

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический

Кафедра Энергетики

Направление подготовки 13.03.01 – Теплотехника и теплоэнергетика

Направленность (профиль) образовательной программы:

«Энергообеспечение предприятий»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

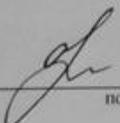
 Н.В. Савина

« 22 » 06 2018 г.

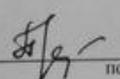
**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Проектирование систем газоочистки котельной 74 квартала г.  
Благовещенск Амурской обл.

Исполнитель  
студент группы  
442-об1(2)

 20.06.18 А.В. Чернова  
подпись, дата

Руководитель  
профессор,  
докт. техн. наук

 22.06.18 С.П. Присяжная  
подпись, дата

Консультант:  
безопасность и  
экологичность  
канд. техн. наук, доцент

 19.06.2018 А.Б. Булгаков  
подпись, дата

Нормоконтроль  
доцент

 22.06.18 А.Г. Ротачева  
подпись, дата

Благовещенск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

Н.В. Савина

  
« 07 » 05

2018 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Черновой Анастасии  
Викторовны

1. Тема бакалаврской работы: Проектирование систем газоснабжения  
котельной 74 квартала в Благовещенск Амурской обл.  
(утверждено приказом от 12.05.16 № 573-УЗ)

2. Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к бакалаврской работе: Техническое задание квартала,  
кампорт котельной.

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Расчет тепловых нагрузок, гидравлический расчет, расчет  
тепловых потерь, выбор оборудования

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем,  
программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) Видеосов, 15 табл  
лиц

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к  
ним разделов) Безопасность и экологичность - Булгаков А.Б

7. Дата выдачи задания 7.05.2018

Руководитель выпускной квалификационной работы: Кристина С.А. Дани.  
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

мех. наук  
Задание принял к исполнению (дата): 7.05.2018 Чернова А.В.  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 100 с., 65 формул, 22 источника.

КОТЛОАГРЕГАТ, ЦИКЛОН, ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ГАЗООЧИСТКА, ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ВЫБРОСЫ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы газоочистки котельной. В ходе работы необходимо произвести расчет расхода теплоты на отопление, ГВС, гидравлический расчет для тепловых сетей, расчет для выбора оборудования котельной, экономический расчет, расчет на безопасность и экологичность.

Основу методологии исследований составляют следующие расчёты: расчет тепловых нагрузок квартала, гидравлический расчет, расчет тепловых потерь, расчет для выбора котельного оборудования.

## СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	7
Введение	8
1. Характеристика района проектирования	11
1.1 Географическое положение	11
1.2 Часовой пояс	12
1.3 Климат	12
2. Характеристика объекта проектирования	14
2.1 Технические характеристики котельной	14
2.2 Оборудование котельной	17
2.3 Топливо	20
3. Перспективы развития района	22
3.1 Общая теория	22
3.2 Сухие золоуловители	23
3.2.1 Жалюзийные золоуловители	23
3.2.2 Циклоны	24
3.2.3 Блок циклонов	24
3.2.4 Батарейный циклон	25
3.2.5 Электрофильтр	26
3.3 Мокрые золоуловители	27
3.3.1 Центробежные скрубберы	27
3.3.2 Мокропрутковый золоуловитель	28
3.4 Батарейный циклон БЦ – 2 – 7 х (5+3) (БЦ – 56)	30
3.4.1 Описание	30
3.4.2 Технические характеристики	31
3.4.3 Преимущества	32
4. Расчет тепловых нагрузок квартала	34
4.1 Расчет нагрузок на отопление	34
4.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение	35

5. Гидравлический расчет	39
5.1 Предварительный гидравлический расчет	39
5.2 Уточненный гидравлический расчет	44
6. Расчет тепловых потерь	49
7. Выбор оборудования котельной	58
7.1 Выбор котлов	58
7.2 Расчет циклона	59
7.3 Описание нового циклона	60
7.4 Особенности конструкции	61
8. Организационно – экономическая часть	62
8.1 Капитальные вложения в тепловые сети	62
8.2 Расчет амортизационных отчислений	64
8.3 Расчет эксплуатационных затрат	66
8.4 Расчет издержек на топливо	67
8.5 Расчет затрат на воду	69
8.6 Расчет затрат на электроэнергию	71
8.7 Расчет численности рабочих	73
8.8 Расчет затрат на оплату труда персонала котельной	75
8.9 Расчет налога на социальные нужды и медицинское страхование	76
8.10 Расчет прочих затрат	76
8.11 Оценка экономической эффективности	77
8.12 Расчет и построение графика чистого дисконтированного дохода	79
9. Безопасность и экологичность	81
9.1 Безопасность	81
9.1.1 Обеспечение пожаро – и взрывобезопасности	82
9.1.2 Защита от термических ожогов	82
9.1.3 Профилактика механических травм	83
9.1.4 Обеспечение электробезопасности	83

9.1.5	Защита от шума и вибрации	84
9.1.6	Формирование микроклимата	84
9.1.7	Освещение котельной	85
9.2	Экологичность	85
9.2.1	Расчет выбросов твердых частиц	86
9.2.2	Расчет выбросов оксидов серы	87
9.2.3	Расчет выбросов оксида углерода	87
9.2.4	Расчет выбросов оксидов азота	87
9.2.5	Определение минимальной высоты дымовой трубы	88
9.3	Чрезвычайные ситуации	92
9.3.1	Чрезвычайные ситуации характерные для котельной	92
9.3.2	Требования к зданиям и оборудованию	93
9.3.3	Безопасность при эксплуатации	94
9.3.4	Размещение сигнализации	95
9.3.5	Использование инвентаря	96
	Заключение	98
	Библиографический список	99

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ТЭЦ – Теплоэлектроцентраль;

АКС – Амурские коммунальные сети;

ПДК – Предельно допустимая концентрация;

БЦ – Батарейный циклон;

ЕСН – Единый социальный налог;

ЧДД – Чистый дисконтированный доход.

## ВВЕДЕНИЕ

Российская система централизованного теплоснабжения является самой большой в мире. На долю России приходится до 45 % мирового централизованного производства тепловой энергии. Система теплоснабжения состоит из 50 тыс. локальных систем теплоснабжения, обслуживаемых 17 тыс. предприятий. Тепловая энергия вырабатывается на 526 ТЭЦ (ТЭЦ общего пользования и ТЭЦ промышленных предприятий) и 72 144 котельных. Также тепловая энергия производится на 12 млн. единиц индивидуальных теплогенераторов и теплоутилизационных установок (ТУУ). От источников теплоснабжения (ТЭЦ, котельных) тепловая энергия передается по сетям протяженностью 172 тыс. км (в двухтрубном исчислении). В Российской Федерации централизованным теплоснабжением для нужд отопления обеспечено до 81 % жилищного фонда, а горячей водой из систем централизованного горячего водоснабжения – до 64 % населения. В организациях, занимающихся строительством, эксплуатацией, ремонтом, наладкой и контролем систем теплоснабжения и теплопотребления, работает около 2 млн. чел.

На производство тепловой энергии для систем теплоснабжения расходуется до 255 млн т.у.т., или 33 % всего потребления первичной энергии в России. На цели производства тепловой энергии ежегодно расходуется до 190 млрд. м<sup>3</sup> природного газа, что составляет 41 % суммарного потребления газа в Российской Федерации. В топливном балансе систем теплоснабжения доля природного газа достигает 50 %. [1]

В данном дипломном проекте рассматривается тема «Проектирование систем газоочистки котельной 74 квартала г. Благовещенск Амурской области».

На сегодняшний день нормирование выбросов вредных веществ в окружающую среду основано на необходимости соблюдения гигиенических критериев качества воздушного пространства населенных мест. Как

показывают результаты ряда исследований, разные уровни загрязнения атмосферного воздуха по-разному влияют на различные составляющие экосистемы. Тепловые электрические станции и котельные осуществляют загрязнение воздушной среды продуктами сгорания, а также токсичными веществами, содержащимися в исходном топливе, либо образующимися в топочном процессе. При определенных условиях происходит локальное повышение загрязнения приземного слоя воздуха в зонах, удаленных на значительные расстояния от площадки ТЭЦ в результате сверхдальних переносов выбросов. Кроме того, промышленная площадка ТЭЦ и котельных, а так же примыкающая к ним территория находятся под воздействием неорганизованных и мелких источников выбросов ТЭЦ.

Котельная 74 квартала является самой крупной среди обслуживаемых филиалом АКС «Амуртеплосервис». Котельная введена в эксплуатацию в 1974 году, ее проектная мощность составляет 39 Гкал/ч. Система теплоснабжения закрытая. На котельной установлены паровые котлы ДКВР 20-13 – 3 шт. Используемый вид топлива – уголь 2 БР, месторождение - Райчихинский угольный разрез.

Целью выпускной квалификационной работы является замена устаревшего оборудования для очистки дымовых газов на соответствующее современным требованиям.

Основными задачами для достижения данной цели являются:

1. Произвести энергетическое обследование котельной;
2. Совершить замену текущего оборудования, используемого для очистки отходящих газов, на современное;
3. Определить экономическую эффективность проекта;
4. Провести оценку безопасности и экологичности проекта и котельной в целом.

В данной работе требуется рассчитать тепловые нагрузки, произвести гидравлический расчет и расчет тепловых потерь. Провести анализ рынка современного оборудования в области газоочистки. Произвести расчет для

выбора оборудования, отвечающего актуальным на сегодняшний день условиям.

При экономическом обосновании проекта на производстве электрической энергии необходимо рассчитать производственные издержки и срок окупаемости внедренной турбоустановки.

Преимущественно котельное оборудование выпущено в 1974 году, оно морально и физически устарело и не отвечает современным требованиям, как по своей конструкции, так и по своим техническим данным, в том числе по вопросам защиты окружающей среды от вредного воздействия дымовых газов. Длительность эксплуатации такого оборудования составляет 25 – 30 лет (при условии постоянного соблюдения норм и правил технического обслуживания), в то время как период использования оборудования составляет 44 года. Все это нередко приводит к поломкам, к повышенным затратам на ремонт с заменой отдельных деталей. Поэтому актуальным становится работа по реконструкции вспомогательного оборудования. Это не только позволит избежать угрозы полного выхода из строя оборудования, но и существенно сократит количество выбросов в атмосферу.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Благовещенск — административный центр Амурской области и Благовещенского района, образует «Городской округ город Благовещенск». Население — 225 091 (2018), пятый по величине город Дальнего Востока.

Расположен на левом берегу Амура и на правом берегу Зеи (в устье); единственный административный центр региона России, находящийся на государственной границе, китайский город Хэйхэ стоит на правом берегу Амура, расстояние 526 метров.

Благовещенск — конечная железнодорожная станция на линии, отходящей от станции Белогорск на Транссибе. Международный аэропорт Игнатьево. Научно-образовательный центр.

### 1.1 Географическое положение

Город расположен на крайнем юге Амурско-Зейской равнины, на левом берегу Амура, при впадении в него реки Зеи. Находится в 7985 км к востоку от Москвы, граничит с районом Айхуэй китайского городского округа Хэйхэ. Город Благовещенск и городской округ Хэйхэ разделяет река Амур, ширина которой в этой местности около 800 метров. Между Благовещенском и Хэйхэ действует безвизовый режим.

Благовещенск застраивался по типу римского военного лагеря: широкие, прямые улицы располагались параллельно и перпендикулярно друг другу. Одни брали начало от реки Амур, другие — от реки Зеи. Кварталы представляли собой правильные прямоугольники. Такая планировка города сохраняется до сих пор. В настоящее время город протянулся на 8 км вдоль Амура, вдоль Зеи — на 13 км.

В самом городе протекают реки Бурхановка и Чигиринка. Рельеф города в основном равнинный, на окраинах есть небольшие возвышенности.

В окрестностях Благовещенска встречаются представители редчайшего вида японский журавль. Произрастает уникальное растение лотос Комарова. Иногда на территорию города заползает амурский полоз.

## 1.2 Часовой пояс

Благовещенск находится в часовой зоне МСК+6 (якутское время). Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +9:00.

В соответствии с применяемым временем и географической долготой средний солнечный полдень в Благовещенске наступает в 12:30.

## 1.3 Климат

Зимы в Благовещенске более продолжительные и значительно более холодные. Погода в Благовещенске, ввиду очень небольшой теплоёмкости воздуха, в температурном режиме очень зависит от продолжительности солнечного сияния и поступающего солнечного тепла. Поэтому декабрь холоднее февраля, а июнь лишь чуть холоднее, чем август. В Благовещенске континентальный вариант умеренного муссонного климата.

Континентальность климата проявляется в большой годовой (43°C) и суточной (10-15°C) амплитуде температуры. Муссонность климата выражается в направлении сезонных ветров, активной циклонической деятельности и большом количестве осадков в теплое время года. Лето жаркое со значительным количеством солнечного сияния. Зима холодная, сухая, с маломощным снежным покровом. Температурный рекорд был зафиксирован 25 июня 2010 года, когда температура воздуха в городе поднялась до отметки +39,4 °С.

- Среднегодовая температура — +1,6 °С
- Сумма активных температур ( $T_{ср} > 10\text{ °С}$ ) — 2555 (5 мая — 25 сентября)
- Среднегодовая влажность воздуха — 67 %.
- Среднегодовая скорость ветра — 2,0 м/с.

### Промышленность

В городе имеются крупные предприятия:

- с 1893 года действует завод «Амурский металлист», специализирующееся на выпуске горно-шахтного оборудования;

- судостроительный завод им. Октябрьской революции, выпускающий морские буксиры и сейнеры;
- кондитерская фабрика «Зея»;
- Амурский завод железобетонных конструкций.

Тепловой и отчасти электрической энергией город обеспечивает Благовещенская ТЭЦ. В связи с развитием промышленности города и строительством новых микрорайонов принято решение о строительстве второй очереди станции. В Благовещенске находится исполнительный аппарат Дальневосточной Распределительной Сетевой Компании (ОАО ДРСК), в ведение которой находятся распределительные сети 35-110 кВ Дальнего Востока. В состав ОАО ДРСК входят: Филиал «Амурские ЭС», Филиал «Хабаровские ЭС», Филиал «Приморские ЭС», Филиал «ЭС ЕАО» и Филиал «Южно-Якутские ЭС». [2]

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 2.1 Технические характеристики котельной

На котельной 74 квартала г. Благовещенска установлено 3 котла марки ДКВР 20 – 13 (двухбарабанный котел вертикально-водотрубный), производительностью пара 20 т/ч, и рабочим давлением пара 13 кгс/см<sup>2</sup>.

Котельная 74 квартала предназначена для теплоснабжения систем отопления и горячего водоснабжения, зданий различного назначения. Система теплоснабжения закрытая. Производительность котельной 39.0 Гкал/ч

Таблица 1 - Технические характеристики и комплектность котлов ДКВР 20-13

Наименование параметра	ДКВР 20-13
Паропроизводительность, т/ч	20
Рабочее давление (избыточное), кгс/см <sup>2</sup>	13
Поверхность нагрева экранов, м <sup>2</sup>	59,7
Поверхность нагрева пучка, м <sup>2</sup>	301
Общая поверхность нагрева котла, м <sup>2</sup>	360,7
Водяной объем котла, м <sup>3</sup>	10,5
Паровой объем котла, м <sup>3</sup>	1,8
Запас воды по предельным уровням водоуказательного прибора, м <sup>3</sup> (мин.)	0,45
Внутренний диаметр барабанов, мм	1000
Толщина стенки барабанов, мм	13

Общее количество труб конвективного пучка, шт	872
Габариты котла, мм	10665*3160*6330
Масса котла, кг	43685

Рекомендуемая комплектация:

- Экономайзер стальной БВЭС 5-1 или Экономайзер чугунный ЭБ-1-646И
- Воздухоподогреватель ВП-О-228
- Вентилятор ВДН 12,5/1000
- Дымосос ДН 13/1500
- Топка ТЧЗМ 2,7/5,6

Устройство и работа котла ДКВР 20-13:

Котлы ДКВр - двухбарабанные, вертикально-водотрубные с экранированной топочной камерой и развитым конвективным пучком из гнутых труб. Топочная камера котлов производительностью до 10 т/ч включительно разделена кирпичной стенкой на собственно топку и камеру догорания, которая позволяет повысить КПД котла за счет снижения химического недожога. Вход газов из топки в камеру догорания и выход газов из котла - асимметричные.

Установкой одной шамотной перегородки, отделяющей камеру догорания от пучка и одной чугунной перегородки, образующей два газохода, в пучках создается горизонтальный разворот газов при поперечном омывании труб. В котлах с пароперегревателем трубы размещаются в первом газоходе с левой стороны котла.

Барабаны котлов на давление 13 изготавливаются из стали 16ГС ГОСТ 5520-69 и имеют внутренний диаметр 1000 мм при толщине 13 мм. Для осмотра барабанов и расположенных в них устройств, а также для чистки труб на задних днищах имеются лазы; у котлов ДКВр-6,5 и 10 с длинным

барабаном имеется еще лаз на переднем днище верхнего барабана. В данных котлах при шаге экранных труб 80 мм стенки верхнего барабана хорошо охлаждаются потоками пароводяной смеси, выходящими из труб боковых экранов и крайних труб конвективного пучка, что было подтверждено специальными исследованиями температуры стенки барабана при различном снижении уровня воды, а также многолетней практикой эксплуатации нескольких тысяч котлов. На верхней образующей верхнего барабана приварены патрубки для установки предохранительных клапанов, главного парового вентиля или задвижки, вентиля для отбора проб пара, отбора пара на собственные нужды (обдувку).

В водяном пространстве верхнего барабана находится питательная труба, в паровом объеме - сепарационные устройства. В нижнем барабане размещаются перфорированная труба для продувки, устройство для прогрева барабана при растопке (для котлов производительностью от 6,5 т/ч и выше) и штуцер для спуска воды. Для наблюдения за уровнем воды в верхнем барабане устанавливаются два указателя уровня. На переднем днище верхнего барабана установлено два штуцера  $D=32 \times 3$  мм для отбора импульсов уровня воды на автоматику. Экраны и конвективные пучки выполняются из стальных бесшовных труб  $D=51 \times 2,5$  мм. Боковые экраны у всех котлов имеют шаг 80 мм; шаг задних и фронтальных экранов равен 80-130 мм.

Опускные и пароотводящие трубы привариваются и к коллекторам и к барабанам (или к штуцерам на барабанах). При питании экранов из нижнего барабана для предотвращения попадания в них шлама концы опускных труб выведены в верхнюю часть барабана. Шамотная перегородка, отделяющая камеру догорания от пучка, опирается на чугунную опору, укладываемую на нижний барабан. Чугунная перегородка между первым и вторым газоходами собирается на болтах из отдельных плит с предварительным промазыванием стыков специальной замазкой или с прокладкой асбестового шнура, пропитанного жидким стеклом. Монтаж этой перегородки должен

производиться очень тщательно, так как при наличии зазоров может быть перетечка газов из одного газохода в другой помимо пучка труб, что приведет к повышению температуры уходящих газов. В перегородке имеется отверстие для прохода трубы стационарного обдувочного прибора.

Очистка экранов и пучков может производиться через лючки на боковых стенках ручными переносными обдувочными приборами при давлении пара не выше 7-10 кгс/см<sup>2</sup>.

Площадки расположены в местах, необходимых для обслуживания арматуры и гарнитуры котла.

Основные площадки котлов:

- боковая площадка для обслуживания водоуказательных приборов;
- боковая площадка для обслуживания предохранительных клапанов и запорной арматуры на барабане котла;
- площадка на задней стенке котла для обслуживания доступа в верхний барабан при ремонте котла.

На боковые площадки ведут лестницы, а на заднюю площадку - вертикальный трап.

Котлы ДКВр могут выполняться как в легкой так и в тяжелой обмуровке. [3]

## 2.2 Оборудование котельной

Таблица 2 – Оборудование котельной

Наименование оборудования	Техническая характеристика оборудования, тип, марка,	Количество установленного оборудования, шт	Производительность (Гкал/ч, м <sup>3</sup> /ч, кг/ч или другие технические данные)	Техническое состояние оборудования (год установки, % износа)	Примечание
1	2	3	4	5	6
Энергетическое оборудование					

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Котел	ДКВР 20-13	1	20000 кг/ч	1974	
	ДКВР 20-13	1	20000 кг/ч	2012	
	ДКВР 20-13	1	20000 кг/ч	2014	
Котельно-вспомогательное, подъемно-транспортное оборудование					
Воздухоподогреватель трубчатый		1		01.02.74 56.0%	
		1		2014	
		1		2012	
Экономайзер водяной чугунный в блочном исполнении		1		01.02.74, 91.9%	
		1		2012	
		1		2014	
Конвейер Ленточный	В-650	1			
Топка механическая расположение редуктора (левое, правое)	ТЧЗм 2.7*6.5	1		01.12.88	
	ТЧЗм 2.7*6.5	1		01.10.97	
	ТЧЗм 2.7*6.5	1		2004	
Дымосос (направление вращения: левое, правое)	ДН-10 м-1500	3		01.02.74, 100%	Мощность двигателя 55 кВт, n=730 об/мин.
Вентилятор (левое, правое)	ВД-12.5	3		01.02.74, 85%	Мощность двигателя 30 кВт, n=1000 об/мин
Дробилка Расположение редуктора (левое, правое)	ВДГ-10	1		01.02.74, 100%	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Скреперная установка для мокрого шлакозолоудаления с ковшом V=0.5 м3 и углом подъема 75°		1	3000 кг/ч		
Циклоны батарейные	БЦ-2-7*(5+3)	3	КПД = 85%	1974	
Деаэрационная колонка (без бака)		1		01.02.74, 91.9%	
Редукционная установка		1			
Насосы комплектно с электродвигателями					
Питательный центробежный	ЦНСГ 38-132	3	32м3/ч 132м		Мощн. двиг. N=45 кВт, п=3000 об/мин
Питательный паровой	ПДВ-25-30	2			
Сетевой	Д 630/90	2	630 м3/ч		Мощность двигателя 250 кВт, п=1500 об/мин.
	8 НДВ	2	760 м3/ч		
Подпиточный	К45/30	2	45 м3/ч		Мощность двигателя 7.5 кВт, п=3000 об/мин.
	ЦНСГ 38/44	1	38 м3/ч		
	WILO BL 40/270-22/2	1			

### 2.3 Топливо

Котельная 74 квартала использует уголь 2БР (второй, бурый, рядовой). Месторождение Райчихинский угольный разрез. Склад топлива открытый. Доставка топлива на территорию котельной предусмотрена автотранспортом. Укладка угля в штабель и подача угля в приемный бункер топливоподачи производится бульдозером. Система топливоподачи механическая. Удаление золы и шлака механически. Вывоз золы и шлака осуществляется автотранспортом. [4]

Таблица 3 – Характеристика качества.

Наименование показателя	Обозначение	Величина
Марка угля с указанием класса крупности	2БР	0-300
Высшая теплота сгорания, сухое беззольное состояние	$Q_s^{daf}$	6816 ккал/кг (28,54 МДЖ/кг)
Низшая теплота сгорания, рабочее состояние	$Q_i^d$	3880 ккал/кг (16,24 МДЖ/кг)
Зола, сухое состояние, средняя/предельная, %	$A^d$	8,4-12
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии, %	$W_t^r$	32,7
Выход летучих веществ, сухое беззольное состояние, %	$V^{daf}$	48
Содержание серы, сухое состояние, %	$S_t^d$	0,4

## Продолжение таблицы 3

Содержание углерода, сухое, беззольное состояние, %	$C^{daf}$	73,44
Массовая доля хлора, %	$Cl^d$	0,08
Массовая доля мышьяка, %	$As^d$	0,004
Размер кусков, %	мм	0-300
Массовая доля мелочи, не более	%	15
Массовая доля минеральных примесей, не более	%	2

## 3 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАЙОНА

### 3.1 Общая теория

Для борьбы с загрязнением воздуха установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ - выброс в атмосферу, измеряемые на уровне дыхания человека, т. е. на высоте 1,5 м от уровня Земли. Так, например, ПДК в районе расположения котельных не должна превышать для золы и сернистого газа  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , окислов азота  $0,06 \text{ мг/м}^3$  и т. д.

В силу того, что котельные являются источником загрязнения воздушного бассейна, выбор места для их размещения регламентирован, а сами котельные должны быть расположены с подветренной стороны ближайших жилых и промышленных объектов и иметь санитарно-защитные зоны определенных размеров (от 15 до 200 м), зависящих от вида и качества топлива. При выборе размеров санитарно-защитной зоны предполагается, что дымовые газы в значительной степени очищены от содержащихся твердых частиц уноса и золы. Установки для очистки дымовых газов от уноса и золы следует иметь при сжигании всех основных и резервных твердых топлив. В случае невозможности создания санитарно-защитной зоны необходимых размеров, например при осуществлении встроенных в общественные и жилые здания котельных установок, их теплопроизводительность ограничивается величиной, обусловленной качеством топлива; эти данные приведены в таблице 4.

Необходимость ограничения теплопроизводительности связана с тем, что при сухом золоулавливании соединения серы и азота полностью выходят в атмосферу, а мокрое улавливание золы в котельных применяется редко.

Таблица 4 - Зависимость максимальной теплопроизводительности встроенной котельной установки от качества топлива

Показатель	Приведенная зольность топлива $A_{пр} = 100 * A^P / Q_H^P$		
	<2,5	<5	>5
Приведенное содержание серы в топливе, $S_{пр} = 1000 * S^P_{общ} / Q_H^P$	<0,5	<1,0	<1,5
Максимальная теплопроизводительность котельной, МВт(Гкал/ч)	$\leq 1,74$ ( $\leq 1,5$ )	$\leq 0,93$ ( $\leq 0,8$ )	$\leq 0,58$ ( $\leq 0,5$ )

При сжигании твердого топлива в слое дымовые газы выносят в среднем около 15% золы, содержащейся в топливе; при камерном сжигании и сухом удалении шлака унос золы достигает 85 - 95%, и только малая часть (5 - 15%) золы топлива осаждается в топке в виде шлака. Кроме золы, дымовые газы выносят в атмосферу и некоторое количество несгоревшего топлива, в основном в виде частиц углерода.

### 3.2 Сухие золоуловители

Для улавливания твердых частиц из дымовых газов существуют сухие и мокрые золоуловители. Аппараты для сухой очистки дымовых газов основаны на использовании сил инерции, тяжести и центробежных или на образовании коронного разряда между электродами и направленного движения газа, несущего твердые частицы к положительному электроду, на котором частицы осаждаются.

К сухим золоуловителям относятся жалюзийные золоуловители, циклоны различного типа и электрофильтры.

#### 3.2.1 Жалюзийные золоуловители

Жалюзийный золоуловитель ВТИ состоит из решетки - жалюзи, бункера и циклона. Поток газов с золой со скоростью 12 - 16 м/с входит в жалюзи, изменяет свое направление почти на 180° и разделяется на две части: один поток в количестве 7 - 10% поступает в циклон вместе с золой,

другой - в газоходы; степень очистка дымовых газов около 50%, сопротивление от 0,3 до 0,9 кПа (от 30 до 90 кгс/м<sup>2</sup>).

Такие золоуловители применяются при слоевом сжигании твердого топлива, так как они не улавливают мелких твердых частиц (с размером примерно до 20 мкм), и при любом способе сжигания твердого топлива для временно работающих котельных установок.

### 3.2.2 Циклоны

Для лучшей очистки дымовых газов в тех случаях, когда твердое топливо сжигается в слое и количество дымовых газов не превышает 1,4 м<sup>3</sup>/с (50-103 м<sup>3</sup>/ч), т. е. теплопроизводительность котельной не более 3,5 МВт (3 Гкал/ч), применяются циклоны НИИОГАЗ.

Принцип действия циклона основан на закручивании тангенциальным коробом входящего запыленного потока дымовых газов с последующим изменением направления движения (резким поворотом). За счет центробежных сил более тяжелые частицы золы отжимаются к стенкам циклона и по ним скользят вниз в емкость; очищенные газы по центрально расположенному патрубку выходят в отводящий короб. Удаление золы из емкости в канал или другое устройство осуществляется через специальную течку и мигалку.

Увеличение диаметра циклона и доли мелких твердых частиц снижает эффективность очистки газов, которая в среднем в одиночном циклоне составляет 85%. Поэтому для одиночных установок предложен конический циклон типа СК-ЦН, который позволяет снизить содержание мелких частиц в выходящих газах в 2 - 3 раза.

### 3.2.3 Блок циклонов

Степень очистки дымовых газов повышается при установке нескольких циклонов малого размера, соединенных блоком, с общими коробами на входе для запыленного и выходе - очищенного газа.

Шибер позволяет на малых нагрузках отключить половину циклонов и сохранить нужную степень очистки газов. Блоки устанавливаются за котлами

со слоевыми топками, когда степень очистки может составлять 80 - 90%, но при количестве дымовых газов до  $0,85 \text{ м}^3/\text{с}$  (до 30 -103  $\text{м}^3/\text{ч}$ ).

Степень очистки газов перед выбросом в атмосферу можно повысить, если на входе запыленного потока и на выходе газов в центральный патрубок поставить устройства, увеличивающие закручивание потока. Такие циклоны имеют при одинаковых значениях скоростей и температур газов несколько меньшее газовое сопротивление, что позволяет их использовать при естественной тяге, т. е. в тех случаях, когда сопротивление золоуловителя должно быть низким.

При уменьшении диаметра циклона степень улавливания твердых частиц при прочих равных условиях возрастает; при увеличении количества циклонов их компоновка, естественно, затрудняется.

#### 3.2.4 Батарейный циклон

Батарейный циклон представляет собой пылеулавливающий аппарат, составленный из большого количества параллельно установленных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общие подвод и отвод газов, а также сборный бункер.

Батарейные циклоны могут быть составлены из прямоточных циклонных элементов.

Батарейные циклоны с обычными элементами. Очищаемый газ через входной патрубок поступает в распределительную камеру, откуда он входит в кольцевые зазоры между корпусами элементов и входными трубами. В этих зазорах установлены направляющие аппараты, закручивающие поток газов. Уловленная зола или пыль через пылеотводящие отверстия поступает в общий бункер. Обеспыленный газ через выхлопные трубы поступает в камеру очищенного газа. Для крепления корпусов элементов и выхлопных труб служат соответственно нижняя и верхняя опорные решетки. Весь аппарат монтируется на опорном поясе.

Батарейные циклоны с прямоточными элементами обладают меньшей эффективностью, чем с обычными, и поэтому в качестве самостоятельных

ступеней очистки газов применяются редко. Чаще всего их применяют для предварительной очистки газов перед такими высокоэффективными аппаратами, как электрофильтры, рукавные фильтры и т. п. При этом прямоточные батарейные циклоны встраиваются в форкамеру соответствующего аппарата, образуя с ним единую конструкцию двухступенчатого пыле- или золоуловителя. Отметим, что в случае установки прямоточного циклона для предочистки газов перед электрофильтром прямоточный циклон обеспечивает улучшенную равномерность газораспределения в его активной зоне.

### 3.2.5 Электрофильтры

В сухом виде твердые частицы и зола улавливаются в тканевых и электрических фильтрах. В тканевых фильтрах газы могут быть очищены очень глубоко, даже от частиц меньше 5 мкм, но такие фильтры имеют высокое газовое сопротивление - от 0,8 до 2 кПа (от 80 до 200 кгс/м<sup>2</sup>), чувствительны к механическому воздействию, воздействию щелочей и кислот (особенно при повышенных температурах). Если точка росы дымовых газов высока, эти фильтры быстро засоряются.

Очистка дымовых газов перед выбросом в атмосферу в электрофильтрах основана на образовании коронного разряда между электродами, создании направленного движения газа между ними, захвате твердых частиц отрицательно заряженными ионами газа и их движении вместе с газом от электродов, создающих коронный разряд, к осадительным.

Следует подчеркнуть, что коронный разряд возникает лишь при определенной напряженности поля, зависящей от состава газов, их температуры и давления. Удаление твердых частиц с осадительных электродов выполняется периодически отряхиванием при сухом и смывом водой при мокром способе. Последовательным расположением в потоке газов систем электродов и электрических полей получают одно-, двух-, трех- и четырехпольные электрофильтры.

Для обеспечения хорошей (98 - 99%) очистки дымовых газов перед выбросом в атмосферу в электрофилтре их скорость должна составлять 1,0 - 2,0 м/с и температура на входе не превышать 150 - 200°C. Низкие скорости и температуры дымовых газов определяют большие габариты и массу электрофильтров при малом газовом сопротивлении от 0,15 до 0,8 кПа (от 15 до 80 кгс/м<sup>2</sup>).

Для получения электрически заряженных ионов газа и твердых частиц требуется высокое напряжение электрической энергии - порядка 80 000 В и соответствующие устройства для его повышения с обычных напряжений. Отряхивание или смыв водой твердых частиц с осадительных электродов должны осуществляться автоматически с помощью специальной аппаратуры; поэтому электрофильтры требуют значительных капитальных затрат.

Из-за больших габаритов и массы электрофильтры применяются только при производительности котельных агрегатов  $Q > 3,6$  МВт (30 Гкал/ч) и  $D > 1,4$  кг/с (50 т/ч).

### **3.3 Мокрые золоуловители**

К мокрым золоуловителям относятся центробежные скрубберы ЦС-ВТИ, мокропрутковые золоуловители МП-ВТИ и пенные газоочистители. Процесс улавливания твердых частиц из дымовых газов в золоуловителях ЦС-ВТИ и МП-ВТИ происходит при осаждении частиц на пленке жидкости, текущей по внутренним поверхностям аппарата - стенкам и пруткам, и на каплях жидкости, находящихся в объеме.

Одновременно с твердыми частицами в мокрых золоуловителях вода при контакте с очищаемым газом абсорбирует часть содержащихся в нем соединений серы, азота и других веществ образуя кислые растворы. При содержании в золе дымовых газов соединений СаО больше 20% образуются твердые отложения, нарушающие работу золоуловителя и примыкающих к нему трубопроводов.

#### **3.3.1 Центробежные скрубберы**

Центробежный скруббер ВТИ состоит из цилиндра с коническим дном и подходящим по касательной к цилиндру патрубкам для ввода дымовых газов. Внутри цилиндр выложен защитным слоем - метлахской плиткой или другим материалом, а в месте отвода золы с водой трубопровод, защищен свинцом.

Для улавливания золы по стенкам и дну скруббера создается пленка воды, выходящей из сопел по касательной к внутренним стенкам. Газы входят со скоростью около 20 м/с и содержат пыль в количестве 15 - 30 г/м<sup>3</sup>; расход воды составляет от 0,1 до 0,6 кг/м<sup>3</sup> очищаемого газа. Температура дымовых газов в скруббере снижается со 170 - 200 до 103 - 110°С, а температура воды повышается. Частично вода с золой срывается со стенок, разбрызгивается и уносится из золоуловителя в короба и дымосос, где происходит налипание золы на поверхности. Газовое сопротивление скрубберов составляет 0,6- 1 кПа (60 - 100 кгс/м<sup>2</sup>), а степень очистки от 87 до 92%.

Изготавливаются скрубберы на расход газа от 0,28 до 2,8 м<sup>3</sup>/с (от 1 х 10<sup>3</sup> до 10 х 10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>/ч)..

При мокрой очистке дымовых газов необходимы очистка использованной в скрубберах воды от механических примесей, постоянный напор воды, так как без очистки использовать повторно воду нельзя из-за загрязнения и окисления.

### 3.3.2 Мокропрутковый золоуловитель

Мокропрутковый золоуловитель ВТИ состоит из орошаемой водой решетки с соплами, разбрызгивающими воду на решетку, устанавливаемую до обхода дымовых газов в скруббер и соплами на стенах цилиндрического корпуса, работающего по принципу центробежного скруббера.

Прутки-решетки для очистки дымовых газов изготавливаются диаметром 14 - 20 мм из специальных материалов - стеклопластика, капрона, резины и т. п. Во время эксплуатации решетки очищают от золы и промывают.

По предложению УО ОРГРЭС с 1967 г. на золоуловителях МП-ВТИ вместо решетки устанавливаются трубы Вентури с центробежной форсункой для воды.

При такой схеме золоуловитель МП-ВТИ работает эффективней, но его газовое сопротивление увеличено в 1,3 - 1,5 раза.

Для эффективной работы скорость входа дымовых газов в патрубки перед решеткой должна составлять 12 - 14 м/с, расход воды - 0,10 - 0,12 кг/м<sup>3</sup> при запыленности газов 15 - 25 г/м<sup>3</sup>, из которого на сопла корпуса и смачивание решетки поступает до 40%; слив пульпы (золы и воды) осуществляется через клапан.

В золоуловителях МП-ВТИ дымовые газы при камерном сжигании топлива удается очистить на 85 - 95% при газовом сопротивлении золоуловителя 0,6 - 1,0 кПа (60 - 100 кгс/м<sup>2</sup>), температуре газов на входе до 170°С и содержании СаО меньше 20%. Их обычно устанавливают за котельными агрегатами с  $Q > 5,8$  МВт (50 Гкал/ч) и  $D > 21$  кг/с (75 т/ч).

Золоуловители и частично короба обкладываются внутри кислотоупорной плиткой на таком же кислотоупорном цементе.

Унос капель воды с золой, поглощение окислов из газов, снижение температуры газов при использовании мокрых золоуловителей способствуют коррозии газоходов и дымососов. При выборе сухих инерционных золоуловителей ЦКТИ рекомендуется при номинальной производительности котельных агрегатов иметь газовое сопротивление золоуловителя 0,5 - 0,6 кПа (50 - 60 кгс/м<sup>2</sup>).

Все типы золоуловителей следует устанавливать до дымососов для защиты последних от износа. Так как золоуловители дают присос воздуха в газоход, необходимо уплотнять как сами золоуловители, так и бункера для золы, затворы и мигалки.

Установка золоуловителей выполняется индивидуальной к каждому котлоагрегату. При установке золоуловителей вне здания котельной

газоходы, короба и золоуловитель должны быть покрыты тепловой изоляцией, места ввода, трубопроводы для воды и пульпы утеплены. [5]

### **3.4 Батарейный циклон БЦ - 2 - 7х(5 + 3)(БЦ - 56)**

#### **3.4.1 Описание**

Батарейный циклон БЦ-2-7х(5+3) предназначен для сухого улавливания золы, уносимой дымовыми газами из топок паровых стационарных котлов паропроизводительностью от 6,5 до 25 т/ч и водогрейных стационарных котлов теплопроизводительностью от 4-10 Гкал/ч при сжигании твёрдых золосодержащих топлив, устанавливается в газовом тракте перед дымососом.

БЦ-2-7х(5+3) состоит из набора циклонных элементов, в количестве 56 шт., скомпонованных внутри общего кожуха, разделенного на две секции. Отключение одной из секций производится перекидным шибером при работе котла на пониженной нагрузке. Подводящий патрубок и распределительная камера с перекидным шибером, а также выхлопная камера являются общими для обеих секций циклонов. На верхней панели выхлопной камеры устанавливается предохранительный клапан и лаз. Каркас батарейного циклона сваривается из прокатных стальных элементов. На обшивку кожуха снаружи наносится теплоизоляция.

Каждый циклонный элемент состоит из корпуса, выхлопной трубы и закручивающих лопаток. Корпуса циклонных элементов устанавливаются на нижней опорной решетке, а выхлопные трубы крепятся к верхней опорной решетке.

Запыленный газ подводят в секции золоуловителя БЦ-2-7х(5+3) одним общим потоком равномерно по всему входному сечению. Из общего потока запыленный газ поступает в элементы и получает вращение от лопаток закручивающего аппарата. Твердые частицы золы, двигаясь по инерции прямо, прижимаются к корпусу циклонного элемента и вместе с газовым потоком спускаются по конической части корпуса. Благодаря спиральному вихревому движению образуется пониженное давление в середине

циклонного элемента, в результате поток газов из нижней части конуса меняет направление движения и идет вверх по центру корпуса циклонного элемента, направляясь в выхлопную трубу. Зола осаждается внизу, откуда ее периодически или непрерывно удаляют.

Для того, чтобы батарейный циклон БЦ-2-7х(5+3) нормально функционировал необходимо поддерживать сопротивление при минимальной нагрузке котла не менее  $20 \text{ кг/м}^2$ . Для этого необходимо отключать одну из секций, не допускать подсосов воздуха извне и переполнения бункера золой.

Пример условного обозначения циклона БЦ-2-7х(5+3):

Где: БЦ - батарейный циклон; 2 - количество секций; 7 - число рядов по глубине; (5+3) - количество циклонных элементов в каждой из двух секций (по ширине).

#### 3.4.2 Технические характеристики:

- входная скорость дымовых газов в пределах 20-25 м/с;
- производительность по очищаемому воздуху или газу в зависимости от давления газов на входе - 15-49 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
- число чугунных циклонных элементов от 20 до 56;
- внутренний диаметр циклонного элемента 254 мм;
- запыленность входных газов 35-75  $\text{г/м}^3$ ;
- допустимая температура газов на входе до 4000 С;
- аэродинамическое сопротивление батарейных циклонов БЦ 2 - 80 - 90  $\text{кгс/м}^2$ ;
- максимальное разрежение 15 кПа;
- коэффициент гидравлического сопротивления 65;
- эффективность очистки от пыли с диаметром частиц 20 мкм 85.

Таблица 5 - Технические характеристики БЦ-2-7х(5+3)

Наименование		Значение
Расход газа (производительность) при t=150 °С, м <sup>3</sup> /с	45	11,72
	60	13,58
Условная площадь, м <sup>2</sup>		2,80
Рекомендуемая паропроизводительность котлов, т/ч (теплопроизводительность, Гкал/ч)		20,0(8,0) 25,0 (10,0)
КПД, % не менее		85
Количество секций, шт.		2
Количество циклонных элементов в батарее, шт	по длине	7
	по ширине	5+3
	всего	56
Габариты, мм	длина (L)	3170
	ширина (B)	2450
	высота (H)	4510
Масса, кг. не более		7900
Срок изготовления, дней		20
Цена, рублей		990 000

### 3.4.3 Преимущества

Батарейный циклон БЦ 2-7х(5+3) имеет ряд преимуществ:

- обладает высокой степенью очистки, что позволяет иметь КПД циклона не ниже 85 %;
- регулируется по производительности благодаря устройствам отключения секции;
- использование в данных золоуловителях чугунных элементов в качестве завихрителя минимизирует износ стенок и увеличивает срок службы циклона;

- благодаря разборной конструкции циклонных элементов имеет высокую степень ремонтпригодности.

При выборе батарейного циклона БЦ 2-7х(5+3) задаются диаметром циклонного элемента, который обычно принимают равным 250 мм. Также определяют плотность и расход газа при рабочих условиях. Производят расчеты расхода газа через один элемент. Задаваясь типом батарейного циклона и приняв оптимальную скорость движения газа в циклонном элементе рассчитывают число циклонных элементов, необходимых для оптимальной работы батарейного циклона. Так же вычисляют гидравлическое сопротивление батарейного циклона.. [6]

## 4 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК КВАРТАЛА

### 4.1 Расчет нагрузок на отопление

Расчетная тепловая нагрузка на отопления отдельного здания определяется по укрупненным показателям:

$$Q_o^{\max} = \alpha V q_o (t_j - t_o) (1 + K_{u,p}) 10^{-6}; \quad (4)$$

где  $\alpha$  - поправочный коэффициент, учитывающий отличие расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления  $t_o$  от  $t_o = -33$  °С;

$V$  - объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;

$q_o$  - удельная отопительная характеристика здания при  $t_o = -30$  °С, ккал/м<sup>3</sup>ч°С;

$K_{u,p}$  - расчетный коэффициент инфильтрации, обусловленной тепловым и ветровым напором, т.е. соотношение тепловых потерь зданием с инфильтрацией и теплопередачей через наружные ограждения при температуре наружного воздуха, расчетной для проектирования отопления.

Расчетный коэффициент инфильтрации  $K_{u,p}$  определяется:

$$K_{u,p} = 10^{-2} \sqrt{\left[ 2gL \left( 1 - \frac{273+t_o}{273+t_j} \right) + w_o^2 \right]}; \quad (5)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$L$  - свободная высота здания, м;

$w_o$  - расчетная для данной местности скорость ветра в отопительный период, м/с; принимается по СНиП 23-01-99 [1].

Средняя тепловая нагрузка отопления определяется по формуле:

$$Q_o^{cp} = Q_o^{\max} \frac{t_{вн} - t_o^{cp}}{t_{вн} - t_o^p} \quad (6)$$

где  $Q_o^{\max}$  - расчетная тепловая нагрузка отопления;

$t_{вн}$  - расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях, °С;

$t_o^p$  - расчетная для отопления температура наружного воздуха, °С;

$t_o^{cp}$  - расчетная за отопительный период температура наружного воздуха, °С.

Годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_o^z = Q_o^{cp} \cdot h_0; \quad (7)$$

где  $h_0$  - длительность отопительного периода, ч.

## 4.2 Расчет нагрузок на горячее водоснабжение

Средняя часовая тепловая нагрузка горячего водоснабжения потребителя тепловой энергии  $Q_{гвс}$ , Гкал/ч, в отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{гвс} = \frac{aN(55 - t_c)10^{-6}}{T}; \quad (8)$$

где  $a$  - норма затрат воды на горячее водоснабжение абонента, л/ед. измерения в сутки; должна быть утверждена местным органом самоуправления; при отсутствии утвержденных норм принимается по таблице Приложения 3 (обязательного) СНиП 2.04.01-85 [3];

$N$  - количество единиц измерения, отнесенное к суткам, - количество жителей, учащихся в учебных заведениях и т.д.;

$t_c$  - температура водопроводной воды в отопительный период, °С; при отсутствии достоверной информации принимается  $t_c = 5$  °С;

$T$  - продолжительность функционирования системы горячего

водоснабжения абонента в сутки, принимаем 24 ч;

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение:

$$Q_{ГВС}^Г = Q_{ГВС} \cdot n_0; \quad (9)$$

где  $n_0$  - длительность периода горячего водоснабжения, ч.

Таблица 6 - Нагрузка на отопление и горячее водоснабжение

№ зда ния	V, м <sup>3</sup>	q, ккал /м <sup>3</sup> ч <sup>0</sup> С	L, м	t, °С	Q <sub>омах</sub> Гкал/ч	Q <sub>0</sub> <sup>Г</sup> Гкал	Q <sub>ГВС</sub> Гкал/ч	Q <sub>ГВС</sub> <sup>Г</sup> Гкал
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	23244	0.37	15	20	0.422	6.725 x10 <sup>3</sup>	0.032	282.802
2	11930	0.38	15	20	0.223	5.781 x10 <sup>3</sup>	0.017	145.148
3	2214.06	0.52	6	20	0.055	4.989 x10 <sup>3</sup>	7.688 x10 <sup>-3</sup>	67.344
4	1831	0.53	42	20	0.05	4.963 x10 <sup>3</sup>	9.082 x10 <sup>-4</sup>	7.956
5	11928	0.38	15	20	0.223	5.78 x10 <sup>3</sup>	0.017	145.124
6	11339	0.38	15	20	0.212	5.729 x10 <sup>3</sup>	0.016	137.958
7	15295	0.37	15	20	0.278	6.042 x10 <sup>3</sup>	0.021	186.089
8	6489	0.42	15	20	0.134	5.361 x10 <sup>3</sup>	9.012 x10 <sup>-3</sup>	78.95
9	12564	0.37	15	20	0.228	5.807 x10 <sup>3</sup>	0.017	152.862
10	20921	0.37	9	21	0.382	6.534 x10 <sup>3</sup>	3.39 x10 <sup>-3</sup>	29.696
11	1636	0.55	3	21	0.043	4.934 x10 <sup>3</sup>	7.953 x10 <sup>-4</sup>	6.967
12	1339	0.58	1	21	0.037	4.904 x10 <sup>3</sup>	7.439 x10 <sup>-4</sup>	6.516
13	1569	0.55	6	21	0.042	4.927 x10 <sup>3</sup>	3.814 x10 <sup>-4</sup>	3.341
14	59258	0.34	9	21	0.994	9.427 x10 <sup>3</sup>	9.602 x10 <sup>-3</sup>	84.113
15	19422	0.37	9	21	0.355	6.404 x10 <sup>3</sup>	3.597 x10 <sup>-3</sup>	31.507
16	12268.8	0.37	15	20	0.223	5.782 x10 <sup>3</sup>	0.017	149.27
17	11934	0.38	15	20	0.223	5.781 x10 <sup>3</sup>	0.017	145.197
18	23919	0.37	15	20	0.435	6.783 x10 <sup>3</sup>	0.033	291.014
19	17131	0.37	15	20	0.311	6.2 x10 <sup>3</sup>	0.024	208.427
20	46993	0.34	12	21	0.794	8.484 x10 <sup>3</sup>	6.527 x10 <sup>-3</sup>	57.175
21	9310	0.39	12	20	0.18	5.581 x10 <sup>3</sup>	0.016	141.59
22	11642	0.38	12	20	0.216	5.748 x10 <sup>3</sup>	0.02	177.055
23	51628	0.34	42	20	0.901	8.986 x10 <sup>3</sup>	0.026	224.336
24	685	0.68	3	21	0.023	4.834 x10 <sup>3</sup>	6.041 x10 <sup>-4</sup>	5.292
25	13772	0.37	12	21	0.253	5.926 x10 <sup>3</sup>	1.913 x10 <sup>-3</sup>	16.756
26	14315	0.57	15	20	0.401	6.623 x10 <sup>3</sup>	2.386 x10 <sup>-3</sup>	20.9
27	17148	0.37	15	20	0.312	6.201 x10 <sup>3</sup>	0.024	208.634

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	40346	0.34	6	21	0.671	$7.899 \times 10^3$	$9.806 \times 10^{-3}$	85.903
29	10668	0.38	15	20	0.199	$5.699 \times 10^3$	0.015	129.794
30	8620	0.4	12	20	0.168	$5.523 \times 10^3$	0.015	131.096
31	15681	0.37	15	20	0.285	$6.075 \times 10^3$	0.022	190.785
32	14990	0.37	15	20	0.272	$6.016 \times 10^3$	0.021	182.378
33	6882.4	0.42	3	21	0.142	$5.4 \times 10^3$	$6.07 \times 10^{-3}$	53.172
34	17050	0.37	15	20	0.31	$6.193 \times 10^3$	0.024	207.442
35	19789	0.37	15	20	0.36	$6.428 \times 10^3$	0.027	240.766
36	18974	0.37	15	20	0.345	$6.358 \times 10^3$	0.026	230.85
37	22533	0.37	15	20	0.409	$6.664 \times 10^3$	0.031	274.151
38	34514	0.35	30	20	0.609	$7.61 \times 10^3$	0.024	209.96
39	1173	0.6	18	20	0.035	$4.892 \times 10^3$	$1.358 \times 10^{-3}$	11.893
40	204	0.8184	27	20	0.008384	$4.768 \times 10^3$	$1.574 \times 10^{-4}$	1.379
41	7360	0.41	6	21	0.148	$5.426 \times 10^3$	$2.044 \times 10^{-3}$	17.909
42	989	0.65	6	20	0.031	$4.874 \times 10^3$	$2.404 \times 10^{-4}$	2.106
43	14248.8	0.37	15	20	0.259	$5.952 \times 10^3$	0.02	173.36
44	26367	0.36	15	20	0.466	$6.932 \times 10^3$	0.037	320.798
45	10143	0.38	9	21	0.19	$5.627 \times 10^3$	$1.878 \times 10^{-3}$	16.454
46	26191	0.36	15	20	0.463	$6.917 \times 10^3$	0.036	318.657
47	1143	0.6	15	20	0.034	$4.887 \times 10^3$	$1.587 \times 10^{-3}$	13.906
48	14972	0.37	15	21	0.277	$6.039 \times 10^3$	$1.456 \times 10^{-3}$	12.751
49	10259	0.38	12	20	0.19	$5.627 \times 10^3$	0.018	156.022
50	4006	0.46	6	21	0.09	$5.154 \times 10^3$	$1.113 \times 10^{-3}$	9.748
51	29310	0.36	15	20	0.518	$7.178 \times 10^3$	0.041	356.605
52	13306	0.37	15	20	0.242	$5.871 \times 10^3$	0.018	161.89
53	11399	0.38	15	20	0.213	$5.734 \times 10^3$	0.016	138.688
54	18600	0.37	15	20	0.338	$6.326 \times 10^3$	0.026	226.3
55	11208	0.38	15	20	0.209	$5.717 \times 10^3$	0.016	136.364
56	17901	0.37	15	20	0.325	$6.266 \times 10^3$	0.025	217.795
57	11049	0.38	15	20	0.206	$5.703 \times 10^3$	0.038	336.074
58	18707	0.37	15	20	0.34	$6.335 \times 10^3$	0.026	227.602
59	285.8	0.78	15	20	0.011	$4.78 \times 10^3$	$3.969 \times 10^{-4}$	3.477
60	14482	0.37	15	20	0.263	$5.972 \times 10^3$	0.02	176.198
61	59604	0.34	27	20	1.018	$9.539 \times 10^3$	0.046	402.879
62	9372	0.39	9	20	0.177	$5.564 \times 10^3$	0.022	190.043
63	9015	0.39	9	20	0.17	$5.533 \times 10^3$	0.021	182.804
64	3950	0.47	12	20	0.091	$5.156 \times 10^3$	$6.858 \times 10^{-3}$	60.073
65	5535.7	0.43	12	20	0.116	$5.277 \times 10^3$	$9.611 \times 10^{-3}$	84.189
66	18527	0.37	15	20	0.337	$6.32 \times 10^3$	0.026	225.412
67	15528.5	0.37	15	20	0.282	$6.062 \times 10^3$	0.022	188.93

68	20165	0.37	9	21	0.368	$6.468 \times 10^3$	$3.267 \times 10^{-3}$	28.623
Продолжение таблицы 6								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
69	25754	0.36	9	21	0.457	$6.891 \times 10^3$	$4.769 \times 10^{-3}$	41.779
70	15475	0.37	15	20	0.281	$6.058 \times 10^3$	0.021	188.279
71	12884	0.37	15	20	0.234	$5.835 \times 10^3$	0.018	156.755
72	14252	0.37	15	20	0.259	$5.952 \times 10^3$	0.02	173.399
73	17474	0.37	15	20	0.318	$6.229 \times 10^3$	0.024	212.6
74	18422	0.37	15	20	0.335	$6.311 \times 10^3$	0.026	224.134
75	8118	0.4	18	20	0.16	$5.487 \times 10^3$	$9.396 \times 10^{-3}$	82.307
76	2824	0.5	6	20	0.068	$5.048 \times 10^3$	$9.806 \times 10^{-3}$	85.897
77	13504	0.37	15	20	0.245	$5.888 \times 10^3$	0.019	164.299
78	1250.6	0.59	6	20	0.035	$4.895 \times 10^3$	$4.342 \times 10^{-3}$	38.039
79	1233.98	0.59	6	20	0.035	$4.893 \times 10^3$	$4.285 \times 10^{-3}$	37.534
80	1728.6	0.53	6	20	0.044	$4.936 \times 10^3$	$6.002 \times 10^{-3}$	52.578
81	1170	0.6	6	20	0.034	$4.887 \times 10^3$	$4.062 \times 10^{-3}$	35.587
82	706.38	0.67	6	20	0.023	$4.835 \times 10^3$	$2.453 \times 10^{-3}$	21.486
83	537.6	0.69	6	20	0.018	$4.812 \times 10^3$	$1.867 \times 10^{-3}$	16.352
84	337	0.74	9	21	0.012	$4.786 \times 10^3$	$5.461 \times 10^{-5}$	0.478
85	1317	0.58	9	20	0.037	$4.903 \times 10^3$	$3.049 \times 10^{-3}$	26.706
86	1090	0.62	6	20	0.032	$4.881 \times 10^3$	$3.785 \times 10^{-3}$	33.154
87	2337	0.52	6	20	0.058	$5.004 \times 10^3$	$8.115 \times 10^{-3}$	71.084
88	4048	0.46	9	20	0.09	$5.154 \times 10^3$	$9.37 \times 10^{-3}$	82.084
89	16174	0.37	15	20	0.294	$6.118 \times 10^3$	0.022	196.784
90	401.9	0.739	9	20	0.679	$7.937 \times 10^3$	$9.303 \times 10^{-4}$	8.15
91	170.6	0.82	3	20	0.006636	$4.759 \times 10^3$	$1.185 \times 10^{-3}$	10.378
92	1789	0.53	3	20	0.045	$4.941 \times 10^3$	0.012	108.831
93	221	0.78	6	20	0.008269	$4.767 \times 10^3$	$7.674 \times 10^{-4}$	6.722
94	2515	0.5	6	20	0.06	$5.013 \times 10^3$	$8.733 \times 10^{-3}$	76.498
95	7051	0.41	12	20	0.141	$5.395 \times 10^3$	$1.469 \times 10^{-3}$	12.868
96	1222	0.59	6	20	0.035	$4.892 \times 10^3$	$4.243 \times 10^{-3}$	37.169
97	2670	0.5	6	21	0.065	$5.037 \times 10^3$	$6.49 \times 10^{-4}$	5.685
98	68480	0.34	18	21	1.173	$1.027 \times 10^3$	$5.548 \times 10^{-3}$	48.602
99	18643	0.37	15	20	0.399	$6.33 \times 10^3$	0.026	226.823
100	2397	0.52	6	20	0.06	$5.011 \times 10^3$	$8.323 \times 10^{-3}$	72.909
101	9122	0.39	6	21	0.174	$5.55 \times 10^3$	$2.534 \times 10^{-3}$	22.197
102	22662	0.37	15	20	0.412	$6.675 \times 10^3$	0.031	275.721

Расчет приведен в приложении А.

## 5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Для проведения гидравлического расчета необходимо разбить тепловую сеть на участки, а затем для каждого из них определить тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение.

Расчетный расход теплоносителя на отопление, кг/с:

$$G_o^{\max} = \frac{Q_o^{\max}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}, \quad (10)$$

где  $c$  – теплоемкость воды;

$\tau_1', \tau_2'$  - текущие температуры в подающем трубопроводе тепловой сети и обратном трубопроводе после системы отопления,  $^{\circ}\text{C}$ .

Расход теплоносителя на горячее водоснабжение, кг/с:

$$G_{звс} = \frac{Q_{звс}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')} \quad (11)$$

### 5.1 Предварительный гидравлический расчет

Предварительный гидравлический расчет выполняется без учета потерь в местных сопротивлениях.

Зная расходы теплоносителя на участках и средние удельные потери на трение, находим диаметр  $d_{вн}$  трубопровода и соответствующие значения  $R_{уд}$ :

$$d_{ен} = \frac{0,117 \cdot G^{0,38}}{R_{уд}^{0,19}} \quad (12)$$

где  $G$  - расход теплоносителя на участку, кг/с;

$d_{вн}$  - внутренний диаметр, м;

$R_{уд}$  – удельные потери, Па/м.

По вычисленному значению  $d_{вн}$  подбирается стандартный диаметр, по которому уточняется величина  $R_{уд}$ :

$$R_{уд} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot G^2}{d_{вн}^{5,25}} \quad (13)$$

Предварительный гидравлический расчет сводится в таблицу 2.

Таблица 7 – Предварительный гидравлический расчет

№ участка	Расчётные расходы теплоносителя, кг/с			l, м	$d_{вн}$ , мм	$R_{уд}$ , Па/м	$R_{уд} \times l$ , Па
	$G_{от}$	$G_{гвс}$	$G_{сум}$				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3.352	0.256	5.507	19.7	0.107	49.05	22.762
2	1.767	0.132	1.898	15	0.071	49.05	$1.584 \times 10^{-4}$
3	0.438	0.061	206.945	125.5	0.397	68.67	38.594
4	0.395	$7.208 \times 10^{-3}$	0.499	20	0.043	49.05	22.98
5	1.767	0.131	206.445	48.5	0.423	49.05	34.408
6	1.679	0.125	0.402	14.5	0.04	49.05	14.92
7	2.206	0.169	3.703	57.6	0.089	58.86	33.205
8	1.062	0.072	202.34	62.3	0.406	58.86	36.896
9	1.812	0.138	2.374	13	0.078	49.05	13.655
10	3.031	0.027	199.966	52.2	0.404	58.86	36.035
11	0.345	$6.312 \times 10^{-3}$	199.966	98	0.404	58.86	36.035
12	0.295	$5.904 \times 10^{-3}$	1.134	21	0.059	49.05	20.253
13	0.335	$3.027 \times 10^{-3}$	1.95	125	0.068	68.67	29.731
14	7.889	0.076	196.882	99	0.402	58.86	34.932
15	2.814	0.029	3.058	6	0.085	49.05	22.645
16	1.769	0.135	193.824	15	0.413	49.05	33.855
17	1.768	0.132	8.955	120	0.12	68.67	23.112
18	3.45	0.264	0.352	12	0.038	49.05	11.39
19	2.471	0.189	8.604	101	0.119	68.67	21.333
20	6.305	0.052	0.301	60	0.034	58.86	26.934
21	1.432	0.128	0.338	19	0.037	49.05	33.949
22	1.713	0.16	7.965	66	0.119	58.86	18.283
23	7.147	0.203	22.808	65	0.177	58.86	33.11
24	0.179	$4.795 \times 10^{-3}$	2.842	30	0.083	49.05	19.565
25	2.011	0.015	19.966	143	0.163	68.67	51.146
26	3.18	0.019	10.176	38	0.135	49.05	29.845
27	2.473	0.189	1.905	42	0.071	49.05	28.35
28	5.323	0.078	1.899	31	0.071	49.05	28.188

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
29	1.58	0.118	6.373	63	0.109	58.86	30.481
30	1.335	0.119	3.713	12	0.092	49.05	33.394
31	2.261	0.173	2.659	89.6	0.078	58.86	17.129
32	2.162	0.165	6.356	15	0.113	49.05	30.327
33	1.127	0.048	3.433	104.45	0.084	68.67	28.55
34	2.459	0.188	3.433	26	0.089	49.05	28.55
35	2.854	0.218	1.873	95.5	0.068	58.86	27.417
36	2.736	0.209	162.061	387	0.353	78.48	43.926
37	3.25	0.48	7.351	32.5	0.119	49.05	15.572
38	4.837	0.19	154.71	26.5	0.379	49.05	40.031
39	0.276	0.011	0.184	20	0.028	68.67	10.015
40	0.067	$1.249 \times 10^{-3}$	5.225	32	0.105	49.05	20.493
41	1.171	0.016	3.199	27	0.087	49.05	24.791
42	0.245	$1.908 \times 10^{-3}$	149.301	72	0.361	58.86	37.281
43	2.055	0.157	2.662	20.5	0.081	49.05	17.163
44	3.7	0.291	146.639	51	0.359	58.86	35.964
45	1.509	0.015	5.4	17	0.106	49.05	21.89
46	3.675	0.289	5.586	40.3	0.107	49.05	23.417
47	0.267	0.013	3.888	89.8	0.09	58.86	36.609
48	2.201	0.012	1.454	8	0.064	49.05	33.286
49	1.509	0.141	2.434	30	0.078	49.05	46.313
50	0.715	$8.832 \times 10^{-3}$	135.653	75	0.349	58.86	30.777
51	4.113	0.323	3.502	17	0.09	49.05	29.711
52	1.919	0.147	1.175	37.5	0.059	49.05	21.767
53	1.688	0.126	132.151	82	0.345	58.86	29.208
54	2.682	0.205	5.719	17	0.108	49.05	24.548
55	1.66	0.124	3.072	31	0.086	49.05	22.857
56	2.582	0.197	126.432	1341.7	0.321	78.48	53.893
57	1.637	0.304	11.471	170.3	0.132	68.67	37.921
58	2.698	0.206	2.946	9	0.084	49.05	21.013
59	0.087	$3.15 \times 10^{-3}$	8.525	76	0.122	58.86	54.552
60	2.089	0.16	3.498	32.6	0.09	49.05	29.636
61	8.077	0.365	5.027	38.3	0.103	49.05	18.97
62	1.404	0.172	114.961	57.5	0.327	58.86	22.104
63	1.351	0.166	0.355	74.7	0.036	58.86	37.396
64	0.719	0.054	0.287	42.1	0.035	49.05	24.465
65	0.921	0.076	0.068	5	0.02	49.05	16.117
66	2.672	0.204	114.607	122.6	0.317	68.67	44.283
67	2.239	0.171	1.187	42.7	0.06	49.05	22.201
68	2.921	0.026	113.42	135.5	0.316	68.67	43.371
69	3.63	0.038	23.305	174	0.173	68.67	34.568

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
70	2.232	0.171	2.459	13.6	0.079	49.05	47.243
71	1.858	0.142	0.247	43.5	0.033	49.05	18.093
72	2.055	0.157	2.212	15	0.076	49.05	38.24
73	2.52	0.193	20.846	100	0.171	58.86	27.659
74	2.657	0.203	11.971	26.5	0.143	49.05	41.299
75	1.274	0.075	5.488	13.8	0.107	49.05	22.605
76	0.538	0.078	1.524	75.5	0.063	58.86	36.593
77	1.947	0.149	3.964	12	0.094	49.05	38.054
78	0.281	0.034	2.492	60	0.076	58.86	48.554
79	0.277	0.034	0.28	16	0.033	58.86	23.302
80	0.349	0.048	2.213	20	0.073	58.86	38.261
81	0.267	0.032	2.374	82	0.075	58.86	44.059
82	0.18	0.019	1.65	26	0.068	49.05	42.918
83	0.141	0.015	0.724	70	0.048	58.86	8.254
84	0.098	$4.334 \times 10^{-3}$	6.501	168	0.104	78.48	31.726
85	0.293	0.024	4.436	50.7	0.098	49.05	14.769
86	0.257	0.03	2.066	58	0.071	58.86	33.347
87	0.463	0.064	90.115	98.5	0.298	58.86	27.329
88	0.715	0.074	6.485	15.5	0.114	49.05	31.566
89	2.333	0.178	2.887	27.3	0.084	49.05	20.193
90	5.386	$7.384 \times 10^{-3}$	1.784	14.6	0.07	49.05	50.12
91	0.053	$9.403 \times 10^{-3}$	7.429	55.7	0.116	58.86	41.43
92	0.357	0.099	2.779	8	0.082	49.05	18.704
93	0.066	$6.09 \times 10^{-3}$	1.941	148	0.069	58.86	29.444
94	0.479	0.069	2.71	31	0.082	49.05	17.781
95	1.119	0.012	0.09	130.7	0.021	68.67	2.411
96	0.274	0.034	76.11	102.2	0.272	68.67	43.871
97	0.518	$5.15 \times 10^{-3}$	2.248	31	0.076	49.05	39.501
98	9.309	0.044	8.442	57.7	0.121	58.86	59.486
99	2.689	0.206	65.421	185.5	0.257	68.67	32.413
100	0.475	0.066	65.421	211	0.25	78.48	32.413
101	1.38	0.02	3.092	89.4	0.083	58.86	23.162
102	3.268	0.25	1.576	67	0.064	58.86	19.418
103	-	-	1.516	3	0.065	49.05	36.218
104	-	-	0.773	245.5	0.048	68.67	9.416
105	-	-	61.555	148.8	0.251	68.67	28.696
106	-	-	6.284	66	0.108	58.86	29.644
107	-	-	0.988	20	0.056	49.05	15.684
108	-	-	2.876	30	0.083	49.05	20.035
109	-	-	2.411	57	0.075	58.86	45.417
110	-	-	55.271	8.5	0.257	49.05	23.135

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
111	-	-	2.947	37	0.084	49.05	21.038
112	-	-	52.323	39.7	0.251	49.05	20.734
113	-	-	3.668	43	0.092	49.05	32.586
114	-	-	48.655	12	0.244	49.05	17.929
115	-	-	6.615	137.4	0.107	68.67	32.843
116	-	-	2.402	7.1	0.078	49.05	13.978
117	-	-	4.213	44.6	0.096	49.05	42.98
118	-	-	2	4	0.073	49.05	31.265
119	-	-	2.212	70	0.073	58.86	38.257
120	-	-	42.04	61.5	0.223	58.86	13.385
121	-	-	2.713	52.8	0.079	58.86	17.822
122	-	-	39.328	63.8	0.057	58.86	2.437 x10 <sup>-4</sup>
123	-	-	39.328	61.7	0.218	58.86	30.507
124	-	-	2.86	33	0.083	49.05	19.809
125	-	-	36.468	75.5	0.212	58.86	26.231
126	-	-	1.348	26.9	0.063	49.05	28.633
127	-	-	6.41	74	0.109	58.86	11.84
128	-	-	0.615	3.5	0.046	49.05	0.284
129	-	-	2.096	39.5	0.074	49.05	34.346
130	-	-	3.698	10.1	0.092	49.05	33.119
131	-	-	0.315	12.5	0.036	49.05	0.241
132	-	-	3.383	29.1	0.089	49.05	27.711
133	-	-	2.066	23.4	0.074	49.05	33.352
134	-	-	0.311	14.5	0.036	49.05	28.799
135	-	-	0.396	24.6	0.039	49.05	46.739
136	-	-	1.358	15.1	0.063	49.05	29.063
137	-	-	0.299	13.5	0.035	49.05	26.678
138	-	-	0.2	22	0.03	49.05	11.854
139	-	-	0.156	28.5	0.028	49.05	7.241
140	-	-	0.703	15	0.049	49.05	45.553
141	-	-	0.098	15.8	0.023	49.05	33.737
142	-	-	0.318	21.9	0.036	49.05	30.005
143	-	-	0.287	16.8	0.035	49.05	24.552
144	-	-	1.317	20	0.062	49.05	27.315
145	-	-	0.527	5.8	0.044	49.05	25.603
146	-	-	0.79	36	0.051	49.05	9.824
147	-	-	28.71	152	0.188	68.67	52.462
148	-	-	2.511	33.2	0.079	49.05	15.269
149	-	-	26.199	119	0.181	68.67	43.687
150	-	-	5.394	39.4	0.106	49.05	21.836
151	-	-	20.806	100	0.171	58.86	27.551

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
152	-	-	0.589	136.5	0.043	68.67	32.015
153	-	-	0.062	4	0.019	49.05	13.513
154	-	-	0.456	42	0.041	49.05	19.13
155	-	-	0.072	11.5	0.021	49.05	18.039
156	-	-	20.216	87.5	0.169	58.86	26.012
157	-	-	2.51	47	0.079	49.05	15.26
158	-	-	0.548	6.3	0.044	49.05	27.683
159	-	-	1.962	40	0.072	49.05	30.087
160	-	-	1.131	11	0.059	49.05	20.145
161	-	-	0.831	94	0.05	49.05	10.887
162	-	-	0.308	9	0.036	49.05	28.242
163	-	-	0.523	53	0.042	58.86	25.224
164	-	-	17.706	100	0.161	58.86	40.224
165	-	-	9.353	84	0.126	58.86	25.212
166	-	-	8.353	15	0.125	49.05	20.11
167	-	-	5.459	14	0.106	49.05	22.369
168	-	-	0.541	43	0.044	49.05	26.934
169	-	-	4.918	73.6	0.099	58.86	58.592
170	-	-	1.4	42.6	0.063	49.05	30.9
171	-	-	3.518	14	0.09	49.05	29.976
Σ	-	-	212.451	93.8	0.413	58.86	40.675

где  $l$  – длина участка, м;

$\Delta H$  – потери на участке без учета местных сопротивлений, Па.

## 5.2 Уточненный гидравлический расчет.

Таблица 8 – Уточненный гидравлический расчет

№ участка	$G_{\text{сум}}$ , кг/с	$l$ , м	$l_3$ , м	$l+l_3$ , м	$d_{\text{вн}}$ , мм	$R_{\text{уд}}$ , Па/м	$H$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.507	19.7	3.94	23.64	0.107	49.05	0.055
2	1.898	15	3	18	0.071	49.05	$2.907 \times 10^{-7}$
3	206.945	125.5	25.1	150.6	0.397	68.67	0.592
4	0.499	20	4	24	0.043	49.05	0.056
5	206.445	48.5	9.7	58.2	0.423	49.05	0.228
6	0.402	14.5	2.9	17.4	0.04	49.05	0.026
7	3.703	57.6	11.52	69.12	0.089	58.86	0.234
8	202.34	62.3	12.46	74.76	0.406	58.86	0.281
9	2.374	13	2.6	15.6	0.078	49.05	0.022
10	199.966	52.2	10.44	62.64	0.404	58.86	0.23
11	199.966	98	19.6	117.6	0.404	58.86	0.432

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
12	1.134	21	4.2	25.2	0.059	49.05	0.052
13	1.95	125	25	150	0.068	68.67	0.455
14	196.882	99	19.8	118.8	0.402	58.86	0.423
15	3.058	6	1.2	7.2	0.085	49.05	0.017
16	193.824	15	3	18	0.413	49.05	0.062
17	8.955	120	24	144	0.12	68.67	0.339
18	0.352	12	2.4	14.4	0.038	49.05	0.017
19	8.604	101	20.2	121.2	0.119	68.67	0.264
20	0.301	60	12	72	0.034	58.86	0.198
21	0.338	19	3.8	22.8	0.037	49.05	0.079
22	7.965	66	13.2	79.2	0.119	58.86	0.148
23	22.808	65	13	78	0.177	58.86	0.263
24	2.842	30	6	36	0.083	49.05	0.072
25	19.966	143	28.6	171.6	0.163	68.67	0.895
26	10.176	38	7.6	45.6	0.135	49.05	0.139
27	1.905	42	8.4	50.4	0.071	49.05	0.146
28	1.899	31	6.2	37.2	0.071	49.05	0.107
29	6.373	63	12.6	75.6	0.109	58.86	0.235
30	3.713	12	2.4	14.4	0.092	49.05	0.049
31	2.659	89.6	17.92	107.52	0.078	58.86	0.188
32	6.356	15	3	18	0.113	49.05	0.056
33	3.433	104.45	20.89	125.34	0.084	68.67	0.365
34	3.433	26	5.2	31.2	0.089	49.05	0.091
35	1.873	95.5	19.1	114.6	0.068	58.86	0.32
36	162.061	387	77.4	464.4	0.353	78.48	2.079
37	7.351	32.5	6.5	39	0.119	49.05	0.062
38	154.71	26.5	5.3	31.8	0.379	49.05	0.13
39	0.184	20	4	24	0.028	68.67	0.025
40	5.225	32	6.4	38.4	0.105	49.05	0.08
41	3.199	27	5.4	32.4	0.087	49.05	0.082
42	149.301	72	14.4	86.4	0.361	58.86	0.328
43	2.662	20.5	4.1	24.6	0.081	49.05	0.043
44	146.639	51	10.2	61.2	0.359	58.86	0.224
45	5.4	17	3.4	20.4	0.106	49.05	0.046
46	5.586	40.3	8.06	48.36	0.107	49.05	0.115
47	3.888	89.8	17.96	107.76	0.09	58.86	0.402
48	1.454	8	1.6	9.6	0.064	49.05	0.033
49	2.434	30	6	36	0.078	49.05	0.17
50	135.653	75	15	90	0.349	58.86	0.282
51	3.502	17	3.4	20.4	0.09	49.05	0.062
52	1.175	37.5	7.5	45	0.059	49.05	0.1

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
53	132.151	82	16.4	98.4	0.345	58.86	0.293
54	5.719	17	3.4	20.4	0.108	49.05	0.051
55	3.072	31	6.2	37.2	0.086	49.05	0.087
56	126.432	1341.7	268.34	1.61x10 <sup>3</sup>	0.321	78.48	8.845
57	11.471	170.3	34.06	204.36	0.132	68.67	0.79
58	2.946	9	1.8	10.8	0.084	49.05	0.023
59	8.525	76	15.2	91.2	0.122	58.86	0.507
60	3.498	32.6	6.52	39.12	0.09	49.05	0.118
61	5.027	38.3	7.66	45.96	0.103	49.05	0.089
62	114.961	57.5	11.5	69	0.327	58.86	0.155
63	0.355	74.7	14.94	89.64	0.036	58.86	0.342
64	0.287	42.1	8.42	50.52	0.035	49.05	0.126
65	0.068	5	1	6	0.02	49.05	9.857 x10 <sup>-3</sup>
66	114.607	122.6	24.52	147.12	0.317	68.67	0.664
67	1.187	42.7	8.54	51.24	0.06	49.05	0.116
68	113.42	135.5	27.1	162.6	0.316	68.67	0.719
69	23.305	174	34.8	208.8	0.173	68.67	0.736
70	2.459	13.6	2.72	16.32	0.079	49.05	0.079
71	0.247	43.5	8.7	52.2	0.033	49.05	0.096
72	2.212	15	3	18	0.076	49.05	0.07
73	20.846	100	20	120	0.171	58.86	0.388
74	11.971	26.5	5.3	31.8	0.143	49.05	0.134
75	5.488	13.8	2.76	16.56	0.107	49.05	0.038
76	1.524	75.5	15.1	90.6	0.063	58.86	0.388
77	3.964	12	2.4	14.4	0.094	49.05	0.056
78	2.492	60	12	72	0.076	58.86	0.356
79	0.28	16	3.2	19.2	0.033	58.86	0.046
80	2.213	20	4	24	0.073	58.86	0.094
81	2.374	82	16.4	98.4	0.075	58.86	0.442
82	1.65	26	5.2	31.2	0.068	49.05	0.136
83	0.724	70	14	84	0.048	58.86	0.071
84	6.501	168	33.6	201.6	0.104	78.48	0.652
85	4.436	50.7	10.14	60.84	0.098	49.05	0.092
86	2.066	58	11.6	69.6	0.071	58.86	0.237
87	90.115	98.5	19.7	118.2	0.298	58.86	0.33
88	6.485	15.5	3.1	18.6	0.114	49.05	0.06
89	2.887	27.3	5.46	32.76	0.084	49.05	0.067
90	1.784	14.6	2.92	17.52	0.07	49.05	0.09
91	7.429	55.7	11.14	66.84	0.116	58.86	0.282
92	2.779	8	1.6	9.6	0.082	49.05	0.018
93	1.941	148	29.6	177.6	0.069	58.86	0.533

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
94	2.71	31	6.2	37.2	0.082	49.05	0.067
95	0.09	130.7	26.14	156.84	0.021	68.67	0.039
96	76.11	102.2	20.44	122.64	0.272	68.67	0.548
97	2.248	31	6.2	37.2	0.076	49.05	0.15
98	8.442	57.7	11.54	69.24	0.121	58.86	0.378
99	65.421	185.5	37.1	222.6	0.257	68.67	0.735
100	65.421	211	42.2	253.2	0.25	78.48	0.837
101	3.092	89.4	17.88	107.28	0.083	58.86	0.253
102	1.576	67	13.4	80.4	0.064	58.86	0.159
103	1.516	3	0.6	3.6	0.065	49.05	0.013
104	0.773	245.5	49.1	294.6	0.048	68.67	0.283
105	61.555	148.8	29.76	178.56	0.251	68.67	0.522
106	6.284	66	13.2	79.2	0.108	58.86	0.239
107	0.988	20	4	24	0.056	49.05	0.038
108	2.876	30	6	36	0.083	49.05	0.074
109	2.411	57	11.4	68.4	0.075	58.86	0.317
110	55.271	8.5	1.7	10.2	0.257	49.05	0.024
111	2.947	37	7.4	44.4	0.084	49.05	0.095
112	52.323	39.7	7.94	47.64	0.251	49.05	0.101
113	3.668	43	8.6	51.6	0.092	49.05	0.498
114	48.655	12	2.4	14.4	0.244	49.05	0.026
115	6.615	137.4	27.48	164.88	0.107	68.67	0.552
116	2.402	7.1	1.42	8.52	0.078	49.05	0.012
117	4.213	44.6	8.92	53.52	0.096	49.05	0.234
118	2	4	0.8	4.8	0.073	49.05	0.015
119	2.212	70	14	84	0.073	58.86	0.328
120	42.04	61.5	12.3	73.8	0.223	58.86	0.101
121	2.713	52.8	10.56	63.36	0.079	58.86	0.115
122	39.328	63.8	12.76	76.56	0.057	58.86	190.172
123	39.328	61.7	12.34	74.04	0.218	58.86	0.23
124	2.86	33	6.6	39.6	0.083	49.05	0.08
125	36.468	75.5	15.1	90.6	0.212	58.86	0.242
126	1.348	26.9	5.38	32.28	0.063	49.05	0.094
127	6.41	74	14.8	88.8	0.109	58.86	0.107
128	0.615	3.5	0.7	4.2	0.046	49.05	1.217 x10 <sup>-4</sup>
129	2.096	39.5	7.9	47.4	0.074	49.05	0.166
130	3.698	10.1	2.02	12.12	0.092	49.05	0.041
131	0.315	12.5	2.5	15	0.036	49.05	3.683 x10 <sup>-4</sup>
132	3.383	29.1	5.82	34.92	0.089	49.05	0.099
133	2.066	23.4	4.68	28.08	0.074	49.05	0.095
134	0.311	14.5	2.9	17.4	0.036	49.05	0.051

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
135	0.396	24.6	4.92	29.52	0.039	49.05	0.141
136	1.358	15.1	3.02	18.12	0.063	49.05	0.054
137	0.299	13.5	2.7	16.2	0.035	49.05	0.044
138	0.2	22	4.4	26.4	0.03	49.05	0.032
139	0.156	28.5	5.7	34.2	0.028	49.05	0.025
140	0.703	15	3	18	0.049	49.05	0.084
141	0.098	15.8	3.16	18.96	0.023	49.05	0.065
142	0.318	21.9	4.38	26.28	0.036	49.05	0.08
143	0.287	16.8	3.36	20.16	0.035	49.05	0.05
144	1.317	20	4	24	0.062	49.05	0.067
145	0.527	5.8	1.16	6.96	0.044	49.05	0.018
146	0.79	36	7.2	43.2	0.051	49.05	0.043
147	28.71	152	30.4	182.4	0.188	68.67	0.975
148	2.511	33.2	6.64	39.84	0.079	49.05	0.062
149	26.199	119	23.8	142.8	0.181	68.67	0.636
150	5.394	39.4	7.88	47.28	0.106	49.05	0.105
151	20.806	100	20	120	0.171	58.86	0.337
152	0.589	136.5	27.3	163.8	0.043	68.67	0.535
153	0.062	4	0.8	4.8	0.019	49.05	6.612 x10 <sup>-3</sup>
154	0.456	42	8.4	50.4	0.041	49.05	0.098
155	0.072	11.5	2.3	37.2	0.021	49.05	0.068
156	20.216	87.5	17.5	105	0.169	58.86	0.278
157	2.51	47	9.4	56.4	0.079	49.05	0.088
158	0.548	6.3	1.26	7.56	0.044	49.05	0.021
159	1.962	40	8	48	0.072	49.05	0.147
160	1.131	11	2.2	13.2	0.059	49.05	0.027
161	0.831	94	18.8	112.8	0.05	49.05	0.125
162	0.308	9	1.8	10.8	0.036	49.05	0.031
163	0.523	53	10.6	63.6	0.042	58.86	0.164
164	17.706	100	20	120	0.161	58.86	0.492
165	9.353	84	16.8	100.8	0.126	58.86	0.259
166	8.353	15	3	18	0.125	49.05	0.037
167	5.459	14	2.8	16.8	0.106	49.05	0.038
168	0.541	43	8.6	51.6	0.044	49.05	0.142
169	4.918	73.6	14.72	88.32	0.099	58.86	0.528
170	1.4	42.6	8.52	51.12	0.063	49.05	0.161
171	3.518	14	2.8	16.8	0.09	49.05	0.051
Σ	212.451	93.8	18.76	112.56	0.413	58.86	0.467

Расчет приведен в приложении А.

## 6 РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Нормативы технологических потерь при передаче тепловой энергии разрабатываются для каждой организации, эксплуатирующей тепловые сети для передачи тепловой энергии потребителям. Разработка нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии осуществляется выполнением расчетов нормативов для тепловой сети каждой системы теплоснабжения.

Нормативные значения потерь теплоносителя за год с его нормируемой утечкой,  $\text{м}^3$ , определяются по формуле:

$$G_{\text{ут.н}} = a \times V_{\text{год}} \times n_{\text{год}} 10^{-2} = m_{\text{ут.год.н}} n_{\text{год}} \quad (14)$$

где  $a$  - норма среднегодовой утечки теплоносителя,  $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^3$ , установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, а также правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок, в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час;

$V_{\text{год}}$  - среднегодовая емкость трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией,  $\text{м}^3$ ;

$n_{\text{год}}$  - продолжительность функционирования тепловых сетей в году, ч;

$m_{\text{ут.год.н}}$  - среднегодовая норма потерь теплоносителя, обусловленных утечкой,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии,  $\text{Гкал}$ , обусловленных потерями теплоносителя производится по формуле:

$$Q_{\text{у.н}} = m_{\text{у.год.н}} \cdot \rho_{\text{год}} \cdot c \cdot [b \cdot \tau_{1\text{год}} + (1-b) \cdot \tau_2 - \tau_{\text{х.год}}] n_{\text{год}} \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

где  $\rho_{\text{год}}$  - среднегодовая плотность теплоносителя при средней (с учетом  $\beta$ ) температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/ м<sup>3</sup>;

$\beta$  - доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети (принимается 0,6);

$\tau_{1\text{год}}$  и  $\tau_{2\text{год}}$  - среднегодовые значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, °С;

$\tau_{x,\text{год}}$  - среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения и используемой для подпитки тепловой сети, °С;

$c$  - удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/кг °С.

Нормативные технологические затраты тепловой энергии на заполнение новых участков трубопроводов и после плановых ремонтов, Гкал, определяются:

$$Q_{\text{зан}} = 1,5 \cdot V_{\text{тр.з}} \cdot \rho_{\text{зан}} \cdot c \cdot (\tau_{\text{зан}} - \tau_x) \quad (16)$$

где  $V_{\text{тр.з}}$  - емкость заполняемых трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{зан}}$  - плотность воды, используемой для заполнения, кг/ м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{зан}}$  - температура воды, используемой для заполнения, °С;

$\tau_x$  - температура исходной воды, подаваемой на источник тепловой энергии в период заполнения, °С.

Определение нормативных значений часовых тепловых потерь, Гкал/ч, для среднегодовых условий эксплуатации трубопроводов тепловых сетей производится по формуле:

$$Q_{\text{из.н.год}} = \sum (q_{\text{из.н.}} \cdot L \cdot \beta) \cdot 10^{-6} \quad (17)$$

где  $\rho_{из.н}$  - удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые условия эксплуатации, ккал/ч·м;

$L$  - длина участка трубопроводов тепловой сети, м;

$\beta$  - коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами.

Таблица 9 – Расчет технологических потерь при передаче тепловой энергии по тепловым сетям.

№ участка	l, м	$\beta$	Часовые тепловые потери, $Q_{из.год}$ , Гкал/ч	Количество часов работы, час	Тепловые потери $Q_{год}$ , Гкал		
					$Q_{ут}$	$Q_{зап}$	$Q_{из} + Q_{ут}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	19.7	1,15	$1.027 \times 10^{-3}$	8760	0.837	0.024	0.839
2	15	1,15	$8.152 \times 10^{-4}$	8760	0.282	$7.965 \times 10^{-3}$	0.282
3	125.5	1,15	$6.821 \times 10^{-3}$	8760	75.582	2.137	75.589
4	20	1,15	$1.065 \times 10^{-3}$	8760	0.099	$2.805 \times 10^{-3}$	0.1
5	48.5	1,15	$2.648 \times 10^{-3}$	8760	29.209	0.826	29.212
6	14.5	1,15	$7.722 \times 10^{-4}$	8760	0.072	$2.034 \times 10^{-3}$	0.073
7	57.6	1,15	$3.145 \times 10^{-3}$	8760	1.632	0.046	1.636
8	62.3	1,15	$3.318 \times 10^{-3}$	8760	37.52	1.061	37.523
9	13	1,15	$7.098 \times 10^{-4}$	8760	0.368	0.01	0.369
10	52.2	1,15	$2.78 \times 10^{-3}$	8760	31.437	0.889	31.44
11	98	1,15	$5.351 \times 10^{-3}$	8760	59.02	1.669	59.026
12	21	1,15	$1.118 \times 10^{-3}$	8760	0.29	$8.205 \times 10^{-3}$	0.291
13	125	1,15	$6.825 \times 10^{-3}$	8760	2.347	0.066	2.354

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

14	99	1,15	$5.381 \times 10^{-3}$	8760	59.622	1.686	59.628
15	6	1,15	$3.128 \times 10^{-4}$	8760	0.17	$4.809 \times 10^{-3}$	0.17
16	15	1,15	$8.152 \times 10^{-4}$	8760	9.034	0.255	9.035
17	120	1,15	$6.256 \times 10^{-3}$	8760	7.652	0.216	7.658
18	12	1,15	$6.522 \times 10^{-4}$	8760	0.06	$1.683 \times 10^{-3}$	0.06
19	101	1,15	$5.489 \times 10^{-3}$	8760	6.44	0.182	6.446
20	60	1,15	$3.276 \times 10^{-3}$	8760	0.276	$7.814 \times 10^{-3}$	0.28
21	19	1,15	$9.905 \times 10^{-4}$	8760	0.088	$2.475 \times 10^{-3}$	0.088
22	66	1,15	$3.604 \times 10^{-3}$	8760	4.209	0.119	4.212
23	65	1,15	$3.533 \times 10^{-3}$	8760	7.829	0.221	7.833
24	30	1,15	$1.601 \times 10^{-3}$	8760	0.85	0.024	0.852
25	143	1,15	$7.772 \times 10^{-3}$	8760	13.678	0.387	13.686
26	38	1,15	$1.962 \times 10^{-3}$	8760	2.423	0.069	2.425
27	42	1,15	$2.212 \times 10^{-3}$	8760	0.789	0.022	0.791
28	31	1,15	$1.616 \times 10^{-3}$	8760	0.582	0.016	0.584
29	63	1,15	$3.318 \times 10^{-3}$	8760	2.678	0.076	2.682
30	12	1,15	$6.256 \times 10^{-4}$	8760	0.34	$9.618 \times 10^{-3}$	0.341
31	89.6	1,15	$4.772 \times 10^{-3}$	8760	2.539	0.072	2.544
32	15	1,15	$8.152 \times 10^{-4}$	8760	0.638	0.018	0.638
33	104.45	1,15	$5.445 \times 10^{-3}$	8760	2.96	0.084	2.966
34	26	1,15	$1.413 \times 10^{-3}$	8760	0.737	0.021	0.738
35	95.5	1,15	$5.086 \times 10^{-3}$	8760	1.793	0.051	1.798
36	387	1,15	0.021	8760	185.085	5.234	185.106
37	32.5	1,15	$1.694 \times 10^{-3}$	8760	0.115	$3.256 \times 10^{-3}$	0.117
38	26.5	1,15	$1.44 \times 10^{-3}$	8760	12.674	0.358	12.675
39	20	1,15	$1.087 \times 10^{-3}$	8760	0.092	$2.605 \times 10^{-3}$	0.093
40	32	1,15	$1.704 \times 10^{-3}$	8760	1.36	0.038	1.362

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

41	27	1,15	1.407 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.765	0.022	0.767
42	72	1,15	3.913 x10 <sup>-3</sup>	8760	34.434	0.974	34.438
43	20.5	1,15	1.114 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.581	0.016	0.582
44	51	1,15	2.721 x10 <sup>-3</sup>	8760	24.391	0.69	24.394
45	17	1,15	9.239 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.723	0.02	0.724
46	40.3	1,15	2.19 x10 <sup>-3</sup>	8760	1.713	0.048	1.715
47	89.8	1,15	4.681 x10 <sup>-3</sup>	8760	2.545	0.072	2.55
48	8	1,15	4.348 x10 <sup>-4</sup>	8760	0.111	3.126 x10 <sup>-3</sup>	0.111
49	30	1,15	1.63 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.563	0.016	0.565
50	75	1,15	3.994 x10 <sup>-3</sup>	8760	35.869	1.014	35.873
51	17	1,15	8.862 x10 <sup>-4</sup>	8760	0.482	0.014	0.483
52	37.5	1,15	2.038 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.518	0.015	0.52
53	82	1,15	4.457 x10 <sup>-3</sup>	8760	39.217	1.109	39.221
54	17	1,15	9.071 x10 <sup>-4</sup>	8760	0.723	0.02	0.724
55	31	1,15	1.685 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.879	0.025	0.88
56	1341.7	1,15	0.073	8760	480.068	13.576	480.141
57	170.3	1,15	8.878 x10 <sup>-3</sup>	8760	10.86	0.307	10.868
58	9	1,15	4.891 x10 <sup>-4</sup>	8760	0.255	7.213 x10 <sup>-3</sup>	0.256
59	76	1,15	4.131 x10 <sup>-3</sup>	8760	3.231	0.091	3.235
60	32.6	1,15	1.736 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.924	0.026	0.926
61	38.3	1,15	1.997 x10 <sup>-3</sup>	8760	1.628	0.046	1.63
62	57.5	1,15	3.125 x10 <sup>-3</sup>	8760	27.5	0.778	27.503
63	74.7	1,15	4.06 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.344	9.729 x10 <sup>-3</sup>	0.348
64	42.1	1,15	2.246 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.194	5.483 x10 <sup>-3</sup>	0.196
65	5	1,15	2.717 x10 <sup>-4</sup>	8760	0.011	3.005 x10 <sup>-3</sup>	0.011
66	122.6	1,15	6.663 x10 <sup>-3</sup>	8760	43.867	1.241	43.874
67	42.7	1,15	2.226 x10 <sup>-3</sup>	8760	0.59	0.017	0.592

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

68	135.5	1,15	$7.364 \times 10^{-3}$	8760	48.483	1.371	48.49
69	174	1,15	$9.457 \times 10^{-3}$	8760	20.958	0.593	20.968
70	13.6	1,15	$7.243 \times 10^{-4}$	8760	0.255	$7.221 \times 10^{-3}$	0.256
71	43.5	1,15	$2.268 \times 10^{-3}$	8760	0.2	$5.665 \times 10^{-3}$	0.203
72	15	1,15	$8.152 \times 10^{-4}$	8760	0.282	$7.965 \times 10^{-3}$	0.282
73	100	1,15	$5.435 \times 10^{-3}$	8760	12.045	0.341	12.05
74	26.5	1,15	$1.411 \times 10^{-3}$	8760	1.69	0.048	1.691
75	13.8	1,15	$7.535 \times 10^{-4}$	8760	0.587	0.017	0.587
76	75.5	1,15	$4.021 \times 10^{-3}$	8760	1.043	0.029	1.047
77	12	1,15	$6.552 \times 10^{-4}$	8760	0.34	$9.618 \times 10^{-3}$	0.341
78	60	1,15	$3.195 \times 10^{-3}$	8760	1.127	0.032	1.13
79	16	1,15	$8.736 \times 10^{-4}$	8760	0.074	$2.084 \times 10^{-3}$	0.075
80	20	1,15	$1.065 \times 10^{-3}$	8760	0.376	0.011	0.377
81	82	1,15	$4.477 \times 10^{-3}$	8760	1.54	0.044	1.544
82	26	1,15	$1.385 \times 10^{-3}$	8760	0.359	0.01	0.361
83	70	1,15	$3.822 \times 10^{-3}$	8760	0.967	0.027	0.971
84	168	1,15	$9.131 \times 10^{-3}$	8760	7.142	0.202	7.151
85	50.7	1,15	$2.643 \times 10^{-3}$	8760	2.155	0.061	2.158
86	58	1,15	$3.152 \times 10^{-3}$	8760	1.089	0.031	1.092
87	98.5	1,15	$5.135 \times 10^{-3}$	8760	35.244	0.997	35.249
88	15.5	1,15	$8.424 \times 10^{-4}$	8760	0.659	0.019	0.66
89	27.3	1,15	$1.484 \times 10^{-3}$	8760	0.774	0.022	0.775
90	14.6	1,15	$7.972 \times 10^{-4}$	8760	0.202	$5.704 \times 10^{-3}$	0.203
91	55.7	1,15	$2.904 \times 10^{-3}$	8760	2.235	0.063	2.238
92	8	1,15	$4.368 \times 10^{-4}$	8760	0.227	$6.412 \times 10^{-3}$	0.227
93	148	1,15	$8.044 \times 10^{-3}$	8760	2.779	0.079	2.787
94	31	1,15	$1.654 \times 10^{-3}$	8760	0.879	0.025	0.88

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

95	130.7	1,15	$7.103 \times 10^{-3}$	8760	0.602	0.017	0.609
96	102.2	1,15	$5.277 \times 10^{-3}$	8760	27.154	0.768	27.16
97	31	1,15	$1.633 \times 10^{-3}$	8760	0.582	0.016	0.584
98	57.7	1,15	$3.008 \times 10^{-3}$	8760	2.453	0.069	2.456
99	185.5	1,15	$9.77 \times 10^{-3}$	8760	49.287	1.394	49.297
100	211	1,15	0.011	8760	56.062	1.585	56.073
101	89.4	1,15	$4.761 \times 10^{-3}$	8760	2.534	0.072	2.538
102	67	1,15	$3.641 \times 10^{-3}$	8760	1.258	0.036	1.262
103	3	1,15	$1.564 \times 10^{-4}$	8760	0.041	$1.172 \times 10^{-3}$	0.042
104	245.5	1,15	0.013	8760	3.392	0.096	3.405
105	148.8	1,15	$7.925 \times 10^{-3}$	8760	39.536	1.118	39.544
106	66	1,15	$3.515 \times 10^{-3}$	8760	2.806	0.079	2.809
107	20	1,15	$1.092 \times 10^{-3}$	8760	0.276	$7.814 \times 10^{-3}$	0.277
108	30	1,15	$1.598 \times 10^{-3}$	8760	0.85	0.024	0.852
109	57	1,15	$3.112 \times 10^{-3}$	8760	1.07	0.03	1.073
110	8.5	1,15	$4.527 \times 10^{-4}$	8760	2.258	0.064	2.259
111	37	1,15	$2.02 \times 10^{-3}$	8760	1.049	0.03	1.051
112	39.7	1,15	$2.114 \times 10^{-3}$	8760	10.548	0.298	10.55
113	43	1,15	$2.348 \times 10^{-3}$	8760	1.219	0.034	1.221
114	12	1,15	$6.522 \times 10^{-4}$	8760	3.188	0.09	3.189
115	137.4	1,15	$7.163 \times 10^{-3}$	8760	5.841	0.165	5.848
116	7.1	1,15	$3.859 \times 10^{-4}$	8760	0.201	$5.69 \times 10^{-3}$	0.202
117	44.6	1,15	$2.325 \times 10^{-3}$	8760	1.264	0.036	1.266
118	4	1,15	$0.174 \times 10^{-4}$	8760	0.075	$2.124 \times 10^{-3}$	0.075
119	70	1,15	$3.804 \times 10^{-3}$	8760	1.314	0.037	1.318
120	61.5	1,15	$3.358 \times 10^{-3}$	8760	16.34	0.462	16.344
121	52.8	1,15	$2.752 \times 10^{-3}$	8760	1.496	0.042	1.499

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

122	63.8	1,15	$3.484 \times 10^{-3}$	8760	0.881	0.025	0.885
123	61.7	1,15	$3.353 \times 10^{-3}$	8760	11.585	0.328	11.588
124	33	1,15	$1.761 \times 10^{-3}$	8760	0.935	0.026	0.937
125	75.5	1,15	$4.103 \times 10^{-3}$	8760	14.176	0.401	14.18
126	26.9	1,15	$1.389 \times 10^{-3}$	8760	0.372	0.011	0.373
127	74	1,15	$3.898 \times 10^{-3}$	8760	4.719	0.133	4.723
128	3.5	1,15	$1.825 \times 10^{-4}$	8760	0.149	$4.208 \times 10^{-3}$	0.149
129	39.5	1,15	$2.08 \times 10^{-3}$	8760	0.742	0.021	0.744
130	10.1	1,15	$5.265 \times 10^{-4}$	8760	0.286	$8.095 \times 10^{-3}$	0.287
131	12.5	1,15	$6.657 \times 10^{-4}$	8760	0.354	0.01	0.355
132	29.1	1,15	$1.582 \times 10^{-3}$	8760	0.825	0.023	0.826
133	23.4	1,15	$1.22 \times 10^{-3}$	8760	0.439	0.012	0.441
134	14.5	1,15	$7.881 \times 10^{-4}$	8760	0.067	$1.888 \times 10^{-3}$	0.068
135	24.6	1,15	$1.31 \times 10^{-3}$	8760	0.113	$3.204 \times 10^{-3}$	0.115
136	15.1	1,15	$8.207 \times 10^{-4}$	8760	0.209	$5.9 \times 10^{-3}$	0.209
137	13.5	1,15	$7.037 \times 10^{-4}$	8760	0.062	$1.758 \times 10^{-3}$	0.063
138	22	1,15	$1.196 \times 10^{-3}$	8760	0.101	$2.865 \times 10^{-3}$	0.103
139	28.5	1,15	$1.549 \times 10^{-3}$	8760	0.131	$3.712 \times 10^{-3}$	0.133
140	15	1,15	$7.988 \times 10^{-4}$	8760	0.074	$2.104 \times 10^{-3}$	0.075
141	15.8	1,15	$8.236 \times 10^{-4}$	8760	0.034	$9.497 \times 10^{-3}$	0.034
142	21.9	1,15	$1.19 \times 10^{-3}$	8760	0.101	$2.852 \times 10^{-3}$	0.102
143	16.8	1,15	$9.131 \times 10^{-4}$	8760	0.077	$2.188 \times 10^{-3}$	0.078
144	20	1,15	$1.067 \times 10^{-3}$	8760	0.276	$7.814 \times 10^{-3}$	0.277
145	5.8	1,15	$3.152 \times 10^{-4}$	8760	0.029	$8.135 \times 10^{-3}$	0.029
146	36	1,15	$1.957 \times 10^{-3}$	8760	0.497	0.014	0.499
147	152	1,15	$7.924 \times 10^{-3}$	8760	18.308	0.518	18.316
148	33.2	1,15	$1.804 \times 10^{-3}$	8760	0.941	0.027	0.943

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

149	119	1,15	$6.468 \times 10^{-3}$	8760	104.333	0.405	14.34
150	39.4	1,15	$2.098 \times 10^{-3}$	8760	2.512	0.071	2.515
151	100	1,15	$5.213 \times 10^{-3}$	8760	12.045	0.341	12.05
152	136.5	1,15	$7.419 \times 10^{-3}$	8760	0.677	0.019	0.684
153	4	1,15	$2.174 \times 10^{-4}$	8760	$8.502 \times 10^{-3}$	$2.404 \times 10^{-3}$	$8.72 \times 10^{-3}$
154	42	1,15	$2.241 \times 10^{-3}$	8760	0.208	$5.891 \times 10^{-3}$	0.211
155	11.5	1,15	$6.25 \times 10^{-4}$	8760	0.024	$6.913 \times 10^{-3}$	0.025
156	87.5	1,15	$4.756 \times 10^{-3}$	8760	10.539	0.298	10.544
157	47	1,15	$2.45 \times 10^{-3}$	8760	1.332	0.038	1.334
158	6.3	1,15	$3.424 \times 10^{-4}$	8760	0.031	$8.836 \times 10^{-4}$	0.032
159	40	1,15	$2.174 \times 10^{-3}$	8760	0.751	0.021	0.753
160	11	1,15	$5.858 \times 10^{-4}$	8760	0.152	$4.298 \times 10^{-3}$	0.153
161	94	1,15	$4.9 \times 10^{-3}$	8760	1.299	0.037	1.304
162	9	1,15	$4.891 \times 10^{-4}$	8760	0.041	$1.172 \times 10^{-3}$	0.042
163	53	1,15	$2.88 \times 10^{-3}$	8760	0.263	$7.434 \times 10^{-3}$	0.266
164	100	1,15	$5.336 \times 10^{-3}$	8760	9.565	0.27	9.57
165	84	1,15	$4.565 \times 10^{-3}$	8760	5.356	0.151	5.361
166	15	1,15	$8.152 \times 10^{-4}$	8760	0.957	0.027	0.957
167	14	1,15	$7.298 \times 10^{-4}$	8760	0.595	0.017	0.596
168	43	1,15	$2.337 \times 10^{-3}$	8760	0.213	$6.031 \times 10^{-3}$	0.216
169	73.6	1,15	$4 \times 10^{-3}$	8760	2.086	0.059	2.09
170	42.6	1,15	$2.269 \times 10^{-3}$	8760	0.589	0.017	0.591
171	14	1,15	$7.456 \times 10^{-4}$	8760	0.397	0.011	0.398
Σ	93.8	1,15	$4.89 \times 10^{-3}$	8760	56.491	1.598	56.496

Расчет приведен в приложении В.

## 7 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

## 7.1 Выбор котлов.

Для определения тепловой нагрузки котельной необходимо учесть тепловую нагрузку на отопление, горячее водоснабжение и потери.

$$\sum Q_{\text{отmax}} + Q_{\text{гвс}} + Q_{\text{пот}} = Q_{\text{котельной}} \quad (18)$$

$$32,46 + 3,96 + 2,45 = 38,87$$

По полученному значению выбираем котел марки ДКВР 20-13.

Котел ДКВР 20-13 предназначен для отопительно-производственных котельных и энергетических установок.

Котлы ДКВР 20-13 комплектуется горелками ГМГ для сжигания газа и мазута, топками системы Шершнева - для сжигания фрезерного торфа, системы Померанцева - для сжигания древесных отходов, топками ЗП-РПК, ТЧЗМ, ТЛЗМ - для сжигания углей.

Пример условного обозначения котла ДКВР 20-13:

ДКВР - двухбарабанный котел вертикально-водотрубный;

20 - производительность пара т/ч;

13 - рабочее давление пара кгс/см<sup>2</sup>;

Таблица 10 - Технические характеристики ДКВР-20-13

Показатель	Значение
Паропроизводительность, т/ч	20
Рабочее давление (избыточное), кгс/см <sup>2</sup>	13/23
Поверхность нагрева экранов, м <sup>2</sup>	59,7
Поверхность нагрева пучка, м <sup>2</sup>	301
Общая поверхность нагрева котла, м <sup>2</sup>	360,7

Продолжение таблицы 10

Водяной объем котла, м <sup>3</sup>	10,5
-------------------------------------	------

Паровой объем котла, м <sup>3</sup>	1,8
Внутренний диаметр барабанов, мм	1000
Запас воды по предельным уровням водоуказательного прибора, м <sup>3</sup>	0,45
Толщина стенки барабанов, мм	13
Общее количество труб конвективного пучка, шт	872
Габариты котла, мм	10665*3160*6330
Масса котла, кг	43685

## 7.2 Расчет циклона

1. Определяется расход газов, при котором обеспечиваются оптимальные условия работы циклонного элемента, м<sup>3</sup>/с:

$$q_{\text{опт}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot \omega_{\text{опт}} ; \quad (19)$$

где  $\omega_{\text{опт}}$  — оптимальная скорость потока в элементе, м/с;

$D$  — внутренний диаметр элемента, м.

$$q_{\text{опт}} = 0,785 \cdot 0,254^2 \cdot 4,5 = 0,23 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Число циклонных элементов, необходимое для оптимальных условий работы батарейного циклона:

$$n_{\text{опт}} = \frac{Q}{q_{\text{опт}}} ; \quad (20)$$

где  $Q$  — общий расход газа, м<sup>3</sup>/с.

$$n_{\text{опт}} = \frac{11,22}{0,23} = 48,78.$$

Подбираем батарейный циклон с ближайшим к  $n_{\text{опт}}$  количеством циклонных элементов  $n$ . Число элементов выбранного батарейного циклона  $n$  желательно выбрать таким, чтобы оно не более чем на 10% отличалось от  $n_{\text{опт}}$ . [7]

$$n = 50.$$

Выбираем циклон ЦБ-254Р-25.

Далее определяют действительную скорость потока в элементе  $\omega$ , м/с:

$$\omega = \frac{Q}{n \cdot 0,785 \cdot D^2}; \quad (21)$$

$$\omega = \frac{11,22}{50 \cdot 0,785 \cdot 0,254^2} = 4,43 \text{ м/с.}$$

### 7.3 Описание нового циклона

Батарейные циклоны ЦБ-254Р предназначены для сухой очистки от пыли дымовых газов котельных и других технологических газов, а также аспирационного воздуха. Общепромышленное применение.

Пример условного обозначения ЦБ-254Р-25:

- ЦБ – циклон батарейный;
- 254 – внутренний диаметр цилиндрической части циклонных элементов, мм;
- Р – направляющий аппарат типа «розетка»;
- 25 – количество циклонных элементов в аппарате.

#### 3.6.1 Технические характеристики:

- Температура очищаемого газа – не более 400 °С;
- Эффективность очистки от пыли ( $\delta_{50} = 20$  мкм,  $\sigma = 3 - 3,5$ ,  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>) составляет 85%, при среднерасходной скорости 4,5 м/с;
- Производительность по газу, м<sup>3</sup>/ч, при  $V_{\text{ц}} = 4,5$  м/с = 20580;

- Масса 3630 кг.[1]
- Максимальное давление (разряжение) = 10 кПа

Максимальная концентрация пыли в очищаемом газе:

- для неслипающейся и слабослипающейся пыли = 400 г/м<sup>3</sup>;
- для сильнослипающейся пыли = 100 г/м<sup>3</sup>.

#### **7.4 Особенности конструкции**

- Внутренний диаметр цилиндрической части циклонного элемента 254 мм.

- Количество циклонных элементов в секции – 25,30,40,50,60,80.
- Количество секций – 1, при необходимости очистки большого объема газов в составе установки могут быть использованы несколько секций.

Материал аппарата: корпуса циклонных элементов изготавливаются из серого чугуна; выхлопные трубы элементов и корпус аппарата – из углеродистой стали.

- Форма выходной камеры – ступенчатая
- Форма бункера – пирамидальная. [8]

## 8 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Эффективность вложения капитала в тот или иной инвестиционный проект в условиях рыночной экономики решает условие финансовой устойчивости предприятия. Так как капитальные вложения всегда ограничены финансовыми возможностями предприятия, а время для достижения результата нет, возникает необходимость планирования инвестиционных решений и оценки экономической эффективности в результате разработки инвестиционного проекта. Инвестиционный проект – заключается в обосновании экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, в том числе формируется проектная документация, разработанная в соответствии законодательством Российской Федерации и утвержденными в установленном порядке стандартами (нормами и правилами), а также производится описание практических действий по осуществлению инвестиций (бизнес-план) [1].

В данной выпускной квалификационной работе осуществляется замена устаревшего оборудования для очистки отходящих газов на современное, на котельной 74 квартала города Благовещенск Амурской области.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- 1 расчет капитальных вложений в тепловые сети;
- 2 расчет затрат на эксплуатацию объекта;
- 3 расчет окупаемости проекта;
- 4 определение жизненного цикла проекта и графика его реализации.

### **8.1 Капитальные вложения в тепловые сети**

Рассчитаем капитальные вложения и приведем сметную стоимость тепломеханического оборудования, а также стоимость тепловой сети. В сметной стоимости приведены цены 2018 года. Сметная стоимость оборудования представлена в виде таблицы 11.

Таблица 11 – Сметная стоимость теплотехнического оборудования.

Элемент сети	Кол-во, шт	Стоимость, руб.	Кт, руб.
ДКВР 20 - 13	1	1 045 381	1 045 381
ЦБ – 254Р - 25	3	536 529	1 609 587
Итого			2 654 968

Капитальные вложения в теплотехническое оборудование определяются суммированием сметной стоимости оборудования, строительных и монтажных работ:

$$K_{\Sigma кот} = K_{обор.к} + K_{ср.к} + K_{мр.к}; \quad (22)$$

где  $K_{обор.к}$  – сметная стоимость оборудования без учета строительно-монтажных работ, тыс. руб;

$K_{ср.к}$  – строительные работы, тыс. руб.;

$K_{мр.к}$  – монтажные работы, тыс. руб.

По определенной ранее общей стоимости оборудования можно определить неизвестные слагаемые формулы и определить общую величину капитальных вложений теплотехническое оборудование:

$$K_{\Sigma кот} = 2654968 + 1200000 + 700000 = 4554968, \text{ руб.}$$

Суммарные капитальные вложения в данный проект составят:

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma кот} \cdot K_{тр}, \quad (23)$$

где  $K_{тр}$  – коэффициент учитывающий транспортировку и доставку оборудования (принимаем  $k_{тр} = 1,2$ ) [1].

$$K_{\Sigma} = 4554968 \cdot 1,2 = 5465961,6 \text{ руб.}$$

## 8.2 Расчет амортизационных отчислений

Амортизация – постепенное перенесение стоимости основных капитальных вложений на производимые с их помощью продукт или работу. Цель амортизации – накопление финансовых средств для возмещения изношенных основных фондов.

Амортизационные отчисления – денежное выражение стоимости основных фондов в себестоимости продукции.

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$I_{ам} = \sum K_i \cdot \alpha_{ам.i} \quad (24)$$

где  $\alpha_{ам.i}$  – ежегодные нормы отчислений на амортизацию для  $i$ -го вида основных средств.

Ежегодные нормы отчислений на амортизацию определяются по формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{T_{сл}}, \quad (25)$$

где  $T_{сл}$  – срок службы соответствующего оборудования, или амортизационный период.

Амортизационный период – срок полного погашения стоимости средств производства за счет амортизационных отчислений

Рассчитаем амортизационные отчисления для котла:

Ежегодные нормы отчислений на амортизацию определяются по формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{30} = 0,033;$$

где  $T_{сл} = 30$ , [1].

По формуле (28) находится амортизационные отчисления:

$$I_{ам} = 1\,045\,381 \cdot 0,033 = 34497,57 \text{ руб.};$$

где  $\Sigma K_i = 1\,045\,381$ , рублей.

Рассчитаем амортизационные отчисления для циклона:

Ежегодные нормы отчислений на амортизацию определяются по формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{30} = 0,033;$$

где  $T_{сл} = 30$ , [1].

По формуле (28) находится амортизационные отчисления:

$$I_{ам} = 1\,609\,587 \cdot 0,033 = 53116,37 \text{ руб.};$$

где  $\Sigma K_i = 1\,609\,587$  рублей.

Ниже приведен расчет в таблицу 12, в которой сведены амортизационные отчисления оборудования котельной.

Таблица 12 – Амортизационные отчисления оборудования котельной

Наименования оборудования	Срок службы $T_{сл}$	Ежегодные нормы отчисления на амортизацию $\alpha_{iам}$	Капитальные вложения оборудования $K_i$ , руб.	Амортизационные отчисления $I_{ам}$ , руб.
Котел	30	0,033	1 045 381	34 497,57
Батарейный циклон	30	0,033	1 609 587	53 116,37

Определим суммарные амортизационные отчисления котельной:

$$I_{\Sigma am} = 34497,57 + 53116,37 = 87613,94 \text{ руб.}$$

### 8.3 Расчет эксплуатационных затрат

В результате износа и старения деталей и элементов технических устройств возникают изменения в их параметрах и техническом состоянии, появляется вероятность их отказа. В отличие от других видов промышленного оборудования, авария и выход из строя электротехнического оборудования и передаточных устройств не только имеют важное самостоятельное значение, но и способны вызывать длительные перерывы в электроснабжении, что может привести к значительному экономическому и социальному ущербу у потребителей.

Виды ремонтного воздействия: техническое обслуживание (ТО), капитальный ремонт (КР), текущий ремонт (ТР).

В связи с необходимостью проведения планово-предупредительных ремонтов необходимо планировать затраты на ремонт, которые можно определять на прединвестиционной фазе по показателям СО 34.20.611-2003 «Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств электростанций».

Ежегодные затраты на КР и ТР, а также ТО энергетического оборудования определяются по формуле:

$$I_{\text{экс}} = \sum K_i \cdot \alpha_{\text{экс},i}; \quad (26)$$

где  $\alpha_{\text{экс},i}$  – норма ежегодных отчислений на эксплуатацию, ТР и ТО;

$K_i$  – капиталовложения или балансовая стоимость основных фондов;

Ежегодные затраты на КР и ТР, а также ТО котла определяются по формуле (30):

$$I_{\text{экс}} = 1\,045\,381 \cdot 0,021 = 21\,953, \text{ руб.};$$

где  $\alpha_{\text{экс.}i} = 0,021$ . [1];

$K_i = 1\,045\,381$ , руб.

Ежегодные затраты на КР и ТР, а также ТО циклона определяются по формуле (30):

$$I_{\text{экс}} = 1\,609\,587 \cdot 0,021 = 33801,33, \text{ руб.};$$

где  $\alpha_{\text{экс.}i} = 0,021$ . [1];

$K_i = 1\,609\,587$ , руб.

Далее в таблицу 13 сведем эксплуатационные затраты на оборудования котельной.

Таблица 13 – Эксплуатационные затраты на оборудования котельной

Наименования оборудования	норма ежегодных отчислений на эксплуатацию, ТР и ТО $\alpha_{i_{\text{экс}}}$	Капитальные вложения оборудования $K_i$ , руб.	Эксплуатационные издержки $I_{i_{\text{экс}}}$ , руб.
Котел	0,021	1 045 381	21 953
Тепловые сети	0,021	1 609 587	33 801,33

Определим суммарные эксплуатационные издержки котельной:

$$I_{\text{экс}} = 21953 + 33801,33 = 55754,33, \text{ руб.}$$

#### 8.4 Расчет издержек на топливо

Затраты на топливо с учетом потерь при транспортировке определяются последующему выражению:

$$I_m = B_{\text{усл}} \cdot (1 + \alpha_n) \cdot T_m, \quad (27)$$

где  $V_{\text{усл}}$  – годовой расход условного топлива, т у.т. [1];

$\alpha_n$  – коэффициент учитывающий потери топлива при транспортировке в пределах норм естественной убыли (для котельных  $\alpha_n = 2 \%$ );

$T_m$  – цена топлива с учетом транспортных расходов ( $T_m = 2000$  руб. за т.).

Расход условного топлива на регулируемый период определяется исходя из удельной нормы расхода условного топлива на выработку 1 Гкал и выработки тепловой энергии:

$$V_{\text{усл}} = Q_{\text{выр}} \cdot v \cdot 10^{-3} \quad (28)$$

где  $Q_{\text{выр}}$  – годовая выработка тепловой энергии, Гкал;

$v$  – удельная норма расхода условного топлива на выработку тепловой энергии, кг у.т./Гкал.

Удельную норму расхода условного топлива вычисляют по формуле:

$$v = \frac{142,86 \cdot 100 \%}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бp}}} \quad (29)$$

где  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бp}}$  – КПД брутто котлоагрегата (89 %).

Общий КПД котлоагрегата с учетом КПД экономайзера находится по формуле:

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бp}} = \eta_{\text{к}}^{\text{бp}} + \eta_{\text{эк}}^{\text{бp}}; \quad (30)$$

где  $\eta_{\text{эк}}^{\text{бp}}$  – КПД брутто экономайзера (5 %).

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бp}} = 89 + 5 = 94 \%;$$

$$\epsilon = \frac{142,86 \cdot 100 \%}{94} = 151,98 \text{ кг у.т./Гкал};$$

$$B_{\text{усл}} = 99630 \cdot 151,98 \cdot 10^{-3} = 15141,77 \text{ т.у.т.}$$

$$I_m = 15141,77 \cdot (1 + 0,02) \cdot 2000 = 30889210,8 \text{ руб.}$$

### 8.5 Расчет затрат на воду

Расчет затрат на воду производится исходя из общего количества потребляемой воды на выработку тепловой энергии и цены 1 м<sup>3</sup> воды.

Общее количество воды на регулируемый период складывается из следующих расходов:

$$V = V_{\text{сет}} + V_{\text{подп}} + V_{\text{хоз.быт}} \quad (31)$$

где  $V$  – годовой расход воды, всего, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{сет}}$  – расход воды на наполнение трубопроводов тепловых сетей, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{подп}}$  – расход воды на подпитку системы теплоснабжения, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{хоз.быт}}$  – расход воды на хозяйственно-бытовые нужды котельной, м<sup>3</sup>.

Расход воды на наполнение трубопроводов тепловой сети определяется по формуле:

$$V_{\text{сет}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{д.и}} \cdot l_{\text{д.и}} \quad (32)$$

$$V_{\text{сет}} = \sum_{i=1}^{172} 12 \cdot 19,7 = 236,4 \text{ м}^3.$$

где  $V_{\partial,i}$  – удельный объем воды в трубопроводе  $i$ -го диаметра,  $\text{м}^3/\text{км}$ ;

$l_{\partial,i}$  – протяженность участка тепловой сети  $i$ -го диаметра,  $\text{км}$ ;

$n$  – количество участков сети,  $n = 172$ .

Количество подпиточной воды для восполнения потерь в системах и трубопроводах должно соответствовать величинам утечек. Норма утечки воды для закрытой системы теплоснабжения принимается равной 0,25 % в час от объема воды в трубопроводах тепловых сетей.

Годовой расход воды на подпитку составит:

$$V_{\text{подп}} = n_{\text{ут}} \cdot V_{\text{сет}} \cdot Z_{\text{подп}} \quad (33)$$

$$V_{\text{подп}} = 0,0025 \cdot 236,4 \cdot 5232 = 3092,1 \text{ м}^3.$$

где  $n_{\text{ут}}$  – норма утечки в один час,  $n_{\text{ут}} = 0,0025$ ;

$Z_{\text{подп}}$  – продолжительность периода подпитки,  $Z_{\text{подп}} = 5232$ , ч;

Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды котельной определяют по формуле:

$$V_{\text{хоз.быт}} = (a_{\partial} \cdot N_{\partial} \cdot K_{\partial} \cdot a \cdot M) \cdot Z; \quad (34)$$

где  $a_{\partial}$  – норма расхода воды на одну душевую сетку,  $a_{\partial} = 0,5$ ,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$N_{\partial}$  – количество душевых сеток,  $N_{\partial} = 1$ ;

$K_{\partial}$  – коэффициент использования душевых,  $K_{\partial} = 0,4$ ;

$a$  – бытовые нужды котельной,  $a = 0,2$ ,  $\text{м}^3/\text{чел.сут}$ ;

$M$  – численность работающих в сутки,  $M = 40$  чел.;

$Z$  – продолжительность работы котельной в регулируемом периоде,  $Z = 218$ , сут.

$$V_{\text{хоз.быт}} = (0,5 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,2 \cdot 40) \cdot 218 = 348,8 \text{ м}^3.$$

Общее количество воды на регулируемый период находится по формуле (35):

$$V = 236,4 + 3092,1 + 348,8 = 3677,3, \text{ м}^3.$$

Затраты на воду определяются:

$$I_{\text{в}} = V \cdot T_{\text{в}}, \quad (35)$$

где  $T_{\text{в}}$  – тариф на воду по данным МУП «ГРОДБЛАГСЕРВИС» (принимая равным  $T_{\text{в}} = 27,6 \text{ руб/м}^3$ ).

$$I_{\text{в}} = 3677,3 \cdot 27,6 = 101493,48, \text{ руб.}$$

## 8.6 Расчет затрат на электроэнергию

Расчет затрат на электроэнергию производится исходя из расхода электроэнергии на выработку тепловой энергии и тарифа на электроэнергию:

$$I_{\text{эл}} = W_{\text{эл}} \cdot T_{\text{эл}}; \quad (36)$$

где  $W_{\text{эл}}$  – годовой расход на электроэнергию, кВт/ч;

$T_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию (принимая равным  $T_{\text{эл}} = 3,52 \text{ руб/(кВт/ч)}$ ).

Расход электроэнергии котельной определяют по формуле:

$$W_{\text{эл}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i \cdot \kappa_u; \quad (37)$$

где  $P_i$  – номинальная (паспортная) мощность  $i$ -го электродвигателя, кВт;

$T_i$  – полезное время работы  $i$ -го оборудования, ч;

$k_i$  – коэффициент загрузки  $i$ -го оборудования.

Для примера рассчитаем расход электроэнергии дымососа по формуле (42):

$$W_{эл} = 75 \cdot 5232 \cdot 0,7 = 274680 \text{ кВт/ч.}$$

Расчет электроэнергии для освещения помещений котельной определяется по формуле:

$$W_{осв} = \sum_{i=1}^n N_{осв.i} \cdot Z_{m.i}; \quad (38)$$

где  $N_{осв.i}$  – мощность  $i$ -го установленного светильника, = 30 кВт;

$Z_{m.i}$  – число часов использования осветительного максимума  $i$ -го светильника в регулируемом периоде, = 5232, ч;

$n$  – количество светильников,  $n = 30$ .

$$W_{осв} = \sum_{i=1}^{30} 30 \cdot 5232 = 156960.$$

Для остального оборудования данные представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Годовое потребление электроэнергии оборудования

Наименование оборудования	Количество	Номинальная мощность электродвигателя, кВт	Годовой расход электроэнергии, кВт·ч
1	2	3	4
Дымосос Д 13,5	2	55	201 432

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4
Дымосос Д 13,5	1	75	274 680
Дутьевой вентилятор ВДН 12,5	3	22	80 572,8
Насос сетевой Д 630/90	2	250	915 600
Насос сетевой 8 НДВ	2	250	915 600
Насос подпиточный К 45/30	2	7,5	27 468
Насос подпиточный ЦНСГ 38/44	1	5,5	20 143,2
Насос подпиточный WILO VL 40/270- 22/2	1	22	80 572,8
Насос питательный ЦНСГ 38-132	3	45	164 808
Освещение			156 960
$W_{эл}$			274 680

Определим затраты на электроэнергию:

$$I_{эл} = 274680 \cdot 3,52 = 966873,6, \text{ руб.}$$

### 8.7 Расчет численности рабочих

Важнейшей задачей планирования численности работников является определение обоснованной потребности в кадрах для обеспечения ритмичного производственного процесса и выполнения производственных заданий.

При планировании численности работников на предприятии руководствуются следующими принципами:

1) соответствие численности и квалификации работников объему запланированных работ и их сложности;

2) обусловленность структуры персонала предприятия объективными факторами производства;

3) максимальная эффективность использования рабочего времени;

4) создание условий для повышения квалификации и расширения производственного профиля работников.

Штатная численность персонала на электростанции складывается из численности следующих работников: рабочие, инженерно-технические работники (ИТР).

К числу рабочих относят персонал, занятый непосредственно ремонтом, эксплуатацией и обслуживанием теплотехнического и электротехнического оборудования.

Инженерно-технические работники – это работники, занимающиеся организацией проведения ремонтно-эксплуатационных работ, а также информационно-техническим обслуживанием предприятия. [1]

Численность персонала котельной определяется по нормативам численности промышленно-производственного персонала котельных.

Произведем расчет численности персонала котельной, опираясь на нормативные значения численности рабочих, взятых со справочников [1], и отобразим все данные в таблице 15.

Таблица 15 – Штатная численность рабочих на предприятии

Персонал	Численность персонала
1	2
Начальник	1
Мастер по эксплуатации и ремонту оборудования котельной и тепловых сетей	1
Бригадир	1
Слесарь по ремонту оборудования	4
Электрик	4

Машинист котлоагрегата	12
Инженер по КИП и А	1
Обслуживающий персонал станций водоподготовки	3
Водители бульдозеров	4
Водители автопогрузчиков	1
Рабочие складов твердого и жидкого топлива	1
Рабочие топливоподачи и золошлакоудаления	4
Электросварщик	2
Уборщица	1
Итого	40 человек

### 8.8 Расчет затрат на оплату труда персонала котельной

Поскольку реальные данные о заработной плате по предприятию отсутствуют, воспользуемся статистической отчетностью федеральных организаций статистики. В этом случае в целом по предприятию годовой фонд заработной платы может быть определен по формуле ниже:

$$\Phi ЗП_{год} = N_{раб} \cdot 12 \cdot ЗП_{ср.зн}, \quad (39)$$

где  $ЗП_{ср.зн}$  – среднемесячная заработная плата, руб.;

$N_{раб}$  – численность работников предприятия, чел.

$ЗП_{ср} = 39\,635$ , руб. (по данным Амурстата).

$$\Phi ЗП_{год} = 40 \cdot 12 \cdot 39\,635 = 19\,024\,800, \text{ руб.}$$

## **8.9 Расчет налога на социальные нужды и медицинское страхование**

Элемент «Налог на социальные нужды» отражает все обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, Пенсионного фонда и обязательного медицинского страхования. Они начисляются с сумм затрат организации на оплату труда работников, которые были включены в себестоимость продукции (работ, услуг) (по элементу «Затраты на оплату труда»). На отдельные виды оплаты труда страховые взносы не начисляются (такие виды выплат оговариваются в нормативных документах).

Для исчисления единого социального налога и взноса на обязательное пенсионное страхование объектом налогообложения для работодателей являются:

- выплаты по трудовым договорам;
- вознаграждения в пользу физических лиц по гражданско-правовым договорам, предметом которых является выполнение работ, оказание услуг, а также по авторским договорам.

Ставки налогов и их распределение определяются статьей 241 НК РФ.

Обычный размер ставки на 2018 составляет 20 %.

ЕСН вычисляется по следующему выражению:

$$СНuMC = 0.2 \cdot \PhiЗП_{год}; \quad (40)$$

$$СНuMC = 0,2 \cdot 19024800 = 3804960, \text{ руб.}$$

## **8.10 Расчет прочих затрат**

По найденным выше значениям издержек, годового фонда заработной платы и ЕСН определяются прочие затраты:

$$I_{np} = 0,3 \cdot (I_{ам} + I_{экс} + I_{г} + I_{эл} + I_{м} + CHuMC + \PhiЗП_{год}) + 0,03 \cdot K_{\Sigma}; \quad (41)$$

$$I_{np} = 0,3 \cdot (87613,94 + 55754,33 + 101493,48 + 966873,6 + 30889210,8 + . \\ + 3804960 + 19024800) + 0,03 \cdot 5465961,6 = 16643190,8 \text{ руб.}$$

Суммарные издержки находятся по формуле:

$$I_{\Sigma} = I_{ам} + I_{экс} + I_{г} + I_{эл} + I_{м} + \PhiЗП_{год} + CHuMC + I_{IP}; \quad (42)$$

Определим сумму всех затрат:

$$I_{\Sigma} = 87613,94 + 55754,33 + 101493,48 + 966873,6 + 30889210,8 + \\ + 3804960 + 19024800 + 16643190,8 = 71573897, \text{ руб.}$$

### **8.11 Оценка экономической эффективности проекта**

Оценка экономической эффективности проекта предназначена для того, чтобы сделать вывод о целесообразности внедрения предложенного варианта или спроектированного объекта и т.п., т.е. дать экономическое обоснование выбранного варианта. Для этого проводят экономическую оценку по следующим методам:

Простая норма прибыли (ПНП) или простая норма рентабельности определяется по характерному году расчетного периода, когда достигнут проектный уровень производства, но еще продолжается возврат инвестиционного капитала.

Расчетный период – это период, в течение которого инвестор планирует отдачу от первоначального вложенного капитала, и обычно принимается равным сроку службы наиболее важной части основного капитала.

Простой срок окупаемости представляет собой период, в течение которого сумма чистых доходов покрывает инвестиции.

Определение срока окупаемости капитальных вложений производится последовательным суммированием величины чистого дохода в стабильных ценах (без учета инфляции) по годам расчетного периода до того момента, пока полученная сумма не сравняется с величиной суммарных капитальных вложений.

Чистый дисконтированный доход относится к интегральным (динамическим) критериям оценки экономической эффективности инвестиций и оперирует с показателями работы проектируемых объектов по годам расчетного периода с учетом фактора времени.

ЧДД рассчитывается дисконтированием чистого потока платежей, который определяется как разность между притоками и оттоками денежных средств (без учета источников финансирования) [1].

Выручка с продажи тепловой энергии за год равна:

$$O_{pt} = Q_{\text{пол.отп}} \cdot T_k^m ; \quad (43)$$

где  $T_k^m$  – тариф на тепловую энергию по состоянию 2017 года,  
 $T_k^m = 3\,094,48$  руб/Гкал;

$Q_{\text{пол.отп}}$  – полезный отпуск в сеть,  $Q_{\text{пол.отп}} = 73172$  Гкал.

$$O_{pt} = 73172 \cdot 3094,48 = 226429291 \text{ руб.}$$

Прибыль от реализации тепловой энергии:

$$П = O_{pt} - I_{\Sigma} \quad (44)$$

$$П = 226429291 - 71573897 = 154855394 \text{ руб.}$$

Ставка налога на прибыль на 2018 год равен 20 % [20].

Налог на прибыль равен:

$$H_{\Pi} = \Pi \cdot 0,2; \quad (45)$$

$$H_{\Pi} = 154855394 \cdot 0,2 = 30971078.8 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль от реализации тепловой энергии равна:

$$\Pi_{\text{чист}} = \Pi - H_{\Pi} \quad (46)$$

$$\Pi_{\text{чист}} = 154855394 - 30971078.8 = 123884315 \text{ руб.}$$

## 8.12 Расчет и построение графика чистого дисконтированного дохода

Чистый дисконтированный доход рассчитывается дисконтированием чистого потока платежей  $\mathcal{E}_t$ , который определяется как разность между притоками и оттоками денежных средств (без учета источников финансирования):

$$\mathcal{E}_t = O_p - I_{\Sigma} - H_{\Pi} - K_{\Sigma}; \quad (47)$$

Чистый дисконтированный доход определяется:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^{T_p} \frac{O_p - I_{\Sigma} - H_{\Pi} - K_{\Sigma}}{(1+E)^t}, \quad (48)$$

где  $O_p$  – выручка от реализации проекта;

$K_{\Sigma}$  – суммарные капиталовложения в проект;

$I_{\Sigma}$  – полные эксплуатационные расходы;

$H_{\Pi}$  – отчисления налога на прибыль;

$E$  – норма дисконтирования (обычно принимают ставку рефинансирования ЦБ, однако для энергетических ИП рекомендуется принимать в размере ставки рефинансирования ЦБ, т.е.  $E = 12,5\%$ ), о.е. [1];

$T_p$  – расчетный период (для проектов в области теплоэнергетики составляет 30 лет).

Принимаем допущения:

1 строительство проекта осуществляется в течении двух лет, в неотопительный период;

2 получение прибыли осуществляется постепенно, равными долями и возможно с первого года.

Рассмотрим на примере первого года, остальные результаты расчета приведены в приложении Г:

$$ЧДД = \frac{\frac{1}{2} \cdot (-28\,701\,506,76) + (32\,145\,780 - 23\,875\,981,9 - 1\,653\,959,6)}{(1 + 0,125)^t} = 7\,735\,000$$

руб.

По полученным значениям ЧДД строится жизненный цикл проекта, представлен на рисунке 1. По графику видно, что проект окупается в течение 9 лет. Срок окупаемости – это есть тот момент времени, когда ЧДД переходит от отрицательных значений к положительным.

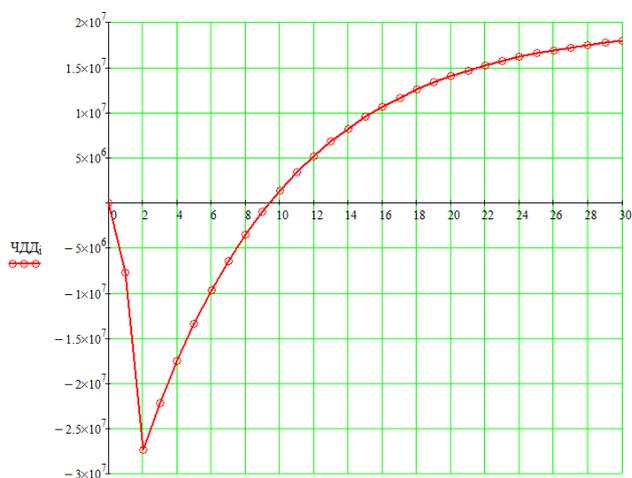


Рисунок 1 – Срок окупаемости проекта

## 9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 9.1 Безопасность

В котельной установлено оборудование, в котором протекающие процессы характеризуются высокой температурой и избыточным давлением (котлы, подогреватели, теплопроводы), а также электросиловое оборудование (насосы, щит управления).

В задачи охраны труда входит свести к минимуму вероятности поражения и заболевания работников с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности.

При работе в котельной существует ряд вредных и опасных факторов. В процессе эксплуатации трубопроводов систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения также могут возникнуть ситуации, обусловленные наличием опасных факторов.

Наиболее характерными опасными факторами при обслуживании котельной являются:

- возможность разрушения оборудования при превышении давления в нем выше допустимого;
- возможность термического ожога от горячих поверхностей оборудования, теплопроводов, арматуры;
- вероятность получения электрических травм в случае повреждения изоляции электрооборудования;
- вероятность получения механических травм при отсутствии соответствующих ограждений вращающихся частей оборудования.

К производственным вредностям при работе в котельной относятся: избыточные тепловыделения оборудования, повышенный уровень шума и вибрации, нерациональное освещение в помещениях котельной.

При обслуживании вспомогательного оборудования (дымососов, вентиляторов, насосов) рабочий может получить разного рода травмы при контакте с вращающимися частями.[9]

### 9.1.1 Обеспечение пожаро - и взрывобезопасности

Для предупреждения пожаров в котельной должна проводиться систематическая проверка состояния оборудования.

Помещение должно быть оснащено первичными средствами пожаротушения:

- должны быть установлены датчики термоконтроля, срабатывающие при температуре 70°C;
- должна быть установлена система пожаротушения, с давлением воды 0,6 МПа;
- должны быть выполнены и вывешены эвакуационные планы, установлены щиты пожарной безопасности с необходимыми средствами.

По обеспечению взрывобезопасности должны быть предусмотрены устройства технической защиты котла и контрольно-измерительные приборы.

Во избежание взрыва котла и разрушения газоходов должны применять следующие меры:

- должны осуществлять контроль на пульте управления котла с установкой звуковой и световой сигнализации;
- должны проводить вентилирование топки и газоходов перед пуском котла и газоходов после остановки котла в соответствии с правилами эксплуатации;
- должна быть установлена автоматика на линии, подающей воду в котел, чтобы при падении давления в магистрали производилось автоматическое отключение котла;
- своевременно должны производиться текущие и капитальные ремонты.

Во избежание взрыва котла в местах затрудненной циркуляции газов должны быть установлены откидные взрывные предохранительные клапаны.

### 9.1.2 Защита от термических ожогов

Мероприятия для предотвращения ожоговых травм в зонах обслуживания должно сводится к покрытию изоляционными материалами конструкций и трубопроводов с греющими теплоносителями. Изолировать необходимо только те поверхности оборудования и трубопроводов, которые находятся в непосредственной близости к рабочей зоне. В качестве тепловой изоляции должен использоваться вспененный полиуретан, покрытый снаружи защитным слоем. Конструкция основного и покровного слоя выбираем в зависимости от диаметра трубопроводов, размера оборудования, условий прокладки. Все эти мероприятия позволяют обеспечить температуру поверхности в пределах допустимой нормы (температура поверхности изоляции  $t_{п.из} \leq 45$  °С) и защитить обслуживающий персонал от тепловых ожогов.

#### 9.1.3 Профилактика механических травм

Получение механических травм обслуживающим персоналом котельной возможно от:

- вращающихся частей оборудования;
- неосторожного обращения с инструментом и приспособлениями при ручных работах.

Для предотвращения получения механических травм обслуживающим персоналом котельной должно быть предусмотрено:

- ограждение вращающихся частей оборудования;
- периодическая проверка знаний правил техники безопасности и правил технической эксплуатации обслуживающим персоналом.

#### 9.1.4 Обеспечение электробезопасности

Одно из важнейших требований электробезопасности – недопустимость случайного прикосновения человека к токоведущим частям электрооборудования. Для предотвращения этого электропроводка должна быть расположена в коробах, в котельной должны быть ограждены токоведущие части специальными заграждениями, кроме этого должны быть

установлены спецзнаки и нанесены соответствующие разметки в опасных местах.

В котельной электрооборудование находится под напряжением 380 В. В качестве заземлителя используют естественный заземлитель – фундамент.

#### 9.1.5 Защита от шума и вибрации

Для снижения шума в местах присоединения воздуховода к вентилятору используем мягкие вставки. Динамичное оборудование: вентиляторы, дымососы устанавливаем на отдельных фундаментах. В качестве индивидуальных средств защиты (СИЗ) должны применять наушники, ушные тампоны (беруши). Допустимый уровень шума 80 дБ.

Для ослабления вибраций кожухов ограждений и других деталей электродвигателей, выполняемых из стальных листов, применяем вибропоглощение, путем нанесения на вибрирующую поверхность слоя резины, которая рассеивает энергию вибрации, при этом снижается уровень производственного шума. В качестве амортизации вибраций должны быть использованы резиновые прокладки. Таким образом, для снижения вибрации проводим следующие мероприятия:

- применяем вибродемпфирование, т.е. процесс уменьшения вибрации путем превращения механической энергии в тепловую с помощью резины;
- уменьшение вращающихся сил путем балансировки вращающихся масс.[10, 11]

#### 9.1.6 Формирование микроклимата

Оптимальный микроклимат в помещении обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой, что создает для обслуживающего персонала комфорт и высокую трудоспособность. Достигается он уменьшением тепловыделений от оборудования, вентиляцией воздуха внутри помещений.

В котельной основным вредным фактором являются тепловыделения от энергетического оборудования. В связи с этим удаление вредностей производим при помощи общеобменной механической вентиляции.[12]

### 9.1.7 Освещение котельной

Для обеспечения нормальных условий труда все производственные помещения должны освещаться по соответствующим нормам.

Через оконные проемы в стенах осуществляется естественное освещение котельной. С внутренней стороны должен обеспечиваться свободный доступ к оконным проемам.

Ввиду того, что отдельные места в помещении котельной имеют недостаточную освещенность, а также учитывая круглосуточную и круглогодичную работу в котельной, предусматривается искусственное освещение. В труднодоступных местах должны быть переносные лампы, напряжение которых не превышает 24 В.

Для щита КиП и А предусматривается местное освещение.

Согласно минимальная освещенность рабочих мест составляет:

- тепловой щит, приборы – 300 лк;
- фронт котлов – 100 лк;
- лестницы, коридоры – 5 лк.

Аварийное освещение в обязательном порядке устанавливается в следующих местах:

- пульты управления и тепловые щиты;
- водоуказательные приборы;
- площадки и лестницы котлов.[13, 14]

## 9.2 Экологичность

Охрана окружающей среды на современном этапе развития общества является одной из актуальнейших проблем. Производство тепловой энергии на источниках теплоснабжения (ТЭЦ и котельных) имеет побочный эффект в виде выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

Основные выбросы — это твердые частицы золы, оксиды серы ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ). Если сгорание топлива прошло не полностью (а полное сгорание топлива — это только идеал), то в атмосферу выбрасываются такие вредные вещества, как угарный газ (CO), углеводороды

СН, и бенз(а)пирен  $C_{20}H_{12}$ . Это целый ряд химических соединений, которые оказывают негативное воздействие и на природу, и на человека. [15]

Мероприятия по охране окружающей среды предусматривают снижение вредных примесей, содержащихся в отработанных газах.

Для снижения предельно - допустимой концентрации вредных веществ в выбросах в атмосферу, которая показывает содержание в атмосферном воздухе вредных примесей, производится рассеивание выбросов с помощью трубы. [16]

### 9.2.1 Расчет выбросов твердых частиц

В случае сжигания твердого топлива в атмосферу будут выбрасываться твердые частицы (летучая зола и несгоревшее топливо). Суммарное количество твердых частиц, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котла, может быть определено по формуле, г/с:

$$M_{mv} = 0,01 \cdot B \cdot (\alpha_{yn} \cdot A^p + q_4 \cdot \frac{Q_n^p}{32,68}) \cdot (1 - \eta_3) \quad (49)$$

где  $B$  – расход топлива, кг/с;

$\alpha_{yn}$  – доля золы топлива, уносимой газами (подставляется в долях);

$A^p$  – зольность топлива, %;

$q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %;

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг;

$\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (может быть принята 75-85 %).

$$M_{mv} = 0,01 \cdot 1,288 \cdot (0,25 \cdot 8 + 5 \cdot \frac{16240}{32680}) \cdot (1 - 0,85) = 0,0087 \text{ кг/с.}$$

### 9.2.2 Расчет выбросов оксидов серы

Суммарное количество оксидов серы, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, вычисляют по формуле, г/с:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^P \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (50)$$

где  $S^P$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива в котле;

$\eta''_{SO_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе (для сухих золоуловителей  $\eta''_{SO_2} = 0$ ). [17, 18]

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 0,248 \cdot 0,80 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,015) = 0,0035 \text{ кг/с.}$$

### 9.2.3 Расчет выбросов оксида углерода

Расчет количества выбросов оксида углерода ведется по формуле, г/с:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot B \cdot Q_H^P \cdot K_{CO} \cdot (1 - 0,01 \cdot q_4); \quad (51)$$

где  $B$  – расход топлива, г/с;

$Q_H^P$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$K_{CO}$  – количество оксида углерода, образующееся на единицу тепла, выделяющегося при горении топлива, кг/ГДж;

$q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %.

$$M_{CO_2} = 0,001 \cdot 0,248 \cdot 3,717 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,6) = 0,00092 \text{ кг/с.}$$

### 9.2.4 Расчет выбросов оксидов азота

Количество выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  в пересчете на  $\text{NO}_2$  может быть рассчитано по формуле, г/с:

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot m \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot K_{\text{NO}_2} \cdot (1 - \beta) \quad (52)$$

где  $m$  - количество израсходованного топлива, т/год, (тыс.м<sup>3</sup>/год);

$Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$K_{\text{NO}_2}$  - параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на один ГДж тепла, кг/ГДж;

$\beta$  - коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений.

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 40,641 \cdot 16,24 \cdot 0,24 = 0,00003789 \text{ кг/с. [19, 20]}$$

#### 9.2.5 Определение минимальной высоты дымовой трубы

Дымовая труба устанавливается для рассеивания вредных выбросов в атмосфере и ее высота подбирается таким образом, чтобы концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы (на высоте 2 м от земли) не превышала ПДК на расстоянии 20 Н от трубы (Н – высота трубы).

Перед расчетом непосредственно самой высоты дымовой трубы необходимо определить ряд значений.

Объемный расход дымовых газов через трубу в выходном сечении, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{\text{дг}} = V_{\text{Г}} \cdot n_{\text{к}} \cdot B_{\text{р}}, \quad (53)$$

где  $V_{\text{Г}}$  – действительный суммарный объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>, принимаемый из теплового расчета котельного агрегата для последней поверхности нагрева котла;

$n_{\text{к}}$  – количество работающих котлов в котельной;

$V_p$  – расход топлива, кг/с или м<sup>3</sup>/с.

$$V_{дг} = 14,49 \cdot 3 \cdot 1,288 = 56 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр устья дымовой трубы, м:

$$D_{тр}^y = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{дг}}{\pi \cdot \omega_0}} \quad (54)$$

где  $\omega_{вых}$  - скорость выхода дымовых газов из устья трубы, м/с;  
принимается  $\omega_{вых} = 25$  м/с.

$$D_{тр}^y = \sqrt{\frac{4 \cdot 56}{3,14 \cdot 25}} = 1,69 \text{ м}.$$

Принимается ближайший стандартный диаметр устья трубы  $D_{тр}^y = 1,8$  м.

Условный выброс оксидов азота определяется по формуле, мг/м<sup>2</sup>:

$$M = M_{NO_2} + \frac{ПДК_{NO_2}}{ПДК_{SO_2}} \cdot M_{SO_2} \quad (55)$$

где  $ПДК_{NO_2}$  - предельно допустимая концентрация оксидов азота, мг/м<sup>2</sup>;  
принимается  $ПДК_{NO_2} = 0,085$  мг/м<sup>2</sup>;

где  $ПДК_{SO_2}$  - предельно допустимая концентрация оксидов азота,  
мг/м<sup>2</sup>; принимается  $ПДК_{SO_2} = 0,5$  мг/м<sup>2</sup>.

$$M = 15,84 + \frac{0,085}{0,5} \cdot 9,27 = 24,96 \text{ мг/м}^2.$$

Минимальная высота дымовой трубы определяется по формуле, м:

$$H = \sqrt{A \cdot \frac{M}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2} \cdot \sqrt[3]{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}}} \quad (56)$$

где  $A$  - коэффициент, зависящий от метеорологических условий местности; принимается  $A = 160$ ;

$\Delta t$  - разность температур выбрасываемых газов и средней температурой самого жаркого месяца в полдень ( $12,4 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\Delta t = 155 - 12,4 = 142,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$H = \sqrt{160 \cdot \frac{24,96}{0,085 \cdot \sqrt[3]{56 \cdot 142,6}}} = 49,69.$$

Коэффициент  $f$  определяется по формуле,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{К}}$ :

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_{\text{вых}}^2 \cdot D_{\text{тр}}^y}{H^2 \cdot \Delta t}, \quad (57)$$

$$f = 10^3 \cdot \frac{25^2 \cdot 1,69}{48,46^2 \cdot 142,6} = 3,15 \frac{\text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{К}}$$

Коэффициент  $v_m$  определяется по формуле:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}{H}}; \quad (58)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{56 \cdot 142,6}{48,46}} = 8,34.$$

Коэффициент  $m$  определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}; \quad (59)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{3,15} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{3,15}} = 0,62.$$

Минимальная высота трубы во втором приближении:

$$H_1 = H \cdot \sqrt{m \cdot n}; \quad (60)$$

где  $n$ - коэффициент; при  $v_m > 2$   $n = 1$ .

$$H_1 = 48,46 \cdot \sqrt{0,62 \cdot 1} = 38,16 \text{ м.}$$

Погрешность в определении высоты трубы определяется по формуле:

$$\Delta H = \frac{H - H_1}{H} \cdot 100; \quad (61)$$

$$\Delta H = \frac{49,69 - 43,5}{49,69} \cdot 100 = 21,25 \%$$

Коэффициент  $f_1$  во втором приближении определяется по формуле:

$$f_1 = 10^3 \cdot \frac{\omega_{\text{вых}}^2 \cdot D_{\text{тр}}^y}{H_1^2 \cdot \Delta t}; \quad (62)$$

$$f_1 = 10^3 \cdot \frac{25^2 \cdot 1,69}{38,16^2 \cdot 142,6} = 5,08$$

Коэффициент  $v_{m1}$  во втором приближении определяется по формуле:

$$v_{m1} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{тр}} \cdot \Delta t}{H_1}}; \quad (63)$$

$$v_{m1} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{56 \cdot 142,6}{38,16}} = 9,4.$$

Коэффициент  $m_1$  во втором приближении определяется по формуле:

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f_1} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_1}}; \quad (64)$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{3,47} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{3,47}} = 0,75.$$

Уточненная минимальная высота трубы определяется по формуле, м:

$$H_2 = H_1 \cdot \frac{m_1 \cdot n_1}{m \cdot n}; \quad (65)$$

$$H_2 = 38,16 \cdot \frac{0,74 \cdot 1}{0,62 \cdot 1} = 45,55$$

Принимаю высоту трубы  $H_3 = 60$  м. [21]

### 9.3 Чрезвычайные ситуации

#### 9.3.1 Чрезвычайные ситуации, характерные для котельной

Котельная является опасным производственным объектом, на котором используется оборудование, работающее под избыточным давлением и высокой температурой нагрева воды, на ней возможны аварии, сопровождающиеся взрывами в аппаратуре, производственных помещениях,

которые могут привести к разрушению зданий, сооружений, оборудования, травмам людей.

Возможно возникновение различных аварийных ситуаций во время работы котла - спуск воды в барабане котла, разрыв кипяtilных и экранных труб, повреждение обмуровки, также возможно возникновение пожара взрыва.

### 9.3.2 Требования к зданиям и оборудованию

Цель комплекса противопожарных мер — обеспечение безопасности и здоровья людей, которые обслуживают котельное оборудование. Эти мероприятия должны охватывать все сферы деятельности котельной, должны предъявляться требования к зданию, строительным материалам, оборудованию, хранению топлива, эксплуатации и ремонтным работам.

Противопожарные требования к зданию котельной обозначены в техническом задании на строительство. Перед возведением здания проект согласовывают в территориальном отделении МЧС.

Степень огнестойкости стен, перекрытий, полов, внутренних перегородок котельной должна соответствовать классу конструктивной пожарной опасности. Применяют материалы, которые не горят, не поддерживают горение, не выделяют ядовитые вещества при пожаре.

Двери, на выходе из помещения котельной, открываются наружу. Оконные проемы — легко сбрасываемые конструкции при взрыве газозвдушной смеси, должны соответствовать расчетной площади и конструктивному исполнению.

Расстояние перед фронтом котла должно обеспечивать безопасность оператора при розжиге горелки, и предоставлять возможность уклонения от бесконтрольного выброса пламени.

Газопровод на вводе в котельную оборудуют электромагнитным запорным клапаном, который перекрывает подачу топлива при срабатывании газоанализатора или отключении электричества.

Электроснабжение котельной выполняют в соответствии с требованиями взрыво- и пожаробезопасности. Защита исключает опасность возникновения пожара при коротком замыкании или перегрузках сети. В котельной предусматривают устройство аварийного освещения, молниезащиты и заземления (нефте- или газопроводов, в том числе).

Котельные относят к категории производства повышенной пожароопасности и оборудуют внутренним пожарным водопроводом. Пожарный шкаф (навесной, встроенный или приставной) устанавливают рядом с пожарными кранами и пломбируют. На дверце шкафа указывают: поясняющее буквенное обозначение, номер крана и телефон пожарной службы. Расположение пожарных кранов должно обеспечивать доступ двух струй (с заданным напором и расходом), в каждую точку помещения.

### 9.3.3 Безопасность при эксплуатации

Главный инженер организует работу и контролирует соблюдение утвержденных «Правил пожарной безопасности в РФ» на предприятии. Ответственный за пожарную безопасность объекта обязан проводить с сотрудниками вводные, первичные, повторные, целевые и внеплановые инструктажи на рабочем месте.

Занятия по пожарно-техническому минимуму организуют с работниками котельной регулярно. Плановые противопожарные тренировки проводят один раз в год, для выработки навыков и согласованных действий работников.

Регламент предприятия предписывает порядок действий работников при возникновении пожара. План эвакуации, таблички с номерами экстренного вызова пожарных служб и инструкцию по действиям персонала при пожаре вывешивают на видных местах.

При эксплуатации котельной запрещается:

- допускать к работе персонал без специального обучения и квалификационного удостоверения;

- эксплуатировать оборудование с неисправными горелками и системой подачи топлива (газ, мазут);
- работать при отключенной или неисправной автоматике КИП (контроль, регулировка);
- подавать в топку топливо (газ, мазут) при потухшей горелке;
- производить запуск котла без продувки;
- использовать поверхности котлов и паропроводов для сушки вещей (спецодежды);
- хранить баллоны с газом (пропан, кислород), бензин и другие, легко воспламеняющиеся жидкости;
- курить на рабочем месте;
- производить временные огневые работы без соблюдения регламента (наряд-допуск);
- работать в промасленной спецодежде.

В котельной оборудуют и обозначают разрешенное место для курения.

Проходы в котельном зале обеспечивают доступ к технологическому оборудованию. Нельзя складировать в проходах легко воспламеняющиеся и прочие материалы, перекрывая пути эвакуации при пожаре.

Чистую и отработанную ветошь хранят в специально отведенных местах, в закрытых контейнерах. Использованный обтирочный материал удаляют из помещения котельной по окончании смены и утилизируют.

Дымовые трубы котельных, которые работают на угле или дровах, оборудуют искрогасителями. Легко воспламеняющиеся остатки продуктов горения очищают, чтобы не допустить возгорания дымоходов. Сажа, с поверхностей труб экономайзера, удаляется обдувкой паром.

#### 9.3.4 Размещение сигнализации

Систему пожарной сигнализации устанавливают в котельных для своевременного обнаружения очага возгорания, оповещения об опасности, отключения оборудования и ликвидации пожара. Модульные котельные оборудуют системой автономной пожарной сигнализации на стадии

производства. Выбор типа автономной пожарной сигнализации для стационарных промышленных котельных зависит от вида используемого в них топлива.

Датчики (дымовые, тепловые, световые, ионизированные, ручные и комбинированные) передают сигнал по шлейфу на контрольную панель или распределительную коробку. Располагают извещатели на потолке, в удалении от кондиционеров и вентиляции. При срабатывании прибора формируется тревожный звуковой сигнал.

Устройства пожарной сигнализации в котельной имеют бесперебойное электроснабжение (сеть 220В и резервные источники питания).

### 9.3.5 Использование инвентаря

Порядок применения противопожарного инвентаря зависит от типа возгорания. Например, порошковые и углекислотные огнетушители можно применять для тушения пожаров класса Е. Горящий мазут забрасывают песком, перемещаясь от края к центру.

Места расположения первичных средств пожаротушения обозначают специальными знаками. Огнетушители (порошковые, пенные, углекислотные) располагают возле технологического оборудования котельной. Необходимое количество и тип огнетушителей определяют согласно требованиям, указанным в технической документации на оборудование. Каждому огнетушителю оформляют паспорт и присваивают порядковый номер.

Техническое обслуживание и перезарядку проводят организации, имеющие лицензию на данный вид деятельности. Запорную арматуру огнетушителя пломбируют. Асбестовое полотно, войлок, кошму хранят в металлических футлярах, в местах, где необходима защита оборудования от искр и открытого огня при пожаре.

Чистый просеянный песок хранят в закрытых ящиках из металла. Каждый ящик комплектуют парой железных лопат.

Комплект пожарного крана хранят в опломбированном шкафу и используют строго по назначению. Для уплотнения соединений используют резиновые прокладки.

В состав комплекта входят:

- напорный пожарный рукав;
- соединительная головка;
- запорный клапан;
- ручной пожарный ствол;
- переносной огнетушитель.

Ящики и щиты для противопожарного инвентаря, черенки лопат обязательно окрашиваются в красный цвет.[22]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была спроектирована система газоочистки котельной 74 квартала г. Благовещенск Амурской области. По проведенным расчетам осуществлена замена батарейных циклонов БЦ-2-7х(5+3), которые были установлены в 1974 году и на данный момент являются не актуальными. Расчет показал, что целесообразно заменить БЦ-2-7х(5+3) на батарейный циклон ЦБ-254Р-25 соответствующий необходимым требованиям.

В ходе работы представлены общие сведения о потребителях теплоты, проведен расчет тепловых нагрузок на отопление и горячее водоснабжение, приведен расчет тепловых потерь в сети. Произведен выбор котлоагрегатов.

В организационно - экономической части проекта была произведена оценка экономической эффективности проекта реконструкции котельной. Приведенные расчеты показывают, что затраты на сооружение котельной окупятся в течение девяти лет за счет разницы существующих тарифов и себестоимости вырабатываемой котельной теплоты.

В разделе безопасность и экологичность были изучены правила безопасности в котельной, выполнены расчеты вредных выбросов, и расчет минимальной высоты дымовой трубы, который показал, что высоты трубы, установленной на котельной достаточно для рассеивания вредных выбросов в атмосфере. Так же были рассмотрены вопросы безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Централизованное теплоснабжение в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://aqua-therm.ru/articles/articles\\_246.html](https://aqua-therm.ru/articles/articles_246.html), свободный. – Загл. с экрана.
2. Википедия - свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Котел ДКВР 20 - 13 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ds22.su/kotel-dkvr-20-13-dkvr-20-23>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Уголь 2 БР [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://krasugol.ru/marki-uglej/ugol-marki-2br>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Залогин, Ч. Г. Очистка дымовых газов / Ч. Г. Залогин, С. М. Шухер. – : М., 2010. – с.
6. Циклон батарейный БЦ 2-7х(5+3) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://saem.su/ciklon-bc-2-7h-5-3>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Тульский, государственный университет. Методические указания к курсовой работе по курсу «Охрана воздушного бассейна. (Очистка вентиляционных выбросов)» / государственный университет. Тульский. – г. Тула : , 2014. – с.
8. Циклон батарейный ЦБ-254Р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ciklony.ru/zolouloviteli/ciklony-batarejnye-cb-254r/>, свободный. – Загл. с экрана.
9. ГОСТ 12.1.12-78 ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности / Минздрав России. – М.: ГП ЦПП, 1985. – 15 с.
10. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1985. – 10 с.
11. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования / Всесоюзный Центральный Совет Профессиональных Союзов

- 12 СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 22с.
- 13 СНиП 23-05-95 (2003). Естественное и искусственное освещение / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1995. – 50 с.
- 14 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны / Министерство здравоохранения СССР, Всесоюзный Центральный Совет Профессиональных Союзов.
- 15 Третьяков, А. Н. О влиянии на атмосферу предприятий теплоэнергетического комплекса / А. Н. Третьяков, Е. В. Перегудина, С. В. Азарова. // Молодой ученый. – 2015. - №11 (91). – С. 562
- 16 Экологические проблемы энергетики / Отв. ред. А.А. Папина. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1989. 322 с.
- 17 ОНД-86 Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе, вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
- 18 Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 270 с.
- 19 Папина, А. А. Экологические проблемы энергетики / А. А. Папина. – Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1989. – 322 с.
- 20 Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах : Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 270 с.
- 21 Тищенко, Н. Ф. . Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник / Н. Ф. Тищенко. – : М.: Химия, 1991. – 368 с.
- 22 Долин, П. А. Справочник по технике безопасности / П. А. Долин. – : М., «Энергоатомиздат», 1984. – 796 с.