и электромагнитный клапан.

Таким образом, газопровод котла ТГМЕ-464 обеспечивает надежное и эффективное подвод природного газа к котельному агрегату и горелкам. Установка различных элементов арматуры и контрольно-измерительных устройств позволяет обеспечить безопасность и эффективность процесса газификации. Продувочные свечи и линии контроля за качеством газа обеспечивают оптимальные условия сгорания природного газа и позволяют использовать его с максимальной эффективностью. Благодаря этому газопровод выполняет одну из главных функций в работе котла ТГМЕ-464 и обеспечивает его надежную и безопасную работу.[5]

1.24 Дутьевой вентилятор

Дутьевой вентилятор котла ТГМЕ-464 играет важную роль в процессе горения топлива в котельной установке. Воздушная среда, подаваемая в топку котлового агрегата, является необходимым элементом для обеспечения оптимальных условий сгорания топлива, которое используется в котле.

Для подачи воздушной среды в топку котлового агрегата используется центробежный вентилятор типа ВДН-25х2-1, который имеет двухстороннее всасывание. Это означает, что вентилятор может забирать воздух как с левой,

так и с правой стороны, что обеспечивает более эффективное использование воздуха.

Вентилятор приводится в движение асинхронным двухскоростным электрическим двигателем ДА 302-18-5а-618 с частотой вращения "n" = 985/745 оборотов в минуту. Это обеспечивает возможность регулировать скорость вращения вентилятора в зависимости от требований процесса.

Максимально допустимая температура воздушной среды при входе в вентилятор составляет 70°C. Это означает, что вентилятор может использоваться в условиях повышенной температуры, что увеличивает его универсальность и возможность применения в различных условиях.

Производительность вентилятора на первой скорости составляет 445 тыс. м³/ч, а полное давление 495 кгс/м². Если требуется увеличение производительности, можно переключиться на вторую скорость, при которой производительность возрастает до 585 тыс. м³/ч, а полное давление достигает 870 кгс/м². Такой диапазон производительности позволяет более точно настраивать процесс горения и обеспечивать максимально эффективное использование топлива.

Таким образом, Дутьевой вентилятор котла ТГМЕ-464 является важной частью котельной установки, обеспечивающей оптимальные условия сгорания топлива и эффективную работу котла в целом.

Кроме того, вентилятор также обеспечивает оптимальную циркуляцию воздуха в котловом агрегате, что способствует равномерному распределению тепла и улучшению тепловых потоков. Благодаря этому, котел ТГМЕ-464 может работать с максимальной производительностью и эффективностью.

В дополнение к этому, центробежный вентилятор ВДН-25х2-1 имеет высокую надежность и долговечность благодаря использованию качественных материалов и технических решений в его конструкции. Вентилятор имеет мало шума и вибрации, что повышает комфортность работы котельной установки.

Однако необходимо учитывать возможные риски, связанные с эксплуатацией вентилятора. В случае отказа вентилятора, котел ТГМЕ-464 может пострадать от перегрева и повреждения элементов котла. Поэтому важно регулярно проводить техническое обслуживание вентилятора и проверять его состояние.

В целом, Дутьевой вентилятор котла ТГМЕ-464 является важным компонентом этой котельной установки, обеспечивающим оптимальные условия сгорания топлива, эффективную работу котла и повышение комфортности и безопасности работы всей котельной установки.[7]

1.25 Дымосос

Дымосос является важным компонентом системы отвода отработанных газов от котла ТГМЕ-464. Его основным предназначением является вытяжка горячих газов из котельной установки и их отвод в вентиляционную систему. За счет работоспособности дымососа, создается разрежение в камере сгорания, что способствует более интенсивному сгоранию топлива и более эффективной работе котла.

Дымосос котла ТГМЕ-464 – это осевой вентилятор типа ДО, который устанавливается на крышке котла. Он имеет ряд преимуществ перед другими типами вентиляторов, такие как более низкий уровень шума и вибрации, удобство монтажа и эксплуатации, а также высокий КПД, который достигает более 90%.

Дымосос состоит из корпуса, вентилятора и двигателя, который приводит вентилятор в движение. Корпус выполнен из стали и имеет специальную форму, благодаря которой создается необходимое разрежение в камере сгорания. Вентилятор осевого типа обеспечивает вытяжку газов в прямом направлении, то есть воздух направляется вдоль оси вентилятора, в отличие от центробежного типа, где воздух выплескивается наружу под углом.

Двигатель дымососа является взрывозащищенным и имеет защиту от перегрузки. Он работает на переменном токе с напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Дымосос котла ТГМЕ-464 обладает высокой производительностью, которая достигает 25 тыс. м³/час. Он обеспечивает высокую скорость отвода отработанных газов, а также устойчивость работы в различных режимах эксплуатации.

Однако необходимо учитывать, что дымосос является одним из наиболее тяжелонагруженных элементов котельной установки ТГМЕ-464 и может подвергаться износу и повреждениям в процессе эксплуатации. Поэтому регулярное техническое обслуживание дымососа, в том числе проверка и чистка его лопастей, замена поврежденных деталей и настройка давления, является важным условием для поддержания оптимальной работоспособности всей котельной установки. В случае неисправностей в работе дымососа, котел может работать неэффективно или вовсе выйти из строя, что может привести к серьезным эксплуатационным проблемам.

Вентиляторосекции дымососа ТГМЕ-464 имеют строение, состоящее из вентиляторного корпуса с выходным фланцем и крышкой, лопастного вентилятора типа ЛВ-80 и станины, в которую закрепляется двигатель вентилятора. Корпус и крышка вентилятора изготавливаются из стали методом прессования, а лопасти вентилятора – из алюминиевого сплава методом литья.

Двигатель вентилятора является асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и коробчатым корпусом. Обмотки статора также изготавливаются из медной проволоки, а воздушное охлаждение обеспечивается вентилятором, закрепленным на одном валу с лопастным вентилятором. Для безопасности эксплуатации, двигатель вентилятора имеет систему защиты от перегрузок.

Лопастный вентилятор ЛВ-80 представляет собой осевой вентилятор типа, в котором лопасти располагаются вдоль оси его вращения. Вентилятор

имеет небольшой размер, высокую производительность, надежность и возможность регулировки напора.

Рабочие характеристики дымососа включают в себя производительность 25 тыс. м³/час, максимальную мощность 22,5 кВт, а изменение давления — до 1000 Па. Для обеспечения качественной работы, дымосос котла ТГМЕ-464 должен иметь определенную герметичность. При утечке воздуха наблюдается снижение эффективности отработки газов и падение давления, что может привести к не своевременному выведению продуктов сгорания и их задержанию в камере котла.

В качестве используемого топлива для котла ТГМЕ-464 часто используется газ или жидкое топливо, но в зависимости от внешних условий используется и другое топливо. Поддержание эффективной работы дымососа является важным аспектом поддержания оптимальной эффективности и безопасности работы котла.

В целом, дымосос является важным компонентом системы отвода отработанных газов и обеспечивает нормальную эксплуатацию всей котельной установки. Поэтому его правильный выбор, установка, настройка и обслуживание являются важными условиями для достижения максимальной производительности и эффективности работы котла ТГМЕ-464. [7]

1.26 Маслостанция механизмов

Маслостанция дутьевого вентилятора и дымососа котла ТГМЕ-464 является одним из важных компонентов системы смазки данной котельной установки. Она предназначена для обеспечения циркуляции масла в системе и защиты от износа и повреждений различных механизмов, работающих при помощи масла.

Маслостанция рассчитана на длительную работу в закрытом помещении при температуре не ниже 10°C. В ее состав входят различные элементы, такие как бак отстойник, три маслонасоса типа Ш5 – 25 – 3,6/4 или Ш8 – 25 – 5,8/2,5, маслоохладитель, два фильтра типа ФДЖ – 50, обратные клапаны на напорных

линиях насосов, система маслопроводов с запорно-регулирующей арматурой и комплект контрольно-измерительных приборов. Эти элементы обеспечивают бесперебойную работу маслостанции и контроль ее функционирования.

Маслостанция СЖС-25 имеет номинальную производительность 25 л./мин, давление масла в рабочем режиме составляет $2,5 \div 4$ кгс/см², а ёмкость маслобака – 315 л. Маслоохладитель МО-1.3 имеет рабочую поверхность 1,3 м², а расход воды через маслоохладитель – 32 л./мин. Температура воды перед МО не должна превышать 30°С, а давление воды – 2,5 кгс/см².

Для обеспечения циркуляции масла в системе используются маслонасосы. Один маслонасос является рабочим, а два других – резервными. Каждый маслонасос состоит из рабочего механизма, корпуса с крышками, торцевого уплотнения и предохранительного клапана. Рабочий механизм состоит из ведущего и ведомого роторов, которые являются прямозубыми шестернями, изготовленными вместе с валом. При вращении роторов на стороне всасывания создается разрежение, и масло под давлением атмосферы заполняет межзубьевые впадины, перемещаясь из полости всасывания в полость нагнетания.

Контрольно-измерительные приборы, входящие в состав маслостанции, обеспечивают наблюдение за работой системы смазки и выдачу сигналов режима маслостанции. Например, фильтры ФДЖ – 50 контролируют качество масла и очищают его от примесей и загрязнений. Обратные клапаны на напорных линиях насосов предотвращают обратный приток масла в бак отстойник. Таким образом, маслостанция обеспечивает оптимальные условия смазки и работу маслосмазочного оборудования дутьевого вентилятора и дымососа, что повышает тягодутьевых механизмов и продлевает их срок эксплуатации, а также улучшает безопасность и комфортность работы всей котельной установки. В свою очередь, правильное техническое обслуживание маслостанции также является необходимым условием для поддержания

работоспособности всей системы и предотвращения возможных аварийных ситуаций.[5]

2 РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Расчет рекуперативного воздухоподогревателя на паровом котле является важным этапом проектирования котельной системы. Рекуперативный воздухоподогреватель позволяет повысить эффективность работы котла, используя тепло отходящих от продуктов сгорания газов для подогрева свежего воздуха, поступающего в котел. Это позволяет снизить расход топлива и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу. При расчете рекуперативного воздухоподогревателя необходимо учитывать множество параметров, таких как температура газов, расход воздуха, мощность котла и другие факторы. Корректный расчет рекуперативного воздухоподогревателя поможет обеспечить эффективную и экологически чистую работу котельной системы.

Одним из ключевых параметров является теплопередача. Она зависит от многих факторов, включая материал стенок воздухоподогревателя, толщину стенок и температурный градиент между воздухом и продуктами сгорания.

Также важным параметром является объём воздуха, который проходит через воздухоподогреватель. Он может быть рассчитан на основе расхода топлива, кислорода и других факторов.

В целом, расчёт рекуперативного воздухоподогревателя на паровом котле - это сложный процесс, который требует учёта множества параметров и факторов. Он может быть проведён специалистами в области энергетики и теплотехники с использованием специальных программных средств и расчётных методик.[2]

При проектировании поверхности нагрева, расположенные в конвективной шахте котельного агрегата, рассчитывается конструктивно, т.е. определяется необходимая теплообменная поверхность, при этом каждая ступень рассчитывается отдельно. Компоновка хвостовых поверхностей нагрева изображена на рисунке 1

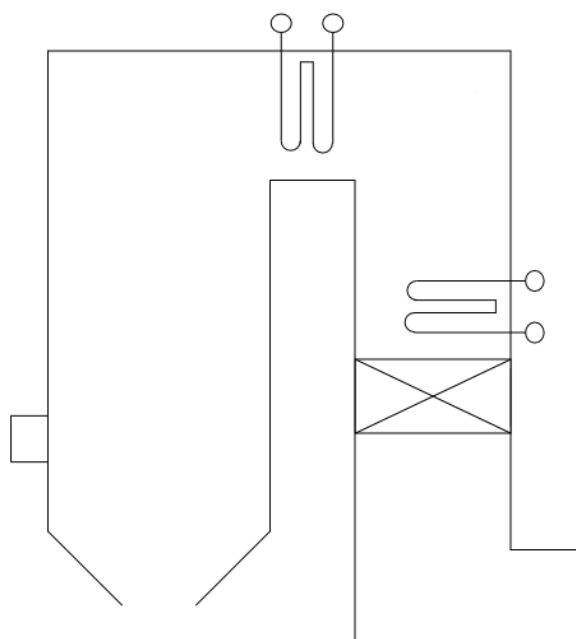


Рисунок 2 – Компоновка хвостовых поверхностей нагрева

С помощью методического пособия выбираем основные конструктивные характеристики воздухоподогревателя и заносим данные в таблицу 1.

Наружный диаметр труб d_n , м	Внутренний диаметр труб $d_{вн}$, м	Толщина стенки труб $\delta_{ст}$, м	Поперечный шаг труб s_1 , м	Продольный шаг труб s_2 , м
0,04	0,037	0,0015	0,054	0,04

Таблица 1 – Конструктивные характеристики воздухоподогревателя

Тепловосприятие воздухоподогревателя, кДж/кг:

$$Q_{взп} = \left(\beta_{гор} + \frac{\Delta\alpha_{взп}}{2} \right) \cdot (H_{гв} - H_{хв}^{\circ}), \quad (2.1)$$

где $\Delta\alpha_{взп}$ – присосы воздушной среды в воздухоподогревателе;

$H_{хв}^{\circ}$ – энтальпия холодной воздушной среды, кДж/кг, определяется по температуре холодной воздушной среды $t_{хв} = 20$ °С и $H_{в}^{\circ}$ путем линейной интерполяции в пределах имеющегося диапазона:

$$H_{XB}^{\circ} = \frac{H_{100}^B}{100} \cdot t_{XB} \quad (2.2)$$

где H_{100}^B – энтальпия теоретического объема воздушной среды, кДж/кг, при $\vartheta = 100$ °С;

$$H_{XB}^{\circ} = \frac{819,068 \cdot 20}{100} = 158,352 \quad ;$$

$$H_{ГВ} - Q_B = \beta_{ГВ} \cdot H_{ГВ}^{\circ} + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{пл}) \cdot H_{XB}^{\circ}, \quad (2.3)$$

где α_T – коэффициент избытка воздушной среды;

$\Delta\alpha_T$ – присосы холодной воздушной среды в топке;

$\Delta\alpha_{пл}$ – присосы холодной воздушной среды в пылесистеме;

$\beta_{ГВ}$ – относительный избыток воздушной среды;

$H_{ГВ}^{\circ}$ – энтальпия горячей воздушной среды, кДж/кг, определяется методом интерполяции по температуре горячей воздушной среды $t_{ГВ} = 300$ °С и колонке H_B° , $H_{ГВ}^{\circ} = 2481,407$;

H_{XB}° – энтальпия холодной воздушной среды, кДж/кг;

$$\beta_{ГВ} = \alpha_{гор} - \Delta\alpha_{пл}, \quad (2.4)$$

где $\alpha_{гор}$ – коэффициент избытка воздушной среды в горелках;

$\Delta\alpha_{пл}$ – присосы холодной воздушной среды в пылесистеме ($= 0$);

$$\beta_{ГВ} = 1,12, -0 = 1,12$$

$$Q_B = 1,12 \cdot 2481,407 + (0,08 + 0,04) \cdot 158,352 = 2698,922$$

$$Q_{ВЗП} = \left(1,12 + \frac{0,03}{2}\right) \cdot (2481,407 - 158,352) = 2543,745$$

По уравнению теплового баланса по газовой стороне рассчитывается энтальпия газов на входе в воздухоподогреватель, кДж/кг:

$$H'_{ВЗП} = H''_{ВЗП} + \frac{Q_{ВЗП}}{\varphi} - \Delta\alpha_{ВЗП} \cdot H_{прс}^{\circ}, \quad (2.5)$$

где $Q_{ВЗП}$ – смотреть формулу (2.1);

φ – При нагрузках, отличающихся от номинальной, потеря теплоты q_5 изменяется и пересчитывается по формуле:

$$q_5 = q_5^{\text{НОМ}} \cdot \frac{D_{\text{НОМ}}}{D_{\text{пе}}}, \quad (2.6)$$

где $D_{\text{НОМ}}$ – номинальная нагрузка котла, кг/с, $D_{\text{НОМ}} = 138,89$;

$D_{пе}$ – расчетная паропроизводительность котла, кг/с.

$$q_5 = 0,555 \cdot \frac{138,89}{139,89} = 0,581$$

$$q_5^{НОМ} = \frac{\left(\frac{60}{D_{НОМ}}\right)^{0,5}}{\lg D_{НОМ}}, \quad (2.7)$$

где $D_{НОМ}$ – номинальная нагрузка котла 138.89 кг/с.

$$q_5^{НОМ} = \frac{\left(\frac{60}{138,89}\right)^{0,5}}{\lg 138,89} = 0,555$$

При определении количества тепла, отданного газами, потери от наружного охлаждения учитываются введением коэффициента сохранения тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{100},$$

где q_5 – смотреть формулу (2.6).

$$\varphi = 1 - \frac{0,581}{100} = 0,994$$

$\Delta\alpha_{взп}$ – присосы воздушной среды в воздухоподогревателе;

$H''_{взп}$ – энтальпия газов за воздухоподогревателем, кДж/кг, $H''_{взп} = N_{ух}$ (см. формулу (2.5));

$N^{\circ}_{прс}$ – количество тепла, вносимого в воздухоподогреватель присасываемым воздухом, кДж/кг, определяется по таблице 4 при средней температуре подогреваемой воздушной среды $t_B^{cp} = \frac{t''_{взп} + t_{хв}}{2} = \frac{300 + 20}{2} = 160$ °С по колонке N°_B :

$$N^{\circ}_{прс} = 1314,605 \quad (2.8)$$

$$N'_{взп} = 1635,358 + \frac{2543,745}{0,994} - 0,03 \cdot 1314,605 = 4154,535$$

Температура газов перед воздухоподогревателем, °С, определяется по найденной энтальпии путем обратной интерполяции при избытке воздушной среды перед водяным экономайзером:

$$\vartheta'_{взп} = 351,266$$

Минимальный температурный напор на «горячем» конце воздухоподогревателя, °С, определяется по формуле:

$$\Delta t_{\text{гор}} = \vartheta'_{\text{взп}} - t_{\text{гв}} \quad (2.9)$$

$$\Delta t_{\text{гор}} = 351,266 - 300 = 51,266$$

На данном этапе также рекомендуется выполнять оценку отношения:

$$k_{\text{взп}} = \frac{t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}}{\vartheta'_{\text{взп}} - \vartheta_{\text{ух}}} = 1,325 \quad (2.10)$$

которое при сжигании каменных углей составляет 1,25–1,35

Среднеарифметический температурный напор, °С, определяется по формуле:

$$\Delta t_{\text{взп}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \log_{\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}} \quad (2.11)$$

где $\Delta t_{\text{б}}$, $\Delta t_{\text{м}}$ – соответственно большая и меньшая разности температур теплоносителей, °С, которые определяются для противоточной схемы теплоносителей следующим образом: $\Delta t = \vartheta' - t''$, $\Delta t = \vartheta'' - t'$, при этом индекс «б» ставится у большего из двух температурного напора, а «м» – у которого температурный напор меньше; следовательно: $\Delta t_{\text{б}} = 140 - 20 = 120$, $\Delta t_{\text{м}} = 351,266 - 300 = 51,266$.

$$\Delta t_{\text{взп}} = \frac{120 - 51,266}{2,3 \cdot \log_{\frac{120}{51,266}}} = 80,911$$

Температурный напор в трубчатом воздухоподогревателе, °С:

$$\Delta t_{\text{взп}} = 0,9 \cdot \Delta t_{\text{взп}}, \quad (2.12)$$

где $\Delta t_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.11).

$$\Delta t_{\text{взп}} = 0,9 \cdot 80,911 = 7,819$$

Для определения коэффициента теплопередачи принимаем скорость газов $\omega_{\text{г}} = 10$ м/с, а скорость воздушной среды $\omega_{\text{в}} = 5,27$ м/с.

Полное число труб для воздухоподогревателя для прохода газов, шт:

$$z_{\text{тр}} = \frac{B_{\text{р}} \cdot V_{\text{г}} \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{273 \cdot \omega_{\text{г}} \cdot f_{\text{вп}}^{\text{г}}}, \quad (2.13)$$

где $B_{\text{р}}$ – расчетный расход топлива на котел, кг/с;

$V_{\text{г}}$ – объем газов, м³/кг;

$\vartheta_{\text{ср}}$ – средняя температура газов в воздухоподогревателе, °С,

$$\vartheta_{\text{ср}} = \frac{\vartheta'_{\text{взп}} + \vartheta''_{\text{взп}}}{2},$$

$$\vartheta_{\text{cp}} = \frac{351,266 + 140}{2} = 245,633$$

ω_{r} – принятая скорость газов, м/с;

$f_{\text{вп}}^{\text{r}}$ – внутреннее сечение трубы для прохода газа в трубчатом воздухоподогревателе, м²:

$$f_{\text{вп}}^{\text{r}} = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2, \quad (2.14)$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр труб, м;

$$f_{\text{вп}}^{\text{r}} = 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,00107.$$

$$z_{\text{тр}} = \frac{6,875 \cdot 8,386 \cdot (245,633 + 273)}{273 \cdot 10 \cdot 0,00107} = 10193,664$$

Округляем полученное значение до целого числа: $z_{\text{тр}} = 10194$.

Число труб в одном ряду по ширине воздухоподогревателя, шт:

$$z_1 = \frac{b_{\text{т}}}{s_1} - 1, \quad (2.15)$$

где $b_{\text{т}}$ – ширина топки, м;

s_1 – поперечный шаг труб, м;

$$z_1 = \frac{8,5}{0,054} - 1 = 156,407$$

Полученное значение округляется до целого: $z_1 = 157$.

Число рядов труб по глубине конвективной шахты, шт:

$$z_2 = \frac{z_{\text{тр}}}{z_1}, \quad (2.16)$$

где $z_{\text{тр}}$ – смотреть формулу (2.13);

z_1 – смотреть формулу (2.15).

$$z_2 = \frac{10194}{157} = 64,93$$

Полученное значение округляем до целого: $z_2 = 65$.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому воздуху, Вт/(м²·К):

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_{\text{в}}}{d_3} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{в}} \cdot d_3}{\nu_{\text{ккв}}} \right)^{0,6} \cdot \text{Pr}_{\text{п}}^{0,33} \cdot C_z \cdot C_s \quad (2.17)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), который находится по средней температуре пара и его скорости, $\lambda_{\text{в}} = 0,038$;

$$d_3 = d_{\text{вн}} = 0,037, \text{ м};$$

ν_B – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$, $\nu_B = 24 \cdot 10^{-6}$;

Pr_B – число Прандтля для паров, $\text{Pr}_B = 0,695$;

$C_z = 1$;

$C_s = 0,357$;

ω_B – принятая скорость воздушной среды, $\text{м}/\text{с}$.

$$\alpha_2 = \frac{0,038}{0,037} \cdot \left(\frac{5,27 \cdot 0,037}{24 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,6} \cdot 0,695^{0,33} \cdot 1 \cdot 0,357 = 69,913$$

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_\Gamma}{d_3} \cdot \left(\frac{\omega_\Gamma \cdot d_3}{\nu_\Gamma} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}_\Gamma^{0,4} \cdot C_t \cdot C_d \cdot C_l, \quad (2.18)$$

где λ_Γ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, который находится по средней температуре пара и его скорости, $\lambda_\Gamma = 0,042$;

$d_3 - d_{\text{вн}} = 0,037$, м ;

ν_Γ – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$, $\nu_\Gamma = 0,00003$;

Pr_Γ – число Прандтля для паров, $\text{Pr}_\Gamma = 0,677$;

C_t – поправка, учитывающая влияние температурного фактора, $C_t = 1$;

C_d – поправка на форму канала, $C_d = 1$;

C_l – поправка на относительную длину, $C_l = 1$.

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{0,042}{0,037} \cdot \left(\frac{10 \cdot 0,037}{0,00003} \right)^{0,8} \cdot 0,677^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 42,198.$$

Коэффициент теплопередачи в воздухоподогревателе, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$k_{\text{взп}} = \xi \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (2.19)$$

где ξ – коэффициент использования, учитывающий уменьшение тепловосприятости поверхности нагрева вследствие неравномерности ее омывания газами, для каменных углей принимается равным: $\xi = 0,79$;

α_1 – смотреть формулу (2.18);

α_2 – смотреть формулу (2.17).

$$k_{\text{взп}} = 0,79 \cdot \frac{42,198 \cdot 69,913}{42,198 + 69,913} = 20,789$$

Поверхность нагрева воздухоподогревателя, м^2 :

$$F_{\text{взп}} = \frac{B_p \cdot Q_{\text{взп}}}{k_{\text{взп}} \cdot \Delta t_{\text{взп}}} \cdot 10^3, \quad (2.20)$$

где B_p – расчетный расход топлива на котел, кг/с;

$Q_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.1);

$k_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.19);

$\Delta t_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.11).

$$F_{\text{взп}} = \frac{6,875 \cdot 2543,745}{20,789 \cdot 72,819} \cdot 10^3 = 11551,667$$

Необходимая полная высота воздухоподогревателя, м:

$$h_{\text{взп}} = \frac{F_{\text{взп}}}{\pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot z_{\text{тр}}}, \quad (2.21)$$

где $F_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.20);

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр труб, м;

$z_{\text{тр}}$ – смотреть формулу (2.13).

$$h_{\text{взп}} = \frac{11551,667}{3,14 \cdot 0,039 \cdot 10194} = 9,369$$

Высота одного хода воздухоподогревателя, м:

$$h_x = \frac{B_p \cdot \beta''_{\text{взп}} \cdot V_B^\circ \cdot (t_B^{\text{ср}} + 273)}{273 \cdot (b_T - z_1 \cdot d_H) \cdot \omega_B \cdot n_{\text{пот}}}, \quad (2.22)$$

где B_p – расчетный расход топлива на котел, кг/с;

$\beta''_{\text{взп}} = 1,08$;

B_p – полный расход топлива, кг/с;

b_T – ширина топки, м;

z_1 – смотреть формулу (2.14);

d_H – наружный диаметр труб, м;

ω_B – принятая скорость воздушной среды, м/с;

$n_{\text{пот}}$ – число потоков воздуха, шт, при двухпоточной $n_{\text{пот}} = 2$;

$t_B^{\text{ср}}$ – средняя температура воздушной среды в

воздухоподогревателе, °С (см. формулу (10.2)).

$$h_x = \frac{6,875 \cdot 1,08 \cdot 6,206 \cdot (160 + 273)}{273 \cdot (8,5 - 157 \cdot 0,04) \cdot 5,27 \cdot 2} = 3,123$$

Число ходов воздуха, шт:

$$z_{\text{ход}} = \frac{h_{\text{взп}}}{h_x}, \quad (2.23)$$

где $h_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.21);

h_x – смотреть формулу (2.22).

$$z_{\text{ход}} = \frac{9,369}{3,123} = 3$$

Округляем полученное значение до целого числа: $z_{\text{ход}} = 3$ и уточняем высоту одного хода воздухоподогревателя, м:

$$h_x = \frac{h_{\text{взп}}}{z_{\text{ход}}}, \quad (2.24)$$

где $h_{\text{взп}}$ – смотреть формулу (2.21);

$z_{\text{ход}}$ – полученное значение в формуле (2.23), округленное до целого числа.

$$h_x = \frac{9,369}{3} = 3,123$$

Уточняем скорость воздушной среды в воздухоподогревателе, м/с:

$$\omega_{\text{в}} = \frac{V_p \cdot \beta''_{\text{взп}} \cdot V_{\text{в}}^{\circ} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{ср}} + 273)}{273 \cdot (b_{\text{т}} - z_1 \cdot d_{\text{н}}) \cdot h_x \cdot n_{\text{пот}}}, \quad (2.25)$$

где V_p – полный расход топлива, кг/с;

$b_{\text{т}}$ – ширина топки, м;

z_1 – смотреть формулу (2.15);

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб, м;

h_x – смотреть формулу (2.24);

$n_{\text{пот}}$ – число потоков воздушной среды, шт, при двухпоточной $n_{\text{пот}} = 2$;

$t_{\text{в}}^{\text{ср}}$ – средняя температура воздушной среды в воздухоподогревателе, °С;

$$\omega_{\text{вр}} = \frac{6,875 \cdot 1,08 \cdot 6,206 \cdot (160 + 273)}{273 \cdot (8,5 - 157 \cdot 0,04) \cdot 3,123 \cdot 2} = 5,27$$

Полученная скорость воздушной среды сравнивается с заданной скоростью воздушной среды путем определения расчетной погрешности – $\delta\omega_{\text{в}}$:

$$\delta\omega_B = \frac{|\omega_{BP} - \omega_B|}{\omega_B^p} \cdot 100\% < 10\%, \quad (2.26)$$

$$\delta\omega_B = \frac{|5,27 - 5,27|}{5,27} \cdot 100\% = 0\% < 10\%$$

Так как условие выполняется, то скорость воздушной среды в воздухоподогревателе принимаем $\omega_B = 5,27$ м/с.

Когда рекуперативный воздухоподогреватель установлен на паровом котлоагрегате, это увеличивает эффективность работы котла и снижает расход топлива. Однако, для того чтобы оценить реальный экономический эффект, необходимо учитывать множество факторов, таких как стоимость установки, стоимость топлива, объем воздуха, температура воздуха на входе и выходе из воздухоподогревателя, а также коэффициент теплопередачи через стенки воздухоподогревателя.

В целом, использование рекуперативного воздухоподогревателя на паровом котлоагрегате может привести к значительной экономии топлива и повышению эффективности работы котла. Однако, для каждого конкретного случая необходимо проводить отдельный расчет, учитывая все факторы, чтобы оценить реальный экономический эффект.

3 РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Совершенство тепловой работы парового котла оценивается коэффициентом полезного действия брутто. Это отношение величины использованного в котельном агрегате тепла к величине располагаемого тепла топлива. КПД (коэффициент полезного действия) является важным показателем для оценки эффективности работы парового котла. Он показывает, какую часть энергии, полученной от сгорания топлива, удалось использовать для производства пара. Чем выше КПД, тем меньше топлива требуется для производства той же самой энергии, что приводит к экономии ресурсов и снижению эксплуатационных расходов.

Для расчета КПД парового котла необходимо учитывать множество факторов, таких как температура входящего и выходящего пара, расход топлива, объем воздуха, температура воздуха на входе и выходе из котла, а также коэффициент теплопередачи через стенки котла.

Оптимальный КПД для парового котла зависит от конкретных условий эксплуатации и требований к производительности. Поэтому, для каждого конкретного случая необходимо проводить отдельный расчет, учитывая все факторы, чтобы определить оптимальный КПД и повысить эффективность работы парового котла. Для более объективной оценки произведём расчёт для всех 7 режимов работы котлоагрегата. Режимная карта котла - документ, составленный на основании режимно-наладочных и балансовых испытаний, содержащий основные оперативные и контрольные параметры работы котла, значение КПД, удельный расход топлива при различной производительности и т.д. Режимная карта парового котла представляет собой графическое изображение зависимости параметров пара, производимого котлом, от условий его работы. Режимная карта позволяет определить оптимальный режим работы котла, который обеспечивает максимальную эффективность при заданных условиях эксплуатации.

На режимной карте обычно отображаются следующие параметры пара: давление, температура, расход, удельный объем, энтальпия и энтропия. Кроме того, на карте могут быть указаны параметры топлива, воздуха и продуктов сгорания.

Для построения режимной карты необходимо провести ряд испытаний котла при различных условиях эксплуатации, например, при разных значениях расхода топлива, давления пара и температуры воздуха на входе в котел. После этого полученные данные анализируются и обрабатываются, чтобы построить графическое изображение зависимости параметров пара от условий работы котла.

Режимная карта позволяет определить оптимальные значения параметров котла, при которых достигается максимальная эффективность работы. Например, при проектировании котла можно использовать режимную карту для выбора оптимальных параметров и определения необходимой мощности котла.

Также, режимная карта может быть использована для определения причин отклонений от нормальной работы котла. Например, если на карте видно, что при определенных условиях работа котла неэффективна, можно провести дополнительные испытания и выявить причины такого поведения.

В целом, режимная карта является важным инструментом для оптимизации работы паровых котлов и повышения их эффективности. Далее произведём расчёт КПД на старых и новых тактико-технических характеристиках котлоагрегата:

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{Q_1 * 100}{Q_p^p} = \frac{q_1}{100} = \frac{Q_k}{Q_p^p * B}, \quad (3.1)$$

Где Q_k – это теплота, полезно отданная котлу и выраженная через тепловосприятие поверхностей нагрева, кДж/с;

B – расход топлива.

$$Q_k = D(i_{п.п} - i_{п.в}) + D_{пром}(i_{пром}^{ВЫХ} - i_{пром}^{ВХ}) + D_{пр}(i' - i_{п.в}) + Q_{ст}; \quad (3.2)$$

Где $Q_{ст}$ – это теплосодержание воды или воздушной среды, подогреваемого в котле и отдаваемого на сторону;

$$D_{пром} = 0,9 * D.$$

$D_{пр}$ – это количество пароводяной смеси, забираемой с продувкой котла. Принимаем равно 5% от номинальной паропроизводительности котлоагрегата (138,89 кг/с), кг/с.

$D_{пр}$ — это теплота продувки, принимаемая 4-6% от $D_{ном}$

$$Q_k = 138,89 * (3487,542 - 990,21) + 0,9 * 138,89 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110,529 - 990,21) + (138,89 * 3487,542) = 7133209,49 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{7133209,49}{9358 * 9,297} = 89,2 \% - \text{ для режима } 500 \text{ т/ч.}$$

$$Q_k = 125 * (3487,542 - 990,21) + 0,9 * 125 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110,529 - 990,21) + (125 * 3487,542) = 7092540,496 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{7092540,496}{9358 * 8,44} = 89,9 \% - \text{ для режима } 450 \text{ т/ч.}$$

$$Q_k = 111,11 * (3487,542 - 990,21) + 0,9 * 111,11 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110,529 - 990,21) + (111,11 * 3487,542) = 6357394,732 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{6357394,732}{9358 * 7,54} = 90,1 \% - \text{ для режима } 400 \text{ т/ч.}$$

$$Q_k = 138,89 * (3487,542 - 990,21) + 0,9 * 138,89 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110,529 - 990,21) + (138,89 * 3487,542) = 5646579,768 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{5646579,768}{9358 * 6,66} = 90,6 \% - \text{ для режима } 350 \text{ т/ч.}$$

$$Q_k = 83,33 * (3487,542 - 990,21) + 0,9 * 83,33 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110,529 - 990,21) + (83,33 * 3487,542) = 4941473,184 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{к.а}^{брутто} = \frac{4941473,184}{9358 * 5,76} = 91,2 \% - \text{ для режима } 300 \text{ т/ч.}$$

$$Q_k = 138,89 * (3487.542 - 990,21) + 0,9 * 138,89 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110.529 - 990,21) + (138,89 * 3487.542) = 4177880,97 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = \frac{4177880,97}{9358 * 4.858} = 91,9 \% - \text{ для режима 250 т/ч.}$$

$$Q_k = 55.56 * (3487.542 - 990,21) + 0,9 * 55.56 * (2481,407 - 2465,25) + 6,945 * (3110.529 - 990,21) + (55.56 * 3487.542) = 3422875,66 \text{ кДж/с.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = \frac{3422875,66}{9358 * 3.95} = 92,6 \% - \text{ для режима 200 т/ч.}$$

Метод прямого баланса применяется в основном из-за трудностей при определении в эксплуатации больших масс расходуемого топлива.

Тепловые потери определяются с большей точностью, и, поэтому, метод обратного баланса нашёл преимущественное распространение при определении КПД брутто $\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}}$:

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (3.3)$$

где q_2 — потери теплоты с уходящими из котельного агрегата газами (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»);

q_3 — потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»);

q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»);

q_5 — потери теплоты через обмуровку в окружающую среду (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»);

q_6 — потери с физической теплотой шлака, удаляемого из котельного агрегата (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»).

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (6,96 + 0 + 0 + 0,36 + 0) = 92,68 \%$$

Для полноты картины найдём КПД брутто и для остальных режимов работы котлоагрегата:

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (5,62 + 0 + 0 + 0,89 + 0) = 93,49 \% \text{ – для режима 200 т/ч.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (5,77 + 0 + 0 + 0,72 + 0) = 93,51 \% \text{ – для режима 250 т/ч.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (5,98 + 0 + 0 + 0,60 + 0) = 93,42 \% \text{ - для режима 300 т/ч.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (6,24 + 0 + 0 + 0,51 + 0) = 93,25 \% \text{ - для режима 350 т/ч.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (6,44 + 0 + 0 + 0,45 + 0) = 93,11 \% \text{ – для режима 400 т/ч.}$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} = 100 - (6,68 + 0 + 0 + 0,40 + 0) = 92,92 \% \text{– для режима 450 т/ч.}$$

Кроме КПД брутто, используется КПД нетто, показывающий эксплуатационное совершенство котлоагрегата:

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = \mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} - q_{\text{с.н.}}; \quad (3.4)$$

где $q_{\text{с.н.}}$ – суммарный расход теплоты на собственные нужды котла, то есть расход электрической энергии на привод вспомогательных механизмов (вентиляторов, насосов, тягодутьевых механизмов, приводов и так далее), расход пара на обдувку и распыл мазута, подсчитанных в процентах от располагаемой теплоты.

$q_{\text{с.н.}} = 2,72 \text{ Гкал/ч}$; (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»).

Переведём данную характеристику в процентное соотношение к располагаемой теплоте $Q_{\text{к}} = 299,75 \frac{\text{Гкал}}{\text{ч}}$ (данная характеристика взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705»):

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{299,75}{100} * 2,72 = 8,15 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 92,68 - 8,15 = 84,53 \%.$$

Для полноты картины найдём КПД нетто и для остальных режимов работы котлоагрегата:

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{272,78}{100} * 2,31 = 6,3 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 92,92 - 6,3 = 86,62 \% - \text{для режима 450 т/ч.}$$

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{244,38}{100} * 2,09 = 5,11 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,11 - 5,11 = 88 \% - \text{для режима 400 т/ч.}$$

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{216,04}{100} * 1,88 = 4,06 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,25 - 4,06 = 89,19 \% - \text{для режима 350 т/ч.}$$

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{187,27}{100} * 1,67 = 3,13 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,42 - 3,13 = 90,29 \% - \text{для режима 300 т/ч.}$$

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{158,36}{100} * 1,45 = 2,3 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,51 - 2,3 = 91,21 \% - \text{для режима 250 т/ч.}$$

$$q_{\text{с.н.}} = \frac{128,79}{100} * 1,24 = 1,6 \%;$$

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,49 - 1,6 = 91,89 \% - \text{для режима 200 т/ч.}$$

КПД нетто показывает, насколько совершенен в эксплуатационном плане котлоагрегат. При модернизации котлоагрегата с заменой рекуперативного воздухоподогревателя на регенеративный исчезнут некоторые статьи расхода тепла на собственные нужды. После пересчёта КПД нетто будет найден положительный эффект модернизации:

$$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = \mu_{\text{к.а}}^{\text{брутто}} - (q_{\text{с.н.}} - q_{\text{привод}} - q_{\text{утеч.}}); \quad (3.5)$$

где $q_{\text{утеч.}}$ – утечки уходящих газов через уплотнения в холодную среду;

$$q_{\text{утеч.}} = q_{\text{рвп}} * 0.05; \quad (3.6)$$

где $q_{\text{рвп}}$ – это суммарный тепловой поток, отдаваемый уходящими газами подаваемому холодному воздуху.

$Q_{\text{привод}}$ – расход электрической энергии на привод регенеративного воздухоподогревателя. Электрическая энергия отбирается от силовой подстанции, что, вследствие, ведёт к уменьшению отдаваемой электрической энергии потребителям. Данная характеристика была переведена в тепловую нагрузку ТЭЦ и взята из типовой энергетической характеристики котла ТГМЕ – 464 «РД 34.26.705».

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 92,68 - (8,1 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 84,63 \%$ – для режима 500 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 92,92 - (6,3 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 86,67 \%$ – для режима 450 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,11 - (5,11 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 88,05 \%$ – для режима 400 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,25 - (4,06 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 89,24 \%$ – для режима 350 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,42 - (3,13 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 90,34 \%$ – для режима 300 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,51 - (2,3 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 91,26 \%$ – для режима 250 т/ч.

$\mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}} = 93,49 - (1,6 - 0,02 - (0,608 * 0,05)) = 91,94 \%$ – для режима 200 т/ч.

Из формулы 2.1 выразим расход подаваемого в топочную камеру топлива:

$$B = \frac{Q_{\text{к}} * 100}{Q_{\text{р}} * \mu_{\text{к.а}}^{\text{нетто}}}, \quad (3.7)$$

$$B = \frac{7133209,49 * 100}{9358 * 84,53} = 901,76 \text{ кг/с} - \text{ для режима 500 т/ч.}$$

$$B = \frac{7092540,496 * 100}{9358 * 86,62} = 874,98 \text{ кг/с} - \text{ для режима 450 т/ч.}$$

$$B = \frac{6357394,732 * 100}{9358 * 88} = 771,99 \text{ кг/с} - \text{ для режима 400 т/ч.}$$

$$B = \frac{5646579,768 \cdot 100}{9358 \cdot 89,19} = 676,53 \text{ кг/с} - \text{ для режима 350 т/ч.}$$

$$B = \frac{4941473,184 \cdot 100}{9358 \cdot 90,29} = 584,84 \text{ кг/с} - \text{ для режима 300 т/ч.}$$

$$B = \frac{4177880,97 \cdot 100}{9358 \cdot 91,21} = 489,48 \text{ кг/с} - \text{ для режима 250 т/ч.}$$

$$B = \frac{3422875,66 \cdot 100}{9358 \cdot 91,89} = 398,05 \text{ кг/с} - \text{ для режима 200 т/ч.}$$

После модернизации КПД увеличился. Находим расход топлива с перерасчётом на модернизацию:

$$B = \frac{7133209,49 \cdot 100}{9358 \cdot 84,64} = 900,59 \text{ кг/с} - \text{ для режима 500 т/ч.}$$

$$B = \frac{7092540,496 \cdot 100}{9358 \cdot 86,67} = 874,48 \text{ кг/с} - \text{ для режима 450 т/ч.}$$

$$B = \frac{6357394,732 \cdot 100}{9358 \cdot 88,05} = 771,55 \text{ кг/с} - \text{ для режима 400 т/ч.}$$

$$B = \frac{5646579,768 \cdot 100}{9358 \cdot 89,24} = 676,15 \text{ кг/с} - \text{ для режима 350 т/ч.}$$

$$B = \frac{4941473,184 \cdot 100}{9358 \cdot 90,34} = 584,51 \text{ кг/с} - \text{ для режима 300 т/ч.}$$

$$B = \frac{4177880,97 \cdot 100}{9358 \cdot 91,26} = 489,21 \text{ кг/с} - \text{ для режима 250 т/ч.}$$

$$B = \frac{3422875,66 \cdot 100}{9358 \cdot 91,94} = 395 \text{ кг/с} - \text{ для режима 200 т/ч.}$$

Далее произведём расчёт стоимости топлива для месячного расхода одного котлоагрегата до и после модернизации. Это позволит вычислить полученную экономическую выгоду:

$$N = B * 0,65 * C; \tag{3.8}$$

где B – расход топлива, кг/с;

C – стоимость топлива (2 руб за м3);

0,62 – коэффициент перевода из кг в м3 природного газа.

$$N = 901,76 * 0,65 * 2 = 1172,29 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима 500 т/ч.}$$

$$N = 874,98 * 0,65 * 2 = 1137,47 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима 450 т/ч.}$$

$$N = 771,99 * 0,65 * 2 = 1003,59 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима 400 т/ч.}$$

$$N = 676,53 * 0,65 * 2 = 879,49 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима 350 т/ч.}$$

$$N = 584,84 * 0,65 * 2 = 760,29 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 300 \text{ т/ч.}$$

$$N = 489,48 * 0,65 * 2 = 636,32 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 250 \text{ т/ч.}$$

$$N = 398,05 * 0,65 * 2 = 517,47 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 200 \text{ т/ч.}$$

После модернизации:

$$N = 900,59 * 0,65 * 2 = 1170,77 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 500 \text{ т/ч.}$$

$$N = 874,48 * 0,65 * 2 = 1136,82 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 450 \text{ т/ч.}$$

$$N = 771,55 * 0,65 * 2 = 1003,02 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 400 \text{ т/ч.}$$

$$N = 676,15 * 0,65 * 2 = 878,99 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 350 \text{ т/ч.}$$

$$N = 584,51 * 0,65 * 2 = 759,86 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 300 \text{ т/ч.}$$

$$N = 489,21 * 0,65 * 2 = 635,97 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 250 \text{ т/ч.}$$

$$N = 395 * 0,65 * 2 = 513,5 \frac{\text{руб}}{\text{сек}}; - \text{ для режима } 200 \text{ т/ч.}$$

Для составления полной картины улучшения эксплуатационного совершенства котлоагрегата, составим таблицу получившихся характеристик на различных режимных картах.

Сводная таблица данных котла позволяет визуально оценить результаты модернизации и определить экономическую выгоду от улучшения эффективности работы котла. Она также может быть использована для принятия решений о необходимости дополнительных мер по оптимизации работы котла и повышению его эффективности.

Показатель	200 т/ч	250 т/ч	300 т/ч	350 т/ч	400 т/ч	450 т/ч	500 т/ч
КПД, %	91,89	91,21	90,29	89,19	88	86,62	84,53
КПД после модернизации, %	91,94	91,26	90,34	89,24	88,05	86,67	84,63
Положительный прирост КПД, %	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1
Расход топлива, кг/с	398,05	489,48	584,84	676,53	771,99	874,98	901,76
Расход топлива после модернизации, кг/с	395	489,21	584,51	676,15	771,55	874,48	900,59
Разница (экономия топлива), кг/с	3,05	0,27	0,33	0,38	0,44	0,5	1,17
Экономия денежных средств за период 1 сек, руб	3,965	0,351	0,429	0,494	0,572	0,65	1,521
Экономия денежных средств за период 1 месяца, руб	9592128	849139,2	1037836,8	1195084,8	1383782,4	1572480	3679603,2

Таблица 2 – сводная таблица данных по КПД котлоагрегата ТГМЕ 464 до и после модернизации.

В таблице приводятся данные о КПД котла до и после модернизации, а также данные о экономии денежных средств, которые были получены в результате улучшения эффективности его работы.

4 РАСТЧЁТ ТЯГО-ДУТЬЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Расчет тягодутьевого оборудования на паровом котле является важной задачей для обеспечения эффективной работы котельной системы. Тягодутьевое оборудование отвечает за удаление продуктов сгорания из котла и поддержание оптимального давления в системе. В данном расчете необходимо учитывать множество факторов, таких как тип котла, его мощность, температура продуктов сгорания и другие параметры. Корректный расчет тягодутьевого оборудования поможет обеспечить безопасность и надежность работы котельной системы.

Дутьевой вентилятор и дымосос имеют идентичную конструкцию. Различия есть в назначении. Дутьевой вентилятор необходим для нагнетания воздушного потока в топку котла, что необходимо для процесса горения. Дымосос выполняет роль отвода продуктов сгорания топлива, уходящих газов, в атмосферу.

В процессе замены воздухоподогревателя изменилось и сопротивление воздуху в газовоздушном тракте котла. Из этого следует, что необходим перерасчёт тяга-дутьевого оборудования.

Расчетная производительность для дымососа:

$$Q_p = \beta_1 * Q_{\text{ср}} * \frac{760}{p_6} * 3600, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{ср}}$ – расход продуктов сгорания для дымососа, м³/ч;

β_1 – коэффициент запаса по производительности, = 1,05;

p_6 – барометрическое давление в месте установки машины, = 760 мм рт. ст.

$$Q_p = 1,05 * 6,1 * \frac{760}{760} * 3600 = 25000, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетное полное давление (напор), которое должен создавать дымосос:

$$H_p = \beta_2 * \Delta h_{\text{п}}, \text{ Па}; \quad (4.2)$$

где β_2 – коэффициент запаса по напору, = 1,1;

$\Delta h_{\text{п}}$ – перепад полных давлений в газовом тракте.

$$H_p = 1,1 * 1516 = 1668 \text{ Па.}$$

Принимаем дымосос центробежный марки ДН-9, $Q_p = 25 \cdot 103 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H_p = 2,78 \text{ кПа}$, $t_p = 200^\circ\text{С}$.

Полное расчетное давление, приведенное к условиям, указанным в методическом пособии:

$$H_p^{\text{пр}} = \frac{1,293}{p_0} * H_p * \frac{273+t}{273+t_{\text{хар}}} * \frac{760}{p_6}, \text{ Па;} \quad (4.3)$$

где p_0 – плотность перемещаемых газов при 0°С и 760 мм рт. ст. , $\text{кг}/\text{м}^3$;

t – температура продуктов сгорания (воздуха) перед машиной, $^\circ\text{С}$;

$t_{\text{хар}}$ – температура, для которой в каталоге приводится напор машины, $t_{\text{хар}} = 200^\circ\text{С}$.

$$H_p^{\text{пр}} = \frac{1,293}{1,35} * 1668 * \frac{273+134}{273+200} * \frac{760}{760} = 1375, \text{ Па.}$$

Мощность, потребляемая дымососом:

$$N = \frac{Q_p * H_p^{\text{пр}}}{3600 * \mu_3} * \frac{p_0}{1,293} * \frac{273+t_{\text{хар}}}{273+t} * \frac{p_6}{760}, \text{ кВт;} \quad (4.4)$$

где $\mu_3 = (0,7 - 0,8)$ – КПД машины,

$$N = \frac{13608 * 1375}{3600 * 0,8} * \frac{1,35}{1,293} * \frac{273+200}{273+134} * \frac{760}{760} = 7,884, \text{ кВт.}$$

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) определяется по потребляемой мощности с коэффициентом запаса с коэффициентом запаса $\beta_3 = 1,05$:

$$N_{\text{дв}} = N * \beta_3; \quad (4.5)$$

$$N_{\text{дв}} = 7,883 * 1,05 = 8,277 \text{ кВт.}$$

Принимаем для дымососа электродвигатель типа 4А-160S6, мощностью 11 кВт .

Подбор вентилятора

Расчетная производительность для дымососа:

$$Q_p = \beta_1 * V_B * \frac{760}{p_6}, \text{ м}^3/\text{ч;} \quad (4.6)$$

где V_B – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$;

β_1 – коэффициент запаса по производительности, $= 1,05$;

p_6 – барометрическое давление в месте установки машины, = 760 мм рт. ст.

$$Q_p = 1,05 * 6,1 * \frac{760}{760} = 25000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетное полное давление (напор), которое должен создавать вентилятор:

$$Q_p = \beta_2 * \Delta h_{\Pi}, \text{ Па}; \quad (4.7)$$

где β_2 – коэффициент запаса по напору, = 1,1;

Δh_{Π} – перепад полных давлений в воздушном тракте.

$$Q_p = 1,1 * 1240 = 1364 \text{ Па}.$$

Принимаем вентилятор дутьевой марки ВДН-8, $Q_p = 25 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H_p = 2,19 \text{ кПа}$, $t_p = 30^\circ\text{C}$.

Полное расчетное давление, приведенное к условиям, указанным в методическом пособии:

$$H_p^{\text{пр}} = \frac{1,293}{p_0} * H_p * \frac{273+t}{273+t_{\text{хар}}} * \frac{760}{p_6}, \text{ Па}; \quad (4.8)$$

где p_0 – плотность перемещаемых газов при 0°C и 760 мм рт. ст., кг/м³;

t – температура продуктов сгорания (воздуха) перед машиной, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{хар}}$ – температура, для которой в каталоге приводится напор машины, $t_{\text{хар}} = 30^\circ\text{C}$.

$$H_p^{\text{пр}} = \frac{1,293}{1,35} * 1364 * \frac{273+273}{273+273} * \frac{760}{760} = 1755 \text{ Па}$$

Мощность, потребляемая дутьевым вентилятором:

$$N = \frac{Q_p * H_p^{\text{пр}}}{3600 * \mu_3} * \frac{p_0}{1,293} * \frac{273+t_{\text{хар}}}{273+t} * \frac{p_6}{760}, \text{ кВт}; \quad (4.4)$$

где $\mu_3 = (0,7 - 0,8)$ – КПД машины,

$$N = \frac{8770 * 1755}{3600 * 0,8} * \frac{1,35}{1,293} * \frac{273+30}{273+134} * \frac{760}{760} = 4,154 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) определяется по потребляемой мощности с коэффициентом запаса с коэффициентом запаса :

$$N_{\text{дв}} = 4,154 * 1,05 = 4,362 \text{ кВт}.$$

Принимаем для дутьевого вентилятора электродвигатель типа 4А-160S6, мощностью 11 кВт.

В результате расчёта тяга-дутьевого оборудования были подобраны следующие компоненты: дымосос центробежный марки ДН-9 и для него электродвигатель типа 4А-160S6, мощностью 11 кВт, а также дутьевой вентилятор марки ВДН-8, имеющий электродвигатель типа 4А-160S6, мощностью 11 кВт.

5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРОЕКТА

В настоящее время энергетические компании сталкиваются с растущими затратами на производство и поставку электроэнергии, что приводит к необходимости постоянного поиска новых путей экономии. Одним из таких путей является повышение КПД тепловых электростанций (ТЭЦ) за счет снижения расхода топлива. В данном экономическом расчете мы рассмотрим влияние повышения КПД на экономику предприятия.

В данном дипломном проекте мы затрагиваем модернизацию четырёх котлоагрегатов ТГМЕ-464.

Работы будут производиться хозяйственным способом.

Для проведения модернизации 4 котлов потребуются использование труда рабочих в течение 4 месяцев в составе: 4 сварщиков, 8 слесарей, 40 разнорабочих.

При внедрении данного проекта возникают затраты только на капитальные вложения, т.к. эксплуатационные затраты остаются без изменений.

Капитальные затраты на проведение модернизации составят:

Разработка рабочего проекта для 4 котлоагрегатов ТГМЕ-464 0 рублей.

Оплата выполненных работ:

$$N = \left(n_{\text{свар.}} * 150000 + n_{\text{слесар.}} * 100000 + n_{\text{разнораб.}} * 60000 \right) * t_{\text{раб}} * n_{\text{к}}, \text{ руб}; \quad (5.1)$$

где $n_{\text{свар.}}$ – количество рабочих сварщиков, задействованных в работах на одном котлоагрегате, чел;

$n_{\text{слесар.}}$ – количество рабочих слесарей, задействованных в работах на одном котлоагрегате, чел;

$n_{\text{разнораб.}}$ – количество разнорабочих, таких, как отделочники, маляры и тд., задействованных в работах на одном котлоагрегате, чел;

$t_{\text{раб}}$ – время выполнения модернизации, мес;

$n_{\text{к}}$ – количество котлоагрегатов.

$$N = (4 * 150000 + 8 * 100000 + 20 * 60000) * 2 * 4 = 20800000 \text{ руб.}$$

Материалы для 4 котлов:

$$N = n_{\text{труб}} * C_{\text{труб}} * l + n_{\text{стен}} * C_{\text{стен}} * n_{\text{к}}; \quad (5.2)$$

где $n_{\text{труб}}$ – количество труб воздухоподогревателя, шт;

$C_{\text{труб}}$ – стоимость одного метра нужного нам диаметра трубы, руб;

l – длина трубы, м.

$$N = (10194 * 450 * 10 + 4 * 1487 * 20) * 4 = 183967849 \text{ руб.}$$

Стоимость центробежного дымососа ДН-9 может варьироваться от 250000 до 300000 российских рублей, в зависимости от модификации и производителя.

Стоимость электродвигателя типа 4А-160S6 с мощностью 11 кВт составляет около 160000 - 170000 российских рублей.

Дутьевой вентилятор ВДН-8 с электродвигателем 4А-160S6 и мощностью 11 кВт можно купить по цене около 180000 российских рублей.

Общая стоимость оборудования может быть около 1200000 - 1250000 российских рублей.

Итого 207847849 рублей.

Модернизация позволит сократить расход газа на производство номинального количества тепловой энергии с 3607 кг/с до 3602,36 кг/с, что позволит сэкономить 176620953,6 рублей в год.

Срок окупаемости затрат: $207847849 / 176620953,6 = 1,4$ года.

Вывод: Результаты экономического расчёта показали, что благодаря внедрению данной модернизации на ТЭЦ была достигнута значительная экономия топлива. Это позволило снизить затраты на производство электроэнергии и увеличить КПД ТЭЦ.

Срок окупаемости проекта составил 1,4 года, что говорит о его высокой эффективности и экономической целесообразности. При этом, в дальнейшем, в результате снижения затрат на топливо и увеличения КПД, экономия будет продолжаться, что позволит существенно сэкономить средства на производстве электроэнергии.

Таким образом, экономический расчёт подтверждает целесообразность внедрения данной модернизации на ТЭЦ, которая позволяет достигнуть существенной экономии топлива и снижения затрат на производство электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе был рассмотрен вопрос модернизации котельного оборудования, а, именно, замена рекуперативного воздухоподогревателя на регенеративный. В ходе работы было выполнено:

- Изучение устройства котлоагрегата ТГМЕ-464: устройство, принцип работы, режимные карты, вид сжигаемого топлива.
- Изучение устройства рекуперативного воздухоподогревателя РВП-88А, его принцип работы, температурные графики, особенности.
- Изучение устройства регенеративного воздухоподогревателя, его принцип работы, температурные графики, особенности
- Теплотехнический расчет: расчёт регенеративного воздухоподогревателя, расчёт коэффициента полезного действия, расхода топлива, расчёт дутьевого оборудования, а также экономический расчет.
- Подбор требуемого оборудования.
- Экономический расчет.

В бакалаврской работе был рассмотрен вопрос модернизации системы подогрева воздуха на четырёх котлоагрегатах путём замены регенеративного воздухоподогревателя на рекуперативный. Это привело к существенному улучшению КПД и снижению расхода топлива на котлоагрегатах.

Как результат, расход топлива на котлоагрегатах снизился с 3607 кг/с до 3602,36 кг/с (результат приведёт для режимной карты 500 т/ч), что позволило сократить затраты на приобретение топлива и снизить эксплуатационные расходы на производство электроэнергии. В результате, была достигнута значительная экономия в размере 176620953,6 рублей в год.

Таким образом, дипломная работа подтверждает целесообразность и эффективность замены регенеративного воздухоподогревателя на рекуперативный, что привело к снижению расхода топлива и увеличению экономической эффективности производства электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зах Р.Г. Котельное оборудование. - 1 изд. – г. Москва / Энергия, 1968. - 352 с.
2. Роддатис К.Ф. Котельные установки. - 1 изд. – г. Москва / Энергия, 1977. - 432 с.
3. Ковалёв А.П. Лелеев Н.С. Виленский Т.В. Парогенераторы. - 1 изд. – г. Москва / Москва ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1985. - 376 с.
4. Министерство энергетики и электрификации СССР главное техническое управление по эксплуатации энергосистем Типовая энергетическая характеристика котла ТГМЕ – 464 РД 34.26.705. - 1 изд. – г. Москва / СПО Союзтехэнерго, 1981. - 60 с.
5. Производственная инструкция по эксплуатации котельного агрегата ТГМЕ-464 ПИ-988-50-01-2019. - 1 изд. – г. Норильск / АО "НТЭК", 2019. - 70 с.
6. Производственная инструкция по обслуживанию регенеративного воздухоподогревателя РВП-88Н ПИ-988-50-03-2020. - 1 изд. – г. Норильск / АО "НТЭК", 2020. - 8 с.
7. Производственная инструкция по обслуживанию тягодутьевых механизмов котельного агрегата ТГМЕ – 464 ПИ-988-50-04-2020. - 1 изд. – г. Норильск / АО "НТЭК", 2020. - 18 с.
8. Свойства воды и водяного пара // Энергетическое образование URL: <http://www.energyed.ru/> (дата обращения: 01.06.2023).

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

подпись

инициалы, фамилия

« 30 » июня 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Реконструкция котельной установки с заменой воздухоподогревателя

тема

Научный Руководитель/

руководитель Жадаева 20.06.23 ст. преподаватель

подпись, дата

должность, ученая степень

Л.Я. Жадаева

инициалы, фамилия

Выпускник

Мухоморов 20.06.23

подпись, дата

К.А. Михайлов

инициалы, фамилия

Красноярск

2023