

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт  
Энергетический факультет  
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»  
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

ВЫПУСКНАЯ  
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПРОВЕРЕНА

Рецензент,  
директор ООО «СпецКранСервис»  
\_\_\_\_\_ В.А. Крылов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Разработка автономной котельной жилого района  
г. Челябинска в границах улиц проф. Благих – Бейвеля**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА  
ЮУрГУ–13.03.01.2019.083.13 ПЗ ВКР

Консультант по разделу  
«Безопасность жизнедеятельности»,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Т.П. Палатинская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Консультант по разделу  
«Экономика и управление»,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ С.В. Пашнин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г. г.

Автор работы,  
студент группы П-479  
\_\_\_\_\_ К.А. Туманова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер,  
старший преподаватель  
\_\_\_\_\_ Р.А. Алабугина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Туманова К.А. Разработка автономной котельной жилого района г. Челябинска в границах улиц проф. Благих – Бейвеля – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, Э; 2019, 114 с, 19 ил., библиогр. список – 62 наим, 3 прил., 5 листов чертежей ф. А1, 2 демонстрационных листа ф.А1

Целью выпускной квалификационной работы является подбор энергетического оборудования для обеспечения теплоснабжением нового жилого района, так как северо-западная котельная не имеет достаточное количество мощности.

ВКР состоит из пояснительной записки: введения, основной части, заключения, библиографического списка, приложений и графической части созданной с использованием графических редакторов.

В специальной части произведен расчет тепловых нагрузок, тепловой расчет отопительной котельной с закрытой системой теплоснабжения, тепловой расчет котельного агрегата.

В научной части предложен вариант научной модернизации проекта.

В разделе Энергосбережение рассмотрено энергосберегающее мероприятия в виде тепловой изоляции трубопроводов.

По вопросам экологии произведен расчет допустимой высоты дымовой трубы и концентрации загрязняющих веществ.

Подобраны контрольно измерительные приборы и автоматика в разделе КиПиА.

В разделе БЖД описаны источники возникновения опасностей, аварийные ситуации и их причины, средства пожаротушения и меры по предотвращению аварийных ситуация.

Произведен экономический и управленческий анализ проекта, согласно которому сделан вывод об его экономической эффективности и целесообразности.

В графической части выпускной работы выполнены: принципиальная тепловая схема источника тепловой энергии план котельной на отметке 0,000, продольный и поперечный разрез водогрейного котла, функциональная схема КИПиА, генеральный план, демонстрационный лист по разделу Экономика и управление, демонстрационный лист по разделу Научная часть.


## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ.....	7
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	9
3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	11
4 РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО РАЙОНА Г. ЧЕЛЯБИНСКА В ГРАНИЦАХ УЛИЦ ПРОФ. БЛАГИХ – БЕЙВЕЛЯ.....	15
4.1 Климатическая характеристика района строительства.....	15
4.2 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.....	16
4.2.1 Расчет теплотехнических характеристик наружной стены	19
4.2.2 Расчет теплотехнических характеристик перекрытия над неотапливаемым подвалом.....	22
4.2.3 Расчет термического сопротивления многопустотной плиты перекрытия.....	23
4.2.4 Расчет теплотехнических характеристик чердачного перекрытия.....	27
4.2.5 Расчет термического сопротивления неоднородной ограждающей конструкции – многопустотной плиты перекрытия.....	28
4.2.6 Расчет теплотехнических характеристик оконного блока.....	31
4.2.7 Расчет теплотехнических характеристик наружной двери.....	32
4.2.8 Расчет теплотехнический характеристик неутепленного пола лестничной клетки.....	32
4.3 Определение тепловой нагрузки на отопление	34
4.3.1 Определение удельной тепловой характеристики здания	35
4.3.2 Определение значения теплотерь через ограждающие конструкции.....	37
4.4 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию.....	39
4.5 Определение тепловой нагрузки на горячее водоснабжение.....	41
4.6 Определение тепловой мощности источника теплоснабжения.....	44
4.7 Построение температурных графиков и графиков нагрузок.....	45
4.8 Тепловой расчет котла.....	53
4.8.1 Топливо, воздух и продукты сгорания.....	53
4.8.1.1 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания топлива	53
4.8.1.2 Энтальпии воздуха и продуктов сгорания.....	55
4.8.2 Тепловой баланс котла.....	57
4.8.3 Тепловой расчет топочной камеры.....	59
4.8.4 Тепловой расчет поворотной камеры.....	62
4.8.5 Расчет дымогарных труб второго хода дымовых газов.....	64
4.8.6 Расчет дымогарных труб третьего хода дымовых газов.....	66
4.8.7 Расчет невязки теплового баланса.....	68


4.9 Расчет тепловой схемы.....	69
5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ.....	70
6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
6.1 Подбор толщины тепловой изоляции.....	77
6.2 Расчет экономии тепловой энергии.....	78
6.2.1 Расчет трубопровода с изоляцией.....	78
6.2.2 Расчет трубопровода без изоляции.....	80
6.2.3 Экономия удельной тепловой энергии.....	81
7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ.....	82
7.1 Расчет концентрации загрязняющих веществ.....	82
7.2 Расчет высоты дымовой трубы.....	83
8 АВТОМАТИЗАЦИЯ .....	90
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	95
10 ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	100
10.1 Технико-экономический расчет.....	100
10.1.1 Расчет капитальных затрат.....	100
10.1.2 Расчет текущих затрат.....	102
10.2 Модель SWOT-анализа вариантов технических решений.....	105
10.3 Модель поля сил реализации проекта .....	106
10.4 Модель дерева целей повышения энергетической эффективности.....	108
10.5 Модель ленточного графика мероприятий по разработке и реализации проекта (График Ганта) .....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	111
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПЛАН ТИПОВОГО ЭТАЖА.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. РАЗРЕЗ ЗДАНИЯ.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	117


## ВВЕДЕНИЕ

В наше время огромное значение для комфортной жизни человека играет производство энергии. Уже ни одно общество не можно обойтись без электрической и тепловой энергии. Территория Российской Федерации находится в северной строительно - климатической зоне с длинным отопительным периодом и низкими температурами наиболее холодной пятидневки, обуславливающим необходимость соответствующей теплозащиты зданий и сооружений от продувания сильными ветрами и повышенной относительной влажности наружного воздуха, что неуклонно требует большего расхода топлива для обеспечения необходимой мощности на теплоснабжение зданий и сооружений. Между тем добыча топлива обходится все дороже в связи с истощением запасов и открытием новых месторождений в отдаленных районах, что увеличивает затраты на транспортировку. Поэтому для нашей страны при дальнейшем развитии народного хозяйства остро встает вопрос энергосбережения – уменьшение потребления топлива, тепловой и электрической энергии за счет их наиболее полного рационального использования.

Прежде всего, мероприятия по энергосбережению предусматривают в себе: уменьшение теплопотерь путем качественной изоляции, утилизации теплоты уходящих газов и технологического продукта; очистка труб и агрегатов от отложений; снижение тепловой нагрузки на системы теплоснабжения и их рациональное использование; установка приборов учета.

Уменьшить теплопотери с транспортировкой тепла в современном мире позволяет использование автономных источников теплоснабжения. Их использование также позволяет автономно и быстро регулировать температуру теплоносителя в соответствии с температурным графиком, бесперебойно подавать тепло и горячее водоснабжение в отдаленные районы. Жильцы района, которые подключены к этой котельной экономят на коммунальных платежах, а также избавлены от отключений горячей воды в летний период.

Таким образом, целью выпускного квалификационного проекта является разработка проекта автономной водогрейной котельной для нового жилого района в границах улиц проф. Благих-Бейвеля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: выполнить тепловой расчет котла, выбрать и рассчитать тепловую схему, произвести расчет дымовой трубы, рассчитать экономическую эффективность предложенного проекта, рассмотреть безопасность жизнедеятельности проекта.


# 1 ОБОСНОВАНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ ПОСТРОЙКИ АВТОНОМНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В выпускной квалификационной работе бакалавра выполнен подбор энергетического оборудования для обеспечения теплоснабжением нового жилого района, так как северо-западная котельная не имеет достаточное количество мощности.

Для жилого района предусмотрена децентрализованная система отопления, рассчитанная на покрытие теплопотерь источника потребления – жилых многоквартирных домов, вторичных потребителей энергии в виде административных зданий и помещений и обеспечение минимальной оптимальной нормы температуры и допустимой влажности.

Основным источником теплоснабжения северо-западной части города является Северо-западная котельная (далее СЗК) на которой установлены 10 водогрейных котлоагрегатов, 8 – мощностью 100 Гкал/ч и 2 – мощностью 29,8 Гкал/ч, установленная тепловая мощность – 864 Гкал/с, располагаемая тепловая мощность – 741 Гкал/с котельная расположена наиболее близко к районам новой застройки.

Согласно схеме теплоснабжения в административных границах города Челябинска на период до 2032 г.[23], составим таблицу прироста площадей общественно-деловой и жилой застройки СЗК г. Челябинска на проектный период разработки схемы теплоснабжения (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Прирост площадей общественно-деловой и жилой застройки СЗК г. Челябинска на проектный период разработки схемы теплоснабжения

Прирост общественно-деловой застройки, тыс. м <sup>2</sup>			Прирост жилых жилых, тыс. м <sup>2</sup>		
2019	2020	2021	2019	2020	2021
10,08	10,08	10,08	122,99	125,42	88,87

Из представленных данных видно, что период 2017-2021 гг. суммарная площадь построек составит 367,52 тыс. м<sup>2</sup>, в том числе суммарный ввод жилой постройки – 337,28 тыс. м<sup>2</sup> (92% суммарного ввода), общественно-деловой – 30,24 тыс. м<sup>2</sup> (8% суммарного ввода)

На основе прогноза роста площадей перспективной застройки на период до 2021 года и прогноза удельных параметров теплопотребления объектов нового строительства на отопление и вентиляцию и на нужды ГВС и планов сноса ветхого и аварийного фонда, Администрацией г. Челябинска сформирован прогноз прироста тепловых нагрузок (таблица 1.2).

В зоне действия СЗК суммарная присоединенная тепловая нагрузка абонентов составляет 817,29 Гкал/ч. А к 2021 г. суммарный расход на теплоснабжение увеличится на 13,08 Гкал/ч.


Таблица 1.2 – Расход тепла на отопление и ГВС жилых зданий СЗК г. Челябинска на проектный период разработки Схемы теплоснабжения

Год	Расход тепла на отопление жилой застройки			Расход тепла на отопление общественно-деловой застройки		
	Расход теплоты на отопление, Гкал/ч	Расход теплоты на ГВС, Гкал/ч	Суммарный расход на теплоснабжение, Гкал/ч	Расход теплоты на отопление, Гкал/ч	Расход теплоты на ГВС, Гкал/ч	Суммарный расход на теплоснабжение, Гкал/ч
2019	5,08	4,13	5,81	1,61	1,01	1,58
2020	5,18	4,21	2,95	1,61	1,01	1,58
2021	3,67	2,98	2,74	1,61	1,01	1,58

Основываясь на полученных данных и располагаемой мощности котельной, а также отсутствия проектов увеличения мощности производства СЗК в существующих границах, присоединение мощности новостроящегося жилого района невозможно.

Таким образом постройка автономной котельной для нового жилого района является целесообразным решением.

Основное топливо котельной – природный газ с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 35316,5$  ккал/м<sup>3</sup>, резервное топливо – мазут. Расчетный КПД котлоагрегатов на основном топливе  $\eta=92,7$  %, на резервном  $\eta=89$ %.

Основное топливо выбрано прежде всего с учетом следующих показателей:

1.Экономичность и удобство – большая площадь газифицированных участков, что позволит беспрепятственному и дешевому подводу газа;

2.Экологичность – система фильтрации способна очистить до 99,9% (электрофильтры, тканевые фильтры) вредных веществ из удаляемого в атмосферу воздуха;

3.Безопасность – современные системы автоматизации и контроля способны обеспечить безаварийную и бесперебойную работу газовой котельной.

Система теплоснабжения двухтрубная, закрытая, температурный режим подачи горячей воды в системы теплоснабжения 95/75°С.


## 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В основе проекта лежит документ «Схема теплоснабжения в Административных границах города Челябинска на период до 2032 г. Книга 2. Перспективное потребление тепловой энергии на цели теплоснабжения» разработанный управлением ЖКХ г. Челябинска [18]. Правовые основы экономических отношений, возникающих в связи с производством, передачей, потреблением тепловой энергии, тепловой мощности устанавливаются согласно Федеральному закону "О теплоснабжении" от 27.07.2010 N 190-ФЗ [25].

Расчет ограждающих конструкций произведен с учетом правил изложенных в СП.131.13330.2012 [1] Строительная климатология, СП.50.1330.2012 Тепловая защита зданий [2], ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные [3], расчет нагрузки на отопление произведен по учебнику Лымбиной Л.Е [29], справочнику под ред. И.Г. Староверова [26].

Тепловой расчет котельного агрегата произведен на основе нормативного метода под ред. Н.В. Кузнецова [32] и расчета жаротрубно-дымогарного котла Лумми В.А. [34]. Расчет основан на уравнении теплового баланса: количества тепла отданного продуктами сгорания приравнивается к количеству тепла, воспринятое водой в поверхностях нагрева.

Научная часть разработана согласно справочнику Беликовой С.Е. «Водоподготовка» [36].

Разработка нового проекта должна отвечать требованиям об энергоэффективности и ресурсосбережении. Раздел «Энергосбережение» разработан согласно Федеральному закону "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ [25]. Тепловая изоляция подобрана согласно ГОСТ 30732–2006 [7].

Вопросы экологии выполнены по методическому пособию А.И. Грибанова «Расчет дымовой трубы» [38] и учебнику Л.А. Рихтера «Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций» [38]. Норма ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест согласно ГН 2.1.6.1338–03 [12].

Контрольно-измерительные приборы и автоматика и системы автоматизации котельной описаны согласно ГОСТ 21.208–2013 [9], а также правилам СП 77.13330–2016 Системы автоматизации [10].

При написании раздела «Безопасность жизнедеятельности» использованы следующие нормативные документы: Приказ Минтруда России от 17.08.2015 N 551н (ред. от 15.11.2018) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок" [14], СП 4.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям [18], СП 9.13130.2009 Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации [19], Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от




29.07.2017) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изм. и доп., вступ. в силу с 31.07.2018) [21].

Экономико-управленческая часть выполнена на основе пособия Алабугина А.А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» [40]. В пособии описаны возможные варианты технико-экономических расчетов для различных вариантов технических решений, а также модели управленческой части.


### 3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Основным оборудованием для создания отопительной котельной нового жилого района для обеспечения теплоснабжения и горячего водоснабжения коллективных (многоквартирных) жилых домов, в том числе зданий различного социального назначения являются водогрейные котлы, основным топливом которых является природный газ, резервным – мазут.

В настоящее время на российском рынке наибольший интерес проявляется к зарубежным отопительным котлам в силу их функциональности и надежности. Однако импортные котлы уступают котлам российского производства в цене и доступности комплектующих в случае поломки.

В России водогрейные котлы работающие на газообразном и жидком топливе выпускают следующие заводы:

- Бийский котельный завод (БиКЗ);
- Дорогобужкотломаш;
- Таганрогский котельный завод (Красный котельщик);
- Ростепло.

Наиболее известные зарубежные производители водогрейных котлов:

- Viessmann (Германия);
- Buderus (Германия);
- CTC - Bentone (Швеция);
- Booster (Южная Корея).

Именно импортные технологии и разработки используются при изготовлении котлов во всем мире.

Выбор оптимального котельного агрегата для установки на котельной состоит в сравнении технических и эксплуатационных характеристик жаротрубного и водотрубного водогрейных котлов. А также в сравнении выбранного типа между отечественными и импортными производителями.

Сравнительный анализ проведем по ряду технико-экономических показателей для котла с одинаковой тепловой мощностью. Технические характеристики отечественных и зарубежных котлоагрегатов сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики отечественных и зарубежных котлоагрегатов

Наим-е	Котел	Топливо основное/резервное	Теплопроизводительность, МВт	Температурный график воды, °С	Расчетный КПД (топливо №1/№2), %	Стоимость с НДС и транспортировкой, тыс.
1	2	3	4	5	6	7
Бийский котельный завод (БиКЗ)	КВ-1,6ГМ водогрейный, водотрубный	Газ/мазут	1,6	70/95	91/86	1 040


Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Дорогобужко тломаш	КВ-ГМ- 1,16- 95Н(Смолен ск-1) водогрейный, водотрубный	Газ/дизель	1,16	70/115	94/92	1 244,52
Ростепло	КСВ-1,0 водогрейный, жаротрубный.	Газ /дизель	1,0	70/115	93	751
Viessmann (Германия)	VITOPLEX 100 водогрейный, жаротрубный.	Газ/мазут	1,12	70/110	94/88	1021,1
Buderus (Германия)	Buderus Logano SK755-1040 водогрейный, жаротрубный.	Газ/дизель/ биогаз	1,2	70/115	93	736,1

**Сравнение жаротрубных и водотрубных котлов.** Жаротрубные котлы проще в изготовлении, они имеют меньшую металлоемкость, поэтому имеют меньшие размеры и вес. Поставляются в сборке в теплоизоляции, что упрощает монтаж котла на месте. Значительный объем запаса воды позволяет долгое котлу время находится в горячем резерве.

К качеству воду в жаротрубных котлах применяют более жесткие требования. Подпиточная вода, вводимая в контур, должна удовлетворять требованиям предъявляемым к воде паровых котлов. Повышенные требования связаны с большими тепловыми потоками в жаровой трубе и поворотной камере. Ее величина в 3-4 раза превышает величину тепловых потоков в водотрубном котле. Из-за больших тепловых потоков, а также свободного движения воды в котле, на стенках котлоагрегата, а также в некоторых случаях на пучках труб, образовывается пристенное кипение, которое обеспечивает надежное охлаждение и не допускает перегрев стенок, так как разница между температурой стенки со стороны газов и воды не превышает 25-30 °С. При недостаточной степени очистки подпиточной воды в установках умягчения, из-за малой скорости


движения воды в котле, на стенках образуется накипь. Однако при грамотной обработке воды в установках умягчения, а также посредством ввода ингибиторов солейотложений, скорость накипеотложений уменьшается в 10 раз, а ремонтный период увеличивается.[44]

Производство жаротрубных котлов сводится к изготовлению трубных решеток, прямых дымогарных труб и цилиндрической части котла. Это значительно меньше стоимости изготовления трубных экранных стен водотрубного котла, которые также необходимо соединить между собой сборными коллекторами. В связи такой конструкцией водотрубного котла, усложняется система циркуляции вода по трубным экранам. В жаротрубном котле, циркуляция происходит естественным образом в корпусе котла.

Составим таблицу 3.2 сравнительных характеристик жаротрубного и водотрубного котлов.

Таблица 3.2 – Сравнение жаротрубного и водотрубного котлов

Критерий сравнения	Жаротрубный	Водотрубный
Габариты	ниже	выше
Стоимость	ниже	выше
Обслуживание	простая очистка	сложный доступ к поверхностям нагрева
Время монтажа	ниже	выше
Качество воды	повышенные	стандартные
Безопасность	высокая	высокая
КПД	высокий	ниже
Диапазон нагрузок	25%-100%	70%-100%

Таким образом, для обеспечения малой тепловой мощности, целесообразнее применять жаротрубные котельные агрегаты.

**Сравнение отечественных и импортных производителей.** В отличие от российского котлооборудования, импортное имеет ряд своих особенностей по отношению к параметрам теплоносителя:

– импортные котлы, продающиеся в России, должны быть адаптированы для рабочего давления в Российских газовых сетях (12-15 бар). Адаптация нужна, так как в Европе газ в дома подается под средним (а не низким, как в России) давлением и понижается при помощи индивидуального газораспределительного щита;

– импортные котлы слабо защищены от перепадов напряжения, которые так свойственны нашим энергосетям;

– импортные котлы рассчитаны на использование специально подготовленной воды.

Сравним технические характеристики отечественного жаротрубного котлоагрегата КСВ-1,0 и двух импортных котлов VITOPLEX 100 и Buderus Logano SK755-1040. Характеристики котлов занесем в таблицу 3.3


Таблица 3.3 – Сравнительные характеристики жаротрубных котлов отечественного и импортного производства

Наименование показателя	КСВ-1,0	Viessmann VITOPLEX 100	Buderus Logano SK755-1040
Номинальная теплопроизводительность, МВт	1	1,12	1,04
КПД котла, %, не менее	91	94/88	93
Температура воды на выходе, максимальная, °С	115	110	115
Температура воды на входе, расчетная, °С	70	70	70
Давление воды рабочее (изб), МПа, не более	0,6	нет данных	0,6
Расчетная температура уходящих газов, °С	160	140	150
Аэродинамическое сопротивление, кПа, не более	0,25	0,59	нет данных
Объем топки, м <sup>3</sup>	1,02	1,18	нет данных
Водяной объем котла, м <sup>3</sup>	1,1	1,05	0,822
Масса, кг	2470	1785	1790
Цена, тыс.руб	751	1021,1	736,1

В сравнительной характеристике видно, что жаротрубный котел отечественного производителя уступает импортным аналогам по некоторым параметрам. Масса котла в сборке значительно превышает массу зарубежных котлов, расчетная температура уходящих газов также имеет высокое значение что увеличивает потери тепла с уходящими газами и объясняет наименьший КПД из представленных вариантов.

Однако водяной объем котла больше чем у аналогов, аэродинамической сопротивление более чем в 2 раза меньше, чем у котла VITOPLEX 100. Важное значение имеет стоимость котла. Колебание курса валют не позволяет сделать вывод о дешевизне котла Buderus Logano SK755-1040, поэтому стоимость котла КСВ-1,0 будем считать наименьшей. Также увеличиваются капитальные затраты на поставку импортного оборудования и эксплуатационные затраты при доставке его составляющих при поломке. Усложняется поиск специалистов по ремонту импортных котлов.

Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод: котел отечественного производства КСВ-1,0 не уступает по техническим характеристикам котлам зарубежного производства. Простота в изготовлении, обслуживании и малых затратах при транспортировке внутри страны, позволяет выбрать котел КСВ-1,0 основным оборудованием при разработке современной котельной.


# 4 РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО РАЙОНА Г. ЧЕЛЯБИНСКА В ГРАНИЦАХ УЛИЦ ПРОФ. БЛАГИХ – БЕЙВЕЛЯ

## 4.1 Климатические характеристики района строительства

Район строительства: Челябинск

Климатическая характеристика района строительства соответствует СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия. СНиП 23-01-99\*[1], расчетные параметры наружного воздуха г.Челябинска приведем в таблице 4.1.1

Таблица 4.1.1 – Расчетные параметры наружного воздуха [1, табл. 3.1\*]

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С обеспеченностью 0,92 $t_n$	Период со среднесуточной температурой $\leq$ 8 °С		Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь м/с,
	Продолжительность, сут. $z_{от}$	Средняя температура воздуха, °С $t_{от}$	
-34	218	-6,5	4,5

Зона влажности территории Российской Федерации: 3 – «сухая зона» [2, прил. В]

Влажностный режим помещений зданий: «нормальный» [2, табл.1].

Параметры микроклимата в помещениях изложены в ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях[3] занесены в табл. 4.1.2

Таблица 4.1.2 – Оптимальные и допустимые нормы температуры и относительной влажности [3, табл. 1]

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более
Холодный	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24	45-30	60

Принимаем  $t_e = 21^\circ\text{C}$  и  $\varphi_e \neq 60$  [4, п. 5.1 а, б, д],

где  $t_e$  – температура воздуха внутри здания, °С

$\varphi_e$  – относительная влажность внутри здания, %.


## 4.2 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

Теплотехнический расчет заключается в определении толщины искомого слоя ограждения, при котором температура на внутренней поверхности ограждения будет выше температуры точки росы внутреннего воздуха и будет удовлетворять теплотехническим требованиям:  $R_0 \geq R_0^{mp}$ .

Расчет выполняется в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [2].

Теплотехническому расчету подлежат наружные стены, чердачные перекрытия (бесчердачные покрытия), перекрытия над неотапливаемым подвалом, окна и наружные двери, внутренние стены (перегородки). Последовательность их расчета представлена на рисунке 4.2.1.

### Блок-схема расчета

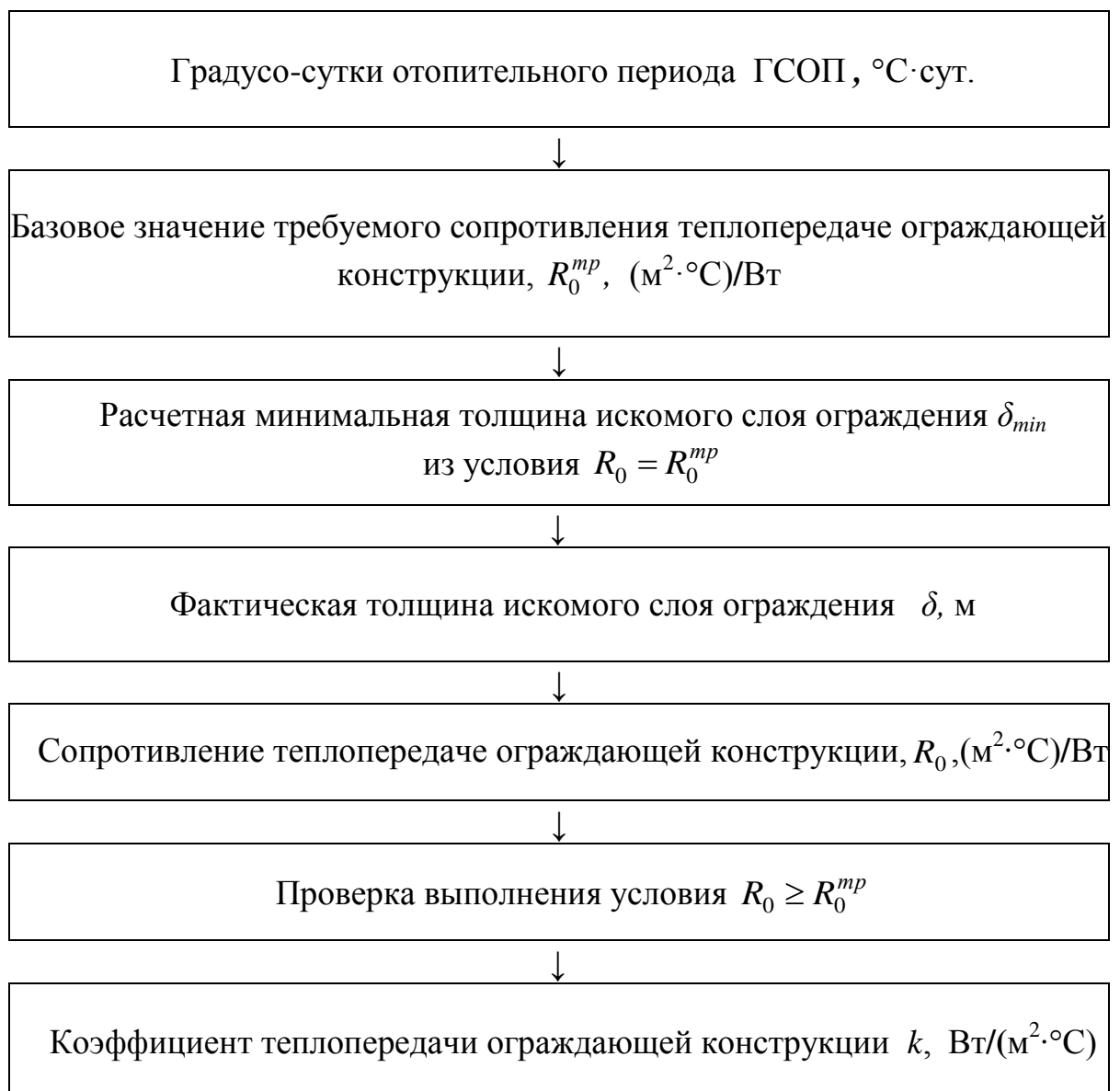


Рисунок 4.2.1 – Блок-схема расчета ограждающей конструкции

## 4.2.1 Расчет теплотехнических характеристик наружной стены

Эскиз наружной представлен на рисунке 4.2.2

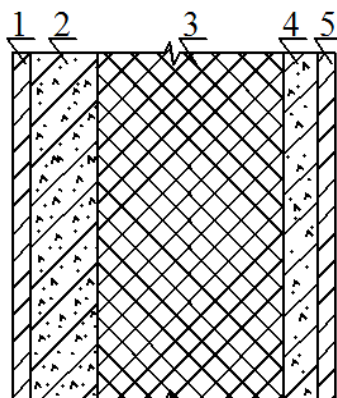


Рисунок 4.2.2 – Эскиз наружной стены

В соответствии с СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [2] приведем в таблице 4.2.1 теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, используемых в конструкции наружной стены.

Таблица 4.2.1–Нормируемые теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [2, прил.Т, табл. Т.1]

№ слоя	№ поз по СП 50.13330.2012	Наименование материальных слоёв ограждающей конструкции	Обозначение	Толщина слоя, $\delta$ , м	Расчетный коэффициент $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	201	Наружная штукатурка – цементно-песчаный раствор, $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_1$	0,02	0,76
2	105	Керамзитобетон на керамзитовом песке, $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_2$	0,14	0,8
3	-	Плиты из стеклянного штапельного волокна «URSA», $\rho=60$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_3$	?	0,05
4	105	Керамзитобетон на керамзитовом песке, $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_4$	0,19	0,8
5	203	Внутренняя штукатурка – известково-песчаный раствор, $\rho=1600$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_5$	0,02	0,7

Градусо-сутки отопительного периода ГСОП, °С·сут.(4.2.1) [2, формула 2]:

$$\text{ГСОП} = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om}, \quad (4.2.1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;




$$\text{ГСОП} = (21+6,5) \cdot 218 = 5995 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

$t_e$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ\text{C}$ , принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по табл. 1 [3] по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата» (в интервале 20...22  $^\circ\text{C}$ );

$t_{om}, z_{om}$  – средняя температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$  и продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10  $^\circ\text{C}$  – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых, и не более 8  $^\circ\text{C}$  – в остальных случаях.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_0^{mp}$ , ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт (4.2.2)[2, таблица 3]:

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (4.2.2)$$

где  $a, b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий и соответствующих видов конструкций:  $a = 0,0035$ ,  $b = 1,4$ .

$$R_0^{mp} = 0,00035 \cdot 5995 + 1,4 = 3,498 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

Минимальная толщина искомого слоя ограждающей конструкции  $\delta_{min}$ , м, (для наружной стены – основного слоя или теплоизолирующего слоя, для перекрытий – теплоизолирующего слоя) принимается из теплотехнических требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям:  $R_0 \geq R_0^{mp}$

Толщина будет минимальной при выполнении равенства  $R_0 = R_0^{mp}$ , где  $R_0^{mp}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт;

$R_0$  – сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт, определяемое по формуле (4.2.3):

$$R_0 = R_e + R_k + R_n, \quad (4.2.3)$$


где  $R_{\epsilon} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}}$  – термическое сопротивление теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;

$R_{\eta} = \frac{1}{\alpha_{\eta}}$  – термическое сопротивление наружной поверхности ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;

$\alpha_{\epsilon}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , [2, табл.4];

$\alpha_{\eta}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , [2, табл.6];

$R_{\kappa}$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , определяемое для однородной (однослойной) ограждающей конструкции по формуле (4.2.4):

$$R_{\kappa} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4.2.4)$$

где  $\delta$  – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

$\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ , [2, табл. Т.1]

Термическое сопротивление ограждающей конструкции  $R_{\kappa}$  с последовательно расположенными однородными слоями,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоёв (4.2.5)

$$R_{\kappa} = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{\epsilon n}, \quad (4.2.5)$$

где  $R_1, R_2 \dots R_n$  – термические сопротивления отдельных слоёв ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , определяемые по формуле (4.2.4);

$R_{\epsilon n}$  – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , [2, таблица Е.1].

Таким образом, минимальная толщина искомого слоя ограждающей конструкции находится по формуле (4.2.6):

$$\delta_{\min} = \delta_3 = \left[ R_0^{mp} - \left( \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{\text{вн}} + \frac{1}{\alpha_{\eta}} \right) \right] \cdot \lambda_3, \quad (4.2.6)$$

$$\delta_{\min} = \delta_3 = \left[ 3,498 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,14}{0,8} + \frac{0,19}{0,8} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,05 = 0,143 \text{ м.}$$


Фактическая толщина искомого слоя ограждающей конструкции  $\delta_3$ , м: принимаем  $\delta_3 = 0,15$  м.

Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ), определяется на основании формулы (4.2.7):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (4.2.7)$$

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,14}{0,8} + \frac{0,15}{0,05} + \frac{0,19}{0,8} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{23} = 3,625 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Проверка выполнения условия :  $R_0 \geq R_{reg}$ .

$$R_0 = 3,625 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт,}$$

$$R_0^{mp} = 3,498 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт,}$$

$$R_0 \geq R_0^{mp}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  (4.2.8):

$$k = \frac{1}{R_0}, \quad (4.2.8)$$

$$k = \frac{1}{3,625} = 0,276 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

#### 4.2.2 Расчет теплотехнических характеристик перекрытия над неотапливаемым подвалом

Эскиз перекрытия над неотапливаемым подвалом представлен на рисунке 4.2.3

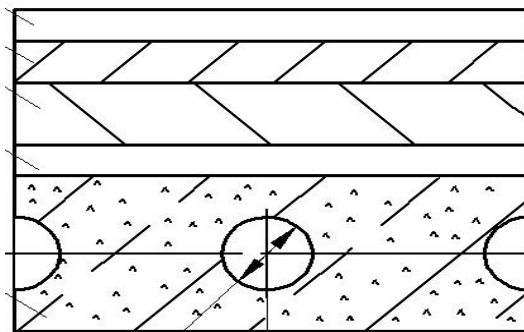


Рисунок 4.2.3– Эскиз перекрытия над неотапливаемым подвалом


В соответствии с СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [2] приведем в таблице 4.2.2 теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, используемых в конструкции перекрытия над неотапливаемым подвалом.

Таблица 4.2.2 – Нормируемые теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [2, прил.Т, табл. Т.1]

№ слоя	№ поз по СП 50.13330.2012	Наименование материальных слоёв ограждающей конструкции	Обозначение	Толщина слоя, $\delta$ , м	Расчетный коэффициент $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	199	Железобетонная пустотная плита $\rho=2500$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_1$	0,22	1,92
2	222	Один слой рубероида	$\delta_2$	0,002	0,17
3	87	Вермикулит вспученный $\rho=200$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_3$	?	0,08
4	201	Цементно-песчаная стяжка $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_4$	0,03	0,76
5	-	Ламинат $\delta=0,015$ м, $\lambda=0,1$ Вт/м <sup>2</sup> ·°С	$\delta_5$	0,015	0,1

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций,  $R_0^{mp}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт [2, табл.3] по формуле 4.2.2.

$$R_0^{mp} = 0,00045 \cdot 5995 + 1,9 = 4,597 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт,}$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий и соответствующих видов конструкций:  $a = 0,00045$ ;  $b = 1,9$ .

#### 4.2.3 Расчет термического сопротивления многопустотной плиты перекрытия

Эскиз железобетонной многопустотной плиты представлен на рисунке 4.2.4

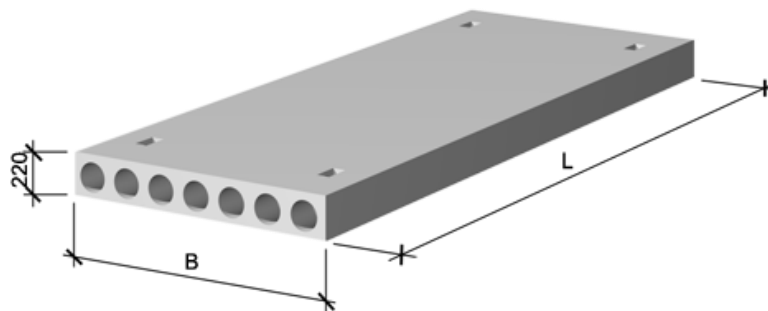


Рисунок 4.2.4 – Плиты перекрытий железобетонные многопустотные для зданий и сооружений


Эскиз элемента многопустотной плиты перекрытия представлен на рисунке 4.2.5

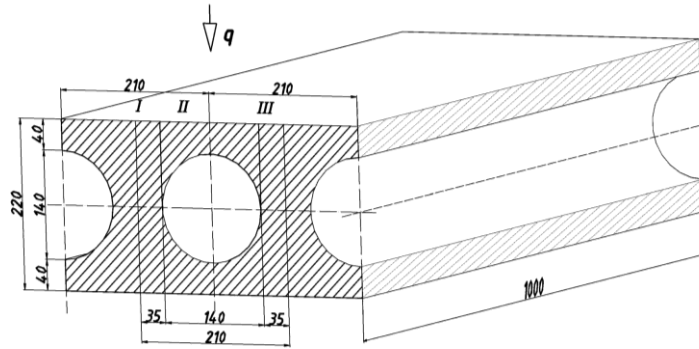


Рисунок 4.2.5 – Эскиз элемента многопустотной плиты перекрытия

а) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, фрагмент плиты условно разрезается на участки I...III:

Термическое сопротивление участка I и III,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ , (4.2.9):

$$R_I = R_{III} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4.2.9)$$

$$R_I = R_{III} = \frac{0,22}{1,92} = 0,115 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Площадь участков I и III:

$$F_I = F_{III} = 0,035 \cdot 1 = 0,035 \text{ м}^2.$$

Термическое сопротивление участка II по формуле (4.2.5):

$$R_{II} = \frac{0,04}{1,92} + 0,24 + \frac{0,04}{1,92} = 0,282 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт},$$

где  $R_{e.n.} = 0,24$  – сопротивление воздушной прослойки, которое принимается при положительной температуре воздуха в прослойке и потоке тепла «снизу-вверх»,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$ .

Площадь участка II:

$$F_{II} = 0,14 \cdot 1 = 0,14 \text{ м}^2.$$

Термическое сопротивление  $R_a$  находится по формуле (4.2.10):

$$R_a = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}} \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}, \quad (4.2.10)$$


где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – площади отдельных участков конструкции (или части её),  $\text{м}^2$ ;  
 $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления указанных отдельных участков  
 конструкции, определяемых по формулам:

$$R_1 = \frac{\delta}{\lambda} \text{ – для однородных участков;}$$

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n \text{ – для неоднородных участков;}$$

$$R_a = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{0,115} + \frac{0,14}{0,282} + \frac{0,035}{0,115}} = 0,19 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, фрагмент плиты условно разрезается на участки IV...VI (см. рис.4.2.2).

Термическое сопротивление однородных слоёв IV и VI определяется по формуле (4.2.9):

$$R_{IV} = R_{VI} = \frac{0,4}{1,92} = 0,021 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Слой V имеет толщину 0,14 м и состоит из трёх участков, в том числе две площади  $F_I$  и  $F_{III}$ , выполненных из железобетона и один  $F_{II}$  – замкнутая воздушная прослойка.

Термическое сопротивление слоя V определяем по формуле (4.2.10):

$$R_v = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{0,14} + \frac{0,14}{0,24} + \frac{0,035}{0,14}} = \frac{0,21}{1,543} = 0,1361 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление всей конструкции определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоёв.

$$R_{\sigma} = 0,021 + 0,1361 + 0,021 = 0,1781 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Если величина  $R_a$  не превышает  $R_{\sigma}$  более чем на 25 %, то приведенное термическое сопротивление такой конструкции определяется по формуле (4.2.10):

$$R_{\kappa}^{np} = \frac{R_a + 2 \cdot R_{\sigma}}{3}, \quad (4.2.11)$$


Для рассматриваемой в примере железобетонной пустотной плиты приведенное термическое сопротивление составляет:

$$R_{\kappa}^{np} = \frac{0,191 + 2 \cdot 0,1781}{3} = 0,182 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Определение минимальной толщины теплоизоляционного слоя ограждающей конструкции (перекрытие над неотапливаемым подвалом)  $\delta_{из}$ , м, (4.2.12)

$$\delta_{из} = \left[ R_0^{mp} - \left( \frac{1}{\alpha_в} + R_{пл} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{вп} + \frac{1}{\alpha_н} \right) \right] \cdot \lambda_{из}, \quad (4.2.12)$$

где  $R_{пл}$  – термическое сопротивление многпустотной плиты, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт

$$\delta_{из} = \left[ 4,6 - \left( \frac{1}{8,7} + 0,182 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,015}{0,1} + \frac{1}{6} \right) \right] \cdot 0,08 = 0,315 \text{ м.}$$

Фактическая толщина искомого слоя ограждающей конструкции  $\delta_{из}$ , м: принимаем  $\delta_{из} = 0,315$  м.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0$ , (м<sup>2</sup>·°C/Вт), определяется на основании формулы (4.2.13)

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (4.2.13)$$

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,182 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,315}{0,08} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,015}{0,1} + \frac{1}{6} = 4,602 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт).}$$

Проверка выполнения условия :  $R_0 \geq R_{рег}$ .

$$R_0 = 4,602 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт,}$$

$$R_0^{mp} = 4,597 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт,}$$

$$R_0 \geq R_0^{mp}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C) по формуле (4.2.12)

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{4,602} = 0,217 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C).}$$


#### 4.2.4 Расчет теплотехнических характеристик чердачного перекрытия

Эскиз чердачного перекрытия представлен на рисунке 4.2.5

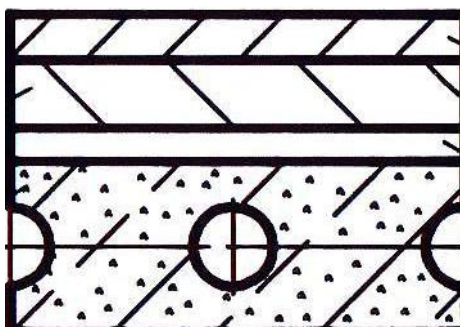


Рисунок 4.2.5 – Эскиз чердачного перекрытия

В соответствии с СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [2] приведем в таблице 4.2.3 теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, используемых в конструкции чердачного перекрытия.

Таблица 4.2.3 – Нормируемые теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [2, прил.Т, табл. Т.1]

№ слоя	№ поз по СП 50.13330.2012	Наименование материальных слоёв ограждающей конструкции	Обозначение	Толщина слоя, $\delta$ , м	Расчетный коэффициент $\lambda$ , Вт/(м $\cdot$ °C)
1	199	Железобетонная пустотная панель $\rho = 2500$ кг/м $^3$ , $\delta = 0,22$ м	$\delta_1$	0,22	1,92
2	222	Один слой рубероида $\delta = 0,002$ м	$\delta_2$	0,002	0,17
3	172	Пенобетон на цементном вяжущем, $\rho = 400$ кг/м $^3$	$\delta_3$	-	0,14
4	201	Цементно-песчаная стяжка $\rho = 1800$ кг/м $^3$	$\delta_4$	0,03	0,76

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций,  $R_0^{mp}$ , (м $^2$ ·°C)/Вт [2, табл.3] по формуле 4.2.2

$$R_0^{mp} = 0,00045 \cdot 5995 + 1,9 = 4,597 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий и соответствующих видов конструкций:  $a = 0,00045$ ;  $b = 1,9$






Термическое сопротивление  $R_a$  находится по формуле (4.2.10)

$$R_a = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{0,115} + \frac{0,14}{0,192} + \frac{0,035}{0,115}} = \frac{0,21}{1,34} = 0,157 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$$

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, фрагмент плиты условно разрезается на участки IV...VI (см. рис.4.2.5)

Термическое сопротивление однородных слоев IV и VI определяется по формуле (4.2.9):

$$R_{IV} = R_{VI} = \frac{0,04}{1,92} = 0,021 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Слой V имеет толщину 0,14 м и состоит из трех участков, в том числе два площадью  $F_I$  и  $F_{III}$  выполненных из железобетона и один  $F_{II}$  – замкнутая воздушная прослойка.

Термическое сопротивление слоя V определяем по формуле (4.2.10) :

$$R_a = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{0,14/1,92} + \frac{0,14}{0,15} + \frac{0,035}{0,14/1,92}} = \frac{0,21}{1,892} = 0,11 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление всей конструкции определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоев.

$$R_{\sigma} = 0,021 + 0,111 + 0,021 = 0,153 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Если величина  $R_a$  не превышает  $R_{\sigma}$  более чем на 25%, то приведенное термическое сопротивление такой конструкции определяется по формуле (4.2.10).

Для рассматриваемой в примере железобетонной пустотной плиты приведенное термическое сопротивление составляет по формуле (4.2.11):

$$R_k^{np} = \frac{0,157 + 2 \cdot 0,153}{3} = 0,154 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Определение минимальной толщины теплоизоляционного слоя ограждающей конструкции (перекрытие над неотапливаемым подвалом)  $\delta_{uz}$ , м по формуле (4.2.12)

$$\delta_{uz} = \left[ 4,7 - \left( \frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{12} \right) \right] \cdot 0,14 = 0,587 \text{ м}.$$


Толщина перекрытия над подвалом превышает величину 0,55, данный изоляционный материал следует заменить экструдированным полистиролом.

В соответствии с СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [2] приведем в таблице 4.2.4 теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, используемых в многослойной плите.

Таблица 4.2.4 – Нормируемые теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [2, прил.Т, табл. Т.1]

№ слоя	№ поз по СП 50.13330.2012	Наименование материальных слоёв ограждающей конструкции	Обозначение	Толщина слоя, $\delta$ , м	Расчетный коэффициент $\lambda$ , Вт/(м·°С)
3	13	Экструдированный пенополистирол, $\rho=30$ кг/м <sup>3</sup>	$\delta_3$	-	0,03

Тогда по формуле (4.2.12):

$$\delta_{из} = \left[ 4,7 - \left( \frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{12} \right) \right] \cdot 0,03 = 0,125 \text{ м.}$$

Фактическая толщина искомого слоя ограждающей конструкции  $\delta_{из}$ , м: принимаем  $\delta_{из} = 0,15$  м.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0$ , (м<sup>2</sup>·°С/Вт), определяется по формуле (4.2.13):

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,02}{0,17} + \frac{0,15}{0,03} + \frac{0,34}{0,08} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{12} = 5,4.$$

Проверка выполнения условия :  $R_0 \geq R_{reg}$ .

$$R_0 = 4,597 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт,}$$

$$R_0^{mp} = 5,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт,}$$

$$R_0 \geq R_0^{mp}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) определяется по формуле 4.2.8

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{5,4} = 0,185 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С).}$$


#### 4.2.6 Расчет теплотехнических характеристик оконного блока

К заполнениям световых проемов относят окна, балконные двери, фонари, витрины и витражи.

Градусо-сутки отопительного периода ГСОП, °С·сут. [2, формула 5.2]

$$\text{ГСОП} = 5995^\circ\text{С}\cdot\text{сут.}$$

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче заполнений световых проемов  $R_0^{mp}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт [2, табл.3] по формуле 4.2.2

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий и соответствующих видов конструкций за исключением графы 6 для группы зданий в поз.1, где для интервала для интервала до 6000 °С·сут:  $a = 0,000075$ ,  $b = 0,15$ .

$$R_0^{mp} = 0,000075 \cdot 5995 + 0,15 = 0,5996 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт.}$$

Сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета (оценочное),  $R_{oc.nak}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт [2, прил.К, табл.К.1]

$$R_{oc.nak} = 0,64 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт,}$$

$$R_{oc.nak} > R_0^{mp}.$$

где  $R_{oc.nak}$  – сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета (оценочное), (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Заполнение светового проема [2, прил.К, табл.К.1]: двухкамерные стеклопакеты с одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом (расстояние между стеклами 10 мм и 10 мм)

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), (4.2.14)

$$k = \frac{1}{R_{oc.nak}}, \tag{4.2.14}$$

$$k = \frac{1}{0,64} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С).}$$


#### 4.2.7 Расчет теплотехнических характеристик наружной двери

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче входных дверей  $R_0^{норм}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче входных дверей и ворот  $R_0^{норм}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , должно быть не менее  $0,6 \cdot R_0^{норм}$  стен зданий, определяемого по формуле 5.4 [2]

Для дверей (4.2.15):

$$R_0^{норм} = \frac{(t_в - t_н)}{\Delta t^H \cdot \alpha_в}, \quad (4.2.15)$$

где  $\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , [2, табл.4];

$\Delta t^H$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_{int}$  и температурой внутренней поверхности  $t_{int}$  ограждающей конструкции,  $\text{°C}$ , принимаемый по таблице 5 [2];

$t_в$  – то же, что и в формуле (4.2.1);

$t_н$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года,  $\text{°C}$ , принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по таблице. 3.1 \* [1].

$$R_0^{норм} = 0,6 \cdot \frac{(21 + 34)}{4 \cdot 8,7} = 0,948 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

$$k = \frac{1}{R_0^{норм}},$$

$$k = \frac{1}{0,948} = 1,054 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

#### 4.2.8 Расчет теплотехнический характеристик неутепленного пола лестничной клетки

Не утепленными полами считают полы, расположенные на грунте, и такие, конструкция которых независимо от толщины состоит из слоев материалов  $\lambda \leq 1,2$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Потери теплоты через не утепленные полы с точностью, достаточной для практических целей, производят способом В.Д. Мачинского.


Поверхность пола делят на зоны, полосы шириной 2 м, параллельные линиям наружных стен. Нумерацию зон ведут, начиная от внутренней поверхности наружных стен. Всю поверхность пола делят на 4 зоны (рисунок 4.2.7). К четвертой зоне относят всю площадь не занятую 1,2 и 3-и зонами; площадь первой зоны в наружном углу учитывают дважды. Значения,  $R$ , для каждой из зон принимают [8].

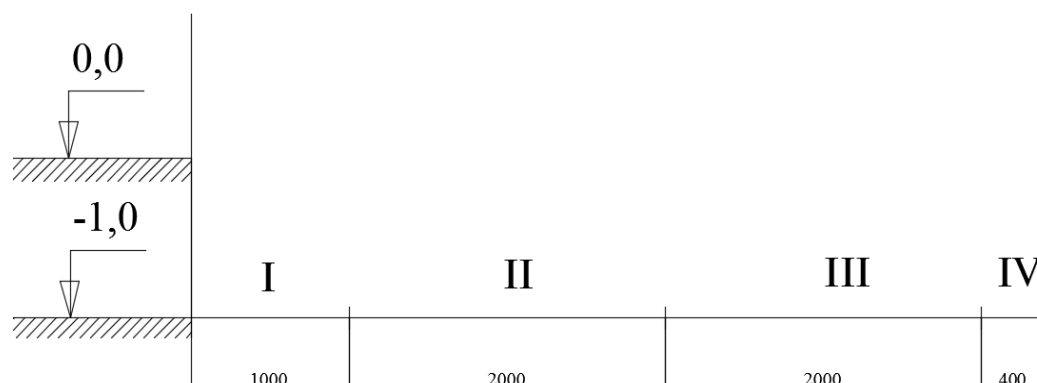


Рисунок 4.2.7 - Разбивка поверхности пола

Пол или стена, не содержащие в своем составе утепляющих слоев из материалов с коэффициентом теплопроводности менее 1,2 Вт/(м·°С), называются неутепленными. Сопротивление теплопередаче такого пола принято обозначать  $R_{nn}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт. Для каждой зоны неутепленного пола предусмотрены нормативные значения сопротивления теплопередаче:

- зона I –  $R_I = 2,1$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- зона II –  $R_{II} = 4,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- зона III –  $R_{III} = 8,6$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- зона IV –  $R_{IV} = 14,2$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) по формулам (4.2.8):

$$k_I = \frac{1}{2,1} = 0,476 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)};$$

$$k_{II} = \frac{1}{4,3} = 0,4233 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)};$$

$$k_{III} = \frac{1}{8,6} = 0,116 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)};$$

$$k_{IV} = \frac{1}{14,2} = 0,07 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}.$$


Результаты теплотехнического расчета ограждающей конструкции приведем в таблице 4.2.7.

Таблица 4.2.7 – Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций

Наименование	Термическое сопротивление теплопередаче, $R_0, (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$	Коэффициент теплопередаче, $k, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	Толщина, $\delta, м$
Наружная стена	3,626	0,276	0,52
Чердачное перекрытие	5,4	0,185	0,402
Перекрытие над неотапливаемым подвалом	4,6	0,217	0,582
Наружная дверь	0,96	1,036	-
Оконный блок	0,64	1,56	-
Внутренняя стена (несущая)	0,59	1,7	0,25
Внутренняя стена (перегородка)	0,5	2,02	0,125
Неутепленный пол лестничной клетки:			
I зона	2,1	0,476	-
II зона	4,3	0,233	-
III зона	8,6	0,116	-
IV зона	14,2	0,07	-

#### 4.3 Определение тепловой нагрузки на отопление

Расход тепловой энергии на отопление жилых, общественных и производственных зданий следует принимать в соответствии с индивидуальным проектом здания или сооружения.

При отсутствии проектов в практике энергетиков часто возникает необходимость выявить ориентировочную тепловую мощность системы отопления проектируемых зданий и сооружений, для того чтобы определить тепловую мощность источника теплоты при централизованном теплоснабжении, заказать основное оборудование и материалы, определить годовой расход топлива, рассчитать стоимость системы теплоснабжения и генератора теплоты, а также для решения других народно-хозяйственных задач.

Для оценки теплотехнических показателей принятого конструктивно-планировочного решения расчет потерь теплоты ограждения здания сводится к определению удельной тепловой характеристики здания,  $q_{y0}, Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$ , численно равной теплотерям  $1 м^3$  здания в Вт при разности температур внутреннего и наружного воздуха  $(t_{в} - t_{н})$ ,  $^\circ C$ .

Ориентировочное значение теплотер через ограждающие конструкции здания определяют при оценке нагрузок тепловых сетей и станций по формуле (4.3.1):

$$Q_0 = 1,07 \cdot a \cdot q_{y0} \cdot V_n \cdot (t_{в} - t_{н}), \quad (4.3.1)$$


где  $Q_0$  – ориентировочное значение теплопотерь через ограждающие конструкции здания, Вт;

$a$  – коэффициент учета района строительства здания определенный по формуле (4.3.2):

$$a = 0,54 + \frac{22}{t_e - t_n}, \quad (4.3.2)$$

где  $q_{уд}$  – удельная тепловая характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°С), соответствующая расчетной разности температур для основных помещений;

$(t_e - t_n)$  – расчетная разность температур внутреннего воздуха для основных помещений и наружного воздуха соответственно;

$V_n$  – объем отапливаемой части здания по внешнему обмеру, м<sup>3</sup> (высоту отсчитывают от уровня земли);

1,07- неучтенные теплопотери.

### 4.3.1 Определение удельной тепловой характеристики здания

Определение удельной тепловой характеристики здания  $q_{уд}$ , Вт/(м<sup>3</sup> °С) может осуществляться тремя способами:

1. по формуле Н.С.Ермолаева [2, п.2.2.8, формула (2.5)];
2. по формуле для удельной тепловой характеристики гражданского здания [2, п.2.2.7., формула (2.4)];
3. по отопительным характеристикам жилых зданий [26, приложение 3].

Наиболее точное значение удельной характеристики для жилых зданий получается по методу Ермолаева, так как при вычислении по этому методу учитываются не только геометрические характеристики зданий, но и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. Коэффициент удельных характеристик  $q_{уд}$  по формуле Ермолаева в среднем в 2,8 раза меньше, чем по отопительным характеристикам, в связи с тем, что коэффициенты теплопередачи рассчитывались с учетом условий энергосбережения.

Однако на практике удельную характеристику для жилых и общественных зданий чаще всего рассчитывают по отопительным характеристикам [27, приложение 3], т.к. на стадии проектирования, как правило, геометрические параметры еще не известны, а известен только общий строительный объем. Для общественных зданий удельные характеристики приведены в [26, приложение 5]

Произведем расчет удельной тепловой характеристики здания  $q_{уд}$  по формуле Н.С. Ермолаева (4.3.3) [2, п.2.2.8, формула (2.5)]:

$$q_{уд} = 1,08 \left\{ \frac{P}{S} [k_{нс} + d(k_{ок} - k_{нс})] + \frac{1}{H} (0,9k_{нт} + 0,6k_{нл}) \right\}, \quad (4.3.3)$$




где  $P, S, H$  – соответственно внешние периметр, площадь, высота здания;

$k_{нс}, k_{ок}, k_{пт}, k_{пл}$  – коэффициенты теплопередачи наружных стен, окон, потолка и пола соответственно [глава 4.2, табл. 4.2.7];

$d$  – доля остекления наружной стены.

Расчет геометрических характеристик жилых зданий (план здания с отмеченными геометрическими характеристиками представлены в приложениях А и Б задания).

Периметр здания  $P$ , м, и площадь здания  $S$ , м<sup>2</sup>, рассчитываются по внешнему обмеру, т. е. с учетом толщины наружных стен [2, глава 2, табл. 2.1]:

$$P_{1сек} = 2 \cdot (3,6 \cdot 3 + 2,8 \cdot 3 + 0,52 \cdot 2) + 2 \cdot (5,6 \cdot 2 + 0,52 \cdot 2) = 64,96 \text{ м.}$$

$$P_{2сек} = 4 \cdot (3,6 \cdot 3 + 2,8 \cdot 3) + 0,52 \cdot 6 + 2 \cdot (5,6 \cdot 2 + 0,52 \cdot 2) = 104,4 \text{ м.}$$

Для зданий с неотапливаемым подвалом, при измерении площади полученного сечения, выступающие на поверхности стен архитектурные детали, а также ниши в стенах здания и неотапливаемые лоджии не учитываются.

$$S_{1сек} = (0,52 \cdot 2 + 3,6 \cdot 3 + 2,8 \cdot 3) \cdot (5,6 \cdot 2 + 0,52 \cdot 2) = 247,74 \text{ м}^2.$$

$$S_{2сек} = 2 \cdot 247,74 = 495,5 \text{ м}^2.$$

Полная высота здания от уровня земли до верхней плоскости теплоизоляционного чердачного перекрытия [2, п.2.2.3]:

$$H_{16} = 1 + 3 \cdot 16 + 2,7 + 0,402 = 49,102 \text{ м.}$$

Доля остекления наружной стены  $d$  определяется как отношение площади заполнения световых проемов  $S_{окон}$  к суммарной площади вертикального ограждения  $A$ , м<sup>2</sup>:

$$d = \frac{S_{окон}}{A}, \quad (4.3.4)$$

Площадь заполнения световых проемов  $S_{окон}$ , м<sup>2</sup>, определяется исходя из количества оконных блоков во всех квартирах на всех этажах, а также площади оконных блоков подъезде(ах):

$$S_{окон}^{16} = (11 \cdot 16 + 1 \cdot 15) \cdot 2 = 1146 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь вертикального ограждения (наружных стен)  $A$ , м<sup>2</sup>, рассчитывается через уже найденные высоту  $H$ , м, и внешний периметр  $P$ , м, зданий (4.3.5):

$$A = H \cdot P, \quad (4.3.5)$$


$$A^{16} = 49,102 \cdot 104,4 = 5126,25 \text{ м}^2.$$

Найдем значение коэффициента остекления наружной стены  $d$ , подставив значения в формулу (4.3.4):

$$d^{16} = \frac{1146}{5126,25} = 0,224.$$

Подставив найденные значения в формулу Н.С.Ермолаева (4.3.3), найдем значение удельной тепловой характеристики здания  $q_{yd}$ , Вт/(м<sup>3</sup> °С):

$$q_{yd}^{16} = 1,08 \left[ \frac{104,4}{495,5} (0,276 + 0,224 \cdot (1,5625 - 0,276)) + \frac{1}{49,102} (0,9 \cdot 0,185 + 0,6 \cdot 0,217) \right] = 0,135 \text{ Вт/(м}^3 \text{ °С)}.$$

#### 4.3.2 Определение значения теплотерь через ограждающие конструкции

Коэффициент учета района строительства здания определяем по формуле (4.3.2):

$$a_{16} = 0,54 + \frac{22}{21 - (-35)} = 0,933.$$

Объем отапливаемой части здания  $V$ , м<sup>3</sup> вычисляется как произведение площади здания в плане  $S$ , м<sup>2</sup> и высоты здания  $H$ , м, (4.3.6):

$$V = S \cdot H, \quad (4.3.6)$$

$$V_5 = 495,5 \cdot 49,102 = 24328,82 \text{ м}^3.$$

Ориентировочное значение теплотерь через ограждающие конструкции здания определяют при оценке нагрузок тепловых сетей и станций по формуле (4.3.1):

$$Q_0^{16} = 1,07 \cdot 0,933 \cdot 0,136 \cdot 11399,32 \cdot (21 - (-35)) = 281\,635,9 \text{ Вт}.$$

Для всех типов зданий расчеты проводятся аналогичным образом, результаты вычислений приведены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Нагрузка на отопление для одного здания каждого типа

Тип здания	$t_e, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$a$	$V, \text{ м}^3$	$q_{yd}, \text{ Вт/(м}^3\text{ °С)}$	$Q_o^i, \text{ Вт}$
Здание жилое 16 этаж.	21	-34	0,940	24 328,82	0,135	181 354,47
Административное здание	18	-34	0,963	1255	0,407	27 370,72
Детский сад	18	-34	0,963	4850	0,442	114 871,45
Школа	18	-34	0,963	4373	0,384	89 982,65

Результаты вычислений общей нагрузки приведены в таблице 4.3.2




Результаты вычислений общего потребного количества теплоты приведены в таблице 4.3.4.

Таблица 4.3.4 – Общее потребное количество теплоты на отопление по укрупненным расчетам за рассматриваемый период

Тип здания	$Q_{o,год}^i$ , ГДж, (на одно здание)	Количество зданий	$Q_o^{год}$ ГДж (на все здания)
Здание жилое 5 этаж.	2 703,5	13	5 198,30
Административное здание	2 046,34	3	246,86
Детский сад	1 051,02	3	1 036,04
Школы	2 329,45	3	811,57
Потребное количество теплоты на отопление всех зданий района за рассматриваемый период			7 292,77

#### 4.4 Определение тепловой нагрузки на вентиляцию

Потребность тепловой энергии на вентиляцию зданий рассчитывается при наличии в них систем принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

При отсутствии проектных данных или несоответствии установленного оборудования проекту расчетный расход теплоты на вентиляцию здания может быть определен по методикам изложенным в справочниках.

При отсутствии проектов вентилируемых зданий расчетный расход теплоты  $Q_v$ , Вт, допускается определять по формуле укрупненных расчетов

$$Q_v = a \cdot q_{vd} \cdot V_n \cdot (t_v - t_n), \quad (4.4.1)$$

где  $q_{vd}$  – удельная вентиляционная характеристика зданий,  $Q_v$ , Вт/(м<sup>3</sup>°C);

$(t_v - t_n)$  – расчетная разность температур внутреннего воздуха для основных помещений и наружного воздуха;

$V$  – объем вентилируемой части здания;

Значения удельных вентиляционных характеристик общественных зданий и учреждений, обслуживающих население принимают при отсутствии типовых проектов по [29, приложение 15]

Для всех типов зданий расчеты проводятся аналогичным образом по формуле 4.4.1, результаты приведены в таблице 4.4.1

Таблица 4.4.1 – Общая нагрузка на вентиляцию зданий района  $Q_v$ , Вт

Тип здания	$q_{vd}$ , Вт/(м <sup>3</sup> °C)	$a$	$V_n$ , м <sup>3</sup>	$t_v$ , °C	$t_n$ , °C	Количество зданий	$Q_v$ , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
Административное здание	0,1	0,963	1255	18	-34	1	6 285,04


Продолжение таблицы 4.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Детский сад	0,13	0,963	4850	18	-34	1	31 575,44
Школа	0,15	0,963	4373	18	-34	1	32 849,98
Расчетный расход теплоты на вентиляцию всех зданий района							70 710,46

Расчетный расход теплоты на вентиляцию всех зданий района находится, как сумма требуемого количества теплоты для каждой группы зданий.

При укрупненных расчетах потребное количество теплоты на вентиляцию за рассматриваемый период (месяц, квартал, отопительный сезон, год)  $Q_v$ , ГДж, определяют по формуле:

$$Q_v = 3,6 \cdot V_n \cdot a \cdot q_{yd} \cdot (t_e - t_{om}) \cdot n \cdot z_{om} \cdot 10^{-6}, \quad (4.4.2)$$

где 3,6 – коэффициент перевода Вт в кДж/ч;

$t_{om}$  – средняя температура наружного воздуха периода со среднесуточной температурой меньшей или равной 8°C;

$z_{om}$  – продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньшей или равной 8°C

$n$  – усредненное число часов работы систем вентиляции в течении суток, ч.

Результаты расчетов общего количества теплоты на вентиляцию приведены в таблице 4.4.2

Таблица 4.4.2 – Общее потребное количество теплоты на вентиляцию по укрупненным расчетам за рассматриваемый период

Тип здания	$V_n$ , $m^3$	$q_{yd}$ , $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$	$a$	$t_e$ , $^\circ C$	$t_{om}$ , $^\circ C$	$n$ , ч.	$z_{om}$ , сут.	$Q_v^{i,год}$ , ГДж
Административное здание	10255	0,08	0,95	18	-6,9	12	223	28,34
Детский сад	4 850	0,13	0,95	18	-6,9	12	223	142,39
Школа	12 373	0,384	0,95	18	-6,9	12	223	148,14
Потребное количество теплоты на вентиляцию всех зданий района за рассматриваемый период								318,87

#### 4.5 Определение тепловой нагрузки на горячее водоснабжение

Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение жилых, общественных и производственных зданий следует принимать в соответствии с индивидуальным проектом здания или сооружения.


При отсутствии проектов расход тепловой энергии на горячее водоснабжение зданий может быть определён по укрупненным показателям.

Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя, Вт определяют по формулам:

$$Q_{\text{звз}}^{\text{cp}} = Q_{\text{звз}'}^{\text{cp}} + Q_{\text{mn}}, \quad (4.5.1)$$

$$Q_{\text{звз}'}^{\text{cp}} = \frac{0,28 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_{\text{хз}})}{24}, \quad (4.5.2)$$

$$Q_{\text{звл}}^{\text{cp}} = Q_{\text{звл}'}^{\text{cp}} + Q_{\text{mn}}, \quad (4.5.3)$$

$$Q_{\text{звл}'}^{\text{cp}} = \frac{0,28 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_{\text{хл}})}{24}, \quad (4.5.4)$$

где  $Q_{\text{звз}}^{\text{cp}}$ ,  $Q_{\text{звл}}^{\text{cp}}$  – расход тепла на горячее водоснабжение соответственно в зимний и летний периоды, Вт;

$Q_{\text{звз}'}^{\text{cp}}$ ,  $Q_{\text{звл}'}^{\text{cp}}$  – средний расход тепла на непосредственно горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь, соответственно в зимний и летний периоды, Вт;

$a$  – норма расхода воды на горячее водоснабжение, л/сут·чел, утвержденная местными органами власти или управления. При отсутствии утвержденных норм принимается по приложению 10 [29] ;

$m$  – количество единиц измерения, отнесённое к суткам (число жителей, учащихся в учебных заведениях, мест в больницах;

$t_{\text{хл}}$ ,  $t_{\text{хз}}$  – усреднённая температура холодной (водопроводной) воды соответственно зимой и летом, °С. При отсутствии данных принимают в отопительный период  $t_{\text{хз}}=5^{\circ}\text{C}$ , в летний период  $t_{\text{хл}}=15^{\circ}\text{C}$ ;

$c$  – удельная теплоёмкость воды, принимается в расчётах равной 4,187 кДж/(кг·°С);

0,28 – коэффициент перевода размерностей физических величин в Вт;

$Q_{\text{mn}}$  – мощность тепловых потерь системой горячего водоснабжения (стояками, подающими и циркуляционными трубопроводами, полотенцесушителями и др.).

Расчет расход тепла на непосредственно горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь для 16-этажного жилого здания. Подставим значения в формулы (4.5.2) и (4.5.4) получим:

$$Q_{\text{звз}'}^{\text{cp}} = 177\,807,93 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{звл}'}^{\text{cp}} = 142\,246,35 \text{ Вт.}$$


Для остальных зданий, вычисления осуществляются аналогичным образом.

Результаты расчета среднего расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в зимний период приведены в таблице 4.5.1

Таблица 4.5.1 – Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в зимний (отопительный период),  $Q_{звз}^{cp}$ , Вт

Тип здания	$a$ , л/сут·чел	$m$ , чел/сут	$c$ , кДж/(кг·°C)	$(55 - t_{xz})$ , °C	$Q_{звз}^{cp}$ , Вт
Жилое 16 этаж.	130	187	4,187	50	59 269,31
Административное здание	7	60	4,187	50	1 025,82
Детский сад	30	100	4,187	50	7 327,25
Школа	8	88	4,187	50	1 719,46

Результаты расчета среднего расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в летний период приведены в таблице 4.5.2

Таблица 4.5.2 – Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение потребителя без учёта тепловых потерь в летний период,  $Q_{звл}^{cp}$ , Вт

Тип здания	$a$ , л/сут·чел	$m$ , чел/сут	$c$ , кДж/(кг·°C)	$(55 - t_{xl})$ , °C	$Q_{звл}^{cp}$ , Вт
Жилое 16 этаж.	130	187	4,187	40	47 415,45
Административное здание	7	260	4,187	40	820,65
Детский сад	30	100	4,187	40	5 861,80
Школа	8	88	4,187	40	1 375,57

Тепловые потери при отсутствии данных, необходимых для расчета, определяют с помощью коэффициента  $k_{mn}$ , учитывающего потери трубопроводами горячего водоснабжения, принимаемого по приложению 12 [29], по формуле:

$$Q_{зв}^{cp} = Q_{звз}^{cp} \cdot (1 + k_{mn}), \quad (4.4.5)$$

где  $Q_{зв}^{cp} = Q_{звз}^{cp} + Q_{звл}^{cp}$ .


Средний расход тепловой энергии на горячее водоснабжение с учетом тепловых потерь трубопроводами горячего водоснабжения рассчитан для всех типов зданий. Результаты расчетов приведены в таблице 4.5.3.

Таблица 4.5.3 – Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение,  $Q_{звз}$  и  $Q_{звл}$ , Вт

Тип здания	$Q_{звз}^{cp}$ , Вт	$Q_{звл}^{cp}$ , Вт	$Q_{зв}^{cp}$ , Вт	$k_{mn}$	$Q_{зв}^{cpi}$ , Вт	Кол-во зданий	$Q_{зв}^{cp}$ , Вт
Жилое 16 этаж.	39 567,15	31 653,72	106 684,76	0,35	144 024,43	3	432 073,78
Административное здание	3 419,383	2 735,507	1 846,47	0,35	2 492,73	1	2492,73
Детский сад	7 327,25	5 861,8	13 189,05	0,35	17 805,22	1	17 805,22
Школа	1 719,461	1 375,569	3 095,03	0,35	4 178,29	1	4 178,29
Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение для всех зданий района, $Q_{звс}^{cp}$ , Вт							456 549,52

Потребное количество теплоты на нужды горячего водоснабжения за определенный период (год)  $Q_{зв}$ , ГДж, определяют по формуле:

$$Q_{зв} = a \cdot m \cdot c \cdot [(55 - t_{xz}) \cdot z_3 + \beta(55 - t_{xl}) \cdot z_l] \cdot 10^{-6}, \quad (4.5.6)$$

где  $z_3$ ,  $z_l$  – продолжительность работы системы горячего водоснабжения, соответственно в зимний и летний периоды, сут.;

$c$  – удельная теплоёмкость воды, принимается в расчётах равной 4,187 кДж/(кг·°С);

4,187 – коэффициент перевода Гкал в ГДж

Результаты расчетов по формуле 4.5.6 приведены в таблице 4.5.4

Таблица 4.5.4 – Потребное количество теплоты на нужды горячего водоснабжения за определенный период (год)  $Q_{зв}^i$ , ГДж для каждого из различных типов зданий

Тип здания	$a$ , л/сут·чел	$m$ , чел/сут	$c$ , кДж/(кг·°С)	$(55 - t_{xz})$ , °С	$Z_3$ , сут	$\beta$	$(55 - t_{xl})$ , °С	$Z_l$ , сут	$Q_{зв}^i$ , ГДж
Жилое 16 этаж.	130	135	4,187	50	218	0,8	40	117	1 487,90
Административное здание	7	200	4,187	50	218	0,8	40	117	25,75
Детский сад	30	100	4,187	50	218	0,8	40	117	183,94
Школа	8	88	4,187	50	218	0,8	40	57	37,51



Расчеты потребного количества теплоты на нужды горячего водоснабжения за год приведены в таблице 4.5.5

Таблица 4.5.5 – Потребное количество теплоты на нужды горячего водоснабжения за определенный период (год)  $Q_{гв}^{год}$ , ГДж для всех различных типов зданий района

Тип здания	$Q_{гв}^i$ , ГДж	Кол-во зданий	$Q_{гв}^{год}$ , ГДж
Жилое 16 этаж.	1 487,90	3	4 463,69
Административное здание	25,75	1	25,75
Детский сад	183,94	1	183,94
Школа	37,51	1	37,51
Потребное количество теплоты на горячее водоснабжение всех зданий района за рассматриваемый период, $Q_{гв\Sigma}^{год}$ , ГДж			4 710,89
Потребное количество теплоты на горячее водоснабжение всех зданий района за рассматриваемый период с учетом коэффициента $k_{mn}$ по формуле: $Q_{гв}^{год} = Q_{гв\Sigma}^{год} \cdot (1 + k_{mn})$			6 359,7

#### 4.6 Определение тепловой мощности источника энергоснабжения

При отсутствии проектных данных расчет тепловой мощности источника энергоснабжения и потребляемое количество теплоты от него за рассматриваемый период (год) подсчитано по укрупненным показателям.

На основании расчётов в главах 4.3, 4.4, 4.5 и суммируя полученные результаты, заполняются таблицы 4.6.1 и 4.6.2.

Таблица 4.6.1 – Тепловая нагрузка источника теплоснабжения,  $Q_{ист}$ , Вт

Тепловая нагрузка источника теплоснабжения, Вт	$Q_o$ , МВт	$Q_в$ , МВт	$Q_{гвс}$ , МВт	$Q_{ист}$ , МВт
		0,59	0,07	0,456

Таблица 4.6.2 – Потребляемое количество теплоты от источника теплоснабжения за рассматриваемый период,  $Q_{ист}^{год}$ , ГДж

Потребляемое количество теплоты от источника теплоснабжения за рассматриваемый период, ГДж	$Q_o^{год}$ , ГДж	$Q_в^{год}$ , ГДж	$Q_{гв}^{год}$ , ГДж	$Q_{ист}^{год}$ , ГДж
		7 292,77	318,87	6 359,7

В результате расчетов тепловая нагрузка источника теплоснабжения составила  $Q_{ист} = 1,116$  МВт, потребляемое количество теплоты от источника теплоснабжения за рассматриваемый период (год)  $Q_{ист}^{год} = 13 971,34$  ГДж.




$$\Delta t'_o = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для определения температур  $t_{нз}$ ,  $t_{ни}$  необходимо построить график температуры теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения.

Так как температура ГВС не может быть ниже данной температуры в закрытых и открытых системах теплоснабжения, необходимо произвести подрезку графика при температуре  $65^\circ\text{C}$ .

Относительная величина тепловой нагрузки, МВт, (4.7.4) [35, формула 4.8] :

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_o}{Q'_o}, \quad (4.7.4)$$

где  $Q'_o$  – тепловая нагрузка на отопление, берем из п.4.6, МВт;

$Q_o$  – расход тепла на отопление, при температурах наружного воздуха, отличных от расчетной, если температура наружного воздуха выше расчетной разности температур, МВт, (4.7.5) [35, формула 4.8]:

$$Q_o = Q'_o \cdot \frac{t_g - t_n}{t_g - t_{н.о}}, \quad (4.7.5)$$

где  $t_n$  – температура наружного воздуха, при которой определяют расход тепла,  $^\circ\text{C}$ .

Определим нагрузку на вентиляцию при  $t_n=8^\circ\text{C}$  по формуле (4.7.5):

$$Q_o = 0,59 \cdot \frac{20 - 8}{20 - (-34)} = 0,13 \text{ МВт}.$$

Определим нагрузку на вентиляцию при  $t_n=8^\circ\text{C}$  по формуле (4.7.5):

$$Q_g^{+8} = 0,07 \cdot \frac{20 - 8}{20 - (-34)} = 0,02 \text{ МВт}.$$

Суммарный расход теплоты (4.7.6):

$$Q_\Sigma = Q_o + Q_g + Q_{ГВС}^{\max}. \quad (4.7.6)$$

При  $t_n = 8^\circ\text{C}$

$$Q_\Sigma = 0,13 + 0,02 + 0,456 = 0,606 \text{ МВт}.$$




$$Q_{zvc}^{zod} = Q_{zvc} \cdot n_0 + Q_{zvc}^n (8400 - n_0), \quad (4.7.10)$$

где  $n_0 = 216$  сут/год = 5184 час/год – продолжительность отопительного периода;  
 8400 час/год – продолжительность подачи горячей воды потребителю;  
 $Q_{zvc}^n$  – средний тепловой поток на горячее теплоснабжение в неотапливаемый период (4.7.11) [35, формула 4.13]:

$$Q_{zvc}^n = Q_{zvc} \beta \frac{55 - t_x^n}{55 - t_x^3}, \quad (4.7.11)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода горячей воды летом по сравнению с зимним периодом, для жилищно-коммунального сектора  $\beta = 0,8$ , для курортных и южных городов  $\beta = 1,5$ .

55 – температура горячей воды в системе горячего водоснабжения потребителей, °C;

$t_x^n = 5^\circ\text{C}$  – температура холодной воды в неотапливаемый период;

$t_x^3 = 15^\circ\text{C}$  – температура холодной воды в отопительный период;

$$Q_{zvc}^n = 0,456 \cdot 0,8 \cdot \frac{55 - 5}{55 - 15} = 0,456 \text{ МВт}$$

Годовые расходы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения :

$$Q_o^{zod} = 0,59 \cdot 10^6 \cdot 216 \cdot 24 \cdot 3600 = 11 \cdot 10^3 \text{ ГДж.}$$

$$Q_g^{zod} = 0,07 \cdot 216 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,3 \cdot 10^3 \text{ ГДж.}$$

$$Q_{zvc}^{zod} = (0,456 \cdot 5184 + 0,456(8400 - 5184)) \cdot 3600 = 18,6 \cdot 10^3 \text{ ГДж.}$$

Температура воды в подающей линии по отопительной нагрузке (4.7.12) [35, формула 4.14]:

$$\tau_{01} = t_g + \Delta t_o' \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + \bar{Q}_o \cdot (\delta \tau_0 - 0,5 \cdot \theta_0'). \quad (4.7.12)$$

Температура воды в обратной линии по отопительной нагрузке (4.7.13) [35, формула 4.14]:

$$\tau_{01} = t_g + \Delta t_o' \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + \bar{Q}_o \cdot 0,5 \cdot \theta_0'. \quad (4.7.13)$$




$$\tau_1 = \tau_{01} + \delta_1; \quad (4.7.14)$$

$$\tau_2 = \tau_{02} - \delta_2, \quad (4.7.15)$$

где  $\delta_1, \delta_2$  – снижение температуры сетевой воды в подогревателе ГВС.

Для двух подогревателей верно (4.7.16) [44, формула 1.23]:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{ГВС}^{\max}}{c_p \cdot G_o'}, \quad (4.7.16)$$

где  $Q_{ГВС}^{\max}$  – максимальная нагрузка на ГВС;

$G_o'$  – расход воды на отопление.

Расход воды на отопление,  $G_o'$ , будет неизменным при любой температуре в интервале температур от  $t_{н.и.}$  до  $t_{н.о.}$ , его можно определить, используя формулу (4.7.17)

$$G_o' = \frac{Q_o'}{c_p \cdot \delta \tau_o'}, \quad (4.7.17)$$

$$G_o' = \frac{0,59 \cdot 10^6}{4190 \cdot 45} = 3,13 \text{ кг/с.}$$

При температуре больше чем  $t_{н.и.}$  расход сетевой воды на отопление рассчитывается с учетом подрезки температурного графика (4.7.18):

$$G_o = \frac{Q_o'}{c_p \cdot (\tau_{01}'' - \tau_{02}'')}, \quad (4.7.18)$$

$$G_o^{+8} = \frac{0,59 \cdot 10^6}{4190 \cdot (65 - 46)} = 1,65 \text{ кг/с.}$$

$$\delta = \frac{0,456 \cdot 10^6}{4190 \cdot 3,13} = 34,78^\circ\text{C.}$$

$$\delta = \frac{0,456 \cdot 10^6}{4190 \cdot 1,65} = 66,08^\circ\text{C.}$$

На расчетном режиме (при  $t_n = t_{ну}$ ) задают величину недогрева воды в подогревателе первой ступени  $\Pi_1 \Delta t_{нед}'' = \tau_{o2}'' - t_n'' = 5...10^\circ\text{C}$ ; Примем  $\Delta t_{нед}'' = 7^\circ\text{C}$ , тогда:


Нагрев воды в подогревателе(4.7.19) [35,формула 4.19]:

$$t_n'' = \tau_{02}'' - \Delta t_{нео}'', \quad (4.7.19)$$

$$t_n'' = 46 - 7 = 39^\circ\text{C}.$$

Перепад температур в тепловой сети (4.7.20):

$$\delta\tau_o' = \frac{Q_o'}{G_o' \cdot c_p}, \quad (4.7.20)$$

$$\delta\tau_o' = \frac{0,59 \cdot 10^6}{3,13 \cdot 4190} = 45^\circ\text{C}.$$

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени подогревателя при различных температурах наружного воздуха (4.7.21) [35,формула 4.20]:

$$\delta_2'' = \frac{Q_{IBC}^{\max}}{Q_o'} \cdot \frac{t_n'' - t_x}{t_2 - t_x} \cdot \delta\tau_o', \quad (4.7.20)$$

$$\delta_2'' = \frac{0,456}{0,59} \cdot \frac{39 - 5}{55 - 5} \cdot 45 = 23,65^\circ\text{C}$$

Перепад температур в верхней ступени подогревателя (4.7.21) [16,формула 4.23]:

$$\delta_1'' = \delta - \delta_2'', \quad (4.7.21)$$

$$\delta_1'' = 34,78 - 23,65 = 11,13^\circ\text{C}.$$

Для любой наружной температуры  $t_n$  перепад температур (4.7.22),(4.7.23) [16,формула 4.21]:

$$\delta_2 = \delta_2'' \cdot \frac{\tau_{02}'' - t_x}{t_n'' - t_x}, \quad (4.7.22)$$

$$\delta_1 = \delta - \delta_2. \quad (4.7.23)$$

Далее определяем температуры сетевой воды  $\tau_1$  и  $\tau_2$  по формулам (4.7.14), (4.7.15).




Если для какого-либо режима получается  $\delta_2 = \delta$ , то в последующих расчетах принимают  $\delta_2 = \delta$ , а  $\delta_1 = 0$ . Таким образом, в этом случае вся теплота на ГВС обеспечивается подогревателем П<sub>2</sub> (см. рисунок 4.7.1).

Полученные величины приведем в таблице 4.7.3

Таблица 4.7.3– Сводная таблица качественного регулирования по совмещенной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения

$t_H, ^\circ\text{C}$	-34	-30	-27	-25	-20	-15	-10	-5	-2,5	0	5	8
$\delta_2, ^\circ\text{C}$	37,5	35,88	34,64	33,8	31,67	29,46	27,17	24,78	23,69	23,65	23,65	23,65
$\delta_1, ^\circ\text{C}$	0	0	0	0,98	3,11	5,32	7,61	10	11,08	11,13	11,13	11,13
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	115	108,86	104,22	102,08	96,35	90,56	84,71	78,79	76,16	76,13	76,13	76,13
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	32,51	31,32	30,41	29,8	28,23	26,61	24,94	23,18	22,38	22,35	22,35	22,35

При  $t_H = -34 ^\circ\text{C}$  действительное значение  $\delta_2 = 37,5 ^\circ\text{C} > \delta$ , найдем температуру наружного воздуха, при которой действительное значение  $\delta_2 = 34,78 ^\circ\text{C}$  (4.7.24):

$$\tau_{02} = \frac{(\tau_{02}'' - t_x) \cdot \delta_2}{\delta_2''} + t_x, \quad (4.7.24)$$

$$\tau_{02} = \frac{(46 - 5) \cdot 34,78}{23,65} + 5 = 60,3 ^\circ\text{C}.$$

Построим температурный график по результатам вычислений:

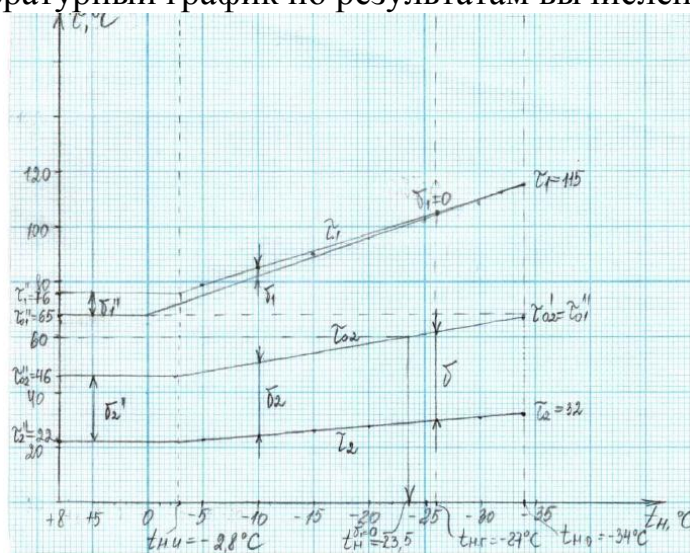


Рисунок 4.7.3 – График температур теплоносителя при качественном регулировании по совмещенной нагрузке в закрытой системе теплоснабжения

Из рисунка 4.7.3 определим температуру наружного воздуха при  $\tau_{02}=60,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$t_n^{\delta_1=0} = -23,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

#### 4.8 Тепловой расчет котла

Расчет производится с целью определения теплопроизводительности котла, расхода газа, коэффициента полезного действия, температуры газов по тракту продуктов сгорания, тепловых потоков поверхностей нагрева. Результаты теплового расчета необходимы для определения температур стенок поверхностей нагрева при проведении расчета на прочность элементов котла, работающих под давлением, а также для проведения аэродинамического расчета котла.

Тепловой расчет выполнен по нормам «Тепловой расчет котельных агрегатов» (нормативный метод) 1973 г. (далее по тексту «Нормы»). [32]

Номинальные характеристики котлоагрегата:

1. Теплопроизводительность агрегата  $Q$ , МВт.....1,0
2. Максимальное рабочее давление воды  $p$ , МПа.....0,6
3. Температура воды на входе в котел,  $^{\circ}\text{C}$ .....70  
на выходе из котла,  $^{\circ}\text{C}$  .....115
4. Минимальная температура уходящих газов,  $^{\circ}\text{C}$ .....160
5. Газ уренгойского месторождения, химический состав газа приведен в табл.

##### 4.8.1

Таблица 4.8.1 – Топливо-газ, расчетные характеристики природного газа

$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$	$C_5H_{12}$	$N_2$	$CO_2$
98,84	0,1	0,03	0,02	0,01	1,7	0,3

6. Низшая теплота сгорания сухого газа  $Q_n^p$ , МДж/м<sup>3</sup>.....35,3

#### 4.8.1. Топливо, воздух и продукты сгорания

##### 4.8.1.1 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания топлива

Определим теоретический объем воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, необходимого для полного сгорания при сжигании газа, при  $\alpha=1,1, \text{ м}^3/\text{м}^3$  (принимается) по формуле (4.8.1). При избытке воздуха  $\alpha > 1$  расчет ведется по следующим формулам [32, формула 4-13]:

$$V^o = 0,0476 \cdot \left[ 0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right], \quad (4.8.1)$$

где  $m$  – число атомов углерода;


$n$  – число атомов водорода.

$$V^0 = 0,0476 \cdot [2 \cdot CH_4 + 3,5 \cdot C_2H_6 + 5 \cdot C_3H_8 + 6,5 \cdot C_4H_{10} + 8 \cdot C_5H_{12}] = \\ = 0,0476 \cdot [2 \cdot 98,84 + 3,5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,03 + 6,5 \cdot 0,02 + 8 \cdot 0,01] = 9,44 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Определим теоретический объем азота в продуктах сгорания при сжигании газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$  по формуле (4.8.2) [32, формула 4-14]:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{N_2}{100}, \quad (4.8.2)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,44 + \frac{1,7}{100} = 7,48 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Определим объем трехатомных газов при сжигании газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , по формуле (4.8.3) [32, формула 4-15]:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n), \quad (4.8.3)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (0,3 + 1 \cdot 98,84 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,02 + 5 \cdot 0,01) = 0,9956 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Определим теоретический объем водяных паров,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , по формуле (4.8.4) [32, формула 4-16]:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_mH_n + 0,124 \cdot d_2) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (4.8.4)$$

где  $d_2$  - влагосодержание газообразного топлива,  $\text{г}/\text{нм}^3$  (обычно  $d_T \approx 10$ )

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left( \frac{4}{2} \cdot 98,84 + \frac{6}{2} \cdot 0,1 + \frac{8}{2} \cdot 0,03 + \frac{10}{2} \cdot 0,02 + \frac{12}{2} \cdot 0,01 + 0,124 \cdot 10 \right) = \\ + 0,0161 \cdot 9,44 = 2,147 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объем водяных паров,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , формула (4.8.5) [32, формула 4-07]:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (4.8.5)$$

$$V_{H_2O} = 2,147 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot 9,44$$


Объем дымовых газов,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , формула (4.8.6) [32, формула 4-08]:

$$V_2 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (4.8.5)$$

$$V_2 = 0,9956 + 7,48 + 2,16 + (1,1 - 1) \cdot 9,44 = 11,58 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объемные доли трехатомных газов, равные парциальным давлениям газов при общем давлении  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ , формулы (4.8.6), (4.8.7) [32, формула 4-09, 4-10]:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_2}; \quad (4.8.6)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_2}; \quad (4.8.7)$$

$$r_{RO_2} = \frac{0,9956}{11,58} = 0,086;$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,16}{11,58} = 0,186.$$

#### 4.8.1.2 Энтальпии воздуха и продуктов сгорания

Энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания, отнесенные к 1 кг или  $1 \text{ м}^3$  сжигаемого топлива при температуре  $\vartheta$  °С,  $\text{кДж}/\text{м}^3$ , рассчитывают по формулам (4.8.8), (4.8.9) [32, формула 4-09, 4-10]:

$$I_0^0 = V^0 (ct)_0 \quad (4.8.8)$$

$$I_2^0 = V_{RO_2} (c\mathcal{G})_{RO_2} + V_{N_2}^0 (c\mathcal{G})_{N_2} + V_{H_2O}^0 (c\mathcal{G})_{H_2O} \quad (4.8.9)$$

где  $(ct)_0$ ,  $(c\mathcal{G})_{RO_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{N_2}$ ,  $(c\mathcal{G})_{H_2O}$  – удельные энтальпии воздуха, трехатомных газов, азота и водяных паров соответственно,  $\text{кДж}/\text{м}^3$

Используя данные энтальпии воздуха и продуктов сгорания [3, табл. XIII] определяем энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива, расчет сведем в таблицу 4.8.2.


Удельную энтальпию сухих трехатомных газов  $(c\mathcal{G})_{RO_2}$  считают равной удельной энтальпии двуокиси углерода  $(c\mathcal{G})_{CO_2}$ .

Таблица 4.8.2 – Энтальпии теоретического объема воздуха и продуктов сгорания топлива, кДж/м<sup>3</sup>

Температура, С	$V^0 = 9,44$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{RO_2} = 0,9956$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{N_2}^0 = 7,48$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{H_2O}^0 = 2,15$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$I_z^0 = I_{RO_2} + I_{N_2} + I_{H_2O}^0$
	$I_g^0 = V^0 (ct)_g$	$I_{RO_2} = V_{RO_2} (c\mathcal{G})_{RO_2}$	$I_{N_2}^0 = V_{N_2}^0 (c\mathcal{G})_{N_2}$	$I_{H_2O}^0 = V_{H_2O}^0 (c\mathcal{G})_{H_2O}$	
30	368,29	0	0	0	0
100	1246,52	168,26	972,04	324,20	1464,50
200	2511,93	355,43	1944,09	652,70	2952,22
300	3805,68	556,54	2931,08	994,08	4481,70
400	5118,30	768,60	3940,51	1344,05	6053,16
500	6459,26	991,62	4964,90	1704,75	7661,26
600	7837,99	1216,62	6011,72	2076,19	9304,52
700	9245,05	1454,57	7073,49	2462,65	10990,71
800	10671,00	1696,50	8172,64	2866,30	12735,44
900	12096,95	1942,42	9294,23	3272,09	14508,73
1000	13560,67	2192,31	10423,30	3703,64	16319,25
1100	15062,17	2446,19	11552,36	4135,20	18133,75
1200	16563,66	2705,05	12673,95	4575,34	19954,34
1400	19604,42	3225,74	15021,81	5492,12	23739,68
1600	22692,40	3750,43	17369,67	6443,26	27563,36
1800	25770,94	4284,07	19754,91	7424,46	31463,44
2000	28934,47	4821,69	22162,59	8429,27	35413,55
2200	32097,99	5363,30	24600,18	9444,82	39408,30

Энтальпию продуктов сгорания на 1 м<sup>3</sup> топлива при  $\alpha > 1$ , кДж/м<sup>3</sup>, подсчитывают по формуле (4.8.10) [32, формула 4-21]:

$$I_z = I_z^0 + (\alpha - 1)I_g^0 \quad (4.8.10)$$

Расчеты по определению энтальпии продуктов сгорания топлива при различных температурах газов в разных газоходах приведены в таблице 4.8.3


Таблица 4.8.3– Энтальпии продуктов сгорания в газоходах, кДж/м<sup>3</sup>

$t, ^\circ\text{C}$	$I_g^0$	$I_z^0$	$I_z$	$\Delta I$
100	1246,52	1464,50	1589,155	1552,326
200	2511,93	2952,22	3203,409	1614,254
300	3805,68	4481,70	4862,272	1658,862
400	5118,30	6053,16	6564,994	1702,723
500	6459,26	7661,26	8307,191	1742,197
600	7837,99	9304,52	10088,32	1781,132
700	9245,05	10990,71	11915,22	1826,892
800	10671,00	12735,44	13802,54	1887,326
900	12096,95	14508,73	15718,43	1915,887
1000	13560,67	16319,25	17675,32	1956,888
1100	15062,17	18133,75	19639,96	1964,648
1200	16563,66	19954,34	21610,7	1970,737
1400	19604,42	23739,68	25700,12	4089,419
1600	22692,40	27563,36	29832,6	4132,476
1800	25770,94	31463,44	34040,53	4207,937
2000	28934,47	35413,55	38307	4266,467
2200	32097,99	39408,30	42618,09	4311,094

#### 4.8.2 Тепловой баланс котла

Тепловой баланс составляем в расчёте на 1 м<sup>3</sup> низшей теплоты сгорания топлива  $p_n^c$ . При определении  $Q_n^p$  считаем, что предварительный подогрев воздуха и топлива за счёт внешнего источника теплоты отсутствует, тогда  $Q_{в.н} = 0$  и  $i_{мл} = 0$ .

Расчет теплового баланса котлоагрегата и расход топлива приведен в таблице 4.8.2


Таблица 4.8.2–Расчет теплового баланса котлоагрегата и расход топлива

Величина			Единица	Расчет
Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Низшая теплота сгорания	$Q_n^p$	По исходным данным	кДж/м <sup>3</sup>	35316,5
Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива	$q_3$	Табл. XX [32]	%	0,5
Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива	$q_4$	Для природных газов $q_4=0$	%	0
Температура уходящих газов	$\vartheta_{yx}$	По выбору	°С	180
Энтальпия уходящих газов	$I_{yx}$	По I– $\vartheta$ таблице	кДж/м <sup>3</sup>	2059,6
Температура воздуха в котельной	$t_{x.в.}$	По выбору	°С	30
Энтальпия воздуха в котельной	$I_{x.в.}^0$	По I– $\vartheta$ таблице	кДж/м <sup>3</sup>	368,3
Потеря теплоты с уходящими газами	$q_2$	$\frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.в.}^0)(100 - q_4)}{Q_n^p}$	%	$\frac{(2059,6 - 1,1 \cdot 368,3)(100 - 0)}{35316,5} = 4,68$
Теплопроизводительность котла	$Q$	По заданию	МВт	1
К.п.д. котельного агрегата	$\eta_{ка}$	По технической характеристике котла	%	94
Полный расход топлива	$B$	$\frac{Q}{Q_n^p \cdot \eta_{ка}}$	м <sup>3</sup> /с	$\frac{916}{35316,5 \cdot 94} = 0,03$
Коэффициент теплоотдачи от стенки котла к окружающей среде	$\alpha_k$	Принимаем	Вт/м <sup>2</sup> К	10
Длина котла(с крышками и изоляцией)	$L_k$	Из габаритных размеров котла	мм	4335
Диаметр котла (с изоляцией)	$D_k$	Из габаритных размеров котла	мм	1650

Продолжение таблицы 4.8.2

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---


Наружная поверхность котла	$F_k$	$\pi D_k L_k + \frac{\pi D_k^2}{2}$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot 1,65 \cdot 4,335 + \frac{\pi \cdot 1,65^2}{2} = 26,7$
Разность температур при теплопередаче	$\Delta t$	$t_{x.в.} - t_{в.}$	°С	115-30=85
Потери тепла в окружающую среду	$Q_5$	$\frac{\alpha_k \cdot F_k \cdot \Delta t}{B}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{10 \cdot 26,7 \cdot 85}{0,0305} = 743,09$
Потеря теплоты от наружного охлаждения	$q_5$	$100 Q_5 / Q_H^p$	%	$100 \cdot 743,09 / 35315,6 = 2,1$
Сумма тепловых потерь	$\Sigma q$	$q_5 + q_4 + q_3 + q_2$	%	7,28
К.п.д. котельного агрегата	$\eta_{ка}$	$100 - \Sigma q$	%	92,7
Полный расход топлива	$B$	$\frac{Q}{Q_H^p \cdot \eta_{ка}}$	м <sup>3</sup> /с	$\frac{1000}{353165 \cdot 92,7} = 0,0305$
Расчетный расход топлива	$B_p$	$B \cdot (1 - q_4/100)$	м <sup>3</sup> /с	$0,03(1 - 0/100) = 0,0305$
Коэффициент сохранения теплоты	$\varphi$	$1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5}$	—	$1 - \frac{0,5}{92,7 + 2,1} = 0,9$

#### 4.8.3 Тепловой расчет топочной камеры

В жаротрубных дымогарных котлах основными геометрическими параметрами являются диаметр камеры сгорания, длина топки, объем топки и размеры переходной области при входе дымовых газов в дымогарные трубы.

Расчет топочной камеры приведен в таблице 4.8.3

Таблица 4.8.3 – Расчет жаровой трубы

Величина			Единица	Расчет
Наименование	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Коэффициент излучения абсолютно черного тела	$\sigma_0$	Постоянная	кВт/(м <sup>2</sup> К <sup>4</sup> )	$5,67 \cdot 10^{-11}$
Эффективная поглощательная способность жаровой трубы	$a_l$	Принимается для стальной трубы	-	0,88
Внутренний диаметр топки	$D_m$	Из габаритных размеров котла	мм	668



Продолжение таблицы 4.8.3

1	2	3	4	5
Длина топки	$L_m$	Из габаритных размеров котла	мм	2813
Суммарная площадь стен топки	$F_{cm}$	$\pi D_m L_m + 2 \cdot \frac{\pi D_m^2}{4} \cdot L_m$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot 0,668 \cdot 2,813 + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,668^2}{2} \cdot 2,813 = 7,86$
Геометрическая площадь боковой поверхности	$H$	$\pi D_m L_m$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot 0,668 \cdot 2,813 = 5,9$
Величина	$x$	Принимается для жаровой трубы	-	1
Лучевоспринимающая поверхность стен	$H_l$	$H \cdot x$		5,9
Степень экранирования топки	$\chi$	$H_l / F_{cm}$	-	$5,9 / 7,86 = 0,75$
Объемная доля: водяных паров трехатомных газов	$r_{H_2O}$ $r_{RO_2}$	По расчетам	-	0,186 0,086
Суммарная объемная доля трехатомных газов	$r_n$	по табл.1.2	-	0,272
Давление в топочной камере	$p$	Задано [34]	МПа	0,1
Объем топки	$V_m$	$\frac{\pi D_m^2}{4} L_m$	м <sup>3</sup>	$\frac{\pi \cdot 0,668^2}{4} \cdot 2,813 = 0,98$
Эффективная толщина излучающего слоя топки	$s_m$	$3,6 V_m / F_{cm}$	м	$3,6 \cdot 0,98 / 7,86 = 0,45$
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta''_m$	Принимаем	°С	985
Температура газов на выходе из топки	$T_m''$	$\vartheta_r + 273$	К	$985 + 273 = 1258$
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	$k_e$	$k_e = \left( \frac{7,8 + 16 r_{H_2O}}{\sqrt{10 p \cdot r_n \cdot s_m}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T_m''}{1000} \right)$	1/(м·МПа)	15,9
Отношение содержания углерода и водорода в топливе	$C^p / H^p$	$0,12 \sum \frac{m}{n} C_m H_n$	-	1,27
Коэффициент ослабления лучей сажистыми частями	$k_c$	$\frac{1,2}{1 + a^2} \left( 1,6 \frac{T_m''}{1000} - 0,5 \right) \left( \frac{C^p}{H^p} \right)^{0,4}$	1/(м·МПа)	1,27


Продолжение таблицы 4.8.3

Коэффициент ослабления лучей топочной средой	$k_{CB}$	$k_{CB} = k_2 \cdot r_n + k_c$	1/(м·МПа)	$15,9 \cdot 0,262 + 1,27 = 4,88$
Степень черноты светящейся части факела	$a_{CB}$	$1 - e^{-k_{CB} p S}$	-	$1 - e^{-4,88 \cdot 0,1 \cdot 0,638} = 0,27$
Коэффициент заполнения топки светящейся частью факела	$m$	Задано при сжигании природного газа [34]	-	0,6
Степень черноты газовой(несветящейся) части факела	$a_2$	$1 - e^{-k_2 \cdot r_n \cdot p S}$	-	$1 - e^{-15,9 \cdot 0,272 \cdot 0,1 \cdot 0,638} = 0,2$
Эффективная степень черноты факела	$a_\phi$	$m a_{CB} + (1 - m) a_2$	-	$0,6 \cdot 0,27 + (1 - 0,6) \cdot 0,2 = 0,243$
Приведенная степень черноты камеры	$a_k$	$\frac{1}{\frac{1}{a_l} + \chi \left( \frac{1}{a_\phi - 1} \right)}$	-	$\frac{1}{\frac{1}{0,88} + 0,886 \left( \frac{1}{0,243 - 1} \right)} = 0,256$
Физическое тепло воздуха	$Q_\phi$	$(c \cdot \rho)_{\text{вв}} \cdot \alpha \cdot V_0$	кДж/м <sup>3</sup>	$39 \cdot 1,1 \cdot 9,44 = 405,12$
Тепловыделение в топке	$Q_m^n$	$Q_H^p \frac{100 - q_3}{100} + Q_\phi$	кДж/м <sup>3</sup>	$35315,6 \frac{100 - 0,5}{100} + 405,12 = 35545$
Адиабатическая температура горения	$\vartheta_a$	По I- $\vartheta$ -таблице по $Q_m$	°С	1870,5
Адиабатическая температура горения	$T_a$	$\vartheta_a + 273$	К	$1870,5 + 273 = 2143,5$
Эффективная температура топочной среды	$T_\phi$	$0,925 \sqrt{T_a T_m''}$	К	$0,925 \sqrt{2143,5 \cdot 1258} = 1519$
Средняя температура среды	$T_{cp}$	$(t_1 + t_2) / 2 + 273$	К	$(115 + 70) / 2 + 273 = 365,5$
Тепловое сопротивление загрязняющего слоя на наружной поверхности	$\varepsilon$	Принимаем	м <sup>2</sup> К/Вт	0
Коэффициент теплоотдачи от стенки к среде	$\alpha_2$	Для топочной камеры	Вт/м <sup>2</sup> К	0
Температура наружного слоя лучевоспринимающей поверхности	$T_3$	$T_{cp} + \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \frac{B \cdot Q_l}{H_\gamma}$	К	365,5
Лучистое тепло, воспринятое топкой	$Q_l$	$\sigma_0 \frac{a_k H_l}{B} (T_\phi^4 - T_3^4)$	кДж/м <sup>3</sup>	$5,67 \cdot 10^{-11} \frac{0,25 \cdot 5,9}{0,03} (1519^4 - 365,5^4) = 143625$


Окончание таблицы 4.8.3

1	2	3	4	5
Коэффициент теплоотдачи конвекцией в топке	$\alpha_k^m$	Номограмма 14 [32] $C_\phi \cdot C_l \cdot \alpha_n$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	$10,5 \cdot 0,8 \cdot 2,09 = 17,56$
Конвективное тепло, воспринятое топкой	$Q_k$	$\frac{\alpha_k^m H (T_\phi - T_3)}{B}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{17,56 \cdot 5,9 \cdot (1519 - 365,5)}{0,03 \cdot 1000} = 3917,83$
Тепло воспринятое жаровой трубой (топкой) по уравнению теплообмена	$Q_m$	$Q_l + Q_k$	кДж/м <sup>3</sup>	$14362,5 + 3917,83 = 18280,3$
Энтальпия газа на выходе из топки	$I_m''$	По I-9 –таблице	кДж/м <sup>3</sup>	17381,8
Коэффициент сохранения тепла	$\varphi$	$1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}$	-	$1 - \frac{2,1}{92,7 + 2,1} = 0,978$
Тепловосприятие топки по балансу	$Q_6$	$\varphi (Q_m^n - I_m'')$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,978 \cdot (35545 - 17381,8) = 17760$
Невязка	$\Delta Q$	$\frac{Q_6 - Q_m}{Q_m} \cdot 100\%$	%	$\frac{17760 - 18280}{18280} \cdot 100\% = 2,8$

#### 4.8.4 Тепловой расчет поворотной камеры

Расчет поворотной камеры приведен в таблице 4.8.4

Таблица 4.8.4 – Расчет поворотной камеры

Наименование	Величина		Единица	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
Температура дымовых газов на выходе из поворотной камеры	$\vartheta_n''$	Задаемься	°С	895
Средняя температура дымовых газов в поворотной камере	$\vartheta_{cp}$	$(\vartheta_m'' + \vartheta_n'')/2$	°С	$(985 + 895)/2$
Температура загрязненной стенки	$t_3$	$(t_1 + t_2)/2 + \Delta t$	°С	$(115 + 70)/2 + 25 = 117,5$
Объемная доля: водяных паров трехатомных газов	$r_{H_2O}$	По расчетам	-	0,186
	$r_{RO_2}$		-	0,086
Суммарная объемная доля трехатомных газов	$r_n$	по табл.1.2	-	0,272

Продолжение таблицы 4.8.4

1	2	3	4	5
Давление в топочной камере	$p$	Задано [34]	МПа	0,1
Диаметр поворотной камеры	$D_n$	Из габаритных размеров котла	м <sup>2</sup>	1080
Диаметр взрывного клапана	$D_{BK}$	Из габаритных размеров котла	м <sup>2</sup>	414
Длина поворотной камеры	$L_n$	Из габаритных размеров котла	м	506
Длина патрубка взрывного клапана	$L_{BK}$	Из габаритных размеров котла	м	143
Объем поворотной камеры	$V_n$	$\frac{\pi D_n^2}{4} L_n + \frac{\pi D_{BK}^2}{4} L_{BK}$	м <sup>3</sup>	$\frac{\pi \cdot 1,08^2}{4} \cdot 0,506 + \frac{\pi \cdot 0,414^2}{4} \cdot 0,143 = 0,482$
Площадь стен	$F_{cm}$	$\frac{\pi D_n^2}{4} + \pi D_n L_n + \frac{\pi(D_n^2 - D_{BK}^2)}{4} + \pi D_{BK} L_{BK} + \frac{\pi D_{BK}^2}{4}$	м <sup>2</sup>	$\frac{\pi \cdot 1,08^2}{4} + \pi \cdot 1,08 \cdot 0,506 + \frac{\pi(1,08^2 - 0,414^2)}{4} + \pi \cdot 0,414 \cdot 0,143 + \frac{\pi \cdot 0,414^2}{4} = 3,73$
Эффективная толщина излучающего слоя топки	$s_n$	$3,6V_m/F_{cm}$	м	$3,6 \cdot 0,482 / 3,73 = 0,47$
Температура газов на выходе из поворотной камеры	$T_n$	$\vartheta_T + 273$	К	$895 + 273 = 1168$
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	$k_z$	$k_z = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10p \cdot r_n \cdot s_n}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T_n}{1000} \right)$	1/(м·М Па)	$k_z = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10 \cdot 0,1 \cdot 0,272 \cdot 0,573}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{1168}{1000} \right) = 16,56$
Степень черноты	$a$	$1 - e^{-k_z \cdot r_n \cdot pS}$	-	$1 - e^{-16,56 \cdot 0,272 \cdot 0,1 \cdot 0,47} = 0,158$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_n$	Номограмма 19[20] $\alpha_n \cdot a \cdot C_z$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	$133,53 \cdot 0,158 \cdot 1 = 21$
Поверхность нагрева поворотной камеры	$H_n$	$\frac{\pi(D_n^2 - D_m^2)}{4} + \pi D_n L_n + \frac{\pi(D_n^2 - D_{BK}^2)}{4} + \pi D_{BK} L_{BK}$	м <sup>2</sup>	$\frac{\pi(1,08^2 - 0,882^2)}{4} + \pi \cdot 1,08 \cdot 0,506 + \frac{\pi(1,08^2 - 0,414^2)}{4} + \pi \cdot 0,414 \cdot 0,143 = 3$
Тепло, переданное излучением в поворотной камере	$Q_n$	$\alpha_n(\vartheta_{cp} - t_3)H_n/B$	кДж/м <sup>3</sup>	$21 \cdot (940 - 117,5) \cdot 3 / 0,03 = 1698,5$
Энтальпия газа на выходе из камеры	$I_n''$	По I- $\vartheta$ –таблице	кДж/м <sup>3</sup>	15622,6

Окончание таблицы 4.8.4

1	2	3	4	5
Тепло, воспринятое в поворотной камере по балансу	$Q_6$	$\varphi(I_m'' - I_n'')$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,978 \cdot (17381,8 - 15622,6) = 1720,16$
Невязка	$\Delta Q$	$\frac{Q_6 - Q_n}{Q_n} \cdot 100\%$	%	$\frac{1720,16 - 1698,5}{1698,5} \cdot 100\% = 1,27$

**4.8.5 Расчет дымогарных труб второго хода дымовых газов**

Расчет дымогарных труб второго хода сведем в таблице 4.8.5

Таблица 4.8.5 – Расчет дымогарных труб второго хода дымовых газов

Наименование	Величина		Единица	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Температура газов на выходе	$g''$	Задаемся	°С	343
Энтальпия газов на выходе	$I''$	По $I-g$ –таблице	кДж/м <sup>3</sup>	5594,4
Тепло по балансу	$Q_6$	$\varphi(I'' - I')$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,978 \cdot (15622,6 - 5594,4) = 9805,66$
Средняя температура газов	$g_{cp}$	$(g_m'' + g_n'')/2$	°С	$(895 + 343)/2 = 619$
Расчетное значение средней температуры газов	$g$	$g_{cp} + \Delta t$	°С	$619 + 25 = 644$
Температура кипения воды при заданном давлении	$t_6$	По таблицам насыщения	°С	100
Температура загрязненной стенки	$t_3$	$t_6 + \Delta t$	°С	$100 + 25 = 125$
Количество труб второго хода	$n$	По заданию	шт	32
Внутренний диаметр труб	$d$	По заданию	м	0,052
Длина труб	$l$	По заданию	м	2,813
Живое сечение дымогарных труб	$F$	$\frac{\pi d^2}{4} \cdot n$	м <sup>2</sup>	$\frac{\pi 0,052^2}{4} \cdot 32 = 0,0679$
Объем газов	$V_2$	Из предыдущих расчетов	м <sup>3</sup> / м <sup>3</sup>	11,58
Средняя скорость газов в трубах	$w$	$B \cdot V_2 \cdot (g + 273) / (F \cdot 273)$	м/с	$0,03 \cdot 11,58 \cdot (644 + 273) / (0,0679 \cdot 273) = 17,48$
Теплопроводность	$\lambda \cdot 10^2$	Прил.3 [34]	Вт/(м·К)	7,775
Кинематическая вязкость	$\nu \cdot 10^6$	Прил.3 [34]	м <sup>2</sup> /с	97,15

Продолжение таблицы 4.8.5

1	2	3	4	5
Число Прандтля	Pr	Прил.3 [34]		0,6056
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_k$	$0,023 \frac{\lambda}{d} \left( \frac{wd}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,4}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$0,023 \frac{7,775 \cdot 10^{-2}}{0,052} \left( \frac{17,48 \cdot 0,052}{97,15 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} 0,6056^{0,4} = 36$
Эффективная толщина излучающего слоя	s	0,9d	м	0,9·0,052=0,0468
Расчетное значение средней температуры газов	T''	$\vartheta'' + 273$	К	343+273=616
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	$k_z$	$k_z = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10p \cdot r_n \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T''}{1000} \right)$	1/(м·М Па)	$k_z = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10 \cdot 0,1 \cdot 0,272 \cdot 0,0468}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{616}{1000} \right) = 72,97$
Степень черноты	a	$1 - e^{-k_z \cdot r_n \cdot pS}$	-	$1 - e^{-72,97 \cdot 0,272 \cdot 0,1 \cdot 0,0468} = 0,07$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_l$	Номограмма 19 [34] $\alpha_n \cdot a \cdot C_z$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	230·0,07·1=16,1
Суммарный коэффициент теплоотдачи	$\alpha$	$\alpha_k + \alpha_l$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	36+16,1=52,1
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi$	Табл.5[20]	-	0,8
Коэффициент теплопередачи	k	$\psi \cdot \alpha$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	0,8·52,1=41,68
Величина теплоперепада	$\Delta t_{\delta}$	$\vartheta' - t_1$	°С	895-115=780
Величина теплоперепада	$\Delta t_m$	$\vartheta'' - t_2$	°С	343-70=273
Температурный напор	$\Delta t$	$\frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$	°С	$\frac{780 - 273}{\ln \frac{780}{273}} = 483$
Поверхность нагрева	H	$\pi d l n$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot 0,052 \cdot 2,813 \cdot 32 = 14,7$
Тепло воспринятое трубами	$Q_{mp}$	$\frac{k \cdot \Delta t \cdot H}{B \cdot 10^3}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{41,68 \cdot 483 \cdot 14,7}{0,03 \cdot 10^3} = 969176$
Невязка	$\Delta Q$	$\frac{Q_{\delta} - Q_{mp}}{Q_{mp}} \cdot 100\%$	%	$\frac{9805 - 969176}{9691,76} \cdot 100\% = 1,17$


#### 4.8.6 Расчет дымогарных труб третьего хода дымовых газов

При наличии в дымогарных трубах третьего хода дымовых газов теплообмен считается по методике, аналогичной расчету теплообмена в дымогарных трубах второго хода (см. таблицу 4.8.5).

Температура газов на выходе из котла (из третьего пучка) не должна отличаться от принятой больше, чем на  $\pm 10$  °С.

Расчет дымогарных труб третьего хода приведен в таблице 4.8.6

Таблица 4.8.6 – Расчет дымогарных труб третьего хода дымовых газов

Наименование	Величина		Единица	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
1	2	3	4	5
Температура газов на выходе	$g''$	Задаем	°С	185
Энтальпия газов на выходе	$I''$	По I-g-таблице	кДж/м <sup>3</sup>	2961,3
Тепло по балансу	$Q_6$	$\varphi(I'' - I)$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,978 \cdot (5594,4 - 2961,3) = 2574,7$
Средняя температура газов	$g_{cp}$	$(g_m'' + g_n'')/2$	°С	$(343 + 185)/2 = 264$
Расчетное значение средней температуры газов	$g$	$g_{cp} + \Delta t$	°С	$264 + 25 = 289$
Температура кипения воды при заданном давлении	$t_6$	По таблицам насыщения	°С	100
Температура загрязненной стенки	$t_3$	$t_6 + \Delta t$	°С	$100 + 25 = 125$
Количество труб второго хода	$n$	По заданию	шт	18
Внутренний диаметр труб	$d$	По заданию	м	0,052
Длина труб	$l$	По заданию	м	3,486
Живое сечение дымогарных труб	$F$	$\frac{\pi d^2}{4} \cdot n$	м <sup>2</sup>	$\frac{\pi \cdot 0,052^2}{4} \cdot 18 = 0,038$
Объем газов	$V_2$	Из предыдущих расчетов	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	11,58
Средняя скорость газов в трубах	$w$	$B \cdot V_2 \cdot (g + 273) / (F \cdot 273)$	м/с	$0,03 \cdot 11,58 \cdot (289 + 273) / (0,038 \cdot 273) = 19$
Теплопроводность	$\lambda \cdot 10^2$	Прил.3 [34]	Вт/(м·К)	4,73
Кинематическая вязкость	$\nu \cdot 10^6$	Прил.3 [34]	м <sup>2</sup> /с	42,46
Число Прандтля	Pr	Прил.3 [34]		0,6522
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_k$	$0,023 \frac{\lambda}{d} \left( \frac{wd}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,4}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$0,023 \frac{4,73 \cdot 10^{-2}}{0,052} \left( \frac{19 \cdot 0,052}{42,46 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,8} 0,6522^{0,4} = 57$

Продолжение таблицы 4.8.6

1	2	3	4	5
Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	$0,9d$	м	$0,9 \cdot 0,052 = 0,0468$
Расчетное значение средней температуры газов	$T''$	$\vartheta'' + 273$	К	$185 + 273 = 458$
Коэффициент ослабления лучей: трехатомными газами	$k_2$	$k_2 = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10p \cdot r_n \cdot s}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{T''}{1000} \right)$	1/(м·М Па)	$k_2 = \left( \frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10 \cdot 0,1 \cdot 0,272 \cdot 0,0468}} - 1 \right) \cdot \left( 1 - 0,37 \cdot \frac{458}{1000} \right) = 78,5$
Степень черноты	$a$	$1 - e^{-k_2 \cdot r_n \cdot pS}$	-	$1 - e^{-78,5 \cdot 0,272 \cdot 0,1 \cdot 0,0468} = 0,095$
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{\text{л}}$	Номограмма 19[34] $\alpha_{\text{л}} \cdot a \cdot C_2$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	$84 \cdot 0,095 \cdot 0,095 = 0,758$
Суммарный коэффициент теплоотдачи	$\alpha$	$\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}$	Вт/(м <sup>2</sup> К)	$57 + 0,758 = 57,78$
Коэффициент тепловой эффективности	$\psi$	Табл.5[34]	-	0,8
Коэффициент теплопередачи	$k$	$\psi \cdot \alpha$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$0,8 \cdot 57,78 = 44,63$
Величина теплоперепада	$\Delta t_{\delta}$	$\vartheta' - t_1$	°С	$343 - 115 = 228$
Величина теплоперепада	$\Delta t_{\text{м}}$	$\vartheta'' - t_2$	°С	$185 - 70 = 115$
Температурный напор	$\Delta t$	$\frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}$	°С	$\frac{228 - 115}{\ln \frac{228}{115}} = 165,1$
Поверхность нагрева	$H$	$\pi d l n$	м <sup>2</sup>	$\pi \cdot 0,052 \cdot 3,486 \cdot 18 = 10,25$
Тепло воспринятое трубами	$Q_{\text{мп}}$	$\frac{k \cdot \Delta t \cdot H}{B \cdot 10^3}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{44,63 \cdot 165 \cdot 10,25}{0,03 \cdot 10^3} = 2560,64$
Невязка	$\Delta Q$	$\frac{Q_{\delta} - Q_{\text{мп}}}{Q_{\text{мп}}} \cdot 100\%$	%	$\frac{2574,7 - 2560,64}{2560,64} \cdot 100\% = 0,55$

**4.8.7 . Расчет невязки теплового баланса**




Невязка теплового баланса проведем согласно уравнению теплового баланса и приведена в таблице 4.8.7

Таблица 4.8.7– Расчет невязки теплового баланса котлоагрегата

Наименование	Величина		Единица	Расчет
	Обозначение	Расчетная формула или способ определения		
Тепло по балансу воспринятое в топке	$Q_m$	Из предыдущих расчетов	кДж/м <sup>3</sup>	17760,16
Тепло по балансу воспринятое в поворотной камере	$Q_n$	Из предыдущих расчетов	кДж/м <sup>3</sup>	1720,16
Тепло по балансу в тп второго и третьего хода	$Q_{mn}$	$Q_{mn2}+Q_{mn3}$	кДж/м <sup>3</sup>	9805,66+2574,67=12380,33
Расчетная невязка теплового баланса	$\Delta Q$	$\frac{Q_n^p \cdot \eta}{100} - (Q_m + Q_n + Q_{mn})$	кДж/м <sup>3</sup>	$35316,49 \cdot 0,927 - (17760,16 + 1720,16 + 12380,33) = 161,69$
Невязка	–	$\frac{\Delta Q}{Q_n^p} \cdot 100$	%	0,46 <  0,5

Ошибка в расчете баланса котла не должна превышать 0,5%.

Результаты расчета приведены в таблице 4.8.8

Таблица 4.8.8 – Сводная таблица результатов теплового расчета котлоагрегата КСВ-1,0

Величины	Размерность	Топка	Поворотная камера	Дымогарные трубы	
				второй пучок	третий пучок
Температура газов на входе	°С	-	985	895	343
Температура газов на выходе	°С	985	895	343	185
Тепловосприятие среды	кДж/м <sup>3</sup>	17760,16	12380,33	9805,66	2574,67
Скорость газов	м/с	-	-	17,5	19

#### 4.9 Расчет тепловой схемы


Отопительные котельные обеспечивают коммунально-бытовых потребителей тепловой энергией в виде горячей воды для целей отопления, вентиляции и ГВС. Тепловая мощность отопительной котельной зависит от температуры наружного воздуха и режимов потребления теплоты на ГВС.

В рассмотренных ранее тепловых схемах производственно-отопительных котельных с паровыми котельными агрегатами для отопительной нагрузки пар являлся промежуточным теплоносителем, что требовало установки сетевых пароводяных подогревателей, усложняло тепловую схему, водоподготовку и др. Водогрейные котельные агрегаты осуществляют непосредственный подогрев сетевой воды, благодаря чему капитальные затраты на водогрейные котельные агрегаты и вспомогательное оборудование ниже, чем при использовании паровых котельных агрегатов низкого давления, а тепловые схемы проще.

Однако при отсутствии в котельной пара усложняются процессы подогрева мазута, требуется вакуумная деаэрация воды, имеющая энергетическое преимущество перед атмосферной, но более сложная в эксплуатации.

Для тепловой схемы отопительной котельной с закрытой системой теплоснабжения характерны малые расходы подпиточной воды.

Произведем расчет принципиальной тепловой схемы отопительной котельной для закрытой системы теплоснабжения при минимально-зимней температуре наружного воздуха:

Расход воды на подпитку и потери в тепловой схеме определяется по формуле(4.9.1):

$$Q_{сн} = 0,02 \cdot Q_m; \quad (4.9.1)$$

где  $Q_m$  – суммарная тепловая нагрузка на отопление, вентиляцию и ГВС.

$$Q_{сн} = 0,02 \cdot 1,116 = 0,022 \text{ МВт}$$

Общая тепловая мощность котельной определяется по формуле(4.9.2):

$$Q_k = Q_o + Q_a + Q_{гвс} + Q_{сн}; \quad (4.9.2)$$

$$Q_k = 0,59 + 0,07 + 0,456 + 0,022 = 1,138 \text{ МВт}$$

Расход воды через котельный агрегат определяется по формуле(4.9.3):

$$G_k = \frac{Q_k}{(\tau_{01}' - \tau_{02}') \cdot c_g}, \quad (4.9.3)$$


$$G_{\kappa} = \frac{1,138 \cdot 10^6}{(115 - 70) \cdot 4190} = 5,994 \text{ кг/с}$$

Температура воды на выходе из котла определяется по формуле(4.9.4):

$$t_{\kappa}'' = t_{\kappa}' + \frac{Q_{\kappa}}{c_{\theta} \cdot G_{\kappa}}, \quad (4.9.4)$$

где  $t_{\kappa}' = \tau_{02}' = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$t_{\kappa}'' = 115 + \frac{1,138 \cdot 10^6}{4190 \cdot 5,994} = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расход воды на подпитку и потери в тепловой схеме определяется по формуле(4.9.5):

$$G_{\text{CH}} = \frac{Q_{\text{CH}}}{c_{\theta} \cdot (t_{\kappa}'' - t_{\kappa}')}, \quad (4.9.5)$$

$$G_{\text{CH}} = \frac{0,022 \cdot 10^6}{4190 \cdot (115 - 70)} = 0,118 \text{ кг/с}$$

Расход сетевой воды определяется по формуле(4.9.6):

$$G_c = \frac{Q_c}{(\tau_{01}' - \tau_{02}') \cdot c_{\theta}}, \quad (4.9.6)$$

$$G_c = \frac{1,116}{(115 - 70) \cdot 4,19} = 5,877 \text{ кг/с}$$

Расход подпиточной воды определяется по формуле(4.9.7):

$$G_{\text{подп}} = 0,03 \cdot G_c, \quad (4.9.7)$$

$$G_{\text{подп}} = 0,03 \cdot 5,877 = 0,176 \text{ кг/с.}$$

Расход исходной воды ( $G_{\text{ум}} = G_{\text{подп}}$ ) определяется по формуле(4.9.8):

$$G_{\text{исх}} = 1,15 \cdot G_{\text{ум}}, \quad (4.9.8)$$

где  $G_{\text{ум}}$  – расход на установку умягчения воды.

$$G_{\text{исх}} = 1,15 \cdot 0,176 = 0,203 \text{ кг/с.}$$




## 5 НАУЧНАЯ ЧАСТЬ

Нормальное функционирование жаротрубных котельных агрегатов требует использование котловой воды надлежащего качества. Качество сетевой и подпиточной воды должны соответствовать требованиям СП 89.13330.2012 [5] и СанПиН 2.1.4.2580.

Водно-химический режим работы котельной должен обеспечивать работу котлов, пароводяного тракта, теплоиспользующего оборудования и тепловых сетей без коррозионных повреждений и отложений накипи и шлама на внутренних поверхностях, получение пара и воды требуемого качества [5].

**Проблемы ВОС.** В «тепличных» условиях водооборотных систем (ВОС) происходит постоянное отложение солей жесткости, оседающих на оборудовании, развивается кислородная коррозия, размножаются аэробные микроорганизмы и сульфатвосстанавливающие бактерии. Все это влияет на работу теплообменников и другого оборудования ВОС — сокращает сроки их службы.

Отложения солей могут наблюдаться как при подаче в систему жесткой воды (кальциевая и магниевая жесткость), так и при интенсивной коррозии оборудования вследствие высокого содержания в воде растворенного кислорода, либо вследствие присутствия в ВОС сульфатредуцирующих бактерий.

Накопление солей в водооборотной системе происходит за счет постоянного притока жесткой подпиточной воды. При этом минерализация оборотной воды возрастает, образуется пересыщенный раствор, из которого соли кристаллизуются на неровностях поверхности теплообменного оборудования. В результате сужается рабочий диаметр трубопроводов, снижается коэффициент теплопередачи, происходит перегрузка насосного оборудования.

Более жесткие требования к качеству питательной воды для современных жаротрубных котлов объясняются большими удельными тепловыми потоками в жаровой трубе и поворотной камере по сравнению со старыми конструкциями жаротрубных котлов и современных водотрубных котлов. Как показывают тепловые расчеты жаротрубных котлов, за счет таких высоких тепловых потоков, а также за счет наличия свободного движения воды в котле, на поверхности жаровых труб и поворотных камер наблюдается пристенное кипение.

Наличие кипения на поверхности труб обеспечивает надежное охлаждение стенок поверхностей нагрева котла, так как температура металла труб со стороны газов превышает температуру кипения воды лишь на 15 - 25 °С. Так, при расчетном давлении в жаротрубном котле 0,6 МПа температура насыщения равна 159 °С, а максимальная температура стенки металла со стороны газа не превышает 183 °С. При такой температуре стенки используемая углеродистая сталь может надежно работать более десяти лет. Однако если в воде находятся соли жесткости, то при кипении воды на поверхности образуются плотные кальциевые отложения, которые существенно увеличивают термическое сопротивление стенки. Один миллиметр накипи при высоких тепловых потоках в жаровой трубе увеличивает температуру стенки - на 100 – 120 °С. При толщине


накипи 3 мм и более температура металла достигает уже 500 и более °С, при этом углеродистая сталь теряет свою прочность, на жаровых трубах появляются вздутия, трубные решетки поворотной камеры коробятся, а трубы газотрубных пучков перегорают.

Различают временную (карбонатную) жёсткость  $J_k$ , обусловленную гидрокарбонатами кальция и магния  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , и постоянную (некарбонатную) жёсткость  $J_{нк}$ , вызванную присутствием других солей, не выделяющихся при кипячении воды: в основном, сульфатов и хлоридов Ca и Mg ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ).

При поддержании давления воды в котле на уровне 0,6 МПа, можно ограничиться жесткостью 0,1 мг-экв/кг.

Образование отложений связано с осаждением кристаллов на металлической поверхности с образованием прочно удерживаемой корочки.

Карбонат кальция – это первая соль, которая может выпасть в осадок в воде согласно реакции:



Ингибиторы солеотложения значительно сдвигают порог концентрации, при котором начинается выпадение солей, а также препятствуют росту кристаллов. Коррекционная обработка химическими реагентами нового поколения поможет придать необходимые параметры качества природной воде.

Проблема коррозии оборудования и коммуникаций — одна из важнейших проблем, возникающих в процессе эксплуатации ВОС. Неконтролируемая коррозия может привести к критическому истончению стенок трубопроводов, вплоть до разрывов и отказа всей водооборотной системы.

Нормируемая скорость коррозии для водооборотных систем составляет не более 0,1 мм/год, тогда как без антикоррозионной обработки она может достигать 1 мм/год и более. Подпиточная вода, поступающая из открытых водоемов, содержит значительное количество растворенного кислорода, что и является основной причиной коррозии металла.

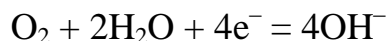
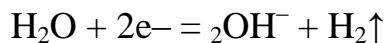
Основной причиной отказов трубопроводов является внутренняя коррозия, возникающая при контакте подпиточной воды с поверхностью металла. Характер коррозии трубопроводов зависит от перекачиваемых сред, применяемых материалов, условий эксплуатации. Состав среды в значительной степени определяет скорость коррозии стали. Наибольшее влияние в составе водной фазы на процесс коррозии оказывает значение pH, наличие механических примесей, содержание коррозионно-агрессивных газов ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), минерализация вод.

По ходу движения теплоносителя, в котельной предусмотрены стальные электросварные трубы различного диаметра, соответствующего ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные».

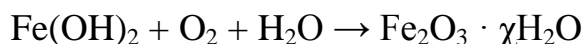
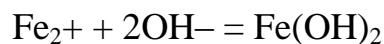
Углеродистая сталь ст3 представляет собой сплав железа  $\text{Fe} \approx 97\%$  и углерода  $\text{C} \approx 0,14-0,22\%$  с добавлением в состав легирующих элементов Ni, Cr, концентрация которых составляет 0,3% для изменения эксплуатационных качеств стали.


Процесс коррозии металла в растворах электролитов – это результат работы большого количества микроскопических гальванических элементов, у которых в качестве катода выступают примеси в металле, а в качестве анода – сам металл. В результате чего возникают микроскопические гальванические элементы.

Также атомы железа на разных участках имеют различную способность отдавать электроны (окисляться). Участки металла, на котором протекает этот процесс, выступают в роли анода. Остальные участки – катодные, на которых происходят процессы восстановления воды и кислорода:



Результат – из ионов железа (II) и гидроксид-ионов образуется гидроксид железа (II). Далее идет его окисление до гидроксида железа (III) – основного компонента ржавчины:



Для того чтобы гальванический элемент работал, необходимо наличие двух металлов различной химической активности и среды, которая проводит электрический ток, – электролита. При контакте железа и другого металла (например, цинка) коррозия железа замедляется, а более активного металла (цинка) – ускоряется. Это обусловлено тем, что поток электронов идет от более активного металла (анода) к менее активному металлу (катоде). Так, при контакте железа с менее активным металлом, коррозия железа ускоряется.

Интенсивность коррозии обуславливается большим количеством других факторов: скорость потока, наличие мехпримесей в потоке, содержание агрессивных компонентов в воде (газе), подкачка пресной воды, насыщенной сульфатами, наличие застойных зон.

**Новые технологии и реагенты.** Группой борьбы с отложениями солей были разработаны реагенты нового поколения марки СОНСОЛ, выполняющие двойную функцию: препятствующие образованию накипи на стенках труб и мягко отмывающие уже образовавшиеся отложения. Реагент СОНСОЛ 2100 имеет в составе действующее вещество – тринатрийфосфат ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), в основе его действия лежит перевод накипи в шлам. Реагент формирует в воде малорастворимый ортофосфат кальция, который, адсорбируясь на гранях кристаллов карбоната кальция, вызывает изменение их формы и препятствует агломерации первичных агрегатов. В результате вместо накипи образуется рыхлый, легко удаляемый шлам.

При добавлении фосфатов меньше, чем содержание кальция, образуются труднорастворимые фосфатные комплексы этих элементов. Они образуют


плотную пленку, которая предотвращает непосредственное соприкосновение воды с металлом, защищая его от коррозии [36].

Свойства реагента СОНСОЛ 2100 приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1-Свойства реагента СОНСОЛ 2100

Название реагента	СОНКОР 6000 Марки А, Б
Действующее вещество	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Содержание действующего вещества	До 50 %
Диапазон температур	От +5 до +80 °С
Эффективность против солеотложений	Против солей жесткости и продуктов коррозии
Достижимый эффект	96–98 % ингибиторной защиты
Рекомендуемые дозировки	От 0 до 10 мг/дм <sup>3</sup>
Внешний вид	Однородная жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета.

Химическая реакция после введения ингибитора накипеобразования:



В результате реакции образуется шлам в виде осадка, который удаляется из водооборотной системы фильтрами.

Использование ингибитора СОНСОЛ 2100, позволяет снизить скорость образования накипи на поверхностях трубопроводов с 0,1 мм/год до 0,003 мм/год.

Ингибиторы коррозии выпускаются под маркой СОНКОР и являются пленкообразующими реагентами, защищающими металл. Действующее вещество, вступающее в реакцию с железом и входящий в состав СОНКОР 6000 – ZnCrO<sub>4</sub>.

Основным преимуществом применения этих реагентов заключается в том, что они не оказывают отрицательного воздействия на теплообмен, не вступают в реакции с бактерицидами и ингибиторами солеотложений, что особенно ценно.

В совокупности с низкой стоимостью и высокой надежностью, эффективность применения ингибиторов СОНКОР выше, чем эффективность многих аналогов. Свойства реагента СОНКОР 6000 приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2-Свойства реагента СОНКОР 6000

Название реагента	СОНКОР 6000 Марки А, Б
Действующее вещество	ZnCrO <sub>4</sub>
Содержание действующего вещества	До 50 %
Диапазон температур	От +5 до +80 °С
Эффективность против видов коррозии	Против кислородной коррозии
Достижимый эффект	86–96 % ингибиторной защиты (менее 0,1 мм/год)
Рекомендуемые дозировки	От 10 до 40 мг/дм <sup>3</sup>
Внешний вид	Однородная жидкость от желтого до коричневого




Использование реагента СОНКОР 6000 определяется тремя аспектами.

Первый из них - экономический - имеет целью уменьшение материальных потерь в результате коррозии трубопроводов, сосудов под давлением, котлов, теплообменного оборудования, резервуаров (баков).

Второй аспект – повышение надежности оборудования, которое в результате коррозии может разрушаться с катастрофическими последствиями, например сосуды высокого давления, паровые котлы, металлические контейнеры для токсичных материалов, лопасти и роторы турбин. Надежность является важнейшим условием при разработке оборудования для энергетических объектов, ТЭС, АЭС.

Третьим аспектом – является сохранность металлического фонда. Мировые ресурсы металла ограничены, а потери металла в результате коррозии ведут, кроме того, к дополнительным затратам энергии и воды. Не менее важно, что человеческий труд, затрачиваемый на проектирование и реконструкцию металлического оборудования, пострадавшего от коррозии, может быть направлен на решение других общественно полезных задач.

Предложенный ингибитор, образуя защитную пленку на поверхности металла, защищает металл от прямого контакта с агрессивной водной фазой, препятствуя развитию сероводородной и углекислой коррозии.

Использование ингибитора нового поколения СОНКОР 6000, позволяет снизить скорость образования коррозии на поверхностях трубопроводов с 1 мм/год до 0,1 мм/год, таким образом, увеличивая срок службы оборудования и межремонтный период до 10 раз.

Степень защиты ингибиторов коррозии и накипи рассчитывается по формуле (5.1):

$$Z = \frac{CR_{\phi} - CR}{CR_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

где  $Z$  – степень защиты ингибитора, %;

$CR_{\phi} = 1$  мм/год – «фоновая» скорость ;

$CR = 0,1$  мм/год – скорость коррозии в присутствии ингибитора.

Степень защиты ингибитора коррозии:

$$Z_k = \frac{1 - 0,1}{1} \cdot 100 \% = 90 \%$$

Степень защиты ингибитора накипеобразования:

$$Z_n = \frac{0,1 - 0,003}{0,1} \cdot 100 \% = 97 \%$$

Расчетная степень защиты соответствует исходным данным завода-изготовителя.

Представим графическую зависимость условного диаметра  $D_y = 80$  мм трубопровода от скоростей коррозии и солеотложений на рис. 5.1




## 6 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Раздел «энергосбережение» разработан в соответствии с Федеральным законом "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ [25].

В ВКР предусмотрена разработка автономного источника теплоснабжения – источника тепловой энергии, не связанный с центральными системами теплоснабжения.

Среди факторов, увеличивающих расход топлива в котельных, можно выделить: физический и моральный износ котельных установок; отсутствие или плохую работу системы автоматики; несовершенство газогорелочных устройств; несвоевременную наладку теплового режима котла; образование отложений на поверхностях нагрева; плохую теплоизоляцию; неоптимальную тепловую схему; отсутствие экономайзеров-подогревателей; неплотности газопроводов.

Наибольшее влияние на величину потерь тепловой энергии оказывает изоляционная покрытие. Произведем подбор теплоизоляционного покрытия, рассчитаем экономию тепловой энергии на изолированном и неизолированном трубопроводе.

На выбор теплоизоляционного материала наложены определенные ограничения. Температура поверхности изолированного трубопровода, зависящая от толщины и теплопроводности изоляции, должна быть не выше 45°C в рабочих помещениях и 60°C в проходных каналах. Она должна быть не ниже точки росы при транспортировке по трубопроводу хладоносителя.. Последне связано с тем, что при температуре ниже точки росы на поверхности теплоизоляции конденсируется влага, которая при нарушении гидроизоляционного покрытия может впитываться в пористую изоляцию.

При передаче теплоносителя по тепловым сетям могут происходить потери тепла в окружающую среду связанные с неправильно подобранным изоляционным материалом, его увлажнением в следствие чего возрастает коэффициент теплопередачи, утечек при повреждении трубопровода, а также с неоптимальными тепловыми и гидравлическими режимами работы тепловых сетей.

Потери теплоты с поверхностей трубопроводов рассчитываются в зависимости от способа прокладки сетей. В случае бесканального способа прокладки передача теплоты осуществляется за счет теплопроводности через стенку трубопровода, слой теплоизоляции и слой грунта. На потери теплоты при этом влияют температура теплоносителя, толщина слоя изоляции, глубина залегания трубопровода, теплопроводность грунта и его температура на удалении от трубопровода.

Минимальная глубина заложения трубопроводов в земле считая от дорожного покрытия до верхнего слоя изоляции следует принимать не менее чем 0,5 м вне пределов проезжей части и не менее 0,6 м в пределах проезжей части.[6,п.5.12]  
Принимаем глубину заложения трубопроводов тепловых сетей :


$$h=0,8 \text{ м.}$$

Средняя температура грунта за год при глубине заложения трубопроводов 0,8 м для города Челябинска [13,прил.3]:

$$t_{cp}^{gp}=4,9^{\circ}\text{C.}$$

### 6.1 Подбор толщины тепловой изоляции

Предусмотрены трубопроводы прямой и обратной сетевой воды диаметром  $d_n=89 \times 4$  мм, длина участка  $L=10$  м

В качестве изоляционного материала труб выберем ППУ трубы (рисунок 6.1).

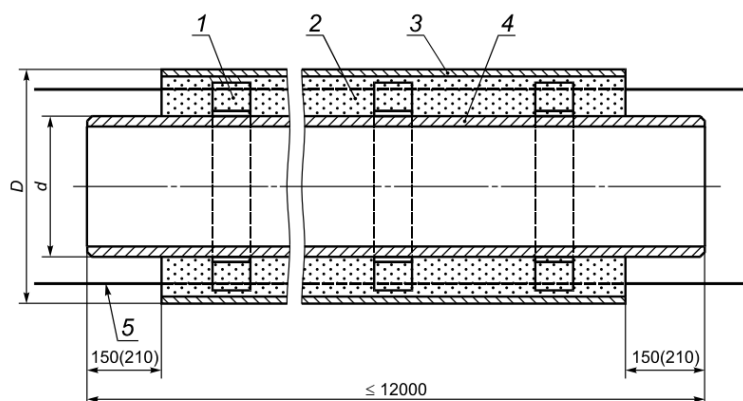


Рисунок 6.1 – Конструкция трубы с изоляцией из ППУ:

1 –центрирующая опора; 2 – изоляция из ППУ; 3 – труба оболочка; 4 – стальная труба; 5 – проводники индикаторы системы оперативного дистанционного контроля(показаны условно)

Расчетные параметры теплоносителя в системах теплоснабжения должны быть: рабочее давление не более 1,6 МПа и температура не более 140°C.

Размеры изолированных труб со стальной оболочкой приведены в таблице 6.1[7,табл.2]

Таблица 6.1 – Размеры труб в стальной оболочке

Наружный диаметр стальной трубы и минимальная толщина стенки стальной трубы	Размеры оболочки из тонколистовой оцинкованной стали		Расчет толщины слоя пенополиуретана
	Номинальный диаметр	Минимальная толщина	
89x4,0	180	0,6	44,9


## 6.2 Расчет экономии тепловой энергии

### 6.2.1 Расчет трубопровода с изоляцией

Произведем расчет экономии тепловой энергии с 1 м трубопровода.

Принимаем толщину изоляции с учетом оболочки из оцинкованной стали  $\delta_{уз}=45,5$  мм, материал изоляции – трубы с ППУ изоляцией, коэффициент теплопроводности при средней температуре  $50^\circ\text{C}$  не более  $\lambda_{уз}=0,033$  Вт/м<sup>2</sup>·К

Средние за рассматриваемый период удельные (на единицу длины) тепловые потери, Вт/(м·К), определяются по формуле (6.1):

$$q=q_n+q_o \quad (6.1)$$

где  $q_n$  и  $q_o$  – средние за рассматриваемый период удельные тепловые потери подающего и обратного трубопроводов тепловой сети бесканальной прокладки, Вт/(м·К).

Значения  $q_n$  и  $q_o$  вычисляются по формулам (6.2), (6.3) [8, п.2.3.3]:

$$q_n = \frac{(t_1 - t_{zp})(R_{уз.о} + R_{zp}) - (t_2 - t_{zp})R_{н.о}}{(R_{уз.н} + R_{zp})(R_{уз.о} + R_{zp}) - R_{н.о}^2}, \quad (6.2)$$

$$q_o = \frac{(t_2 - t_{zp})(R_{уз.н} + R_{zp}) - (t_1 - t_{zp}) \cdot R_{н.о}}{(R_{уз.н} + R_{zp})(R_{уз.о} + R_{zp}) - R_{н.о}^2}, \quad (6.3)$$

где  $R_{уз.н}$  и  $R_{уз.о}$  – термические сопротивления изоляционных конструкций подающего и обратного трубопроводов, (м·К)/Вт;

$R_{zp}$  – термическое сопротивление грунта, (м·К)/Вт;

$R_{н.о}$  – поправка, учитывающая взаимное влияние подающего и обратного трубопроводов, (м·К)/Вт;

$t_1, t_2$  – температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, °С;

$t_{zp}$  – температура грунта, °С.

Термическое сопротивление изоляционной конструкции трубопровода, (м·К)/Вт, определяется по формуле (6.4) [8, п.2.3.2]:

$$R_{уз} = \frac{\ln \left[ \frac{d_n + 2 \cdot \delta_{уз}}{d_n} \right]}{2\pi\lambda_{уз}}, \quad (6.4)$$

где  $\delta_{уз}$  – толщина слоя изоляции, м;


$d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м;

$\lambda_{uz}$  – теплопроводность изоляционной конструкции трубопровода, Вт/(м·К).

$$R_{uz} = \frac{\ln \left[ \frac{89 + 2 \cdot 45,5}{89} \right]}{2\pi \cdot 0,033} = 3,397 \text{ Вт/(м·К)}$$

Так как диаметры подающего и обратного трубопроводов равны, принимаем  $R_{uz.n} = R_{uz.o} = R_{uz}$

Поправка  $R_{n.o}$  (м·К)/Вт, рассчитывается по формуле(6.5) [8, п.2.3.3]:

$$R_{n.o} = \frac{\ln \left[ 1 + \left( 2 \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \right]}{2\pi\lambda_{zp}}, \quad (6.5)$$

где  $H$  – глубина заложения трубопроводов (до их оси), м;

$$H = h + \delta_{uz} + d_n/2, \quad (6.6)$$

$\lambda_{zp}$  – теплопроводность грунта, Вт/(м·К), приближенно можно принимать: для влажных грунтов  $\lambda_{zp} = 1,5$  Вт/(м·К); для грунтов средней влажности  $\lambda_{zp} = 1,05$  Вт/(м·К) и для сухих грунтов  $\lambda_{zp} = 0,5$  Вт/(м·К).

$s$  – расстояние между осями трубопроводов, м, находится по ф-ле (6.7):

$$s = d_n + \delta_{uz} \cdot 2 + a, \quad (6.7)$$

где  $a$  – расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб, м [6,п.6.2.3]:  
 $a = 250$  мм (для труб диаметром более 159 мм)

$$H = 800 + 45,5 + 89/2 = 890 \text{ мм},$$

$$s = 89 + 45,5 \cdot 2 + 150 = 430 \text{ мм},$$

$$R_{n.o} = \frac{\ln \left[ 1 + \left( 2 \cdot \frac{890}{430} \right)^2 \right]}{2\pi \cdot 1,5} = 0,307 \text{ (м·К)/Вт.}$$

Термическое сопротивление грунта, (м·К)/Вт, находится по соотношению (6.8) [8,п.2.3.3]:


$$R_{cp} = \frac{\ln \left[ \frac{2H}{d} + \sqrt{\left( \frac{2H}{d} \right)^2 - 1} \right]}{2\pi\lambda_{cp}} \quad (6.8)$$

$$R_{cp} = \frac{\ln \left[ \frac{2 \cdot 890}{180} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot 890}{180} \right)^2 - 1} \right]}{2\pi \cdot 1,5} = 0,317 \text{ (м} \cdot \text{К)/Вт.}$$

Значение удельных тепловых потерь:

$$q_n = \frac{(95 - 4,9)(3,397 + 0,317) - (70 - 4,9) \cdot 0,307}{(3,397 + 0,317)(3,397 + 0,317) - 0,307^2} = 21,61 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

$$q_o = \frac{(70 - 4,9)(3,397 + 0,317) - (95 - 4,9) \cdot 0,307}{(3,397 + 0,317)(3,397 + 0,317) - 0,307^2} = 15,63 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

### 6.2.2 Расчет трубопровода без изоляции

Значения  $q_n$  и  $q_o$  вычисляются по формулам (6.1),(6.2).

Поправка  $R_{n.o}$  (м·К)/Вт, рассчитывается по формуле (6.5).

где  $H$  – глубина заложения трубопроводов (до их оси), ф-ла (6.9), м;

$$H = h + d_n/2, \quad (6.9)$$

$\lambda_{cp}$  – теплопроводность грунта, Вт/(м·К), приближенно можно принимать: для влажных грунтов  $\lambda_{cp} = 1,5$  Вт/(м·К); для грунтов средней влажности  $\lambda_{cp} = 1,05$  Вт/(м·К) и для сухих грунтов  $\lambda_{cp} = 0,5$  Вт/(м·К).

$s$  – расстояние между осями трубопроводов считаем согласно ф-ле (6.10), м.

$$s = d_n + a, \quad (6.10)$$

где  $a$  – расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб, м [6,п.6.2.3]:  
 $a = 150$  мм (для труб диаметром не более 159 мм)

$$H = 800 + 89/2 = 844,5 \text{ мм,}$$

$$s = 89 + 250 = 339 \text{ мм,}$$


$$R_{n.o} = \frac{\ln \left[ 1 + \left( 2 \cdot \frac{844,5}{339} \right)^2 \right]}{2\pi \cdot 1,5} = 0,345 \text{ (м} \cdot \text{К)/Вт.}$$

Термическое сопротивление грунта, (м·К)/Вт, находится по формуле(6.8):

$$R_{cp} = \frac{\ln \left[ \frac{2 \cdot 844,5}{89} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot 844,5}{89} \right)^2 - 1} \right]}{2\pi \cdot 1,5} = 0,386 \text{ (м} \cdot \text{К)/Вт.}$$

Значение удельных тепловых потерь:

$$q_n = \frac{(95 - 4,9) \cdot 0,386 - (70 - 4,9) \cdot 0,345}{0,386^2 - 0,345^2} = 411,03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

$$q_o = \frac{(70 - 4,9) \cdot 0,386 - (95 - 4,9) \cdot 0,345}{0,386^2 - 0,345^2} = 198,72 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

### 6.2.3 Экономия удельной тепловой энергии

Удельная экономия энергии по формуле (6.11) с 1 м трубопровода составит:

$$\Delta q = q_{n/o}^{неиз} - q_{n/o}^{из} \quad (6.11)$$

$$\Delta q^n = 411,13 - 21,61 = 389,52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\Delta q^o = 198,72 - 15,63 = 183,09 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Таким образом, расчетным способом доказана важной тепловой изоляции трубопроводов на примере расчета удельной экономии энергии. Ее значение без изоляции превышает в 2 раза значение потерь с изолированного трубопровода.




## 7 ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

В экологическом смысле, природный газ является наиболее безопасным и самым чистым видом органического топлива при производстве тепловой энергии. С учетом сжигания человечеством за многие годы различных видов топлива, в мире остро встает проблема возникновения парникового эффекта, за счет выделения углекислого газа в качестве продукта сгорания. В связи с этим в 1992 году странами Евросоюза, СНГ и США было подписано международное соглашение в г.Киото которое обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой скоротать или стабилизировать выбросы парниковых газов.

Наиболее экологически выгодным решением этой проблемы стало использование природного газа в качестве основного топлива для выработки тепловой и электрической энергии на энергетических объектах всего мира. На практике при использовании эффективных технологий по очистке уходящих газов от вредных примесей газовыми теплоэлектростанциями достигается уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу более чем в два раза по сравнению со станциями работающими на твердом топливе.

### 7.1 Расчет концентрации загрязняющих веществ

В котельной установлены 2 жаротрубных котла мощностью 1 МВт – КСВ-1,0, предусмотрена 1 дымовая труба для обоих котлов.

- низшая теплота сгорания природного газа  $Q_n^p = 35,3 \text{ МДж/м}^3$
- тепловая мощность котельной в зимний период  $Q^z = 1,116 \text{ МВт}$
- тепловая мощность котельной в летний период  $Q^l = 0,526 \text{ МВт}$
- расход топлива на котельную в зимний период  $V^z = 0,035 \text{ м}^3/\text{с}$

Суммарное количество окислов азота, г/с, выбрасываемых дымовыми газами найде по формуле (7.1) для котлов малой мощности [38, ф-ла 1.6]:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot V \cdot Q_n^p \cdot k_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \cdot z, \quad (7.1)$$

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

$k_{NO_2}$  – коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1 т сожженного условного топлива, кг/т.

Для водогрейных котлов, коэффициент  $k = 0,095$  определяется по [38, рис.1.1]

$z$  – количество котлов.

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 0,035 \cdot 35316,5 \cdot 0,095 \cdot 2 = 0,228 \text{ г/с}$$

Расчетный объем продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{с}$ , образующихся при сжигании топлива за 1 секунду определяем по формуле (7.2):


$$V_p = \frac{P_{н.у} \cdot V_{н.у} \cdot T_p}{T_{н.у} \cdot P_p}, \quad (7.2)$$

где  $T_p$  – температура дымовых газов на выходе из котла;

$P_{н.у} = 760$  мм.рт.ст – давление при нормальных условиях;

$V_{н.у} = V_z = 11,58$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> – действительный суммарный объем продуктов сгорания при нормальных условиях, из предыдущих расчетов;

$T_{н.у}$  – температура при нормальных условиях.

$$V_p = \frac{760 \cdot 11,58 \cdot (185 + 273)}{(20 + 273) \cdot 760} = 18,1 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/с, образующихся при работе всех котлов определяем по формуле (7.3):

$$V = V_p \cdot B \cdot z \quad (7.3)$$

Для зимнего периода:

$$V_z = 18,1 \cdot 0,035 \cdot 2 = 1,23 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Концентрация окислов азота, г/м<sup>3</sup> рассчитывается по формуле (7.4):

$$C_{NO_2} = \frac{M_{NO_2}}{V} \quad (7.4)$$

Расчет рассеивания выбросов ведется в соответствии с СН-369-74, согласно которым минимальная высота трубы определяется из условия, что максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое  $C_{max}$  не превосходит максимально разовую ПДК этого вещества в атмосферном воздухе

$$C_{max} \leq \text{ПДК}.$$

Для зимнего периода:

$$C_{NO_2}^z = \frac{0,2284}{1,23} = 0,185 \text{ г/м}^3$$

## 7.2 Расчет высоты дымовой трубы

Основываясь на методике расчета рассеивания вредных примесей, разработанной Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова,


определяем высоту дымовой трубы. Так как расчет ведется при неблагоприятных метеоусловиях, выбранная высота дымовой трубы позволит осуществлять эксплуатацию котельной в условиях, при которых большую часть времени в году концентрации вредных примесей на уровне дыхания людей будут ниже предельно допустимых норм.

Максимально разовое значени ПДК диоксида азота в атмосферном воздухе [12]

$$ПДК_{NO_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$$

Минимально допустимая высота трубы при которой обеспечивается значение приземной концентрации, равное ПДК, при наличии  $z$  труб одинаковой высоты и выброса при температуре выбрасываемых газов большей температуры атмосферного воздуха ( $\Delta T > 0$ ), рассчитывается по формуле (7.5) [38,ф-ла 6.6]. Расчет произведем без учета фоновой концентрации  $c_{ф}, \text{мг/м}^3$ .

$$h = \sqrt{\frac{AMFmn}{ПДК}} \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \Delta T}}, \quad (7.5)$$

где  $z$ – число дымовых труб, установленных на котельной;

ПДК – предельно допустимая концентрация вещества, лимитирующего чистоту воздушного бассейна,  $\text{мг/м}^3$ ;

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе: для газообразных примесей  $F=1$ ;

$m$  и  $n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газозвушной смеси из устья источника выброса;

$V_1$  – полный расход дымовых газов на срезе(устье) трубы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$A$  – коэффициент, учитывающий рассеивающие свойства атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях, определяется климатической зоной, для Урала:  $A=160$ ;

$\Delta T$ – разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха, под которой понимается средняя температура самого жаркого месяца в полдень,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$M$  – суммарное количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу,  $\text{г/с}$ .

Средняя температура наружного воздуха самого холодного месяца для зимнего периода принимаем в соответствии с СП 131.13330.2012 [1,табл.5.1]

$$T_e = -15,8 \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

тогда

$$\Delta T = 185 - (-15,8) = 200,8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Коэффициент  $m$  определяется в зависимости от параметра по формуле (7.6) для  $f < 100$ :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (7.6)$$


где  $f$  – вспомогательный коэффициент;

$$f = \frac{10^3 w_0^2 D_0}{h^2 \Delta T}, \quad (7.7)$$

где  $w_0$  – скорость выхода газов из устья трубы, м/с;

$D_0$  – диаметр устья дымовой трубы, м.

Безразмерный коэффициент  $n$  определяется в зависимости от параметра  $v_m$  по формуле (7.8):

$$v_m = 0,653 \sqrt{\frac{V_1 \Delta T}{h}}, \quad (7.8)$$

соответственно:

$$\text{при } v_m \leq 0,3 \quad n=3;$$

$$\text{при } 0,3 < v_m \leq 2 \quad n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)};$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad n=1.$$

Определим диаметр устья дымовой трубы  $D_0$ , м по формуле (7.9), для этого зададимся скоростью дымовых газов на выходе из трубы  $w=10$  м/с

$$D_0 = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (7.9)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,23}{\pi \cdot 10}} = 0,396 \text{ м}$$

Из числа стандартных диаметров металлических труб согласно СП 43.13330.2012 [13] выбираем диаметр устья  $D_0=0,4$  м.

Уточняем скорость дымовых газов на выходе из устья по формуле (7.10):

$$w = \frac{4V}{\pi D_0^2} \quad (7.10)$$

$$w = \frac{4 \cdot 1,23}{\pi \cdot 0,4^2} = 9,8 \text{ м/с}$$

Для определения высоты дымовой трубы используем графический метод. Необходимо построить график  $h_{расч}=f(h_{зад})$ . Предварительно выбираем дымовую трубу стандартной высоты, с учетом наружной температуры воздуха и


температуры дымовых газов, вспомогательных коэффициентов, получаем расчетную высоту. Далее определяем максимальную концентрацию загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы, проводим проверку условия  $C_{max} \leq \text{ПДК}$  для летнего и зимнего режимов.

при  $h_{зад}=3$  м

$$f = \frac{10^3 \cdot 9,8^2 \cdot 0,4}{3^2 \cdot 200,8} = 21,24;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{21,24} + 0,34 \sqrt[3]{21,24}} = 0,48;$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 200,8}{3}} = 2,83;$$

$$n=1;$$

$$h = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,228 \cdot 1 \cdot 0,48 \cdot 1}{0,085}} \sqrt[3]{\frac{2}{1,23 \cdot 200,8}} = 6,45 \text{ м}$$

при  $h_{зад}=5$  м

$$f = \frac{10^3 \cdot 9,8^2 \cdot 0,4}{5^2 \cdot 200,8} = 7,65;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{7,65} + 0,34 \sqrt[3]{7,65}} = 0,62;$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 200,8}{5}} = 2,39;$$

$$n=1;$$

$$h = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,228 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1}{0,085}} \sqrt[3]{\frac{2}{1,23 \cdot 200,8}} = 7,30 \text{ м}$$

при  $h_{зад}=10$  м

$$f = \frac{10^3 \cdot 9,8^2 \cdot 0,4}{10^2 \cdot 200,8} = 1,91;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,91} + 0,34 \sqrt[3]{1,91}} = 0,81;$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 200,8}{10}} = 1,89;$$

$$n = 3 - \sqrt{(1,89 - 0,3)(4,36 - 1,89)} = 1,02; ;$$

$$h = \sqrt{\frac{160 \cdot 0,228 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1,02}{0,085}} \sqrt[3]{\frac{2}{1,23 \cdot 200,8}} = 8,44 \text{ м}$$

Результаты расчетов занесем в табл.7.1


Таблица 7.1 – Расчет высоты дымовой трубы

Величина		Единица	Расчет		
Наименование	Обозначение		зима		
Заданная высота дымовой трубы	$h_{зад}$	м	3	5	10
Разница температур	$\Delta T$	$^{\circ}\text{C}$	185-(-15,8)=200,8		
Вспомогательный коэффициент	$f$	-	21,24	7,65	1,91
Коэффициент	$m$	-	0,48	0,62	0,81
Параметр	$v_m$	-	2,83	2,39	1,89
Коэффициент	$n$	-	1,00	1,00	1,02
Расчетная высоты дымовой трубы	$h_p$	м	6,45	7,30	8,44

По полученным значениям построим график и найдем минимальную высоту дымовой трубы для разрабатываемой котельной (рисунок 7.1).

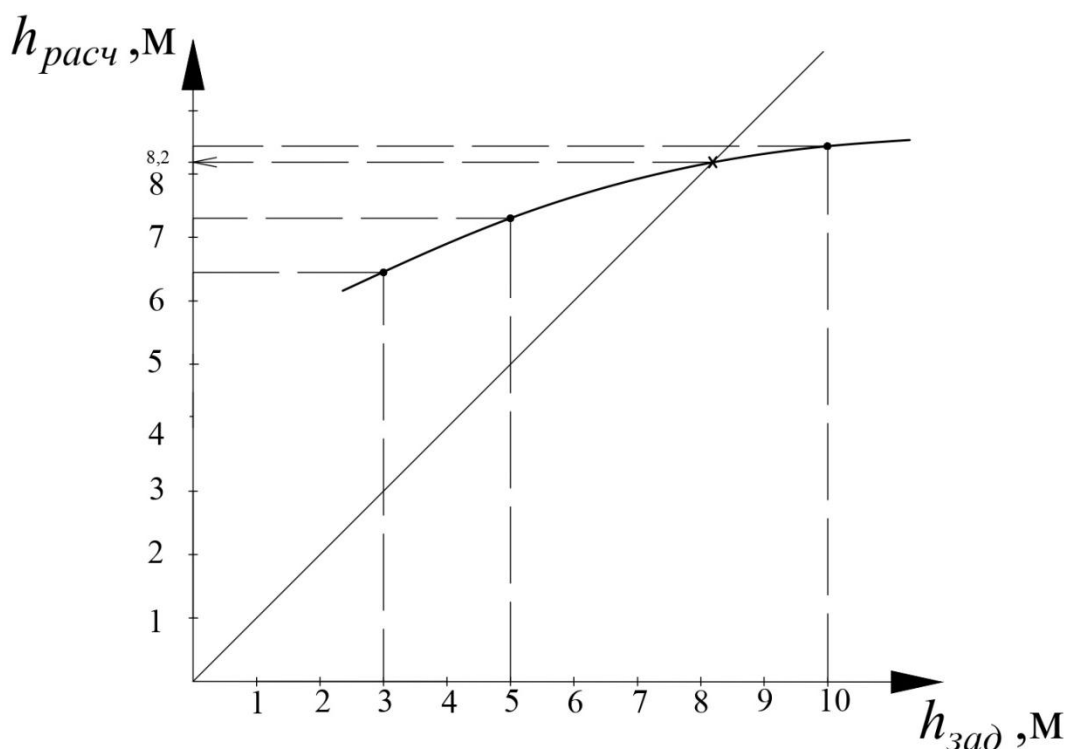


Рисунок 7.1 – График зависимости расчетной высоты дымовой трубы от заданной  $h_{расч}=f(h_{зад})$

Из рисунка видно, что расчетная высота дымовой трубы  $h_p^3=8,2\text{м}$ . Необходимо также учесть требования санитарных норм, согласно которым высота устья дымовых труб для встроенных, пристроенных и крышных котельных должна быть выше границы ветрового подпора, но не менее 0,5 м выше крыши, а также не менее 2 м над кровлей более высокой части здания или самого высокого здания


в радиусе 10 м. С учетом этих критерий и высоты здания  $H=4,2$  м. Выбираем из числа стандартных металлическую дымовую трубу высотой  $h=20$  м.

Проверяем, соответствует ли выбранная высота поддержанию концентрации вредных веществ в приземном слое ПДК.

Максимальная приземная концентрация  $C_{max}$ , мг/м<sup>3</sup> рассчитывается по формуле (7.11) [38, ф-ла 3.13]:

$$C_{max} = \frac{AMFmn}{h^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (7.11)$$

Вспомогательные коэффициенты в формуле (7.11) рассчитываются по формулам (7.6)-(7.8):

$$f = \frac{10^3 \cdot 9,8^2 \cdot 0,4}{20^2 \cdot 200,8} = 0,48;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{0,48} + 0,34 \sqrt[3]{0,48}} = 1;$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 200,8}{20}} = 1,5;$$

$$n = 3 - \sqrt{(1,5 - 0,3)(4,36 - 1,5)} = 1,15;$$

Максимальная приземная концентрация в зимний период:

$$C_{max} = \frac{160 \cdot 0,228 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15}{20^2 \sqrt[3]{1,23 \cdot 200,8}} = 0,02 \text{ мг/м}^3$$

Аналогично проверим рассеивание в летний период. Расчет величин для летнего периода произведем по формулам (7.1), (7.3), 7.10).

Средняя температура максимальная наружного воздуха наиболее теплого месяца в полдень для летнего периода принимаем в соответствии с СП 131.13330.2012 [1, табл.4.1]

$$T_g = 24,1^\circ\text{C},$$

тогда

$$\Delta T = 185 - 24,1 = 160,9^\circ\text{C}$$

Расчет топлива на котельную в летний период (7.12):

$$B^l = \frac{Q^l}{Q_n^p \cdot \eta_{ка}}, \quad (7.12)$$

где  $\eta_{ка} = 92,7$  – коэффициент полезного действия котла, из расчетов гл.4.8.

$$B^l = \frac{0,526}{35,3 \cdot 92,7} = 0,016 \text{ м}^3/\text{с}$$

Коэффициент  $k=0,09$  для летнего периода определяется по [38, рис.1.1]


Суммарное количество окислов азота, г/с, выбрасываемых дымовыми газами в летний период:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 0,016 \cdot 35316,5 \cdot 0,09 \cdot 2 = 0,106 \text{ г/с}$$

Объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/с, образующихся при работе всех котлов для летнего периода:

$$V_{л} = 18,1 \cdot 0,016 \cdot 2 = 0,571 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость дымовых газов на выходе из устья в летний период:

$$w = \frac{4 \cdot 0,571}{\pi \cdot 0,4^2} = 4,54 \text{ м/с}$$

Вспомогательные коэффициенты рассчитаем по формулам (7.6)-(7.8):

$$f = \frac{10^3 \cdot 4,54^2 \cdot 0,4}{20^2 \cdot 160,9} = 0,13;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,13} + 0,34\sqrt[3]{0,13}} = 1,14;$$

$$v_{,м} = 0,65\sqrt[3]{\frac{0,571 \cdot 160,9}{20}} = 1,08;$$

$$n = 3 - \sqrt{(1,08 - 0,3)(4,36 - 1,08)} = 1,4;$$

Максимальная приземная концентрация в летний период:

$$C_{max} = \frac{160 \cdot 0,106 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1,4}{20^2 \sqrt[3]{0,571 \cdot 160,9}} = 0,01 \text{ мг/м}^3$$

Максимальная концентрация выбросов в зимний и летний периоды не превышает ПДК:

$$C_{max}^3 < \text{ПДК};$$
$$0,02 \text{ мг/ м}^3 < 0,085 \text{ мг/м}^3.$$

$$C_{max}^л < \text{ПДК};$$
$$0,01 \text{ мг/ м}^3 < 0,085 \text{ мг/м}^3.$$

Следовательно, дымовая труба высотой  $h=20$  м выбрана верно.










котла. Повторное включение котла допускается выполнять в установленном порядке после устранения причины повреждения котла.

Защита от вскипания может включаться:

- при недостатке воды (например упуск воды при снижении расхода воды ниже минимального для данной теплопроизводительности);
- при вскипании воды, если статическое давление не достаточно высокое по сравнению с давлением насыщения при заданной рабочей температуре;
- при неисправности других систем защиты котла.

Для предупреждения низкотемпературной коррозии в котле необходимо, чтобы температура поверхностей, контактирующих с дымовыми газами не снижалась ниже точки росы дымового газа. Для этого температура обратной воды котла не должна опускаться ниже 60 °С. Температуру воды из сети можно повысить до ее поступления в котел путем смешения (за счет рециркуляции) горячей воды прямой и обратной.

### **Автоматическая защита**

На каждом котле должны быть предусмотрены приборы безопасности, обеспечивающие своевременное и надежное автоматическое отключение котла или его элементов при недопустимых отклонениях от заданных режимов эксплуатации.

Котел снабжен автоматической защитой, прекращающей его работу при превышении параметров в следующих случаях:

- при повышении температуры воды на выходе из котла,
- при понижении давления воздуха,
- при отклонении давления газа перед горелкой,
- при уменьшении разрежения в топке котла,
- при отклонении давления воды на выходе из котла,
- при понижении давления топлива перед горелкой,
- при понижении расхода воды через котёл,
- при погасании факела горелки,
- при исчезновении напряжения в цепях защиты,
- при аварийном останове вентилятора и дымососа.

При достижении предельно допустимых параметров котла автоматически должна включиться звуковая и световая сигнализация.

### **Регулирование нагрузки**

Качество процесса горения можно оценить путем наблюдения через контрольный глазок за цветом окраски факела а также за цветом дымовых газов, выходящих из дымовой трубы. Короткий, блестящий белый факел говорит об избытке воздуха. При этом горелка работает неравномерно, с большим шумом.

В данном случае следует увеличить подачу топлива, либо уменьшить подачу воздуха.

					13.03.01.2019.083.13 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		9393

При недостатке воздуха горение неполное. Факел длинный, красноватый по окраске с темными полосами в конце, выходящий дым имеет темный цвет.

В таком случае следует уменьшить подачу топлива, либо увеличить подачу воздуха. Наиболее полную характеристику горения можно получить путем анализа содержания кислорода и величины сажевого числа дымовых газов на выходе из котла.

Дымовые газы по цвету должны быть светлые и быстро растворяться в воздухе, именно в таком случае горение наиболее экономично.

Регулятор нагрузки котла получает импульс по температуре воды за котлом и воздействует на изменение подачи топлива к котлу. Регулятор соотношения топлива и воздуха включается по схеме топливо — воздух и получает два импульса: по давлению газа перед горелками и давлению воздуха. Регулятор нагрузки воздействует на направляющий аппарат дутьевого вентилятора.

Регулирование температуры мазута, поступающего в горелки, производится, в мазутонасосных, где размещаются подогреватели мазута.

Все регуляторы вспомогательного оборудования реализуют П – или ПИ – законы в зависимости от необходимой точности поддержания регулируемого параметра либо используются регуляторы прямого действия.

Применение автоматических систем регулирования позволяет повысить надежность и экономичность работы энергооборудования при малом числе обслуживающего персонала или вовсе его отсутствии.

					<i>13.03.01.2019.083.13 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9494

## 9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В котельной установлены 2 водогрейных котла мощностью 1 МВт, насосное оборудование, установка для очистки воды. Основное топливо – природный газ, резервное – мазут. Управление котлами происходит с пульта дистанционного управления либо в автоматическом режиме в зависимости от температуры наружного воздуха в соответствии с температурным графиком. Для предотвращения аварийных ситуаций рассматриваются вопросы безопасности жизнедеятельности.

### Анализ опасных производственных факторов

При эксплуатации котельной, на персонал могут воздействовать различные опасные производственные факторы (ОПФ), в соответствии с Приказом Минтруда России "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок" [14]:

- 1) теплоносителя (пара, горячей воды), химических реагентов при возможных разрушениях элементов тепловых энергоустановок и трубопроводов;
- 2) повышенной температуры наружной поверхности тепловых энергоустановок и трубопроводов;
- 3) поражения электрическим током.

### Источники опасности

Вероятными источниками опасности отопительной котельной, работающей на газообразном топливе являются: топливо (газ проникает в помещение), теплоноситель (нагретый до высокой температуры, его повышенное давление, нарушение водоподготовки), персонал (при неправильной эксплуатации оборудования).

### Аварийные ситуации и их причины

Аварийные ситуации и их причины, возникающие в котельной при несвоевременном отключения теплоэнергетического оборудования [14]:

- 1) эксплуатация проводится с неисправными или неотрегулированными средствами безопасности и КИПиА → превышение давления в котле выше допустимого, взрыв котла;
- 2) снижения уровня воды ниже/выше низшего допустимого уровня → перегрев металла, вызывающий деформацию трубной системы, взрыв котла;
- 3) несоблюдение регламента разогрева → обрушение обмуровки.
- 4) погасания факела в топке при камерном сжигании топлива → остановка котла, отравление газом, взрыв/пожар;
- 5) отложение солей жесткости на внутренних поверхностях теплообменника → прогорание теплообменника, разрыв теплообменника;

										Лист
										9595
Изм.	Лист	№ докум.	№	Подпись	Дата	13.03.01.2019.083.13 ПЗ				

- 6) возникновения загазованности в котельной → взрыв/пожар;
- 7) нарушения водоподготовки → накипеобразование, пережог поверхностей нагрева, перерасход топлива;
- 8) неправильная эксплуатация горелочного устройства → засорение форсунки, нестабильность горения или отрыв пламени, взрыв в топке, взрыв или загорание горючих отложений в газоходах, разогрев докрасна несущих балок каркаса котла;

### **Пожаровзрывоопасность**

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов - совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения, в зависимости от его скорости и условий протекания, могут быть пожар или взрыв.

Технологический процесс связан с перемещением горючего вещества – природного газа по газопроводам помещения. Опасность пожара и взрыва связана с его утечкой и образованием опасной газозвдушной смеси.

Природный газ по горючести относится к группе горючих веществ - вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться под воздействием источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. [21,ст.12]

Технологическая среда котельной – пожаровзрывоопасная, т.к. возможно образование смесей воздуха с горючими газами, парами легко воспламеняющихся жидкостей, горючими жидкостями, горючими аэрозолями и горючими пылями или волокнами и если при определенной концентрации горючего и появлении источника инициирования взрыва (источника зажигания) она способна взрываться.[21,ст.16]

Здания, помещения и сооружения котельных относятся по пожарной и взрывопожарной опасности к классу Г – умеренная пожароопасность. К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.[21,ст.27]

Класс функциональной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков - классификационная характеристика зданий, сооружений и пожарных отсеков, определяемая назначением и особенностями эксплуатации указанных зданий, сооружений и пожарных отсеков, в том числе особенностями осуществления в указанных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках технологических процессов производствах[21]

По функциональной пожарной опасности котельная относится к классу Ф5 – здания производственного или складского назначения, в том числе Ф5.1 – производственные здания, сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские.[21,ст.32]

Строительные конструкции по пожарной опасности относятся к классу К3 – пожароопасные.[21,ст.36]

					13.03.01.2019.083.13 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		9696















Расход топлива в летний период  $B_{л}=0,016 \text{ м}^3/\text{с}$   
 Продолжительность, сут.  $z_{ом}=218$   
 Расход сетевой воды при  $+8 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $G_{исх}^{+8}=0,259 \text{ кг/с}$   
 Расход сетевой воды в летний период  $G_{исх}^л=0,202 \text{ кг/с}$

Годовой расход топлива  $B_{год}$ , тыс.м<sup>3</sup>/год определяем по формуле (10.1):

$$B_{год} = B_з \cdot 3600 \cdot 24 \cdot z + B_{л} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot (365 - z) \quad (10.1)$$

$$B_{год} = 0,035 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 218 + 0,016 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot (365 - 218) = 862,45 \text{ тыс.м}^3/\text{год}$$

Текущие затраты на топливо  $I_m$ , тыс.руб./год

$$I_m = 862,45 \cdot 4,8 = 4\,139,70 \text{ тыс.руб./год}$$

Годовой расчет электроэнергии  $\mathcal{E}_{год}$ , кВт·ч/год на собственные нужды котельной определяется по формуле (10.2):

$$\mathcal{E}_{год} = N_{уст} \cdot n \cdot k_{исп}, \quad (10.2)$$

где  $N_{уст}$  – установленная мощность токоприемников, кВт, определяется на основе выбора вспомогательного оборудования котельной и электродвигателей к нему;

$n$  – число часов работы оборудования в году, ч/год;

$k_{исп}$  – коэффициент использования установленной мощности.

Результаты расчета годового расхода электроэнергии приведем в таблице 10.7.

Таблица 10.7 – Расчет годового расхода электроэнергии

Наименование токоприемников	Коэффициент использования нагрузки, $k_{исп}$	Кол-во	Годовое число часов работы	Максимальная потребляемая мощность, кВт	Расход электроэнергии, кВт·час
Наружное освещение	0,4	-	3600	2	2880
Внутреннее освещение	0,9	-	4100	10	36900
Насос подпиточный	0,4	1	8760	0,44	1541,76
Насос сетевой	0,55	2	5232	0,6	3453,12
Насос циркуляционный	0,4	1	8760	0,06	210,24
Насос циркуляционный ГВС	0,4	1	8760	0,03	105,12
Насос циркуляционный котла	0,4	2	8760	0,07	490,56
Дренажный насос	0,4	1	8760	0,22	770,88
ИТОГО	0,6	-	-	1432	46 351,68



Таблица 10.9 – Текущие затраты для II варианта с котлом КВ-1,6Г

Статья затрат	Ед.изм.	Кол-во	Стоимость ед.изм. в руб. (с учетом НДС)	Сумма тыс.руб./год
Топливо	тыс.м <sup>3</sup> /год	862,45	4,8 руб/м <sup>3</sup>	4 139,70
Электроэнергия	кВт·ч/год	46 351,68	3,3 руб/кВт·ч	152,96
Подпиточная вода	т/год	7 443,88	3 руб/т	22,33
Амортизация	тыс.руб./год	-	-	236,83
Ремонтный фонд	тыс.руб./год	-	-	47,40
ИТОГО	тыс.руб./год	-	-	4599,22

Приведем капитальные и текущие затраты по двум вариантам в сводной таблице 10.10

Таблица 10.10 – Капитальные и текущие затраты

Затраты	Ед.изм.	КСВ-1,0	КВ-1,6Г
Капитальные затраты(К)	тыс.руб.	3 726,80	4 304,80
Текущие затраты (И)	тыс.руб./год	4 552,75	4 599,22

Сравним два варианта по капитальным и текущим затратам:

$$K_1 < K_2$$

$$I_1 < I_2$$

Таким образом, капитальные и текущие затраты меньше для I варианта технологического решения с котлом КСВ-1,0 целесообразнее произвести установку водогрейного жаротрубного котлоагрегата КСВ-1,0.

## 10.2 Модель SWOT-анализа вариантов технических решений

SWOT-анализ – определение направленности методов решения указанной проблемы существующих теоретических моделей, методов и методик усовершенствованного решения выявленных проблем.

Создание нового объекта энергетики сопровождается рядом рисков. Анализ, проведенный методом SWOT, позволит выявить факторы внутренней и внешней среды. Факторы внутренней среды: S – сильные стороны, W – слабые стороны, внешней среды: O – возможности, T – угрозы.

S:	W:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокий КПД котла 92,7%;</li> <li>• простота управления;</li> <li>• простота очистки отложений;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• повышенные требования к качеству воды.</li> </ul>



<b>О:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчивый спрос на тепловую энергию;</li> <li>• широкий ассортимент оборудования на рынке;</li> </ul>	<b>Т:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• трудности с поставкой вспомогательного оборудования из-за санкций;</li> <li>• рост тарифов на газ;</li> <li>• нестабильный курс валют;</li> </ul>
---	--

Рисунок 10.1 – Модель SWOT-анализа для I варианта с котлом КСВ-1,0

<b>S:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сниженные требования к качеству воды.</li> </ul>	<b>W:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• большие габариты котла;</li> <li>• низкий температурный график 70/95;</li> <li>• необходимость соблюдения постоянного гидравлического режима.</li> </ul>
<b>О:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчивый спрос на тепловую энергию;</li> <li>• возможность увеличения мощностей производства за счет запаса мощности источника;</li> <li>• наличие широкого ассортимента оборудования на рынке;</li> </ul>	<b>Т:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• трудности с поставкой вспомогательного оборудования из-за санкций;</li> <li>• рост тарифов на газ;</li> <li>• нестабильный курс валют;</li> <li>• перебой в поставке топлива.</li> </ul>

Рисунок 10.2 – Модель SWOT-анализа для II варианта с котлом КВ-1,6Г

Анализ показал, что сильных стороны больше у котлоагрегата КСВ-1,0, а слабых у КВ-1,6Г.

### 10.3 Модель поля сил реализации проекта

Поле сил реализации проекта составляет для лучшего варианта – проекта разработки котельной с установкой жаротрубного котла КСВ-1,0, представлено на рис.10.3

#### Анализ движущих сил

В движущих силах сильное влияние оказывает такой фактор как наличие тщательно разработанного проекта. Его наличие играет исключительно важную роль в реализации проекта, т.к. позволяет координировать все этапы работы, а также гарантирует энергоэффективность и надежность реализованного проекта.

Наличие свободного капитала, также является сильной движущей силой, это позволит приобрести основное и вспомогательное оборудование высокого качества для обеспечения бесперебойного теплоснабжения.

Среднее влияние оказывает наличие квалифицированных специалистов. Этот фактор снижает человеческий фактор ошибки при монтаже и пуско-наладочных работах, что обеспечит дальнейшую нормальную эксплуатацию оборудования.

Слабое влияние на движущие силы оказывает простота монтажа оборудования, т.к. жаротрубные котельные агрегаты поставляются в сборке, что облегчает процесс его установки, а также присоединения вспомогательного оборудования, трубопроводной арматуры, приборов КИП.

										Лист
										1061
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата						05

13.03.01.2019.083.13 ПЗ

Также, слабое влияние оказывает экономия фонда заработной платы. Автоматизированная котельная позволяет эксплуатировать оборудование без обслуживающего персонала, что снижает риск воздействия опасных факторов.

#### Анализ сдерживающих сил

Сильное влияние сдерживающих сил оказывает нарушение сроков поставки оборудования, т.к. сдвигаются даты сдачи проекта, что приводит к увеличению затрат.

Среднее влияние сдерживающих сил оказывает колебание курса валют, он сказывается на стоимости вспомогательного оборудования и его запасных частях в случае поломки.

Малое влияние оказывает рост тарифов на газ, т.к. это неизбежная политика государства нормы которой, распространяются на все источники по производству тепловой энергии по средством сжигания природного газа.

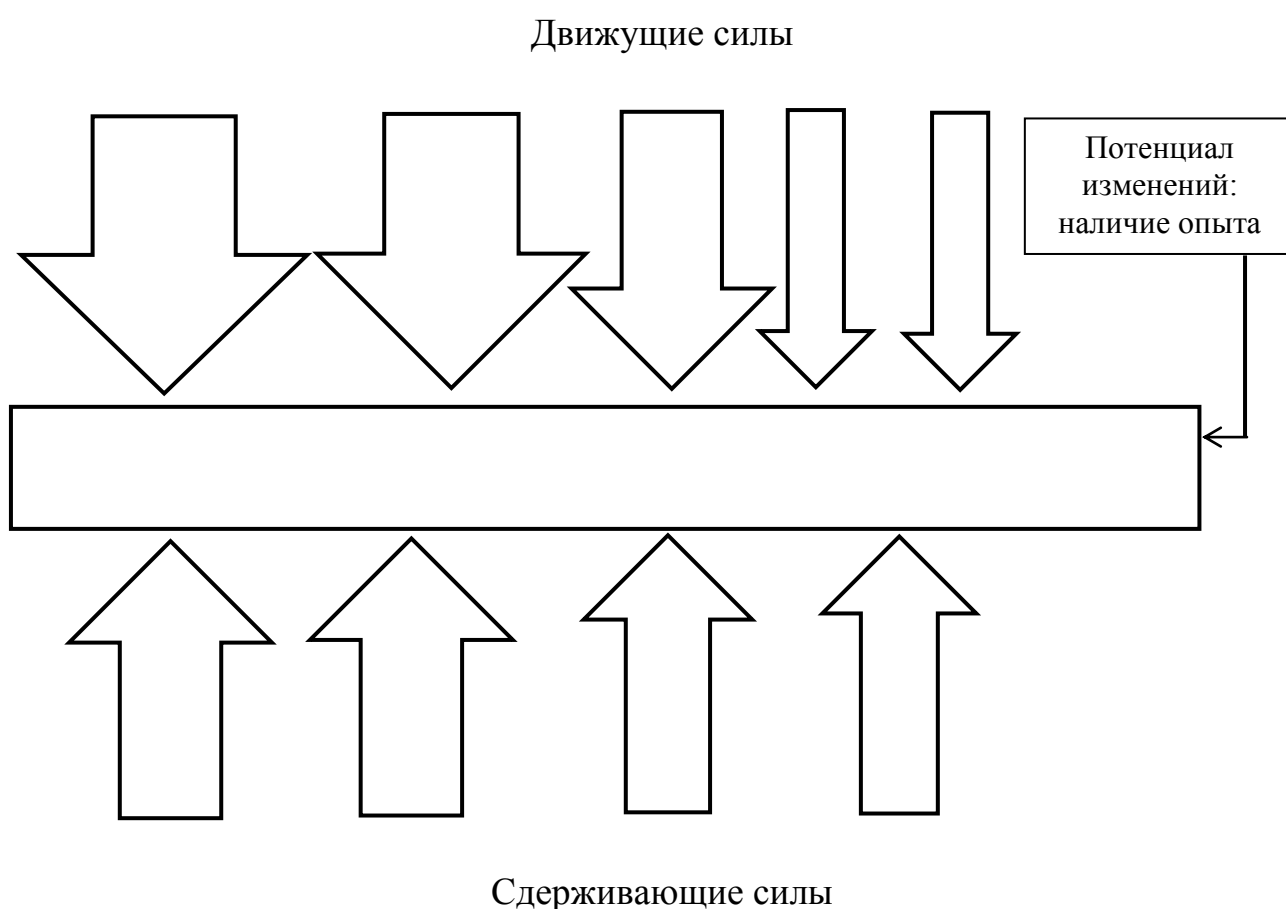


Рисунок 10.3– Модель оценки дисбаланса сил при реализации проекта  
Движущие силы помогают достичь целей в поставленные сроки, их преобладание говорит о выполнимости поставленной задачи.

#### 10.4 Модель дерева целей повышения энергетической эффективности

Дерево целей проекта представляет структурную модель, показывающую соподчиненность и связь целей подразделений в иерархии управления. Для его



Диаграмма дает возможность наглядно увидеть мероприятия по достижению поставленной задачи в определенные сроки: над чем следует работать, какие ресурсы задействовать, с какой скоростью выполнять те или иные задачи.

График Ганта по сооружению автономной котельной жилого района представлен в таблице 10.11

Таблица 10.11 – План-график Ганта

Работы по проекту	Исполнители	2019 г.		2020 г.												
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Получение исходных данных	Спец.организация	■														
Получение исходно-разрешительной документации(ИРД)	Ростехнадзор	■														
Разработка проекта	Проектная организация		■	■												
Экспертиза промышленной безопасности и утверждение проекта	Экспертная организация				■	■										
Анализ поставщиков оборудования	Спец.организация				■	■										
Закупка материалов и оборудования	Спец.организация					■										
Проведение строительных работ	Строительная организация						■	■	■							
Выполнение монтажных работ по установке оборудования	Спец.организация							■	■	■						
Монтаж обвязки и КИПиА	Спец.организация							■	■	■						
Пуско-наладочные работы	Служба ПНР											■				
Пуск в эксплуатацию	Спец.организация												■			
Представление режимной карты	Спец.организация													■		
Сдача нормативных документов	Спец.организация															■
Авторский надзор	Спец.организация				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■







с.,183 ил.

36 Беликова, С.Е. Водоподготовка. Справочник для профессионалов./Под ред. проф. С.Е. Беликова. – М.:Изд-во АСВ,2008. – 784 с.,183 ил.

37 Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: Учебник для вузов / Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.Н. Покровский; Под ред. П.С. Непорожного.–М.: Энергоиздат, 1981.

38 Расчет дымовой трубы: учебное пособие / А.И. Грибанов. – Челябинск, ЮУрГУ, 2005.

39 Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: Учеб. пособие для вузов / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; Под ред. А.С. Седлова. – М.: Издательство МЭИ, 2001.

40 Алабугин, А.А. Экономико-управленческая часть выпускных квалификационных работ для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»: учебное пособие / А. А. Алабугин, Р.А. Алабугина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 44 с. Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б.А. Соколов. – М: Издательский центр «Академия», 2007.

42 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2009.

43 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04-2008. – Челябинск, 2008.

44 Тихомиров, А.К. Теплоснабжение района города : учеб. пособие /А. К. Тихомиров. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135 с.

45 Особенности водного режима при эксплуатации современных жаротрубных водогрейных котлов. – [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=75](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=75)

46 Цены на котел КСВ-1,0. – <https://ros-teplo.ru/kotlyi-gaz-jidkoe-toplivo/ksva-025-25-mvt/kotel-ksva-1.html>

47 Цены на котел КВ-1,6Г. – [http://www.bikz.ru/production/kotly\\_vodogreynie/gaz\\_zhidkoe\\_toplivo/serii\\_kv\\_dev\\_1\\_6\\_mvt/kv-1\\_6g\\_n\\_dev-1\\_4-95g/](http://www.bikz.ru/production/kotly_vodogreynie/gaz_zhidkoe_toplivo/serii_kv_dev_1_6_mvt/kv-1_6g_n_dev-1_4-95g/)

48 Горелка газовая. – <https://energomir.ru/gorelki/gazovie-2/baltur-tbg-mc.html>

49 Насосное оборудование. – <https://wilo.com/ru/ru/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B9%D1%81-%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%8B/>

50 Насосная станция. – [http://www.teremonline.ru/001\\_katalog/002\\_nasosy/669\\_nasosnye\\_stancii](http://www.teremonline.ru/001_katalog/002_nasosy/669_nasosnye_stancii)

51 Расширительный бак Wester Heating. – <http://www.wester.ru/>

52 Подогреватель ГВС. – <https://kotly-market.ru/catalog/water-heater/vodonagrevatel-ACV-Smart-Line-FLR-320.html>

53 Расширительный бак. – <https://www.eco-therm.ru/catalog/rasshiritelnye-baki/rasshiritelnye-baki-dlya-sistem-otopleniya-elbi/>

54 Бак запаса воды. – [https://www.termoclub.ru/catalogue/baki-plastikovye-dlya-vody-i-topliva/baki-dlya-vody/baki-dlya-vody\\_1328.html](https://www.termoclub.ru/catalogue/baki-plastikovye-dlya-vody-i-topliva/baki-dlya-vody/baki-dlya-vody_1328.html)

55 Установка умягчения воды. – <https://ekb.kotel->

										Лист
										1131
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата	13.03.01.2019.083.13 ПЗ					12



