

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
институт  
Тепловые электрические станции  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е.А.Бойко  
подпись инициалы, фамилия  
«24 » июня 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых  
поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС

тема  
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
код и наименование направления

13.04.01.02 Энергоэффективные технологии производства электрической и тепловой энергии  
код и наименование магистерской программы

<u>Руководитель</u>	<u>профессор, д.т.н</u>	<u>подпись, дата</u>	<u>Е.А. Бойко</u>
<u>Выпускник</u>		<u>подпись, дата</u>	<u>А.С. Попов</u>
<u>Рецензент</u>	<u>Нач. КЦ КрТЭЦ-1</u>	<u>подпись, дата</u>	<u>М.В. Лойко</u>
<u>Нормоконтролер</u>		<u>подпись, дата</u>	<u>П.В. Шишмарев</u>

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Политехнический институт**  
институт  
**Тепловые электрические станции**  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е.А.Бойко  
подпись инициалы, фамилия  
« 09 » ноября 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме Магистерской диссертации  
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации  
Студенту Попову Александру Сергеевичу

фамилия, имя, отчество  
Группа ФЭ18-06М Направление (специальность) 13.04.01.02  
номер код  
Энергоэффективные технологии производства тепловой и электрической  
энергии

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Разработка технических решений по  
повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных  
агрегатов угольных ТЭС

Утверждена приказом по университету № 17144/с от 09.11.2018

Руководитель ВКР Е.А. Бойко, профессор, д.т.н., кафедра ТЭС

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР Котлоагрегат Еп-670-13,8-545 БТ ТПЕ(216)  
«Красноярская ТЭЦ-3», район размещения г. Красноярск

Перечень разделов ВКР:

- 1) Реферат
- 2) Введение
- 3) Основная часть
- 4) Заключение
- 5) Список использованных источников
- 6) Приложения

Перечень графического материала \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

подпись

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

подпись

Бойко Е.А.

и инициалы фамилия

А.С. Попов

и инициалы фамилия студента

«09» ноября 2018 г.

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС» содержит 41 страницу текстового документа, 19 иллюстраций, 7 использованных источников.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ, КОТЛОАГРЕГАТ, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ, ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ, КАЛОРИФЕР, ТЕПЛОВЫЕ ТРУБКИ.**

Цель работы:

В данной работе основной задачей является проведение комплексной технико-экономической оптимизации схем и параметров котлоагрегата угольной ТЭС при его модернизации с учетом низкотемпературной коррозии воздухоподогревателя с использованием разработанных моделей вариантов.

Низкотемпературная коррозия зачастую приводит к нарушению нормальной работы поверхностей нагрева – вплоть до выхода из эксплуатации – и существенному снижению эффективности работы всего колоагрегата. Особенно сильно наличие низкотемпературной коррозии оказывается на надежности работы последней по ходу газов теплообменной поверхности – воздухоподогревателя. В результате нарушения целостности структурных элементов данной поверхности возникают перетоки воздуха в дымовые газы, приводящие к увеличению нагрузки на тягодутьевые агрегаты котельной установки; увеличиваются потери с механическим и химическим недожогом, что связано с возникающим недостатком подаваемого в топку котла воздуха; снижается общая экономичность котельного агрегата, что приводит к перерасходу топлива и сложностям в достижении и поддержании номинальной нагрузки.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>6</b>
1 Обоснование проблемы .....	7
2 Объект исследования .....	11
2.1 Историческая справка .....	11
2.2 Описание объекта .....	11
2.3 Паровой котел типа Еп-670-13,8-545 БТ .....	12
3 Определение температуры точки росы дымовых газов .....	16
4 Варианты решения .....	18
4.1 Расчет котельного агрегата.....	24
4.2 Порядок расчета воздухоподогревателя.....	26
4.3 Расчет котельного агрегата с калорифером .....	27
4.4 Расчет котельного агрегата с рециркуляцией горячего воздуха.....	28
4.5 Расчет котельного агрегата с каскадным трубчатым воздухоподогревателем .....	29
4.6 Расчет котельного агрегата с применением тепловых трубок.....	30
4.7 Выбор оптимального решения .....	32
5 Расчет оптимального варианта решения .....	33
6 Технико-экономическое обоснование .....	38
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>40</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>41</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### Энергетическое использование углей Канско-Ачинского бассейна.

Важную роль в совершенствовании структуры энергетического баланса Урала, Сибири и Дальнего Востока играет Канско-Ачинский угольный бассейн. Значительная часть потребления данных углей приходится на теплоэнергетику Красноярского края, Иркутской области и республики Хакасия. В первую очередь это связано с низкими эксплуатационными затратами на добычу и возможностью осуществления бесперебойной транспортной логистики. В настоящее время КАУ поставляется в 32 региона России. Общие геологические ресурсы этого бассейна достигают 639 млрд т, из них на долю мощных, пригодных к открытой разработке пластов приходится 143 млрд. т. Отличительной особенностью данных углей является низкая себестоимость их добычи. Приведенные затраты на получение 1 т условного топлива из углей Канско-Ачинского бассейна ниже соответствующего показателя по природному газу в 3,1 раза, мазуту из нефти Западной Сибири в 3,8 раза. В связи с этим в ближайшей перспективе неуклонно будет возрастать роль КАУ в топливно-энергетическом балансе страны и, особенно для восточных ее районов.

Территория, которую занимает бассейн, представляет собой предгорную равнину, распространяющуюся на север от отрогов Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна, с одной стороны, и юго-западной окраины Сибирской платформы, с другой. Западной границей бассейна можно считать долину реки Кия, а с восточной – долину реки Бирюса. Северная и северо-западная границы открыты в сторону Западно-Сибирской низменности (рисунок 1).

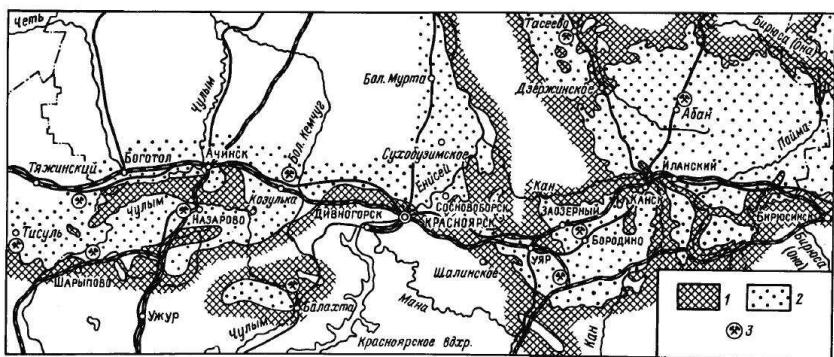


Рисунок 1 – Обзорная карта Канско-Ачинского бассейна: 1 – подстилающие отложения; 2 – отложения угленосной формации; 3 – действующие разрезы

Бурые угли Канско-Ачинского бассейна относятся к типичным гумусовым, среди которых встречаются прослойки горючих сланцев и сапропелево-гумусовых углей. По степени углефикации они относятся к бурым углям с повышенной степенью углефикации. Наиболее реакционноспособную часть горючей массы угля представляют микрокомпоненты групп гуминита и липтинита.

## **1 Обоснование проблемы**

Существенная часть потребности в тепловой и электрической энергии в России и мире обеспечивается тепловыми электрическими станциями, использующими органическое топливо – природный газ, уголь, мазут – в качестве первичного источника энергии.

Среди разведанных на территории России запасов угля 52,3 % приходится на долю бурых углей, 44 % на долю каменных углей (в том числе 20,5 % – на долю коксующихся, из которых порядка половины – особо ценные марки) и 3,5 % на антрациты. При этом высококачественных углей с невысоким содержанием золы (до 10 – 16 %) и серы (0,3 – 0,8 %) среди разведанных запасов меньше половины, а около трети всех запасов не соответствуют мировым стандартам качества.

В остальном мире структура потребления первичных энергоресурсов предприятиями энергетики существенно отличается от таковой в России – согласно [6] доминирующее положение в среднем по миру занимает уголь – порядка 42,5 %, потребление природного газа предприятиями энергетики составляет 18,6 %, нефти и мазута – 4,3 %, атомной энергии – порядка 13,5 %, возобновляемых энергоресурсов – 21 %. Прогноз предполагает некоторое перераспределение долей со снижением потребления нефти, угля и атомной энергии, и увеличением потребления возобновляемых энергоресурсов. Однако существенного изменения топливно-энергетического баланса в мире до 2030 года не предполагается, а значит, уголь по-прежнему будет занимать позицию главного источника энергии в мире.

Таким образом, необходимость решения технических проблем, связанных с использованием на ТЭС низкокачественных, высокосернистых углей, обусловлена динамикой добычи и использования угля в целях производства тепловой и электрической энергии, которая непосредственно связана с перспективой увеличения доли угольных электростанций в структуре генерирующих мощностей отрасли.

Одной из таких проблем является процесс низкотемпературной сернокислотной коррозии, протекающий на конвективных поверхностях теплообмена котлоагрегата, зачастую приводит к нарушению нормальной работы этих поверхностей и снижению эффективности работы всего котлоагрегата. Особенно сильно наличие низкотемпературной коррозии оказывается на:

- Надежности работы последней по ходу газов теплообменной поверхности – воздухоподогревателя (ВЗП), и, как следствие, на надежности работы котлоагрегата в целом;
- Возникновение протечек воздуха в дымовые газы, приводящие к увеличению нагрузки на дутьевой вентилятор и дымосос;

- Снижение общей экономичности котлоагрегата;
- Увеличение потерь с механическим недожогом, что связано с возникновением недостатка подаваемого в топку воздуха при номинальной нагрузке на котел;
- Высокие затраты на ремонт конвективных поверхностей нагрева.

Низкотемпературная коррозия зачастую приводит к нарушению нормальной работы поверхностей нагрева – вплоть до выхода из эксплуатации – и существенному снижению эффективности работы всего котлоагрегата. Особенно сильно наличие низкотемпературной коррозии сказывается на надежности работы последней по ходу газов теплообменной поверхности – воздухоподогревателя. В результате нарушения целостности структурных элементов данной поверхности возникают перетоки воздуха в дымовые газы, приводящие к увеличению нагрузки на тягодутьевые агрегаты котельной установки; увеличиваются потери с механическим и химическим недожогом, что связано с возникающим недостатком подаваемого в топку котла воздуха; снижается общая экономичность котельного агрегата, что приводит к перерасходу топлива и сложностям в достижении и поддержании номинальной нагрузки.

Естественно, что данный процесс учитывается при разработке новых установок, предназначенных для сжигания топлив различного качества и состава. Однако существует большое количество действующих котельных агрегатов, проектировавшихся для сжигания высококачественных, низкосернистых углей. Перевод таких агрегатов на сжигание углей с более высоким содержанием серы, связанный с изменением экономических, технических или иных условий, предполагает разрешение проблем эксплуатации, не учтенных на этапе проектирования. Исследование возможности и целесообразности модернизации таких агрегатов с учетом процесса низкотемпературной коррозии является актуальной задачей.

Серный ангидрид образуется как в результате непосредственного окисления серосодержащих соединений, входящих в состав органической и минеральной частей топлива, так и в результате доокисления сернистого ангидрида ( $\text{SO}_2$ ). По современным представлениям, окисление  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  происходит в результате нескольких процессов: гомогенного окисления молекулярным кислородом (реакция протекает очень медленно даже при высоких температурах), гомогенного окисления атомарным кислородом, образующимся в высокотемпературной зоне факела за счет цепных реакций горения термической диссоциации, и гетерогенного окисления на поверхностях. Таким образом, глубина окисления  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  зависит от многих факторов: коэффициента избытка воздуха в топке, температуры в ядре факела, времени пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур, времени контакта горячих топочных газов с трубами фестона, ширм и конвективного перегревателя (оксиды железа и высшие оксиды ванадия, которые входят в состав окалины и отложений, служат катализаторами в реакции окисления  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ ).

Коррозионный процесс условно подразделяется на два этапа. Сначала происходит конденсация паров серной кислоты на внешней поверхности отложений и перенос ее к поверхности металла. Процесс конденсации серной кислоты характеризуется температурой точки росы, которая зависит как от содержания в составе дымовых газов серного ангидрида, так и от парциальных давлений образующейся серной кислоты и водяных паров. Данный этап является совокупностью последовательных элементарных массообменных процессов. Далее раствор серной кислоты начинает взаимодействовать с металлом. Данный этап характеризуется физико-химическими процессами образования сульфатов железа ( $\text{FeSO}_4$  и  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Существенное влияет на скорость коррозии растворимость продуктов коррозии в серной кислоте (соответственно, чем выше их растворимость, тем выше скорость коррозии).

Проблема низкотемпературной коррозии первой ступени воздухоподогревателя встречается практически на всех пылеугольных котлоагрегатах. В зависимости от мощности котельных агрегатов и характеристик топлива время протекания коррозии может меняться. Каждая станция борется с этой проблемой по своему. К примеру в городе Красноярска на ТЭЦ-3 используют дополнительный калорифер для предварительного подогрева воздуха перед первой ступенью воздухоподогревателя. В тоже время они сталкиваются с такой проблемой как большой расход пара на калорифер тем самым увеличиваются затраты на собственные нужды. Ниже представлены графики за три месяца использования калорифера.

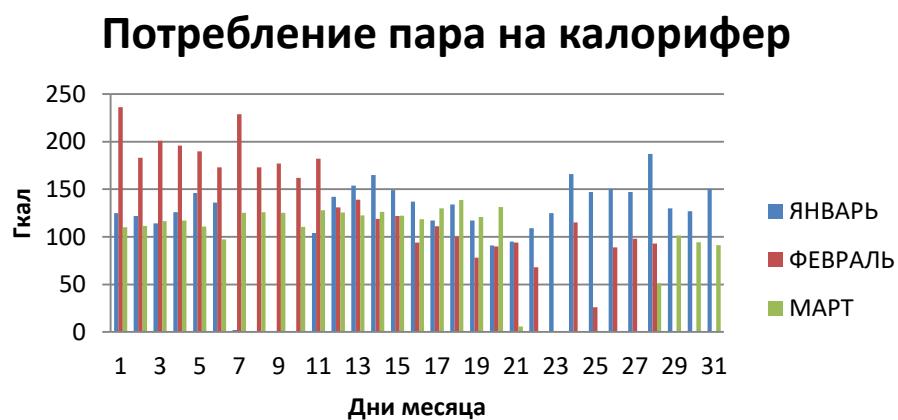


Рисунок 2 – Потребление пара на калорифер за 3 месяца 2019 года

## Плата за Гкал пара

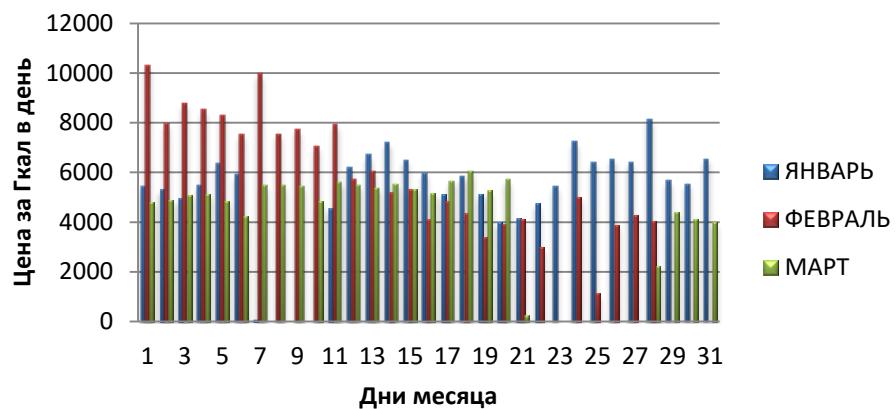


Рисунок 3 – Плата за Гкал пара на калорифер за 3 месяца 2019 года

Месячные затраты на топливо составляют:

- Январь – 157654 руб.
- Февраль – 160072 руб.
- Март – 120346 руб.

Использование калорифера котла в схеме предварительного подогрева холодного воздуха негативно сказывается на экономичности работы энергоблока. Это связано с тем, что теплота уходящих газов, бесполезно теряющаяся в атмосфере, замещается высокопотенциальным паром, который может использоваться в более рациональных целях.

В связи с этим в результате систематизации данных внутренних исследований и испытаний был предложен ряд технических решений для обеспечения более экономичной и надежной работы энергоблока.

## **2 Объект исследования**

### **2.1 Историческая справка**

Статус действующей Красноярской ТЭЦ-3 приобрела 3 января 1992 года с момента ввода в эксплуатацию пиковой водогрейной котельной (ПВК). До марта 2012 года станция вырабатывала только тепловую энергию. 1 марта 2012 года был введен в строй первый энергоблок установленной электрической мощностью 208 МВт.

Энергоблок ст.№1 Красноярской ТЭЦ-3 - первый угольный блок в России, строительство которого велось в рамках проектов ДПМ (договоры на предоставление мощности). При его проектировании была сделана ставка на энергоэффективность и экологичность. Оборудование энергоблока дает возможность существенно снизить выбросы вредных веществ по сравнению с аналогами и обеспечить экологические параметры, соответствующие современным европейским экологическим требованиям. Трехступенчатая система сжигания топлива в котлах обеспечивает снижение выбросов оксидов азота на 40%. Электрофильтр позволяет улавливать 99,7 % золы.

### **2.2 Описание объекта**

Красноярская ТЭЦ-3 - самая современная электростанция блочного типа города Красноярска. Она обеспечивает теплом промышленные предприятия Советского района - в частности, микрорайоны «Северный», «Взлётка», «Иннокентьевский», а также микрорайон «Покровский» Центрального района краевого центра.

Оборудование станции составляют: энергоблок в состав которого входит энергетический котел с тепловой производительностью 670 т/ч и турбина с установленной электрической мощностью 208 МВт и тепловой мощностью в 140 Гкал/ч, 4 водогрейных котла тепловой мощностью 100 Гкал/ч каждый (ПВК) и 3 паровых котла паропроизводительностью по 25 т/ч каждый (ПОК).

Угольный склад открытый, оборудованный вагоноопрокидывателем. Две дымовых трубы высотой по 90 и 190 метров установлены для котельных, ещё одна высотой 275 метров для главного корпуса.

Бородинский разрез Канско-Ачинского угольного бассейна, на котором добывают угли марки Б2 открытым способом, расположен близ города Бородино в 164 км от станции (по прямой около 112 км к востоку). Разрез принадлежит СУЭК. Удельная теплота сгорания поставляемого на ТЭЦ угля в среднем 16 МДж/кг.

Турбогенератор для первого энергоблока с воздушным охлаждением типа Т3ФП-220-2У3 мощностью 225 МВт изготовлен на заводе «Электросила».

На ТЭЦ-3 предусмотрена прямоточная система технического водоснабжения с береговой насосной станцией, а для подпитки теплосети используются подрусловые воды реки Енисей. Имеется собственное железнодорожное хозяйство.

## **2.3 Паровой котел типа Еп-670-13,8-545 БТ**

Котел ТПЕ-216 был изготовлен Таганрогским котельным заводом.

Котел Еп-670-13,8-545 БТ (ТПЕ-216) предназначен для работы на бурых углях в блоке с турбиной: теплофикационной Т-204/220-12.8-2. Котел однобарабанный, однокорпусный, с естественной циркуляцией, П-образной компоновкой, с промежуточным перегревом пара. Котел газоплотный, с цельносварными экранами, уравновешенной тягой и твердым шлакоудалением.

Топочная камера открытого типа, призматическая, в сечении представляет собой прямоугольник с размерами по осям труб 13,52x12,48 м. Стены топочной камеры экранированы цельносварными панелями из гладких труб 60х6 мм с шагом 80 мм и вваренной полосы (сталь 20). В верхней части топки панели задней стены наклоном в глубину топки на 4000 мм образуют аэродинамический выступ, который улучшает аэродинамику верхней части топки. Для сушки топлива предусмотрен отбор горячих газов в верхней части топки, через шесть патрубков. Для регулирования температуры сушильного агента к патрубкам подводятся холодные газы от короба уходящих газов за электрофильтрами.

Топочная камера оборудована 18 прямоточными горелками, которые расположены тангенциально в три яруса (расстояние между ярусами 4,5 м).

Кроме основных пылеугольных горелок, куда подается - 85% топлива, на кotle установлены шесть восстановительных устройств, куда подается - 15% топлива. Расположены восстановительные устройства над каждым блоком основных горелок.

В восстановительное устройство подается только смесь угольной пыли и сушильного агента (аэросмесь). Для охлаждения неработающих устройств предусматривается подача холодных газов рециркуляции от ДРГ из байпаса перед мельницей.

В пятой панели на отметке 32330 мм выполнена одна разводка под установку сопла промежуточного дутья. На отметке 36370 мм в каждой из угловых панелей выполнено по одной разводке под установку сопел верхнего дутья.

Сопло промежуточного дутья представляет собой короб прямоугольного сечения размерами 335x730 мм, выходная часть которого выполнена со срезанными прямыми углами на длине 150 мм так, что получился восьмигранник. Сопло установлено в топке под углом 30° к поверхности стен топки. Сопло изготовлено из листа толщиной 10 мм (сталь 20).

Сопло верхнего дутья представляет собой короб прямоугольного сечения с размерами 390x810 мм с толщиной стенки 10 мм со срезанными углами в одной плоскости на длину 115 мм. Углы, под которыми установлены сопла к стенам топочной камеры, различны. Кроме того, сопла имеют плавающий размер фланца, и длина выходной части сопла колеблется в зависимости от места установки сопла.

Для уменьшения выбросов оксидов азота в кotle применена трёхступенчатая схема сжигания твёрдого топлива.

85% угля подаётся в три яруса горелок с средним избытком воздуха 1,0-1,05. Выше третьего яруса горелок в топке создаётся восстановительная зона за счёт подачи туда через восстановительные устройства 15% мелкой пыли с сушильным агентом, без подачи вторичного воздуха. В восстановительной зоне за счет продуктов неполного сгорания кокса и несгоревших летучих мелкой пыли происходит частичное восстановление образовавшихся в зоне горелок №0 до атомарного азота. Догорание продуктов неполного сгорания происходит в верхней части топки после подачи третичного воздуха через сопла верхнего дутья, расположенных на отметке +36370мм. Для предотвращения шлакования экранов в восстановительной зоне в нее, на отметке +32350мм вдоль экранов через четыре сопла, расположенных на каждой стене топочной камеры, подаётся промежуточный воздух. Отбор горячего воздуха на промежуточное и верхнее дутьё осуществляется из воздуховодов к основным горелкам. Отбор холодных дымовых газов для охлаждения восстановительных устройств в нерабочей пылесистеме осуществляется из линии подачи холодных дымовых газов в пылесистему.

На фронтовой и задней стенах топочной камеры установлены по два блока трехъярусных горелок, а на боковых стенах по одному блоку горелок. Установка горелок осуществлена таким образом, что в центре топки образуется тангенциальный вихрь.

Газовая сушка топлива и многоярусность горелок обеспечивают низкотемпературный уровень в зоне активного горения топлива, что способствует уменьшению шлакования экранных поверхностей и снижению вредных выбросов окислов азота в атмосферу. Часть фронтовой и боковой стен топочной камеры экранирована вторым рядом труб 32х6 мм (сталь 12Х1МФ) настенного радиационного пароперегревателя. Такое конструктивное исполнение улучшает условия очистки экранных поверхностей и позволяет применять традиционные средства очистки.

Барабан котла имеет внутренний диаметр 1600 мм с толщиной стенки 115 мм (сталь 16ГНМА). Схема испарения – двухступенчатая с промывкой пара питательной водой. Первая ступень испарения находится в барабане котла и представляет собой систему циклонов и промывочных устройств. Вторая размещается в выносных циклонах.

Вода из барабана к испарительным экранам поступает по шести стоякам диаметром 465 мм с толщиной стенки 40 мм, приваренным к штуцерам барабана, расположенным в нижней части. От стояков к нижним коллекторам экранов вода подводится по трубам 159х15 мм (сталь 20). Подвод воды по трубам большого диаметра позволяет повысить надежность работы циркуляционных контуров и барабана.

Пароводяная смесь от верхних коллекторов экранов отводится в барабан по трубам 133х13 мм (сталь 20). Стены и под переходного газохода, потолок топочной камеры и опускной газоход экранированы цельносварными панелями из гладких труб 32х5 мм с шагом 52 мм (сталь 20). Пароперегреватель высокого давления по характеру восприятия тепла делится на три части: радиационную,

полурадиационную и конвективную. Радиационная часть пароперегревателя находится в топке. К полурадиационной части пароперегревателя относится ширмовый пароперегреватель, который состоит из двух ступеней и расположен на выходе из топки.

Ширмы первой ступени и часть ширм второй ступени (12 и 24) выполнены из труб 32х6 мм (сталь 12Х1МФ), ширмы выходной части второй ступени по шесть с каждой стороны котла выполнены из труб 32х4 мм (сталь 12Х18Н12Т). Схема включения ширм обеспечивает надежное охлаждение змеевиков, расположенных в высокотемпературной зоне газового тракта. Конвективная ступень пароперегревателя высокого давления выполнена из труб 42х5 мм (сталь 12Х1МФ). Ступень расположена в зоне умеренной температуры газов, где шлакование идет менее интенсивно. Поперечный шаг по змеевикам равен 130 мм.

Пароперегреватель низкого давления состоит из трех ступеней. Выходная (первая по ходу газов) ступень пароперегревателя низкого давления выполнена из труб 60х5 мм (сталь 12Х18Н12Т) и находится за ширмовым пароперегревателем. Пакеты змеевиков в ступени расположены с поперечным шагом 260 мм, что повышает надежность работы пароперегревателя при сжигании высокошлакующегося топлива.

Вторая по ходу газов ступень пароперегревателя низкого давления расположена на выходе из горизонтального газохода и выполнена из труб 50х4 мм (сталь 12Х1МФ). Сечение горизонтального газохода выбрано с учетом обеспечения умеренных скоростей газа при сжигании высокоабразивного топлива. Углы наклона скатов пода горизонтального газохода выбраны с учетом необходимости уменьшения золовых отложений.

В опускном конвективном газоходе первой по ходу газов расположена регулировочная ступень пароперегревателя низкого давления. Специальный трехходовой клапан позволяет регулировать пропуск пара через ступень в зависимости от нагрузки котла при эксплуатации, тем самым обеспечивается стабилизация температуры перегрева пара низкого давления при снижении нагрузки котла до 80 %. Ступень выполнена из труб 42х4 мм (сталь 12Х1МФ) и имеет шахматное расположение змеевиков с шагом 138 мм. Увеличенный поперечный шаг между змеевиками позволяет избежать интенсивного заноса, обеспечивает возможность очистки. Ступень закреплена на охлаждаемой водой подвесной системе. Надежность работы ступени в целом обеспечивается умеренной температурой газов, что позволяет в любых режимах снижать пропуск пара через ступень на 10 %.

Таблица 1- Характеристики котла ТПЕ-216

№	Наименование	Единица измерения	Значение
1	Паропроизводительность	т/ч	670
2	Давление на выходе(пер.пар)	МПа	13,8
3	Температура (пер.пар)	°С	545

Окончание таблицы 1

4	Расход пара на пром.перегрев	т/ч	577
5	Объем топочной камеры	м <sup>3</sup>	6774
6	Объем водяного тракта	м <sup>3</sup>	192
7	Объем пара в паро.перегрев.	м <sup>3</sup>	109

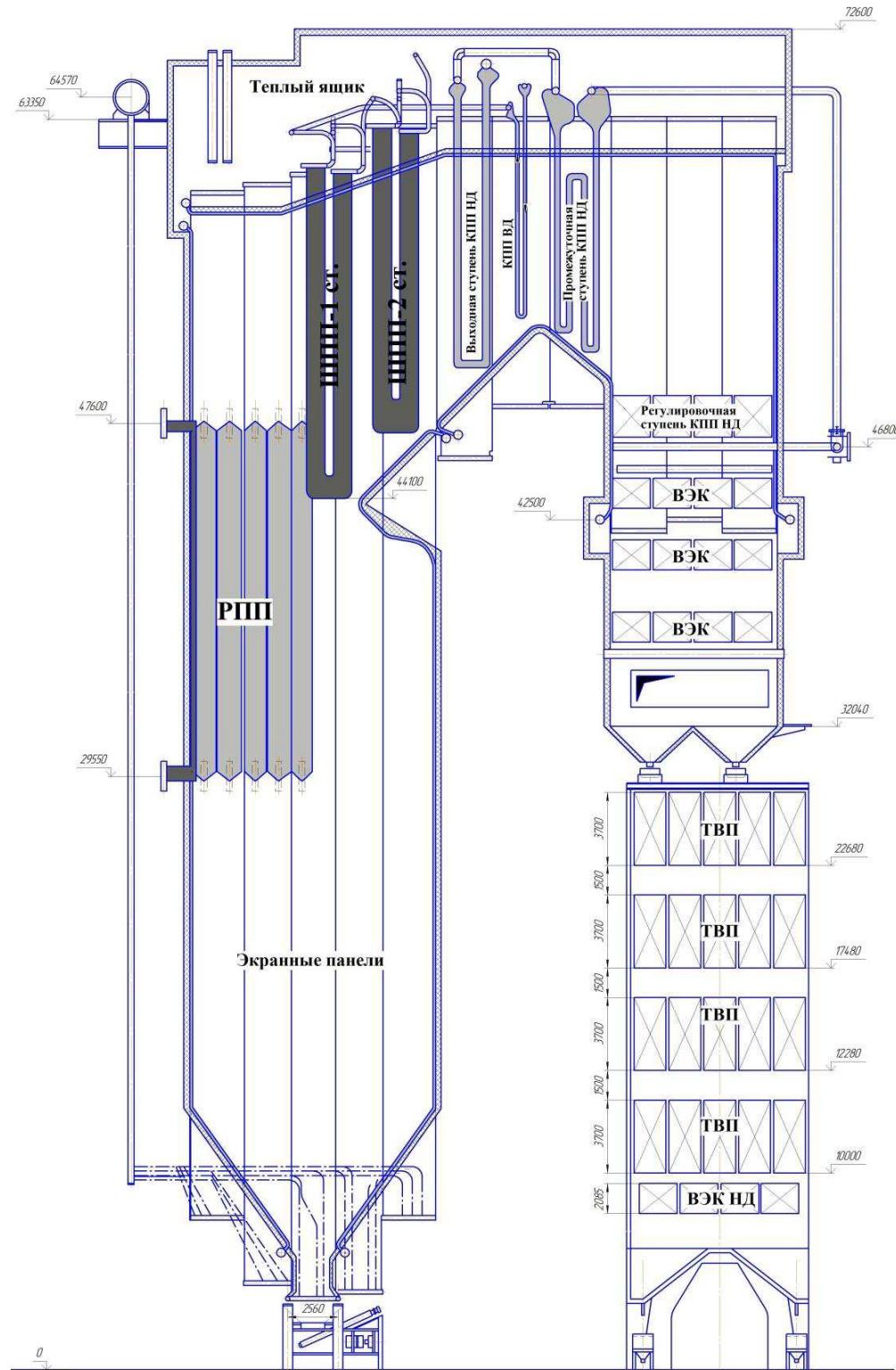


Рисунок 4 – Котел ТПЕ-216

### 3 Определение температуры точки росы дымовых газов

В существующих и широко применяемых методических указаниях по тепловому расчету котельных агрегатов, в рекомендациях по проектированию и поверхностей нагрева встречается выражение для определения температуры точки росы дымовых газов при сжигании сернистых топлив в пылевидном состоянии.

$$t_p = t_{\text{кон.}H_2O} + \frac{125 \cdot \sqrt[3]{S^{\text{пр}}}}{1,05 \cdot \alpha_{\text{ун}} \cdot A^{\text{пр}}}, \quad (3.1)$$

где  $t_p$  – температура точки росы дымовых газов, °C;

$t_{\text{кон.}H_2O}$  – температура конденсации водяных паров, °C;

$\alpha_{\text{ун}}$  – доля уноса золовых частиц потоком дымовых газов;

$S^{\text{пр}}$  и  $A^{\text{пр}}$  – приведенные содержания серы и золы в исходном топливе соответственно.

$$S^{\text{пр}} = \frac{S^p}{Q_h^p}, \quad (3.2)$$

где  $S^p$  – количество серы на рабочую массу топлива, %;

$Q_h^p$  – теплота сгорания топлива, МДж/кг.

$$S^{\text{пр}} = \frac{0,2}{15,28} = 0,0131\% \frac{\text{кг}}{\text{МДж}}.$$

$$A^{\text{пр}} = \frac{A^p}{Q_h^p}, \quad (3.3)$$

где  $A^p$  – зольность топлива, %;

$Q_h^p$  – теплота сгорания топлива, МДж/кг.

$$A^{\text{пр}} = \frac{7,4}{15,28} = 0,484\% \frac{\text{кг}}{\text{МДж}}.$$

Давление водяных паров:

$$p_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot p, \quad (3.4)$$

$$p_{H_2O} = 0,145 \cdot 0,1 = 0,0145 \text{ МПа.}$$

Температура конденсации  $t_{\text{кон.}H_2O} = 53,269$  °C.

$$t_p = 53,269 + \frac{125 \cdot \sqrt[3]{0,0131}}{1,05 \cdot 0,95 \cdot 0,484} = 114,3 \text{ °C.}$$

Так как температура точки росы меньше температуры уходящих газов (160 °C) и следовательно меньше температуры нагрева стенки воздухоподогревателя, низкотемпературная коррозия будет протекать очень медленно.

В таблице 2 представлена скорость коррозии(мм/год) при сжигании сернистого угля для трубчатого воздухоподогревателя.

Таблица 2 – скорость коррозии в зависимости от приведенного содержания серы

Приведенное содержание серы в угле $S^{\text{пр}}, \%$	Скорость коррозии(мм/год) при температуре стенки, °C				
	75-110	111-120	121-130	131-140	Более 140
До 0,1	0,2	0,3	0,15	0,1	0,05
С 0,1 до 0,4 вкл.	0,2	0,4	0,25	0,15	0,1
С 0,4 до 1 вкл.	0,25	0,5	0,3	0,2	0,15
Свыше 1	0,3	0,6	0,35	0,25	0,15

Из таблицы 2 можно сделать вывод что при температуре более 140 °C как на котельном агрегате ТПЕ-216 коррозия будет появляется очень медленно и примерно 0,05 мм в год.

## 4 Варианты решения

Температура металла воздухоподогревателя котлоагрегата связана с температурами уходящих газов и холодного воздуха в каждой его точке. Непосредственное повышение температуры уходящих газов существенно отразится на экономичности котлоагрегата. Увеличение подогрева воздуха перед воздухоподогревателем позволяет при заданном значении температуры точки росы добиться повышение температуры металла воздухоподогревателя, но приводит к снижению температурного напора в воздухоподогревателе, соответственно, либо при фиксированной площади поверхности температура уходящих газов будет возрастать и приводить к снижению экономичности котлоагрегата, либо вызовет необходимость увеличения площади поверхности. Поэтому нахождение оптимального варианта является комплексной, требующей детального анализа, задачей.

В настоящее время разработаны и применяются разнообразные способы предварительного подогрева воздуха, различающиеся по типу теплоносителя, по аэродинамической схеме (замкнутая, разомкнутая, одно и двухступенчатая и т.д.), по конструкции и компоновке устройств, используемых для подогрева воздуха, и т.д. Основным же признаком, определяющим тепловую схему установки, является вид используемого в схеме греющего агента. По этому признаку способы подогрева можно разделить на следующие группы:

- подогрев теплотой продуктов сгорания топлива;
- подогрев теплотой отборного пара турбины;
- паровой подогрев в сочетании с изменением соотношения водяных эквивалентов газов и воздуха в воздухоподогревателе;
- подогрев воздуха от посторонних источников;
- комбинированные схемы подогрева.

Исходя из характера процесса низкотемпературной коррозии, одним из способов борьбы является предварительный подогрев воздуха перед воздухоподогревателем котельного агрегата. Общая классификация применяемых способов непрямого подогрева воздух на тепловых электростанциях приведена на рисунке 5.

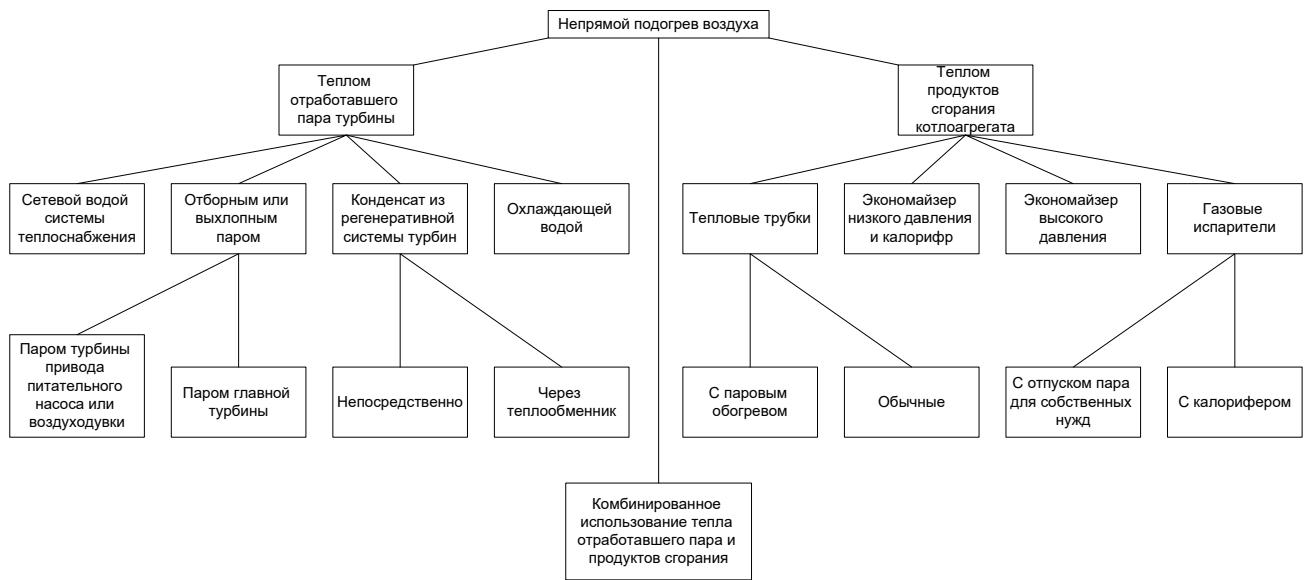


Рисунок 5 – Классификация способов непрямого подогрева воздуха для котлоагрегата ТЭС

Анализ особенностей методов непрямого подогрева воздуха, находящихся на стадиях разработки и эксплуатации, позволил выбрать несколько наиболее доступных и универсальных способов предварительного подогрева воздуха перед воздухоподогревателем котельного агрегата с целью проведения дальнейших оптимизационных исследований возможности модернизации котельной установки с учетом низкотемпературной коррозии.

С целью оценки возможности использования различных способов предварительного подогрева воздуха в рамках задачи снижения влияния низкотемпературной коррозии на работу котлоагрегата предлагается рассмотреть наиболее характерные, наименее затратные, не требующие глубокой реконструкции оборудования варианты схем.

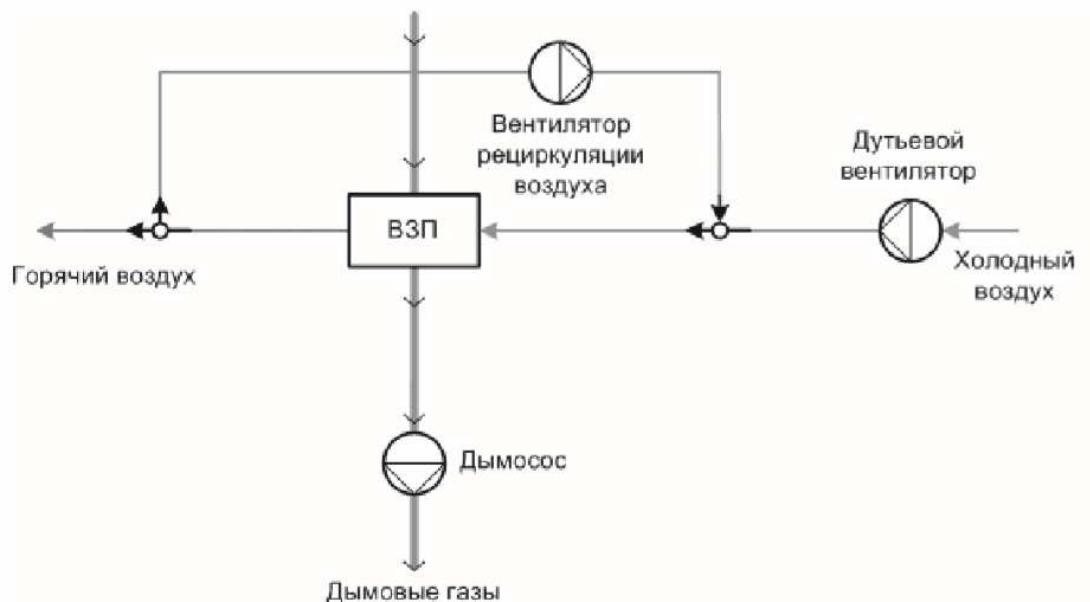


Рисунок 6 – Рециркуляция горячего воздуха

Наиболее распространенным способом предварительного подогрева воздуха теплотой продуктов сгорания является рециркуляция горячего воздуха с подачей некоторой его части на всасывающий воздуховод дутьевого вентилятора. Недостатком такой схемы является увеличение объемов воздуха, перекачиваемого дутьевым вентилятором, и соответственно расхода электроэнергии на дутье. Этот недостаток частично устраняется в схеме, приведенной на рисунке 6, – с использованием дополнительного рециркуляционного вентилятора, нагнетающего горячий воздух в напорный воздуховод дутьевого вентилятора.

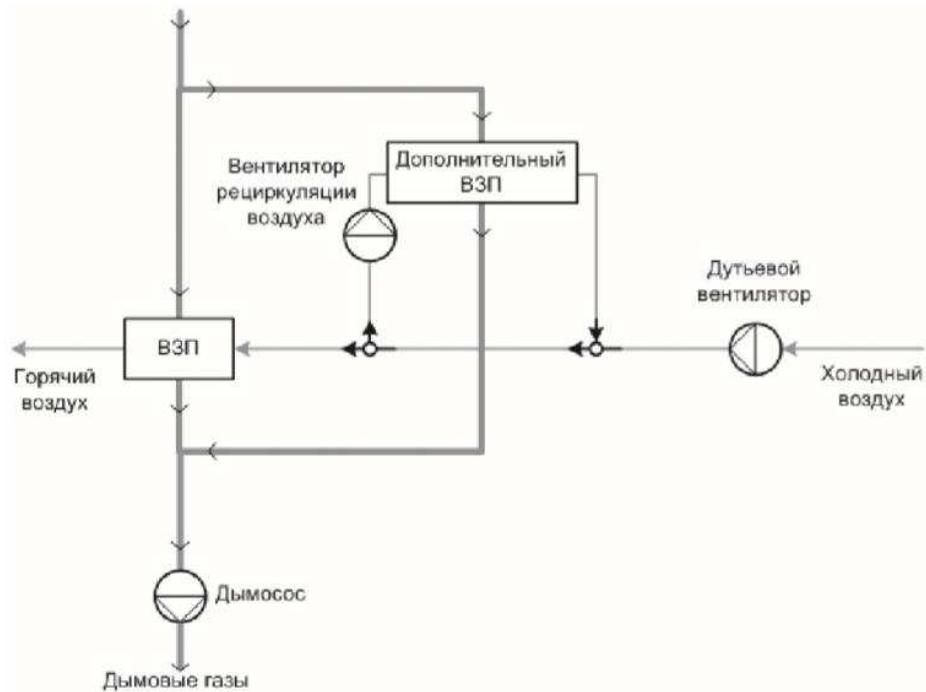


Рисунок 7 – Рециркуляция слабонагретого воздуха

На рисунке 7 приведена схема рециркуляции воздуха, в которой дутьевой вентилятор работает на холодном воздухе, а рециркуляционный – на слабонагретом, получаемом при смешении холодного воздуха и воздуха, нагревшегося в отдельной ступени воздухоподогревателя, включенной по газу параллельно основному воздухоподогревателю. Данная схема усложняет компоновку котлоагрегата, однако применима в случае, если котлоагрегат имеет одну ступень воздухоподогревателя.

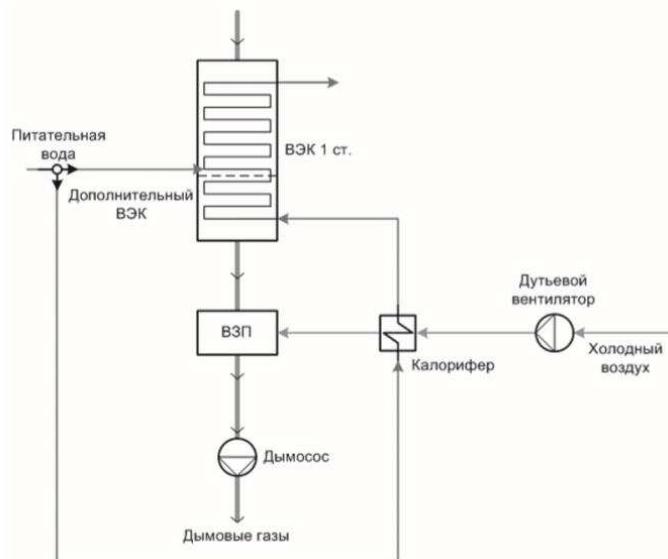


Рисунок 8 – Подогрев воздуха питательной водой

На рисунке 8 приведена схема предварительного подогрева воздуха питательной водой. По схеме часть питательной воды после регенеративного подогрева поступает в калориферы, где нагревает воздух. После калориферов вода подогревается продуктами сгорания в предвключенной ступени экономайзера либо в объеме первой ступени экономайзера, а затем смешивается с основным потоком питательной воды.

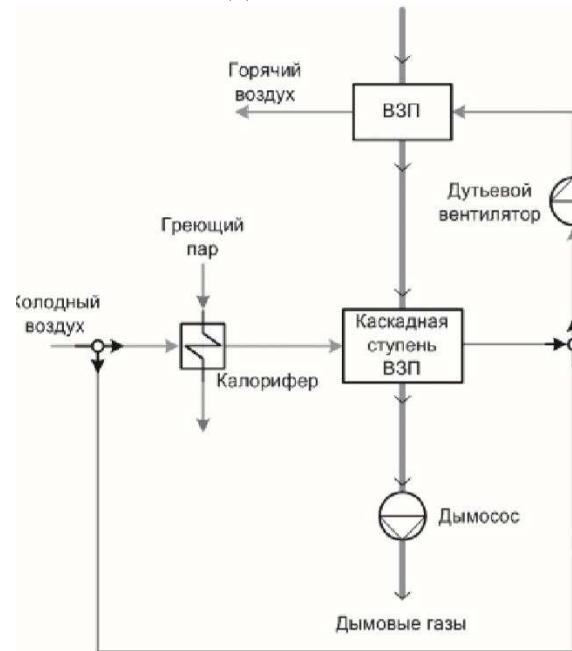
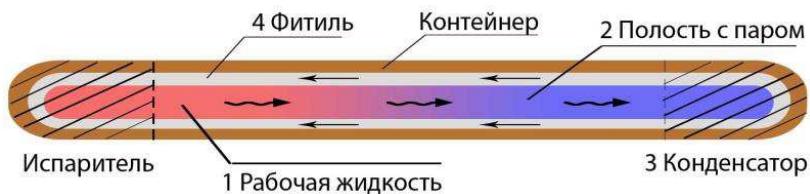


Рисунок 9 – Подогрев воздуха в КТВП

Учет сезонных особенностей подогрева воздуха, а также растопочных режимов работы котлоагрегатов привел к разработке комбинированных схем. Так, к примеру, сочетание предварительного подогрева воздуха в паровом калорифере с подогревом воздуха продуктами сгорания характерно для так называемых каскадных трубчатых воздухоподогревателей (КТВП). В каскадной схеме, представленной на рисунке 9, предварительному подогреву может

подвергаться лишь некоторая часть воздуха, поступающая в каскадную ступень. После смешения подогретого воздуха и холодного воздуха смесь поступает в основную ступень воздухоподогревателя.

Для решения проблемы с низкотемпературной коррозии в воздухоподогревателях как дополнительный вариант предлагается применение тепловых трубок для повышения температуры подогрева воздуха.



#### Термический цикл тепловой трубы:

1. Рабочая жидкость испаряется, поглощая тепловую энергию;
2. Пар перемещается вдоль полости к конденсатору с более низкой температурой;
3. Пар конденсируется обратно в жидкость, отдавая перенесённую тепловую энергию;
4. Рабочая жидкость по фитилю течёт обратно к испарителю с высокой температурой.

Рисунок 10 – Тепловая трубка

К основным преимуществам тепловых трубок по сравнению с традиционными элементами теплопередающих систем относятся:

- Простота конструкции;
- Отсутствие подвижных деталей и бесшумность работы;
- Малые массогабаритные характеристики;
- Отсутствие затрат энергии на перемещение теплоносителя;
- Надежность работы;
- Высокая эквивалентная теплопроводность.

Последний параметр является основным достоинством тепловых трубок. Благодаря использованию для передачи теплового потока скрытой теплоты парообразования эффективная теплопроводность тепловых трубок может быть в сотни раз больше, чем теплопроводность меди.

Тепловая трубка состоит из трёх основных компонентов:

1. Контейнер
2. Пористый капилляр или фитиль
3. Рабочая жидкость (например, вода)

Принцип работы тепловой трубы:

Состояние рабочей жидкости внутри изменяется благодаря вакууму. На уровне моря вода кипит при 100°C, но если вы подниметесь на вершину горы температура кипения будет меньше, чем 100°C. Это связано с разницей в давлении воздуха.

Тепловые трубы, имеют температуру кипения всего 30°C, выше которой рабочая жидкость испаряется. Этот пар быстро поднимается до верхней части тепловой трубы и происходит передача тепла. Отдав тепло вверху, пар конденсируется с образованием воды и возвращается в нижнюю часть тепловой трубы, чтобы ещё раз повторить процесс.

Разновидностью тепловых трубок являются термосифоны, выполненные в виде, простой полой медной трубы, где сконденсированная жидкость возвращается в зону испарения под действием силы тяжести. Иными словами, трубка будет работать только в вертикальном или близком к тому положении, когда зона конденсации выше зоны испарения. Внутри же современных тепловых трубок находится наполнитель - пористый капилляр, благодаря чему они работают практически в любом положении, поскольку для возврата жидкости в зону испарения используются капиллярные силы, а не сила тяжести. Тем не менее, максимально отводимая тепловая мощность определяется не только диаметром тепловой трубы, но и её ориентацией в рабочем положении относительно горизонта.

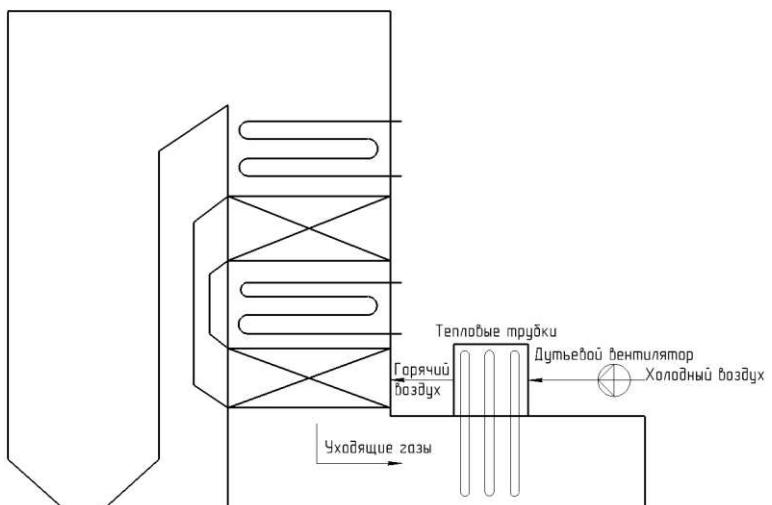


Рисунок 11 – Подогрев воздуха с помощью тепловых трубок

## 4.1 Расчет котельного агрегата

Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3– Исходные данные

Наименование	Значение показателя
Прототип котла	E-670-13,8-545
Топливо	Ирша-Бородинский, марки Б2
Паропроизводительность, т/ч	$D_{ne} = 670$
Давление перегретого пара, МПа	$P_{ne} = 13,8$
Температура перегретого пара, °C	$t_{ne} = 545$
Температура питательной воды, °C	$t_{ne} = 238$

Расчетные характеристики топлива приведены в таблице 4.

Таблица 4– Теплотехнические характеристики твердых энергетических топлив

Бассейн, месторождение	Марка топлива	Рабочая масса топлива, %							Выход летучих, $V^r, \%$	Тепло сгорания, $Q_n^p, \text{кДж/кг}$	Коэф. размол способности, кло	Температурные характеристики золы, °C		
		W <sup>p</sup>	A <sup>p</sup>	S <sup>p</sup>	C <sup>p</sup>	H <sup>p</sup>	N <sup>p</sup>	O <sup>p</sup>				t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
Канско-Ачинский разрез	2Б	33	7,4	0,2	42,6	3,0	0,6	13,2	47	15280	1,15	1180	1210	1230

Таблица 5 – Расчетные данные

Поверхность нагрева	Характеристики	Величина
Топка котла	Температура ядра факела	1953°C
	Температура на выходе из топки	1144°C
	Среднее тепловое напряжение топки	100.975 кВт/м <sup>2</sup>
Радиационный пароперегреватель	Тепловосприятие в области горизонтального газохода	578 кДж/кг
	Тепловосприятие в области поворотной камеры	739 кДж/кг
	Тепловосприятие настенного и потолочного РПП	598 кДж/кг
	Суммарное тепловосприятие РПП	1916 кДж/кг
	Давление пара на входе	164.7 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	159.3 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	348°C
	Температура пара на выходе	396°C
	Расход пара	176.361 кг/с
	Температура газов на входе	1144°C
	Температура газов на выходе	903°C

Продолжение таблицы 5

КППВД	Давление пара на входе	159.3 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	153.5 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	390 °C
	Температура пара на выходе	460 °C
	Расход пара	180 кг/с
	Количество воспринятого тепла в КППВД	1428 кДж/кг
	Температура газов на входе	903°C
	Температура газов на выходе	743°C
	Количество теплоты, отданное газами из межтруб.простр.	631 кДж/кг
	Давление пара на входе	153.5 кгс/см <sup>2</sup>
ШПП 1 ступень	Давление пара на выходе	14.8 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	460 °C
	Температура пара на выходе	490 °C
	Расход пара	180 кг/с
	Температура газов на входе	1144°C
	Температура газов на выходе	1074°C
	Количество теплоты, отданное газами из межтрубного пространства	793 кДж/кг
	Давление пара на входе	14.8 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	140 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	490 °C
ШПП 2 ступень	Температура пара на выходе	545 °C
	Расход пара	184.7 кг/с
	Температура газов на входе	1074°C
	Температура газов на выходе	984°C
	Давление пара на входе	27.7 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	26.6 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	326 °C
	Температура пара на выходе	359 °C
	Температура пара на выходе с учетом впрыска	316 °C
	Расход пара	174.72 кг/с
КППНД 1 ступень	Количество воспринятого тепла в КППВД	441 кДж/кг
	Температура газов на входе	551.6°C
	Температура газов на выходе	419.5°C
	Давление пара на входе	26.6 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	25.5 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	316 °C
	Температура пара на выходе	468 °C
	Расход пара	167.2 кг/с
	Количество воспринятого тепла в КППВД	1670 кДж/кг
	Температура газов на входе	742.8°C
КППНД 2 ступень	Температура газов на выходе	551°C
	Давление пара на входе	26.6 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	25.5 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	316 °C
	Температура пара на выходе	468 °C
	Расход пара	167.2 кг/с
	Количество воспринятого тепла в КППВД	1670 кДж/кг
	Температура газов на входе	742.8°C
	Температура газов на выходе	551°C

Окончание таблицы 5

КПИНД 3 ступень	Давление пара на входе	25.5 кгс/см <sup>2</sup>
	Давление пара на выходе	24.8 кгс/см <sup>2</sup>
	Температура пара на входе	468 °C
	Температура пара на выходе	545 °C
	Расход пара	167.2 кг/с
	Количество воспринятого тепла в КППВД	719 кДж/кг
	Температура газов на входе	984°C
	Температура газов на выходе	903°C
Водяной экономайзер	Температура газов на входе	491°C
	Температура газов на выходе	349°C
	Температура воды на входе	248°C
	Температура воды на выходе	302°C
	Расход воды	186.1 кг/с
	Высота	5.4 м
	Количество пакетов	3
ВЗП	Температура газов на входе	349°C
	Температура газов на выходе	160°C
	Количество потоков	2
	Количество ходов	4
	Высота	12.48 м

#### 4.2 Порядок расчета воздухоподогревателя

Современные котельные агрегаты оснащаются рекуперативными трубчатыми воздухоподогревателями. Целью конструкторского расчета является нахождение температуры газов на входе в воздухоподогреватель и его расчетную поверхность нагрева, обеспечивающую подогрев воздуха до заданной температуры.

Тепловосприятие воздухоподогревателя, кДж/кг, определяется по воздушной стороне:

$$Q_{взп} = \left( \beta_{г.в.} + \frac{\Delta\alpha_{взп}}{2} \right) \cdot (H_{г.в.}^0 - H_{взп.}''), \quad (4.1)$$

где  $\beta_{г.в.}$  – отношение количество горячего воздуха к теоретически необходимому, определяется по следующей формуле:

$\alpha_t$  – коэффициент избытка воздуха в топке;

$\Delta\alpha_t$  – присос холодного воздуха в топочной камере,  $\Delta\alpha_t=0,06$ ;

$\Delta\alpha_{пл}$  – присос холодного воздуха в пылесистеме,  $\Delta\alpha_{пл}=0,04$ ;

$H_{г.в.}^0$  – энталпия горячего воздуха, кДж/кг;

$H_{взп.}''$  – энталпия воздуха на выходе из ВЗП первой ступени, кДж/кг.

Энталпия газов на входе в воздухоподогреватель (из учебного пособия [1]), кДж/кг:

$$H'_{\text{взп}} = H''_{\text{взп}} + \frac{Q_{\text{взп}}}{\varphi} - \Delta\alpha_{\text{взп}} \cdot H^0_{\text{пре}} \quad (4.2)$$

где  $H''_{\text{взп}}$  – энталпия уходящих газов, кДж/кг;

$Q_{\text{взп}}$  – тепловосприятие ВЗП, кДж/кг;

$\Delta\alpha_{\text{взп}}$  – присос воздуха в воздухоподогревателе;

$H^0_{\text{пре}}$  – количество тепла, вносимого присасываемым воздухом, кДж/кг.

Температура дымовых газов на входе в ВЗП,  ${}^{\circ}\text{C}$ , определяется по энталпии дымовых газов на входе в ВЗП.

#### 4.3 Расчет котельного агрегата с калорифером

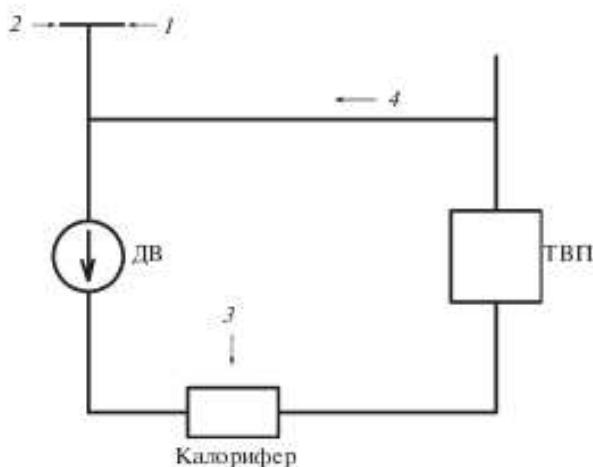


Рисунок 12 – схема предварительного подогрева воздуха с помощью калорифера

В условиях пониженных температур предварительный подогрев воздуха до необходимой температуры перед воздухоподогревателем достигается в основном либо рециркуляцией горячего воздуха, либо подогревом воздуха в паровых калориферах.

Забор холодного воздуха производится зимой с улицы «2», летом с цеха «1». В период низких температур, когда не хватает тепла горячего воздуха для поддержания необходимой температуры перед ТВП в работу вводятся калориферы котла, использующие в качестве теплоносителя пар из отбора турбины «3». «4» - это трубопровод до дутьевого вентилятора для присадки горячего воздуха после трубчатого воздухоподогревателя.

Таблица 6 – Расчетные данные

Расход пара на калорифер, кг/с	2,87
Давление пара, МПа	13,4
Температура пара, ${}^{\circ}\text{C}$	543

## Окончание таблицы 6

Температура уходящих газов перед ВЗП, °C	332,3
Температура воздуха перед ВЗП, °C	66,3
Температура воздуха после ВЗП, °C	336
Температура уходящих газов после ВЗП, °C	153,5

Использование калориферов котла в схеме предварительного подогрева холодного воздуха негативно сказывается на экономичности работы энергоблока. Это связано с тем, что теплота уходящих газов, бесполезно теряющаяся в атмосфере, замещается высокопотенциальным паром, который может использоваться в более рациональных целях.

### 4.4 Расчет котельного агрегата с рециркуляцией горячего воздуха

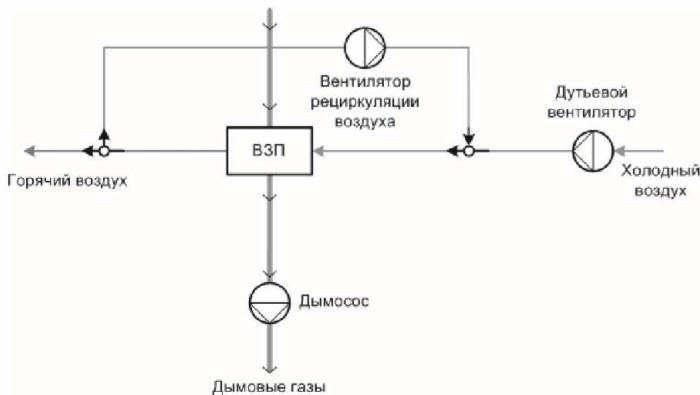


Рисунок 13 – Рециркуляция горячего воздуха

Наиболее распространенным методом, предназначенным для предотвращения коррозии воздухоподогревателей, является в настоящее время рециркуляция горячего воздуха.

На тепловых электростанциях, работающих на влажных и сернистых топливах, широко распространен подогрев воздуха до требуемой температуры перед входом в воздухоподогреватель с помощью так называемой рециркуляции горячего воздуха в дутьевом вентиляторе. Часть воздуха, подогретого в воздухоподогревателе, после первой или после второй ступени подмешивается к засасываемому из помещения воздуху в количестве, достаточном для подогрева его до требуемой температуры. Часть воздуха при этом находится в непрерывной циркуляции, загружая дополнительно вентилятор и увеличивая воздушное сопротивление воздухоподогревателя. Расход электрической энергии на дутье возрастает вследствие перекачки при повышенных сопротивлениях дополнительного количества воздуха, имеющего к тому же при подогреве увеличенный объем.

Таблица 7 – Расчетные данные

Температура пара, °C	543
Температура уходящих газов перед ВЗП, °C	333,5
Температура воздуха перед ВЗП, °C	127
Температура воздуха после ВЗП, °C	336
Температура уходящих газов после ВЗП, °C	195,1

#### 4.5 Расчет котельного агрегата с каскадным трубчатым воздухоподогревателем

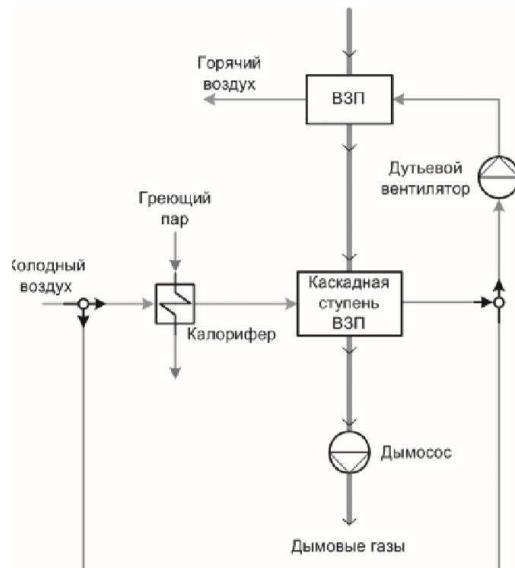


Рисунок 14 – Подогрев воздуха в КТВП

Применение каскадных схем позволяет при сжигании сернистых топлив обеспечить достаточно высокую температуру воздуха на входе в воздухоподогреватель и существенно снизить коррозию. Перед воздухоподогревателем такой подогрев достигается с помощью комбинированных схем предварительного подогрева воздуха, сочетающих подогрев в паровых калориферах и рециркуляцию горячего воздуха.

Предварительный подогрев воздуха перед воздухоподогревателем до температуры 70 °C производится отборным паром турбины.

В каскадном воздухоподогревателе существенно уменьшается поверхность нагрева калориферов и холодных кубов воздухоподогревателя. Одновременно сокращается отбор пара на предварительный подогрев воздуха. Это в определенных условиях позволяет увеличить выработку электроэнергии турбиной при неизменной паропроизводительности котла, приводит к некоторому снижению экономичности турбоустановки вследствие уменьшения степени регенерации тепла.

Таблица 8 – Расчетные данные

Температура пара, °C	543
Температура уходящих газов перед ВЗП, °C	333,5
Температура воздуха в дополнительном ВЗП, °C	164
Температура воздуха после калорифера перед доп. ВЗП, °C	90
Температура воздуха после ВЗП, °C	336
Температура уходящих газов после ВЗП, °C	148,2

#### 4.6 Расчет котельного агрегата с применением тепловых трубок

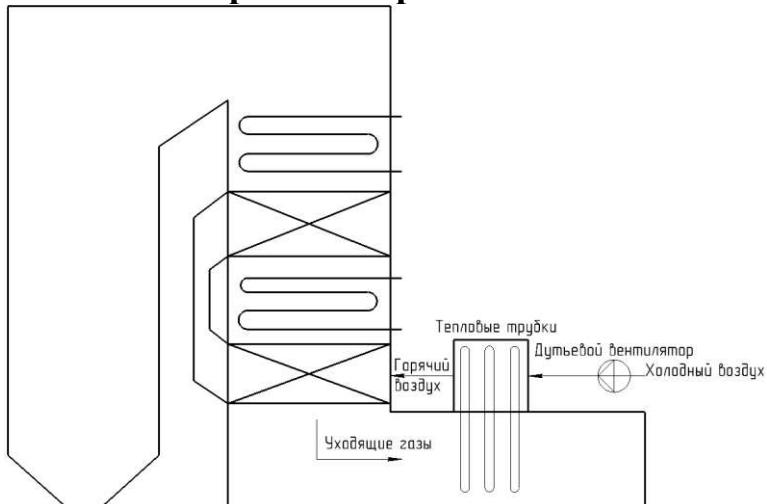


Рисунок 15 – Подогрев воздуха с помощью тепловых трубок

Воздухоподогреватели с тепловыми трубками обладают определенными преимуществами перед обычными трубчатыми воздухоподогревателями в отношении низкотемпературной коррозии. В отличие от обычных воздухоподогревателей, где сквозная коррозия трубки приводит к появлению перетока воздуха в дымовые газы, плотность воздухоподогревателя из тепловых труб не нарушается и при сквозной коррозии отдельных труб; при этом лишь вытекает вода из этих труб и, таким образом, выходит из строя только соответствующая часть поверхности нагрева. Еще более существенное преимущество воздухоподогревателя из тепловых труб - локализация зоны коррозии. В обычном трубчатом воздухоподогревателе с перекрестным током газов и воздуха в каждой ступени изотермы температур стенки идут в диагональном направлении, вследствие чего коррозионно-опасная область температур стенки охватывает практически все трубы последней ступени. В воздухоподогревателе с тепловыми трубками каждая трубка имеет постоянную температуру стенки, определяемую температурой кипения содержащейся в ней жидкости. Изотермы температур стенки у него идут вдоль трубок, вследствие чего в коррозионно-опасную область попадает лишь небольшая часть трубок. По мере выхода трубок из строя соответствующие изотермы перемещаются и начинают корродировать следующие ряды трубок. Опыт показывает, что при этом достигается достаточно длительная бесприсосная работа воздухоподогревателя.

Имеется возможность за счет некоторого усложнения воздухоподогревателя из тепловых трубок исключить коррозионно-опасный интервал температур стенки.

В коррозионно-опасной зоне воздухоподогревателя можно выполнить тепловые трубы из двух частей разных диаметров: в первой по ходу газов части этой зоны установить трубы в большим диаметром в газовой части, меньшим - в воздушной, а во второй части с увеличенным диаметром в воздушной части. Температурный скачок между этими частями позволяет «перескочить» зону коррозии.

Разумеется в реальных условиях эксплуатации осуществить такой бескоррозионный режим весьма трудно: температуры газов и воздуха в данной зоне всегда отличаются от расчетных, к тому же они меняются в зависимости от нагрузки и других режимных факторов. Сделать же температурный скачок настолько широким, чтобы он охватил и диапазон возможных изменений температур, практически не удается.

Существенным условием устранения коррозии является возможность подогрева металла труб в период растопок. С этой целью предлагалось нижние концы тепловых труб заключать в особый кожух, который во время растопок обогревается посторонним источником тепла- паром или горячей водой.

Воздухоподогреватели с тепловыми трубками успешно применяются для предварительного подогрева воздуха. Технология изготовления труб сравнительно проста: после обрезки трубы необходимой длины один ее торец обжимается на специальном приспособлении и заваривается вручную. В трубу на 0,7 длины заливается вода и к свободному торцу приваривается донышко с отверстием диаметром 2 мм. После этого трубы устанавливаются в выпарную камеру, обогреваемую газовой горелкой, для удаления воздуха из внутреннего объема труб. При обогреве труб через отверстия в донышках вначале выходит пароводяная смесь. После появления устойчивой струи пара отверстие заглушается коническим штырем и обваривается.

Таблица 9 – Расчетные данные

Температура уходящих газов перед ВЗП, °C	332
Температура уходящих газов после ВЗП, перед тепловыми трубками °C	159
Температура воздуха до ВЗП, после тепловых трубок °C	75
Температура воздуха после ВЗП, °C	336
Температура воздуха перед тепловыми трубками, °C	20
Температура уходящих газов после тепловых трубок, °C	125
Площадь поверхности нагрева, м <sup>3</sup>	2629,5
Внутренний диаметр тепловых трубок, мм	37
Полное число тепловых трубок, шт.	14739
Число трубок по ширине газохода, шт.	189
Число трубок по глубине конструкции, шт.	78
Высота трубок внутри газохода, м	2,1
Высота трубок в коробе холодного воздуха, м	1,47

## 4.7 Выбор оптимального решения

Таблица 10 – Результаты расчетов различных схем предварительного подогрева воздуха

Параметр	Базовая схема	Схема с калорифером	Схема с рециркуляцией горячего воздуха	Схема с КТВП	Схема с тепловыми трубками
Температура уходящих газов перед ВЗП, °C	349	332,3	333,5	333,5	332
Температура воздуха перед ВЗП, °C	25	66,3	127	90	75
Температура воздуха после ВЗП, °C	311	336	336	336	336
Температура уходящих газов после ВЗП, °C	160	153,5	195,1	148,2	125
Стоимость проекта, тыс.руб.	-	12 733	7 103	21 581	1 927

В таблице 10 представлены просчитанные варианты решений предварительного подогрева воздуха. В ходе просчета вариантов с технической точки зрения лучшим себя показала схема с рециркуляцией горячего воздуха, так как температура подогретого воздуха перед ВЗП является самой высокой, далее идет схема с КТВП и схема с тепловыми трубками.

Также была просчитана предварительная интегральная оценка каждого варианта. Стоимость проекта указанная в таблице является только закупочной стоимостью, не учитывающей стоимость на монтаж и реализацию данного проекта. Исходя из полученных цифр можно утверждать, что вариант со схемой с тепловыми трубками является более выгодным чем остальные предложенные варианты. Для точного обоснования этого заключения далее будет произведен расчет этой схемы и экономическое обоснование, в которой можно будет увидеть сроки окупаемости данного проекта.

## 5 Расчет оптимального варианта решения

Тепловосприятие пакета тепловых трубок, кДж/кг:

$$Q = \left( \beta_{\text{г.в.}} + \frac{\Delta\alpha}{2} \right) \cdot (H''^0 - H_{\text{x.в.}}^0), \quad (5.1)$$

где  $\beta_{\text{г.в.}}$  – отношение количества горячего воздуха к теоретически необходимому, определяется по следующей формуле:

$\alpha_{\text{т}}$  – коэффициент избытка воздуха в топке;

$\Delta\alpha_{\text{т}}$  – присос холодного воздуха в топочной камере,  $\Delta\alpha_{\text{т}}=0,06$ ;

$\Delta\alpha_{\text{пл}}$  – присос холодного воздуха в пылесистеме,  $\Delta\alpha_{\text{пл}}=0,04$ ;

$H''^0$  – энталпия горячего воздуха, кДж/кг;

$H_{\text{x.в.}}^0$  – энталпия холодного воздуха, кДж/кг.

$$Q = \left( 1,1 + \frac{0,03}{2} \right) \cdot (347,7 - 92,73) = 284,3.$$

Энталпия газов на входе в пакет тепловых трубок, кДж/кг:

$$H' = H'' + \frac{Q}{\varphi} - \Delta\alpha \cdot H_{\text{пре}}^0, \quad (5.2)$$

где  $H''$  – энталпия уходящих газов, кДж/кг;

$Q$  – тепловосприятие, кДж/кг;

$\Delta\alpha$  – присос воздуха;

$H_{\text{пре}}^0$  – количество тепла, вносимого присасываемым воздухом, кДж/кг.

$$H' = 2622 + \frac{284,3}{0,997} - 0,03 \cdot 852,3 = 2822.$$

Температура дымовых газов на входе в пакет тепловых трубок,  ${}^{\circ}\text{C}$ :

$$\vartheta' = 336.$$

Известная величина температур на входе и выходе газа и воздуха, позволяют построить график изменения температур и найти температурный напор.

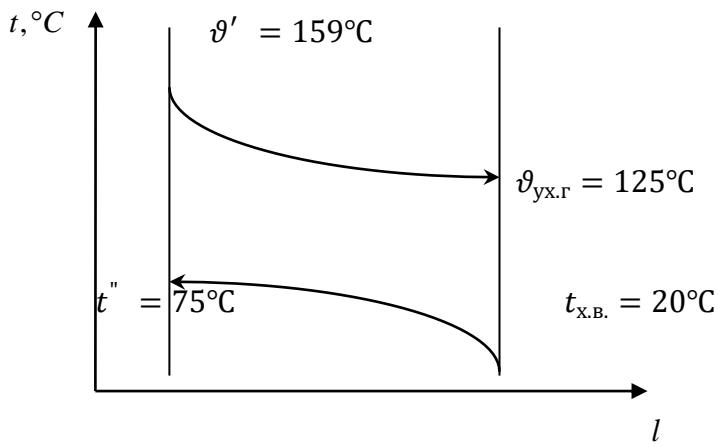


Рисунок 16 – График изменения температур сред

Температурный напор при противотоке,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta t_{\text{n.pt}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}, \quad (5.3)$$

где  $\Delta t_M$  – меньшая разность температур,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta t_M = \vartheta' - t'', \quad (5.4)$$

$$\Delta t_M = 159 - 75 = 84.$$

$\Delta t_6$  – большая разность температур,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta t_6 = \vartheta_{\text{ых.г}} - t_{\text{х.в.}}, \quad (5.5)$$

$$\Delta t_6 = 125 - 20 = 105.$$

$$\Delta t_{\text{n.pt}} = \frac{105 - 84}{2,3 \cdot \lg \frac{105}{84}} = 94,17.$$

Выбираем размеры тепловых трубок:

Внутренний диаметр труб  $d_{\text{вн}} = 0,037$  мм;

Наружный диаметр труб  $d_{\text{н}} = 0,04$  мм;

Шаг между трубами поперечный  $s_1 = 0,054$  м, продольный  $s_1 = 0,0404$  м,

Полное число труб:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{B_p \cdot V_g \cdot (\vartheta_{\text{cp}} + 273)}{273 \cdot \omega_r \cdot f^r}, \quad (5.6)$$

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

$V_g$  – полный объем газов,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$f^r$  – внутреннее сечение трубы для прохода газа;  
 $\vartheta_{cp}$  – средняя температура газов в ВЗП,  ${}^0\text{C}$ ;  $\vartheta_{cp} = 142$ ;  
 $\omega_r$  – скорость газов  $\omega_r = 10 \text{ м/с}$ .

Внутреннее сечение трубы для прохода газа в пакете тепловых трубок,  $\text{м}^2$ :

$$f^r = 0,785 \cdot d_{bh}^2 = 0,0011 \quad (5.7)$$

где  $d_{bh}$  – внутренний диаметр труб, м.

$$z_{tp} = \frac{18,9 \cdot 5,643 \cdot (142+273)}{273 \cdot 10 \cdot 0,0011} = 14739.$$

Число труб в одном ряду по ширине:

$$z_1 = \frac{b_t}{s_1}, \quad (5.8)$$

где  $b_t$  – ширина топочной камеры, определяется по эскизу,  $b_t = 10,2 \text{ м}$ ;  
 $s_1$  – поперечный шаг труб, м.

$$z_1 = \frac{10,2}{0,054} = 189$$

$$z_2 = \frac{z_{tp}}{z_1}, \quad (5.9)$$

$$z_2 = \frac{14739}{189} = 78.$$

Коэффициент теплопередачи от дымовых газов воздуху  $Bm/(\text{м}^2 \cdot K)$ :

$$k = \xi \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (5.10)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования, учитывает уменьшение тепловосприятия поверхности нагрева вследствие неравномерности ее обмывания газами,  $\xi = 0,9$ ;  
 $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке,  $Bm/(\text{м}^2 \cdot K)$ ;  
 $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому воздуху,  $Bm/(\text{м}^2 \cdot K)$ .

Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов стенке трубы,  $Bm/(\text{м}^2 \cdot K)$ :

$$\alpha_1 = \alpha_h \cdot C_\phi, \quad (5.11)$$

$$\alpha_1 = 1,3 \cdot 30 = 39.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы воздуху,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ :

$$\alpha_2 = \alpha_h \cdot C_\phi \cdot C_s, \quad (5.12)$$

$$\alpha_2 = 0,96 \cdot 0,99 \cdot 61 = 57,97$$

$$k = 0,9 \cdot \frac{39 \cdot 57,97}{39+57,97} = 21,7.$$

Поверхность нагрева пакета тепловых трубок,  $m^2$ :

$$F = \frac{B_p \cdot Q}{k \cdot \Delta t} \cdot 10^3, \quad (5.13)$$

где  $Q$  – тепловосприятие, кДж/кг;

$B_p$  – расход топлива на котел, кг/с;

$\Delta t$  – температурный напор,  $^{\circ}C$ ;

$k$  – коэффициент теплопередачи,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ .

$$F = \frac{18,9 \cdot 284,3}{21,7 \cdot 94,17} \cdot 10^3 = 2629,46.$$

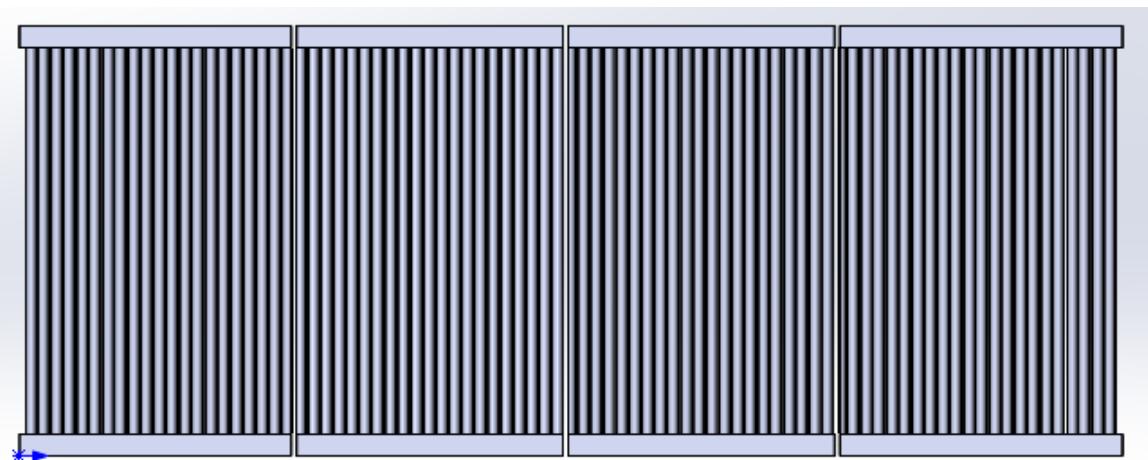


Рисунок 17 – Пакеты тепловых трубок

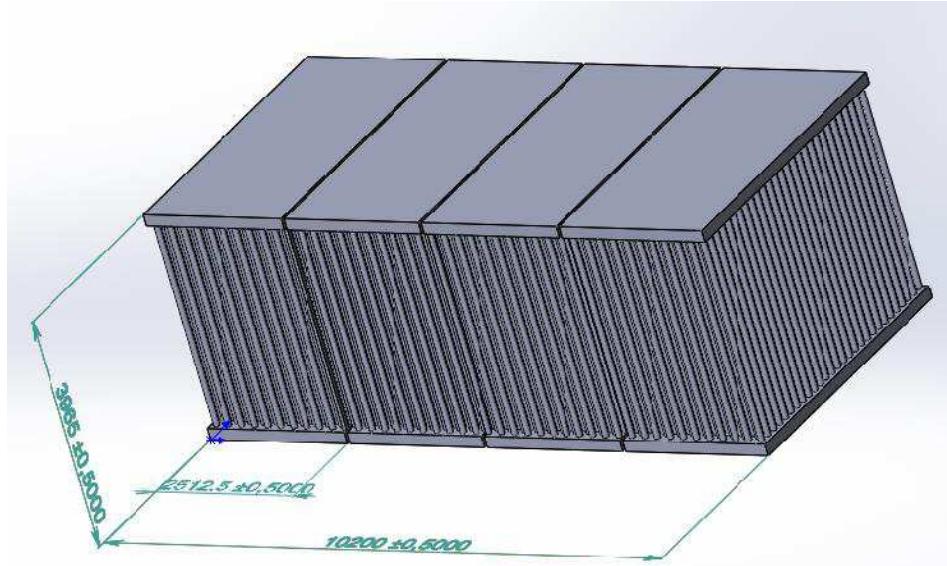


Рисунок 18 – Пакеты тепловых трубок с габаритными размерами

На рисунке 17 и 18 изображены 3D деталь пакета тепловых трубок. На рисунке 18 представлена деталь с ее габаритными размерами. Разделение на 4 равных между собой пакета существенно упрощает монтаж и ремонт тепловых трубок.

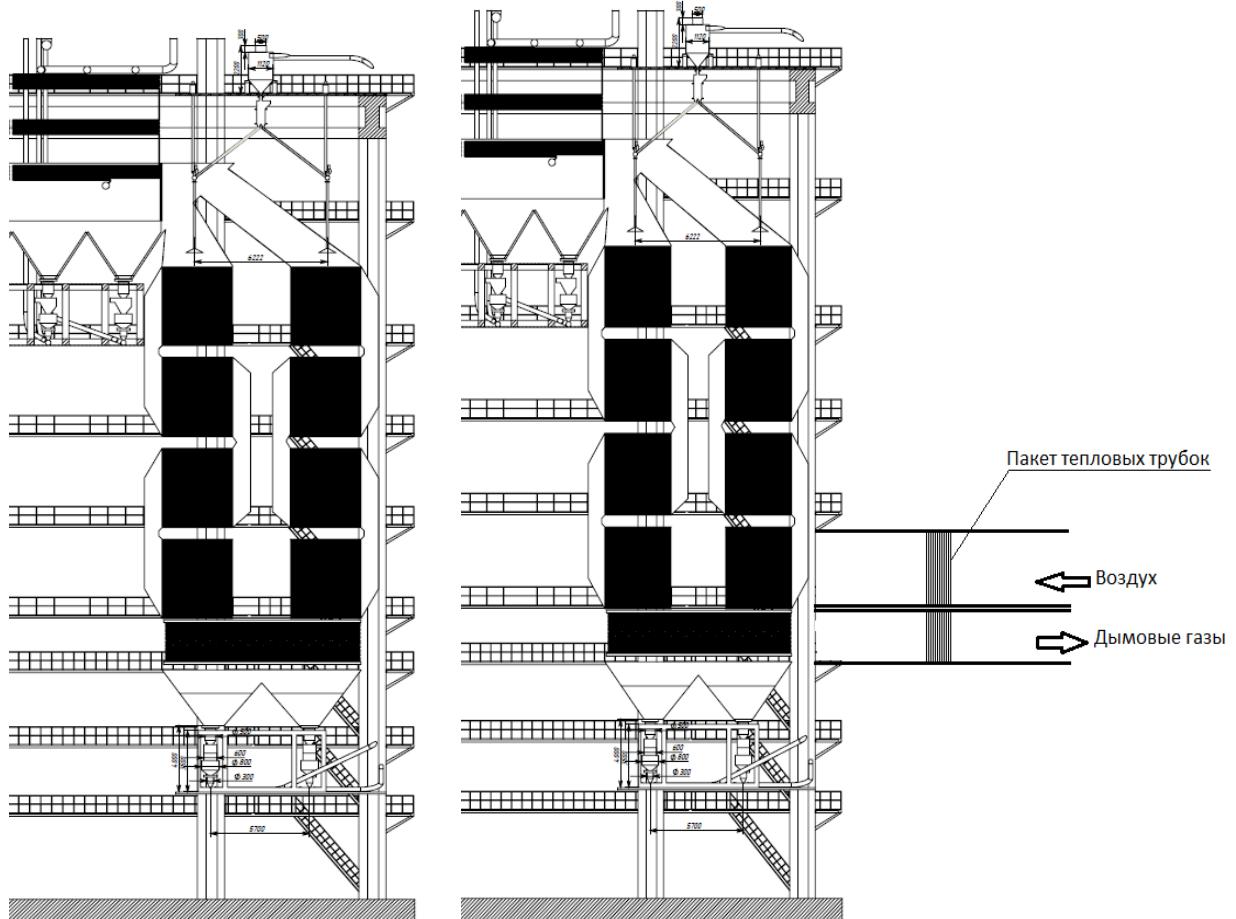


Рисунок 19 – Компоновка теплообменника с тепловыми трубками на котельном агрегате (до и после реконструкции)

## 6 Технико-экономическое обоснование

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой экономических показателей, отражающих соотношение связанных с проектом затрат и результатов, и позволяющих судить об экономической привлекательности проекта для его участников, об экономических преимуществах одних проектов над другими.

Показатели эффективности могут определяться разными методами. Статические методы не учитывают изменения движения капитала в течение времени осуществления проекта, методы дисконтирования позволяют учесть неравноценность одинаковых сумм поступлений и платежей, относящихся к разным периодам времени осуществления проекта. Капитальные вложения требующие для реконструкции составят 1927 тыс.рублей.

Выручка от реализации (ВРП) составит 1520 тыс.рублей.

Чистый денежный поток, млн.руб.:

$$\text{ЧДП}_t = \text{ЧП}_t + U_a, \quad (6.1)$$

где  $U_a$  - амортизационные отчисления,

Чистый денежный поток нарастающим итогом, млн руб.:

$$\text{ЧДПП}_t = \text{ЧДПНИ}_{t-1} + \text{ЧДП}_t, \quad (6.2)$$

В нулевой год принимается равным капитальным затратам со знаком минус.

Дисконтированный денежный поток, млн руб.:

$$\text{ДДП}_t = \frac{\text{ЧП}_t}{(1+r)^t}, \quad (6.3)$$

где  $r$  – норма дисконта для ТЭЦ.

Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, млн руб.:

$$\text{ДДПНИ}_t = \text{ДДПНИ}_{t-1} + \text{ДДП}_t, \quad (6.4)$$

Чистый дисконтированный доход проекта NPV:

$$NPV = \sum \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum \frac{IC_k}{(1+r)^n}, \quad (6.5)$$

Таблица 11 – Расчет показателей экономической эффективности реконструкции

Операционная деятельность												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Капитальные вложения		1927	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Годовой прирост балансовой прибыли			1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520	1520
Амортизация			77,08	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1
Налоги			380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
Чистая прибыль			1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
ЧДП		-1927	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1	1217,1
ЧДПни		-1927	-709,9	507,2	1724,2	2941,3	4158,4	5375,5	6592,6	7809,6	9026,7	10243,8
ДДП		-1605,8	845,2	704,3	586,9	489,1	407,6	339,7	283,1	235,9	196,6	163,8
ДДПни		-1605,8	-760,6	-56,3	530,6	1019,8	1427,4	1767	2050,1	2285,9	2482,5	2646,3
NPV		2 646,31 ₽										
IRR		63%										
DPI		2,65										
DPP		3,10										

Из данной таблицы можно сделать вывод: NPV=2646,31 свидетельствует о том, что проект эффективен; IRR=63% выше заданной нормы дисконта, что свидетельствует о прибыльности проекта; DPI=2,65 свидетельствует об эффективности проекта, с одного вложенного рубля в проект получаем 1,65 руб. прибыли; DPP=3,10 года, срок окупаемости меньше, чем жизненный цикл продукции.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе представлена модернизация котельного агрегата Еп-670-13,8-545БТ (ТПЕ-216) Красноярской ТЭЦ-3, для повышения надежности работы воздухоподогревателя.

Основной задачей в данной работе было решение проблемы низкотемпературной коррозии воздухоподогревателя. На данный момент станция борется с этим с помощью парового калорифера для подогрева подаваемого воздуха в котельный агрегат. Из этого вытекала еще одна из проблем как расход пара на подогрев воздуха. Тем самым увеличивался расход пара на турбину для выработки электрической нагрузки и отбора на калорифер. Что влечет за собой увеличение расхода топлива на котельный агрегат, которую в свою очередь сказывается на экономики станции.

В ходе работы были представлены схемы для предварительного подогрева воздуха перед ВЗП. Результаты показали, что все рассмотренные варианты модернизации имеют более высокую эффективность, чем исходная схема котлоагрегата. Наиболее выгодным проектом с точки зрения экономики оказался вариант с использованием тепловых трубок. Был произведен тепловой и конструкторский расчет оптимального варианта. Также было выполнено технико-экономическое обоснования проекта результаты которого показали, что срок окупаемости данного варианта будет 3 года и 10 месяцев.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла) : Учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.
2. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов) : Учебное пособие / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 228 с.
3. Кроль, Л.Б., Розенгауз, И.Н. Конвективные элементы мощных котельных агрегатов. –М. : Энергия. –1976. – 248с.
4. Ижганайтис, М.И. Исследование схем предварительного подогрева воздуха как способа снижения низкотемпературной коррозии конвективных поверхностей котла // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - 2014. -Том 1. -С. 250-256.
5. Ижганайтис, М.И. Оптимизация мероприятий по снижению низкотемпературной коррозии конвективных поверхностей котлоагрегата // Системные исследования в энергетике : Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. -2014.-№44.-С.88-94.
6. Термодинамические свойства воды и водяного пара [Электронный ресурс] : программа/М.В. Колосов.- Красноярск : СФУ ПИ, 2011-2012.-Режим доступа : <http://www.energyed.ru/>.
7. Экономика и управление энергетическими предприятиями. Определение сметной стоимости ремонта и реконструкции энергооборудования : учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / И.А. Астраханцева, Л.В. Голованова, М.В. Зубова. - Электрон.дан. -Красноярск : СФУ, 2013.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

кафедра «Тепловые электрические станции»

**ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ**  
выпускной квалификационной работы

студента Попов А.С.

ФИО

группы ФЭ 18-06М выполненной на тему Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС

1. Актуальность и новизна магистерской диссертации обусловлена проработкой вопроса поиска наиболее оптимальных технических решений для непрямого подогрева холодного воздуха для повышения надежности и экономичности работы низкотемпературных поверхностей нагрева паровых котлов

2. Оценка содержания ВКР Выполнено исследование проблемы низкой надежности и эффективности работы воздухоподогревателей; выполнено описание объекта реконструкции котельного агрегата ТПЕ-216; проработаны различные варианты реконструкции с выбором наиболее оптимального варианта с использованием технологии «тепловых трубок» для подогрева холодного воздуха; выполнен конструкторский расчет воздухоподогревателя на тепловых трубках и компоновочные решения; Выполнена оценка технико-экономической привлекательности проекта.

3. Замечания к ВКР Замечаний нет

4. Рекомендуемая оценка ВКР отлично

5. Руководитель ВКР Бойко Е.А.  
  
подпись

ФИО

д.т.н., профессор, зав. кафедрой ТЭС СФУ

(ученая степень, звание, должность, место работы)

« 26 » июня 20\_20 г.

**Заявление о согласии выпускника на размещение выпускной квалификационной работы в электронно-библиотечной среде ФГАОУ ВО СФУ**

1. Я, Попов Александр Сергеевич

*фамилия, имя, отчество полностью*

студент (ка) Политехнического института ФЭ18-06М

*институт/ группа*

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (далее – ФГАОУ ВО СФУ), разрешаю ФГАОУ ВО СФУ безвозмездно воспроизвести и размещать (доводить до всеобщего сведения) в полном объеме написанную мною в рамках выполнения образовательной программы

Магистерскую диссертацию

*указать выпускную квалификационную работу бакалавра, дипломную работу специалиста, дипломный проект специалиста, магистерскую диссертацию*

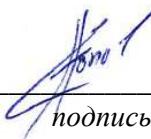
на тему: Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС

*название работы*

в открытом доступе в электронно-библиотечной среде (на веб-сайте СФУ), таким образом, чтобы любой пользователь данного портала мог получить доступ к выпускной квалификационной работе (далее – ВКР) из любого места и в любое время по собственному выбору, в течение всего срока действия исключительного права на выпускную работу.

1 Я подтверждаю, что выпускная работа написана мною лично, в соответствии с правилами академической этики и не нарушает авторских прав иных лиц.

« 24 » июня 2020 г.

  
подпись

**РЕЦЕНЗИЯ**  
на магистерскую диссертацию А.С. Попова  
по магистерской программе «Энергоэффективные технологии производства  
тепловой и электрической энергии»  
по теме «Разработка технических решений по повышению надежности  
работы хвостовых поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных  
ТЭС»

Существенная часть потребления в тепловой и электрической энергии в России и мире обеспечивается тепловыми электрическими станциями. В настоящее время надежность оборудования это главный аспект на ТЭС. От этого будет зависеть получит ли население города тепловую и электрическую энергию в свои квартиры.

В данной магистерской диссертации главная задача стоит на надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельного агрегата, а именно ступени воздухоподогревателя. Одной из проблем ВЗП является процесс низкотемпературной коррозии.

В первой и второй части описывается интенсивность протекания низкотемпературной коррозии и описание объекта исследования. Красноярская ТЭЦ-3 является молодой станцией города Красноярска и несмотря на это у них существует проблема с коррозией ступени ВЗП.

В третьей части представлен расчет температуры точки росы. Необходимость определения температуры объясняется ключевым влиянием данного параметра на результаты исследований, поскольку выбор вариантов реконструкции котлоагрегата проводится с условием повышения минимальной температуры стенок трубок ВЗП до значения, выше температуры конденсации паров серной кислоты.

В четвертой и пятой части выполнен обзор и анализ способов предварительного подогрева воздуха, а также произведены расчеты этих вариантов с целью выбора оптимального для реконструкции. Далее был представлен подробный расчет варианта со схемой с тепловыми трубками.

В заключительной части выполнена оценка коммерческой эффективности реализации проекта. Оценка экономической эффективности проекта производилась по дисконтированному сроку окупаемости.

Стоит отметить что расчеты и разработки выполнены на хрошем инженерном уровне, но имеется несущественное замечание:

- Отсутствие проработки этих же вариантов для других котельных агрегатов;

На основании вышеизложенного, представленная магистерская диссертация на тему «Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС» может быть рекомендована к защите и заслуживает высокой оценки.

Начальник Котельного цеха  
«АО Красноярская ТЭЦ-1»



М.В. Лойко



# Отчет о проверке на заимствования №1



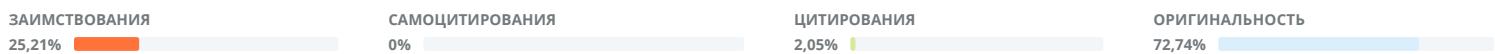
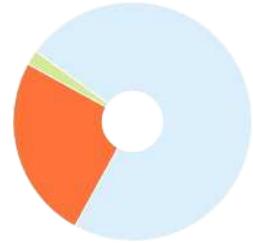
Автор: Попов Александр Сергеевич  
Проверяющий: Захаров Павел Алексеевич ([bik@sfu-kras.ru](mailto:bik@sfu-kras.ru) / ID: 256)  
Организация: Сибирский федеральный университет  
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://sfukras.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 81169  
Начало загрузки: 19.06.2020 22:10:58  
Длительность загрузки: 00:00:12  
Имя исходного файла: Неизвестно  
Название документа: РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ХВОСТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ УГОЛЬНЫХ ТЭС  
Размер текста: 1 кб  
Тип документа: Магистерская диссертация  
Символов в тексте: 23567  
Слов в тексте: 2615  
Число предложений: 148

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)  
Начало проверки: 19.06.2020 22:11:11  
Длительность проверки: 00:01:51  
Комментарии: не указано  
Модули поиска: Модуль поиска ИПС "Адилет", Модуль выделения библиографических записей, Сводная коллекция ЭБС, Модуль поиска "Интернет Плюс", Коллекция РГБ, Цитирование, Модуль поиска переводных заимствований, Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu), Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu), Коллекция eLIBRARY.RU, Коллекция ГАРАНТ, Коллекция Медицина, Диссертации и авторефераты НББ, Модуль поиска перефразирований elibrary.RU, Модуль поиска перефразирований Интернет, Коллекция Патенты, Модуль поиска "СФУ", Модуль поиска общеупотребительных выражений, Кольцо вузов



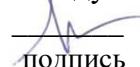
Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.  
Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.  
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.  
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.  
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.  
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.  
Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.  
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	3,24%	6,28%	Ганган Полина Павловна конеч..docx	не указано	04 Фев 2018	Кольцо вузов	8	8
[02]	1,48%	3,52%	Красноярская ТЭЦ-3	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>	29 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	3
[03]	1,24%	3,47%	Красноярская ТЭЦ-3	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>	30 Янв 2018	Модуль поиска "Интернет Плюс"	1	4
[04]	3,42%	3,42%	Сборник материалов - 2017	<a href="https://irgups.ru">https://irgups.ru</a>	07 Ноя 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	3	3
[05]	0%	2,65%	Красноярская ТЭЦ-3	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>	09 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	0	3
[06]	2,58%	2,58%	Модули ввода/вывода MiRage-N: униве...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	28 Апр 2017	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	1	1
[07]	0%	2,58%	Модули ввода/вывода MiRage-N: униве...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	10 Дек 2019	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	0	1
[08]	0%	2,32%	Модули ввода/вывода MiRage-N: униве...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	10 Дек 2019	Коллекция eLIBRARY.RU	0	5
[09]	2,31%	2,31%	Реакционная способность энергетиче...	<a href="http://ibooks.ru">http://ibooks.ru</a>	раньше 2011	Сводная коллекция ЭБС	4	4
[10]	0%	2,31%	229367	<a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>	19 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	4
[11]	0%	2,31%	Е. А. Бойко ; М-во образования и науки..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Дек 2014	Коллекция РГБ	0	4
[12]	0,48%	2,22%	И научные исследования, и массовое п...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	04 Мая 2017	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	1	2
[13]	2,19%	2,19%	Тепловые трубы устройство, тепловы...	<a href="http://mylsa.ru">http://mylsa.ru</a>	08 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	1

[14]	0%	2,19%	Технологии по энергосбережению и п..	<a href="http://pandia.ru">http://pandia.ru</a>	08 Янв 2017	перефразирований Интернет	0	1
[15]	0%	2,16%	Реакционная способность энергетиче...	<a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	5
[16]	0,85%	2,09%	Красноярская ТЭЦ-3	<a href="http://dic.academic.ru">http://dic.academic.ru</a>	05 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	2
[17]	1,04%	2,04%	Проект парового котла Е-140-9,6-510 н...	<a href="http://elib2.altstu.ru">http://elib2.altstu.ru</a>	24 Ноя 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	4	8
[18]	0,28%	1,98%	Пояснительная записка.doc	не указано	25 Фев 2013	Кольцо вузов	1	8
[19]	0%	1,88%	И научные исследования, и массовое п..	<a href="https://yandex.ru">https://yandex.ru</a>	28 Дек 2018	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	4
[20]	1,79%	1,79%	Исследование влияния содержания се...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	18 Янв 2018	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	1	1
[21]	0%	1,77%	Бытовые машины и приборы. Часть 1...	<a href="http://bibliorossica.com">http://bibliorossica.com</a>	раньше 2011	Сводная коллекция ЭБС	0	3
[22]	0%	1,77%	Технологии по энергосбережению и п..	<a href="http://pandia.ru">http://pandia.ru</a>	06 Июл 2018	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	3
[23]	0%	1,77%	rsl01004915888.txt	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	17 Фев 2014	Коллекция РГБ	0	3
[24]	0%	1,57%	Ставских, Виктор Михайлович диссерт..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	0	7
[25]	0%	1,57%	Разработка автоматизированной сист...	не указано	12 Июн 2018	Кольцо вузов	0	6
[26]	0%	1,54%	ДП ТЭФ ПТЭ Богатова С Ф 13062017.txt	не указано	13 Июн 2017	Кольцо вузов	0	6
[27]	0,86%	1,52%	Методические указания по предупреж..	<a href="http://skachate.ru">http://skachate.ru</a>	29 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	1	2
[28]	0%	1,44%	Коплярова, Надежда Владимировна Н...	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	19 Фев 2018	Коллекция РГБ	0	3
[29]	0%	1,44%	Энергоблоки ДПМ год спустя // Росте...	<a href="http://rosteplo.ru">http://rosteplo.ru</a>	25 Окт 2018	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	4
[30]	0%	1,43%	Магистерская работа // Теплообмен эл..	<a href="http://bankrabot.com">http://bankrabot.com</a>	29 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	0	1
[31]	0%	1,41%	И научные исследования, и массовое п..	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	04 Мая 2017	Коллекция eLIBRARY.RU	0	3
[32]	0,89%	1,4%	ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ. Федеральное г..	<a href="http://docplayer.ru">http://docplayer.ru</a>	26 Апр 2018	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	2
[33]	0%	1,4%	пояснительная записка.doc	не указано	25 Фев 2013	Кольцо вузов	0	6
[34]	0%	1,4%	пояснительная записка 1.doc	не указано	25 Фев 2013	Кольцо вузов	0	6
[35]	0%	1,32%	Красноярская ТЭЦ-3 — Ростепло	<a href="http://rosteplo.ru">http://rosteplo.ru</a>	29 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	0	1
[36]	0%	1,29%	Дипломы 2015 года выпускаКузмичев..	не указано	11 Янв 2017	Кольцо вузов	0	5
[37]	0%	1,26%	Елизаров, Вячеслав Владимирович дис..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	0	2
[38]	1,02%	1,02%	не указано	не указано	раньше 2011	Модуль поиска общепотребительных выражений	6	6
[39]	0,02%	1%	Тепловая модель модуля излучения им.	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	19 Янв 2015	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	1	1
[40]	0,57%	0,81%	Библиотека НЕФТЬ-ГАЗ: Предложения...	<a href="http://bezo.oglib.ru">http://bezo.oglib.ru</a>	01 Мая 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	3
[41]	0%	0,77%	Текст диссертации	<a href="http://misis.ru">http://misis.ru</a>	19 Мая 2020	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	2
[42]	0%	0,77%	Фоменко, Наталья Александровна При..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Янв 2019	Коллекция РГБ	0	2
[43]	0,76%	0,76%	Библиотека НЕФТЬ-ГАЗ: Предложения...	<a href="http://mash.oglib.ru">http://mash.oglib.ru</a>	10 Мар 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	1	1
[44]	0%	0,7%	Об экологической катастрофе - Аргум...	<a href="http://argumenti.ru">http://argumenti.ru</a>	19 Мая 2020	Модуль поиска "Интернет Плюс"	0	1
[45]	0%	0,69%	Материалы IV съезда Всероссийского ...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	раньше 2011	Коллекция eLIBRARY.RU	0	2
[46]	0,36%	0,67%	Ижганайтис, Максим Иозо Оптимизац..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Янв 2017	Коллекция РГБ	1	2
[47]	0%	0,62%	Dissertatsia_ot_07_05_2019_ITOG.pdf	не указано	17 Мая 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[48]	0%	0,62%	23	не указано	17 Мая 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[49]	0%	0,62%	Нечаев Роман Ф_дорович ФЭ17-09М	не указано	17 Мая 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[50]	0%	0,62%	Dissertatsia_ot_07_05_2019_ИТОГ	не указано	31 Мая 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[51]	0%	0,62%	Dissertatsia_ot_1_06_2019	не указано	31 Мая 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1

[52]	<b>0%</b>	0,51%	Государственная итоговая аттестация ...	<a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	1
[53]	<b>0%</b>	0,51%	Отечественная история. Выпускная кв...	<a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	1
[54]	<b>0%</b>	0,51%	BKP.pdf	не указано	11 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[55]	<b>0%</b>	0,51%	Документ Microsoft Word.docx	не указано	20 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[56]	<b>0%</b>	0,51%	Diplom Ovs.docx	не указано	21 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[57]	<b>0%</b>	0,51%	готово - копия.pdf	не указано	21 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[58]	<b>0%</b>	0,51%	BKP Елешина 25_06.docx	не указано	24 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	1
[59]	<b>0%</b>	0,5%	Беднаржевский, Вячеслав Станиславов..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	0	2
[60]	<b>0%</b>	0,5%	Кузьмин, Е-210-13,8-550 КБТ	не указано	21 Июн 2017	Кольцо вузов	0	2
[61]	<b>0,48%</b>	0,48%	Постановление Правительства Калужск...	<a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	22 Ноя 2017	Коллекция ГАРАНТ	2	2
[62]	<b>0,21%</b>	0,45%	МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСК..	<a href="http://eduherald.ru">http://eduherald.ru</a>	20 Авг 2017	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	2
[63]	<b>0%</b>	0,42%	Электростанции на биотопливе (биом...	<a href="https://book.ru">https://book.ru</a>	03 Июл 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	3
[64]	<b>0,08%</b>	0,36%	130704	<a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>	15 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	1	1
[65]	<b>0,07%</b>	0,35%	Ижганайтис, Максим Иозо Оптимизац..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Янв 2017	Коллекция РГБ	1	1
[66]	<b>0,33%</b>	0,33%	Основы дипломного проектирования	<a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	1	1
[67]	<b>0%</b>	0,33%	Основы дипломного проектирования	<a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Коллекция Медицина	0	1
[68]	<b>0%</b>	0,32%	Пути решения экологических проблем.	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	28 Авг 2014	Коллекция eLIBRARY.RU	0	1
[69]	<b>0,28%</b>	0,28%	Постановление администрации Тубин...	<a href="http://municipal.garant.ru">http://municipal.garant.ru</a>	22 Дек 2016	Коллекция ГАРАНТ	2	2
[70]	<b>0,27%</b>	0,27%	Информационно-технический справоч...	<a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	14 Авг 2018	Коллекция ГАРАНТ	2	2
[71]	<b>0%</b>	0,25%	72298	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>	10 Мар 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1
[72]	<b>0,17%</b>	0,17%	Этические и медико-юридические про..	<a href="http://emll.ru">http://emll.ru</a>	21 Дек 2016	Коллекция Медицина	1	1

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
институт  
Тепловые электрические станции  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
подпись Е.А.Бойко  
инициалы, фамилия  
« 24 » июня 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка технических решений по повышению надежности работы хвостовых  
поверхностей нагрева котельных агрегатов угольных ТЭС

тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления

13.04.01.02 Энергоэффективные технологии производства электрической и тепловой энергии  
код и наименование магистерской программы

Руководитель

профессор, д.т.н

должность, ученая степень

 24.06.2020

подпись, дата

Е.А. Бойко

инициалы, фамилия

Выпускник

 24.06.2020

подпись, дата

А.С. Попов

инициалы, фамилия

Рецензент

Нач. КЦ КрТЭЦ-1

 24.06.2020

подпись, дата

М.В. Лойко

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 24.06.2020

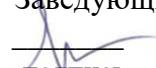
подпись, дата

П.В. Шишмарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Политехнический институт**  
институт  
**Тепловые электрические станции**  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
подпись Е.А.Бойко  
ициалы, фамилия  
« 09 » ноября 2018 г.

ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме Магистерской диссертации  
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации  
Студенту Попову Александру Сергеевичу  
фамилия, имя, отчество  
Группа ФЭ18-06М Направление (специальность) 13.04.01.02  
номер код  
Энергоэффективные технологии производства тепловой и электрической  
энергии  
наименование

Тема выпускной квалификационной работы Разработка технических решений по  
повышению надежности работы хвостовых поверхностей нагрева котельных  
агрегатов угольных ТЭС

Утверждена приказом по университету № 17144/с от 09.11.2018

Руководитель ВКР Е.А. Бойко, профессор, д.т.н., кафедра ТЭС

ициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

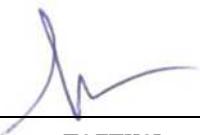
Исходные данные для ВКР Котлоагрегат Еп-670-13,8-545 БТ ТПЕ(216)  
«Красноярская ТЭЦ-3», район размещения г. Красноярск

Перечень разделов ВКР:

- 1) Реферат
- 2) Введение
- 3) Основная часть
- 4) Заключение
- 5) Список использованных источников
- 6) Приложения

Перечень графического материала \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_



подпись

Задание принял к исполнению



подпись

Бойко Е.А.

инициалы и фамилия

А.С. Попов

инициалы и фамилия студента

«09» ноября 2018 г.