

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Управление распределенной системой теплоснабжения на основе модельного подхода УДК 004.896:697.34:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ02	Комкина Ульяна Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т. В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич О. А.	к.б.н., доцент		

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев М.С.	к.т.н., доцент		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
	Универсальные компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
	Общепрофессиональные компетенции
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью

Код компетенции	Наименование компетенции
	Профессиональные компетенции
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления,

Код компетенции	Наименование компетенции
	готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2022
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ02	Комкина У.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ02	Комкина Ульяна Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	НИ выполняется на базе ТПУ с использованием оборудования университета, количество исполнителей НИ – 2 человека (научный руководитель и студент)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	трудовой кодекс, производственный календарь
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды: (ФСС) – 2,9 %, пенсионного фонда (ПФ) 22% и медицинского страхования (ФФОМС) – 5,1% от затрат на оплату труда работников

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Преставить разделы Устава научного проекта магистерской работы: 1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составить план управления научно-техническим проектом: контрольные события план, смету затрат, матрицу ответственности научного исследования
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Провести оценку сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Перечень проводимых работ и затраченные на них временные ресурсы
2. Диаграмма Ганта;
3. Затраты на заработную плату;
4. Смета затрат на проведение научного исследования
5. Оценка ресурсной эффективности проводимого научного исследования
6. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ02	Комкина Ульяна Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
8ТМ02		Комкина Ульяна Сергеевна	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Управление распределенной системой теплоснабжения на основе модельного подхода

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объект исследования: котельная станции
Область применения: энергетика, тепловые электростанции
Рабочая зона: офис
Размеры помещения: 5·6 м
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, компьютерная мышь, принтер, сканер
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль работы параметров; наблюдения за параметрами системы и выполнение команд.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
 ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов
- Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора

Вредные факторы:

- повышенный уровень шума;
- аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего: температура и относительная влажность воздуха;
- физические перегрузки, связанные с рабочей позой;
- отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения;

	<ul style="list-style-type: none"> – умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: вентиляция воздуха, отопление, источники света, световые проемы, защитные заземления, оградительные устройства, знаки безопасности</p> <p>Фактор по какому будет производиться расчет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<p>Воздействие на литосферу: отчуждение и загрязнение земель оксидами азота;</p> <p>Воздействие на гидросферу: выбросы теплоты, загрязнение сточных вод отходами водоподготовки и оксидами азота;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы оксидов азота и оксидов серы от сжигания топлива</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	<p>Возможные ЧС: землетрясения, обрушение здания, пожар, взрыв</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар, взрыв</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
21.02.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ02	Комкина Ульяна Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 22 рисунка, 19 таблиц, 45 источников, три приложения.

Ключевые слова: тепловая станция, математическая модель, теплоноситель, температура прямой воды, температура обратной воды, блок.

Объект исследования – объектом исследования магистерской диссертации является компьютерная модель системы теплоснабжения котельной станции населенного пункта Чажемто.

Целью работы создание математической модели, для дальнейших алгоритмов управления системой теплоснабжения на основе модельного подхода.

В ходе данной работы проводилось математическое моделирование тепловой станции, построение имитационной модели, а также изучение факторов, влияющих на изменение температуры прямой и обратной воды.

Данная работа имеет практическое значение для повышения эффективности работы тепловой станции, эффективного распределения тепла по *i*-тым потребителям станции.

Область применения: энергетика, тепловые электростанции.

Экономическая значимость работы заключается в возможности снижения трудоёмкости проектно-конструкторского процесса создания камер сгорания газотурбинных установок, а также сокращения различного рода ресурсов на экспериментальную доводку.

Оглавление

Введение.....	15
1 Анализ задач, основные проблемы	17
1.1 Обзор литературы	17
1.1.1 Анализ отечественных исследований	17
1.1.2 Анализ зарубежных исследований.....	20
1.1.3 Анализ тенденций исследований	22
2 Описание моделируемой системы.....	24
2.1 Описание распределенной системы теплоснабжения.....	24
2.2 Описание блочно-модульной котельной	24
2.2.2 Эксплуатационные требования, предъявляемые к БМК	26
2.2.3 Присоединение потребителей в системах теплоснабжения.....	27
3 Расчет модели исследуемой системы.....	29
3.1 Расчет систем теплоснабжения.....	29
3.2 Расчет тепловых сетей.....	32
3.2.1 Тепловой расчет	32
3.2.2 Регулирование тепловой нагрузки	34
3.2.3 Расход сетевой воды	36
3.2.4 Гидравлический расчет.....	37
4 Описание математической модели распределенной тепловой станции	41
5 Разработка системы автоматического управления.....	52
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
6.1 Предпроектный анализ	55
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55

6.2	Инициация проекта	57
6.3	Планирование управления научно-техническим проектом.....	57
6.3.1	Контрольные события проекта	57
6.3.2	План проекта.....	58
6.3.3	Бюджет научного исследования	60
6.3.3.1	Материальные затраты	60
6.3.4	Матрица ответственности	62
6.4	Оценка сравнительной эффективности исследования	63
7	Социальная ответственность	65
7.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
7.2.1	Правовые нормы трудового законодательства	65
7.2.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	66
7.3	Производственная безопасность.....	68
7.3.1	Анализ потенциально вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	68
7.3.1.1	Повышенный уровень шума	68
7.3.1.2	Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего	69
7.3.1.3	Физические перегрузки, связанные с рабочей позой и умственное напряжение, вызванное информационной нагрузкой	70
7.3.1.4	Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	71
7.3.2	Анализ опасных факторов.....	75
7.3.2.1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии.....	75

7.4 Экологическая безопасность.....	76
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
7.6 Выводы по главе «Социальная ответственность».....	80
Заключение.....	82
Список публикаций студента.....	83
Список использованных	84
Приложение А (обязательное) Management of a distributed heat supply system based on a model approach	89
Приложение Б (справочное) Операторно-структурная схема Matlab	103
Приложение В (справочное) Результаты теплового расчета.....	104
Приложение Г (справочное) Результаты гидравлического расчета	105

Введение

Сегодня развивающимся направлением является компьютерное моделирование объектов, не только со стороны наглядности и глубокого понимания процессов, а также рационального использования ресурсов.

В нашем случае объект управления – система теплоснабжения, основными ее элементами являются водогрейный котел малой мощности, потребители тепла, трубопроводы.

Проектирование распределенной системы теплоснабжения представляет собой сложную математическую задачу, решение которой направлено на обеспечение достижения заданных характеристик разрабатываемого объекта за счёт оптимизации его рабочего процесса путем выбора определенных режимных и геометрических параметров, а также их взаимного согласования. Требования к эффективности, а также экологичности котельных (низкому уровню отходов производства и выбросов вредных веществ) с течением времени становится жестче. Становится необходимым моделирование реальных систем, процессов, протекающих в системе теплоснабжения, для более точной визуализации распределения тепла, возможности прогнозирования нагрузок на систему отопления, а также оптимальное использование ресурсов.

Актуальность работы. Постоянное удорожание энергоресурсов и рост энергопотребления выдвигает на первый план задачу разработки и реализации государственной политики в области энергосбережения. А именно снижение спроса на энергоносители за счет повышения энергоэффективности и развития новых технологий [1]. Наиболее остро вопросы энергоснабжения стоят в отрасли народного хозяйства, а именно в коммунальном хозяйстве, и прежде всего это характерно для систем теплоснабжения жилых и промышленных объектов. Сказанное связано с тем, что в настоящее время на теплоснабжение зданий в России расходуется около 430 млн т условного топлива, что составляет примерно 45 % всех потребляемых в стране энергоресурсов [2].

Решением данной задачи является использование математической модели системы распределения, поскольку это повышает энергоэффективность работы

станции, а также ведет к уменьшению антропогенных выбросов. На основе математической модели создается имитационная модель станции, которая позволяет моделировать распределение тепла по станции, что в свою очередь является возможностью для отслеживания температуры в котлоагрегате в целях обеспечения полноты сгорания топлива. Появляется возможность контролировать температуру горения топлива без потерь тепла у потребителей или же избытка тепла. Особенно актуально это в моменты резких изменений температур воздуха.

Под электронной моделью системы теплоснабжения, газоснабжения, водоснабжения и водоотведения понимается математическая модель этих систем, привязанная к топографической основе города с учетом кадастрового деления территории и предназначенная для моделирования действующих режимы [2].

От оптимальной эксплуатации котельной зависит эргономическое использование ресурсов, влияющих на КПД системы в целом.

Объект исследования – объектом исследования магистерской диссертации является компьютерная модель системы теплоснабжения котельной станции населенного пункта Чажемто.

Предметом исследования – методы, алгоритмы и модели организации автоматизированного управления распределенной системой теплоснабжения.

Целью работы создание математической модели, для дальнейших алгоритмов управления системой теплоснабжения на основе модельного подхода

Поставленная цель достигается при решении следующих основных задач:

- анализ существующих схем теплоснабжения и способов управления отоплением комплекса зданий при децентрализованном теплоснабжении;
- разработка системы теплоснабжения (тепловой расчет системы отопления, гидравлический расчет магистральных трубопроводов);
- выбор метода математического моделирование системы управления распределенной системы теплоснабжения;
- имитационное моделирование и экспериментальные исследования управления отоплением.

1 Анализ задач, основные проблемы

1.1 Обзор литературы

1.1.1 Анализ отечественных исследований

На данный момент актуальной задачей является внедрение информационных технологий в сферы управления и развития отраслей инженерно-энергетического комплекса [3]. Необходимость внедрения информационных технологий в инженерно-энергетические комплексы обусловлено национальной ориентацией на развитие информационного общества [4].

Внедрение интеллектуальных технологий позволяет экономично использовать топливные ресурсы сократить потери тепловой и электрической энергии повысить надежность системы теплоснабжения как следствие оказать положительное влияние на стоимость тарифов.

Также одну из основных проблем выделяют исследователи [5], они говорят о потерях тепла, связанных с повышением температуры наружного воздуха или избыточным количеством тепла к концу отопительного сезона. Вышеуказанные проблемы возникают по следующим причинам: сложность адекватной оценки сложившейся ситуации, а также сложность прогнозирования последствий активных управляющих воздействий на тепловую сеть оперативным персоналом; закономерные изменения сетевой структуры (присоединение новых потребителей, новых источников тепла), приводящие к потере оперативного контроля за состоянием объекта.

Саков И.А. и др. в качестве решения предлагают программно-методический комплекс «Тепловые сети». В состав программного комплекса входит следующее: измеряемая часть, состоящая из базы данных исходной оперативной и результирующей информации, методическое обеспечение, пакеты прикладных программ (счетные программные модули); базовый блок, состоящий из: командной оболочки, сервисной подсистемы (система управления диалогом, система отображения и преобразования данных), базы данных общего пользователя, универсальные вычислительные процедуры.

Солдатенков А.С. [5] представляют работу по созданию автоматизированной системы диспетчерского управления и учета тепловой энергии на основе современного оборудования. Основной задачей, которую решают авторы является увеличение эффективности децентрализованного отопления комплекса зданий с автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом и водоструйными элеваторными узлами путем управления распределенными энергосистемами. Достоверность исследований авторы подтверждают программной реализацией и внедрением.

Основной проблемой систем теплоснабжения которую выделяют авторы является гидравлическая неустойчивость, которой необходим постоянный контроль и поддержание постоянного по величине расхода теплоносителя [5]. Как известно, переменное значение расхода ведет к гидравлической разрегулировке системы – прекращается поступление теплоносителя в отдельные стояки, и отопление подключенных к ним потребителей прекращается. Авторам удалось добиться экономии тепловой энергии зданиям с индивидуальным тепловым пунктом на 6,28%, также добились уменьшения расхода теплоносителя, также авторы говорят о погрешности системы в $\pm 5\%$. На ряду с достоинствами метода выделяется недостаток системы в возможности увеличения перетопа при определенных условиях распределения расходов теплоносителя.

В источнике литературы [6] автор решает задачу обеспечения максимальной степени комфортности микроклиматических условий объектов со сложной структурой при разнообразии их теплоэнергетических характеристик при противоречивых температурных условиях с помощью сенсорных сетей. Данный подход отличается от подхода решения вопроса распределения температуры по потребителям в данной магистерской диссертации.

В [6] описана методология управления распределенным теплоснабжением зданий с использованием имитационного моделирования в сочетании с автоматизированной системой оперативного управления, построенной на базе сенсорных сетей. Автор отмечает, что основным

преимуществом использования сенсорных сетей является получение исчерпывающей информации о функционировании отдельных элементов управления теплоснабжением. Это, в свою очередь, позволяет более полно получать информацию об объекте теплоснабжения с учетом индивидуальных особенностей его элементов в отдельности и воздействующих на них возмущений, а также выявлять внутренние взаимосвязи между элементами объекта. Также в работе используется информация о каждом помещении в здании, что позволяет получить более адекватную оценку текущего состояния как отдельных помещений, так и здания в целом. Но недостатком изложенной выше модели является проблематичность оптимального использования обширного количества данных в управлении, особенно когда необходимо управление теплоснабжением всего здания в целом. Другими словами, избыточность входных данных усложняет анализ оптимального управления объектом.

Авторы [7] исследовали рассмотрели особенности эффективного автоматизированного управления процессом централизованного теплоснабжения распределенного комплекса зданий, на основе имитационного моделирования и экспериментальных данных показывают варианты возможного частичного перераспределения теплоносителя между объектами распределенного комплекса, приводящие в целом к снижению экономической эффективности автоматизированного управления. Внедрение системы управление позволило снизить оплату коммунальных расходов за тепло на 22 %.

Но стоит учитывать, что внедрение системы управления производилось в умеренном климатическом поясе, где среднегодовая температура составляет - 6,6 °С . На ряду с этим основной недостаток системы заключается в возможности использования в определенных температурных зонах поскольку как отмечают авторы в период среднесуточной температуры ниже – 9 °С экономии энергии не наблюдалось [6].

Н.Ф. Мазитов [7] проводит исследование по увеличению эффективности работы котельной станции, в свою очередь это зависит от оперативного

реагирования на изменения системы, постоянного поддержания заданных параметров, а также основной задачей является снижение и предотвращение аварийных ситуаций. Автор работал над управлением настройками регулировки давления сетевой воды. Программа, реализованная в источнике литературы [7] написана на языке программирования C# с использованием стандартных библиотек. Архитектура интерфейса информационной системы подогрева воды на станции – это совокупность нескольких экранов, на каждом из которых представлен соответствующий функционал.

Сильной стороной данной программы является то, что она решает следующие вопросы:

- снижение аварийности;
- эргономичное использование энергии в частности, электроэнергии, пара и тепла;
- экономия затрат на заработную плату.

Узкими местами данной системы является то, что ее использование возможно лишь на операционной системе Windows, версией не ниже 7.

1.1.2 Анализ зарубежных исследований

Авторы [8] проводили исследования влияния систем автоматизации зданий на потребление энергии на отопления и охлаждения путем управления схемы работы здания. Исследователи разрабатывали методологию интеграции различных систем здания, таких как тепловые насосы, котел и солнечные коллекторы, с их рабочими схемами через систему автоматизации, а также исследовали различных сценария управления исследуются для сравнения с помощью различного программного обеспечения. Энергетическую модель здания подготовили в TRNSYS, а условия сценария прописаны в MATLAB для импорта в TRNSYS с помощью специального компонента, который является мостом между MATLAB и TRNSYS. Впоследствии, динамическое почасовое моделирование для изменения заданных значений тепловых условий в

помещении интегрируется с помощью инструментария нечеткой логики из MATLAB.

Авторам удалось получить данные о влиянии системы автоматизации на энергоэффективность здания. Также они добились экономии тепла. Согласно результатам [8], экономия потребления тепла между сценариями Fuzzy и Base Case составила около 10,37 % (~166 000 кВтч), в то время как для сценариев Fuzzy и ICT она составила 4,46 % (~65 000 кВтч).

Помимо моделирования потребителей тепла, основным элементом является математическая модель водогрейного котла. Большая часть прошлых исследований была проведена, сосредоточившись на детальном методе расчета, что подразумевает ограничения для конкретных случаев, которые в дальнейшем вызывает трудности при использовании метода в общем применении. Авторы [9] указали на несколько недостатков существующих в модели. Во-первых, авторы подчеркивают чрезмерное упрощение или игнорирование тепловой динамики в различных подходах к моделированию. Во-вторых, многие модели опираются только на линейные кривые эффективности, основанные на 2 рабочих точках, выданных производителями для стабильной работы агрегатов. Третий недостаток отражается в фиксированных соотношениях сухого и мокрого теплообменников, соответствующих двум режимам теплопередачи конденсационных котлов.

В исследовании [10] авторы рассматривают конденсационный котел и моделируют явления теплопередачи моделируя гибридную динамическую модель. Одной из основных задач было осуществить полное сгорание метана с фиксированным значением сухого избыточного воздуха. В данном исследовании регулируются две температуры воды, как поступающей в котел, так и на выходе из котла, поскольку от температуры, поступающей в котел будет зависеть режим работы котла.

В своей работе авторы [11] разработали подход к моделированию, который основан на полном сгорании метана с фиксированным постоянным количеством 15% сухого избыточного воздуха. Наряду с оговоренной задачей

авторы решали вопрос о прогнозировании эффективности котла, в зависимости от выбранных параметров. Данное исследование позволило улучшить эффективность работы котла путем лучшего контроля параметров. Данное исследование может быть также использовано не только для конденсационных котлов, поскольку математическая модель котла может быть перестроена под водогрейный жаротрубный котел.

1.1.3 Анализ тенденций исследований

В настоящее время одним из наиболее значимых направлений для нашей страны является модернизация систем автоматического управления тепловыми станциями. Поскольку качество управления влияет на многие факторы, например, возможность постоянного мониторинга станции, поддержания заданных параметров позволяет уменьшить возникновение аварийных ситуаций, появляется возможность прогнозирования нагрузки на систему теплоснабжения. Наряду с перечисленным, возникает возможность эргономичного использования топливных ресурсов, что в свою очередь приводит к уменьшению платы за тариф.

Подводя итоги проведенного обзора современных средств автоматизации можно подчеркнуть популярность данного направления не только в Российской Федерации, но и за рубежом. Замечена тенденция большего использования нейронных сетей, которые позволяют более гибко управлять тепловыми станциями.

Вышеописанные исследования опубликованы во временном периоде с 2008 года по 2022, что подтверждает вышесказанное, насчет актуальности рассмотрения вопроса автоматизации. Тенденция прироста новых технологий говорит о заинтересованности населения к более разумному использованию ископаемых.

Из выделенных проблем, которые решаются путем использования нововведений можно выделить следующее:

- полнота сгорания топлива;

- уменьшение аварийных ситуаций;
- эффективное теплораспределение между потребителями тепла;
- устранение некоторых узких мест на магистральных трубопроводах, путем постоянного мониторинга давления;
- уменьшение тарифной платы.

Наряду с вышеперечисленными достоинствами остаются следующие вопросы:

- гибкость использования разработанного программного обеспечения;
- программа автоматизации моделируется под конкретного заказчика (сложность в обширном использовании);
- сложность оптимизации параметров при исчерпывающих факторах системы (множество входных данных создает ряд вопросов при анализе системы).

2 Описание моделируемой системы

2.1 Описание распределенной системы теплоснабжения

В каждую систему отопления включено следующее: источник тепловой энергии, тепловая сеть, абонентские вводы и местные системы потребителей теплоты.

Системы теплоснабжения классифицируют по следующим признакам: источник теплоты; по виду теплоносителя (вода, пар); количеству трубопроводов тепловых сетей; способу обеспечения потребителей тепловой энергией и др.

По источнику тепла различают три типа систем теплоснабжения: 1) централизованное теплоснабжение, например, от ТЭЦ; 2) централизованное теплоснабжение от котельных централизованного теплоснабжения и промышленного отопления; 3) децентрализованное теплоснабжение для небольших котельных, индивидуальных отопительных печей.

В настоящей магистерской диссертации рассматривается централизованная система теплоснабжения которая состоит из блочно-модульной котельной используемой на промышленном объекте.

2.2 Описание блочно-модульной котельной

В настоящее время на производственных объектах зачастую устанавливают блочно-модульные котельные (БМК). БМК являются наиболее экономичными и регулируемые системы теплоснабжения, обычно их применяют для теплоснабжения и горячего водоснабжения объекта. Стационарные котельные представляют собой отдельно стоящие здания или встроенные в комплекс сооружений.

Данный вид котельных не является полностью автономным, поскольку они связаны с централизованными системами снабжения топливом. На котельной станции, расположенной на газокompрессорной станции Чажемто в качестве топлива, используется природный газ, резервным видом топлива может быть жидкое топливо (мазут, дизель). Транспортабельные блочно-модульные

котельная установка КС Чажемто обслуживает группу зданий, расположенных на объекте.

В котельных, мощностью до 2,5 МВт все оборудование помещают в один контейнер (блок), если необходима большая мощность, тогда объединяют несколько блоков в группу для обеспечения необходимой мощности [3]. Мощность исследуемой котельной составляет 5 МВт, котельная состоит из 6-ти отдельных транспортабельных модулей здание. Пример блочно-модульной котельной расположен на рисунке 4.

Преимуществами БМК является то, что котельные данного типа состоят из двух каркасных блок-модулей, обшитых сэндвич-панелями, которые стыкуются уже на строительной площадке. Данные котельные обладают хорошим качеством исполнения. За счет модульной сборки котельных на производстве сокращается время их монтажа на объекте. В среднем, на установку котельной мощностью 2 МВт уходит от 3 до 5 дней, тогда, как строительство стационарной котельной длится от 4 месяцев и больше

Большинство таких котельных не нуждается в присутствии на них персонала, поскольку они являются полностью автоматизированными. Техническое обслуживание и ремонт таких котельных осуществляется специализированными аккредитованными организациями. Данные котельные обладают меньшими габаритными размерами, чем стационарные (рисунок 2.1), поэтому идет снижение себестоимости вырабатываемой тепловой энергии за счёт более близкого размещения к объекту [11].



Рисунке 2.1 – Блочно-модульная котельная

Отпуск тепла теплопотребителям на станции осуществляется с помощью подающего трубопровода

2.2.2 Эксплуатационные требования, предъявляемые к БМК

К блочно-модульным котельным предъявляет следующие требования:

– эксплуатация БМК осуществляется подготовительным теплоэнергетическим персоналом. Допускается проводить эксплуатацию БМК специализированной организацией;

– ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию назначается распорядительным документом (приказом) руководителя организации из числа управленческого персонала и специалистов организации;

Основными задачами персонала являются:

– поддержание оборудования в состоянии эксплуатационной готовности и обеспечения максимальной надежности и экономичности производства тепловой энергии;

- выполнение требований взрыво- и пожаробезопасности, производственной санитарии и безопасности труда;
- соблюдение заданных режимов теплоснабжения.

Комплексное опробование котельного оборудования должно проводиться на основном топливе с номинальной нагрузкой и проектными параметрами при непрерывной работе в течение 72 часов с одновременной или поочередной работой вспомогательного оборудования.

Измерение общего объема газа, потребляемого котельной, архивирование данных о расходе, давлении и температуре газа, формирование отчета производятся узлом учета с электронным корректором и расходомером, установленном на вводе газа, установленными перед газовой горелкой.

Для учета тепловой энергии, отпущенной из котельной в систему отопления и архивирования данных, теплосчетчик с установкой электромагнитных расходомеров и датчиков температуры на подающем и обратном трубопроводах системы отопления, а также датчик температуры на исходном водопроводе был использован.

2.2.3 Присоединение потребителей в системах теплоснабжения

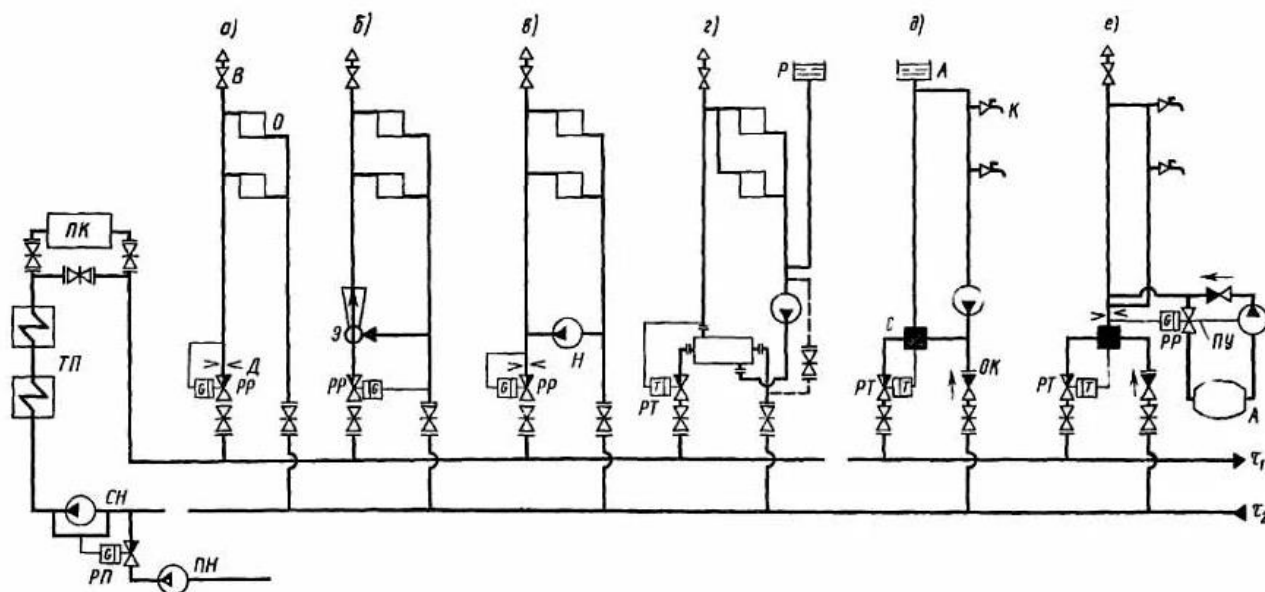
Эффективность системы теплоснабжения во многом зависит от схемы подключения абонентского ввода, по которому осуществляется связь между магистральными тепловыми сетями и местными потребителями тепла. Схемы подключения локальных систем отопления можно разделить на зависимые и независимые по признаку гидравлического подключения.

Зависимыми считаются те системы, в которых теплоноситель поступает непосредственно из тепловых сетей. Другими словами, теплоноситель циркулирует по системе отопления и тепловой сети. Поэтому давление в местных тепловых сетях определяется режимом давления в наружных тепловых сетях.

В независимых схемах подключения сеть и система отопления разделены поверхностью нагрева, т.е. гидравлически изолированы друг от

друга. Гидравлическая изоляция теплоносителей применяется для защиты локальных установок от избыточного или пониженного давления в тепловых сетях, при которых возможно разрушение отопительных приборов или опорожнение местных тепловых сетей.

Схемы присоединения потребителей к магистральному трубопроводу показаны на рисунке 2.2.



а – с элеваторным смещением; б – с насосным смещением; в – независимая схема отопительной системы; г – схема системы горячего водоснабжения с верхним баком аккумулятором; В – воздушный кран; О – отопительный прибор; Р – расширительный бак; К – водозаборный кран; Д – измерительная диафрагма; Э – элеватор; Н – циркуляционный насос местной системы; С – смеситель; ПК – пиковый котел; ТП – теплофикационный подогреватель; СН, ПН – сетевой и подпиточный насосы; РП, РР, РТ – регуляторы подпитки, расхода и температуры; ОК – обратный клапан; τ_1, τ_2 – подающий и обратный трубопроводы

Рисунок 2.2– Схемы присоединения местных систем отопления и горячего водоснабжения в двухтрубных водяных системах

Основным недостатком зависимого присоединения потребителей является то, что давление теплоносителя в тепловых сетях передается на приборы местных систем. Исходя из этого местные системы отопления

используются в условиях, когда давление в тепловых сетях не превышает прочности отопительных приборов.

Если температура сетевой воды в подающем больше 95-105 °С и разность давлений в подающем и обратном трубопроводах достаточна (0,08 – 0,15 МПа) для нормальной работы элеватора, то отопительные системы присоединяются по схеме «а». Необходимая температура воды, поступающей в нагревательные приборы, поддерживается элеваторным подмешиванием остывшей обратной воды из системы отопления к высокотемпературной сетевой воде из подающего трубопровода. Данную схему применяют для отопления жилых и общественных зданий. Схема «б» используется вместо схемы «а», если разность давлений в подающем и обратном трубопроводах на абонентском вводе недостаточна для стандартной работы элеватора.

В распределенной тепловой станции используется зависимая схема присоединения. Количество потребителей 13, подающий и обратный трубопроводы разделены на 24 участка разного диаметра. Размер диаметра трубопроводов сведен в таблицу совместно с длиной участков и массовым расходом через каждый диаметр трубопровода.

3 Расчет модели исследуемой системы

3.1 Расчет систем теплоснабжения

Система теплоснабжения представляет собой совокупность распределенных теплообменных устройств и включает в себя выработку, транспортировку и потребление тепловой энергии. Элементы системы водяного отопления подразделяют по видам теплопередачи (излучение, теплопроводность, конвекция) и по согласованию потоков сред (прямоток, противоток, перекрестный поток). Процесс динамики каждого из элементов описывается дифференциальными уравнениями [1.1– 1.3].

Пренебрегая незначительному изменению массы теплоносителя, можем говорить о том, что изменение его температуры будет пропорционально количеству тепла:

$$c m dT = Q_k + Q_\lambda + Q_{из} + Q_\phi + Q_T, \quad (3.1)$$

Выражение dT в первом уравнении (3.2) представляет собой дифференциал:

$$dT = \frac{\partial T_i}{\partial t} + w_i \frac{\partial T_i}{\partial x_i}, \quad (3.2)$$

где w_i - проекции вектора скорости теплоносителя.

Для каждого из элементов системы теплоснабжения можно получить систему дифференциальных уравнений в частных производных путем подстановки значений $Q_k, Q_\lambda, Q_{из}, Q_\phi, Q_T$ и dT в выражение (3.1). Вещество рассматривается как непрерывная сплошная среда, характеристики процессов переноса – это непрерывные функции координат и времени, а соответствующие дифференциальные уравнения вытекают из законов сохранения.

Суммарный расход подведенной и отведенной теплоты путем конвекции описывается следующим уравнением (3.3):

$$Q_k = \pm \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i \cdot (T_i - T_{i-1}), \quad (3.3)$$

Суммарная теплопроводность описывается уравнением 3.4:

$$Q_\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot F_i \cdot \frac{\delta^2 T_i}{\delta x_i^2}, \quad (3.4)$$

Расход теплоты, подведенной и отведенной путем излучения (3.5):

$$Q_{из} = \pm \sum_{i=1}^n F_i \cdot q_i(t), \quad (3.5)$$

Расход теплоты, подведенной и отведенной путем фильтрации находится по формуле 3.6:

$$Q_k = \sum_{i=1}^n k_{\phi i} \cdot F_i \cdot (T_i - T_{i-1}) \quad (3.6)$$

где α_i – коэффициент теплоотдачи;

F_i – поверхность теплообмена;

λ_i – коэффициент теплопроводности среды;

x – пространственная координата;

q_i – удельный тепловой поток;

$k_{\phi i}$ – коэффициент фильтрационного теплообмена.

В большинстве подходов рассматривается статическая система без учета динамических характеристик системы отопления с точки зрения возмущения и регулирования. Объект управления является инерционным, вследствие чего

возникает необходимость регулирования с запаздыванием по отношению к изменению климата. Для его устранения и разработки рациональной системы управления процессом подачи тепловой энергии в систему отопления имитационное моделирование используется для решения следующих задач [14]:

- анализ влияния температуры наружного воздуха на внутренний климат зданий;
- проектирование системы управления подачей теплоносителя с учетом динамических свойств по каналам управления и возмущения;
- проверка разработанных алгоритмов систем управления.

Для имитационного моделирования зачастую применяется инструмент визуального моделирования Simulink, являющийся модулем расширения математического пакета Matlab. Simulink позволяет имитировать динамические системы и исследовать их работоспособность с помощью графических блоков [15].

При рассмотрении существующих методов и математических моделей, применяемых для описания процессов теплоснабжения зданий задачи тепломассобмена описываются дифференциальными уравнения в частных производных. Однако получить аналитическое решение этих уравнений в общем виде невозможно, поэтому для учета динамических процессов в системе по каналам возмущения и управления, а также разработки эффективной системы управления процессом отопления зданий целесообразно применять имитационное моделирование, например, на основе Matlab Simulink.

Таким образом, для эффективного управления теплоснабжением комплекса зданий при теплоснабжении от автономного источника тепла, обеспечения экономии и рационального использования энергоресурсов, необходимо сделать упор на разработку web ориентированных систем управления инженерными системами зданий, основанных на экспериментальных исследованиях и имитационном моделировании динамических процессов, протекающих в системе теплоснабжения.

3.2 Расчет тепловых сетей

3.2.1 Тепловой расчет

Продолжительность отопительного периода: расчетный период времени работы системы отопления здания, представляющий собой среднее статистическое число суток в году, когда средняя суточная температура наружного воздуха устойчиво равна и ниже 8°C или 10°C в зависимости от вида здания.: $n_0 = 218$ сут [16]

Вводные параметры:

– $t_{н.о} = -43^{\circ}\text{C}$ температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки [16];

– $t_{н} = 8^{\circ}\text{C}$ температура наружного воздуха начала и окончания отопительного периода;

– $t_{г} = 55^{\circ}\text{C}$ температура горячей воды [17];

– $t_{х}^3 = 5^{\circ}\text{C}$ температура холодной воды;

– $V_H = 34395 \text{ м}^3$ объем потребителей;

– $t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$ температура воздуха в помещении.

Расчетная тепловая нагрузка отопления Q'_o , Вт, находится по формуле 3.7.

$$Q'_o = q_o \cdot V_H \cdot \alpha(t_{в} - t_{н.о.}) = 0,407 \cdot 34395 \cdot 0,90(18 + 43) = 0,794 \text{ МВт} \cdot \text{ч}, (3.7)$$

где q_o – удельная тепловая характеристика здания для расчета отопления, Вт/(м³·°C). Для каждого здания удельная тепловая характеристика индивидуальна, и принимается в зависимости от объема здания и его назначения по справочным данным, $q_o=0,417$ [17]; α – поправочный коэффициент. Для населенного пункта Чажемто при $t_{н.о.} = -43^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 0,90$ [17];

Расчетная тепловая нагрузка на вентиляцию $Q'_в$, Вт 3.8:

$$Q'_в = q_v \cdot V_H \cdot \alpha(t_{в} - t_{х}^3) = 0,186 \cdot 34395 \cdot 0,90(55 - 5) = 0,363 \text{ МВт} \cdot \text{ч} (3.8)$$

Тепловая нагрузка на водоснабжение в неотапительный (летний) период $Q_{ГВС}^3$, Вт находят по формуле 3.9:

$$Q_{ГВС}^л = Q_{ГВС}^3 \cdot \beta \cdot \frac{(t_{г} - t_{х}^л)}{(t_{г} - t_{х}^3)} = 0,015 \cdot 1 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} = 0,013 \text{ МВт} \quad (3.9)$$

где $t_{х}^л$ – температура холодной воды в летний период

Суммарная тепловая нагрузка определяется следующим образом по формуле 3.10:

$$\Sigma Q = Q'_o + Q'_B + Q'_{з.ГВС} = 0,13 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (3.10)$$

Годовой расход тепла на отопление определяем по формуле 3.12:

$$Q_o^{\text{год}} = Q'_o \cdot \frac{t_B - t_{\text{ср.о}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{н.о}}} \cdot n_o \cdot 24 = 189,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (3.11)$$

Годовой расход тепла на вентиляцию рассчитываем по формуле 3.13:

$$Q_B^{\text{год}} = Q'_B \cdot \frac{t_B - t_{\text{ср.о}}}{t_{\Gamma} - t_{\text{н.о}}} \cdot n_o \cdot 24 = 86,75 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (3.12)$$

Суммарный годовой расход тепловой энергии находим по формуле 3.14

$$Q_{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_B^{\text{год}} = 281,6 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (3.13)$$

Далее находим тепловую нагрузку в отопительный период

Нагрузка на отопление при $t_{\text{н}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ определяется по формуле 3.14:

$$Q_o^{+8} = Q'_o \cdot \frac{t_B - t_{\text{н}}}{t_B - t_{\text{н.о}}} = 0,794 \cdot \frac{20 - 8}{20 - (-43)} = 0,015 \text{ МВт} \quad (3.14)$$

Нагрузка на вентиляцию $t_{\text{н}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ находится по формуле 3.15:

$$Q_B^{+8} = Q'_B \cdot \frac{t_B - t_{\text{н}}}{t_B - t_{\text{н.о}}} = 0,0069 \text{ МВт} \quad (3.15)$$

Суммарная тепловая нагрузка определяется по формуле 3.16:

$$Q_{\Sigma} = Q_B^{+8} + Q_o^{+8} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}} \quad (3.16)$$

Посчитанные данные сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Изменение тепловой нагрузки в зависимости от температуры наружного воздуха

$t_{\text{н}},$ $^{\circ}\text{C}$	$t_B,$ $^{\circ}\text{C}$	Расход теплоты, МВт		Суммарная нагрузка
		Отопление	Вентиляция	
-43	18	0,7685	0,3531	1,13556
-40		0,7305	0,3357	1,08
-35		0,677	0,3068	0,9977
-30		0,6047	0,2779	0,8957
-25		0,5418	0,2489	0,8047
-20		0,4788	0,22	0,71276
-15		0,4158	0,191	0,6207
-10		0,3528	0,1621	0,5289
-5		0,2898	0,1331	0,4369
0		0,2268	0,1042	0,34496
8		0,126	0,0578	0,1977

График по таблице 3.1 приведен на рисунке 3.1

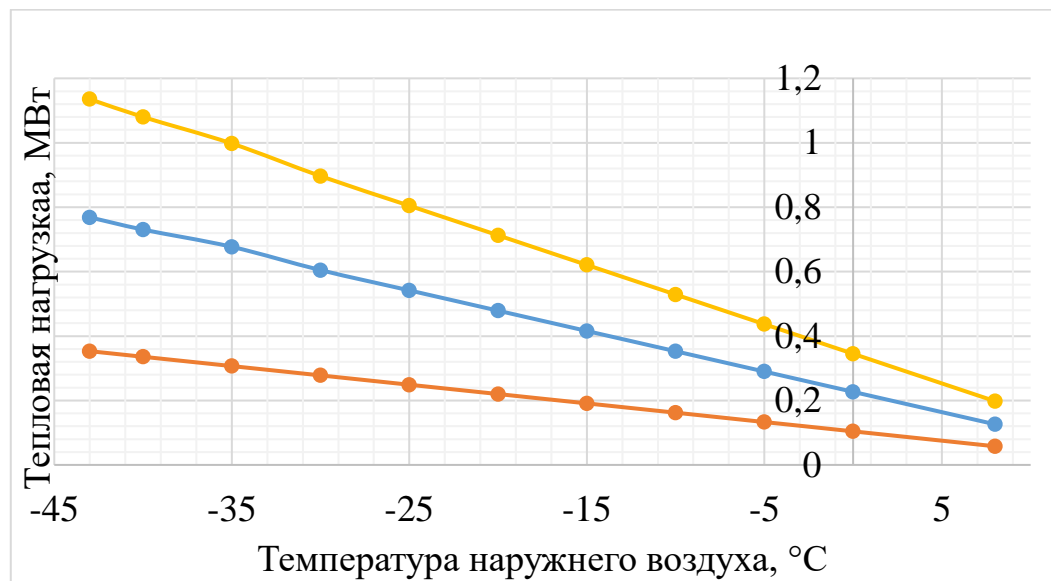


Рисунок 3.1 – График тепловой нагрузки в отопительный период

Тепловые нагрузки для каждого потребителя сведены в Приложение В, таблицу 1 и таблицу 2.

Из графика изображенного на рисунке 3.1 заметно линейное изменение нагрузки при увеличении температуры наружного воздуха, что говорит о верном тепловом расчете.

3.2.2 Регулирование тепловой нагрузки

Температура воды, поступающей в систему отопления к потребителю принята 90 °C согласно рекомендациям в СП 347.1325800.2017, в пункте 1.1, температура теплоносителя в обратной линии теплосети принята 70 °C согласно температурному графику 95/70:

$\tau'_{01} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температура воды в подающей линии теплосети [18];

$\tau'_{02} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температура теплоносителя в обратной линии теплосети;

$\tau'_{03} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температура воды, поступающей в систему отопления к потребителю [4].

Перепад температур в тепловой сети находимо по формуле 3.17:

$$\delta\tau'_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02} = 95 - 70 = 25^{\circ}\text{C} \quad (3.17)$$

Разность температур в системе отпояления у потребителя находится по формуле 3.18:

$$\theta'_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02} = 95 - 70 = 25^\circ\text{C} \quad (3.18)$$

Температурный напор нагревательного прибора определяется по формуле 3.19:

$$\Delta t'_0 = \frac{\tau'_{03} + \tau'_{02}}{2} - t_{\text{в}} = \frac{90 + 70}{2} - 20 = 60^\circ\text{C} \quad (3.19)$$

Относительная величина тепловой нагрузки находится как отношение нагрузки на отопление при 8 градуссах выше нуля к расчетной тепловой нагрузки определяется по формуле 3.20:

$$\overline{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = 0,048 \quad (3.20)$$

Температура воды в подающей линии определяется по формуле 3.21:

$$\tau_{01} = t_{\text{в}} + \Delta t'_0 \cdot \overline{Q}_o^{-0,8} + \overline{Q}_o (\delta\tau'_0 - 0,5 \cdot \theta'_0) = 64,68^\circ\text{C} \quad (3.21)$$

Температура воды в обратной линии (повторная вода на котел) определяется по формуле 3.22:

$$\tau_{02} = t_{\text{в}} + \Delta t'_0 \cdot \overline{Q}_o^{0,8} - 0,5 \cdot \overline{Q}_o \cdot \theta'_0 = 63,727^\circ\text{C} \quad (3.22)$$

Посчитанные данные сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3. Изменение температуры в зависимости от наружного воздуха

$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	-43	-40	-35	-30	-25	-20	-16,3	-15	-10	-5	0	8
$Q_o, \text{МВт}$	0,77	0,73	0,67	0,6	0,54	0,47	0,43	0,42	0,35	0,29	0,23	0,12
\overline{Q}_o	1	0,95	0,87	0,79	0,7	0,62	0,56	0,54	0,45	0,38	0,3	0,16
$\tau_{01}, ^\circ\text{C}$	95	91,7	86,2	80,6	74,9	69,2	65	63,3	57,4	51,3	44,9	34,3
$\tau_{02}, ^\circ\text{C}$	60	58,4	55,7	53,06	50,3	47,4	45,27	44,4	41,3	38,06	34,6	28,6

Графическое представление изменения температуры в подающем и обратном трубопроводе представлены на рисунке 3.2

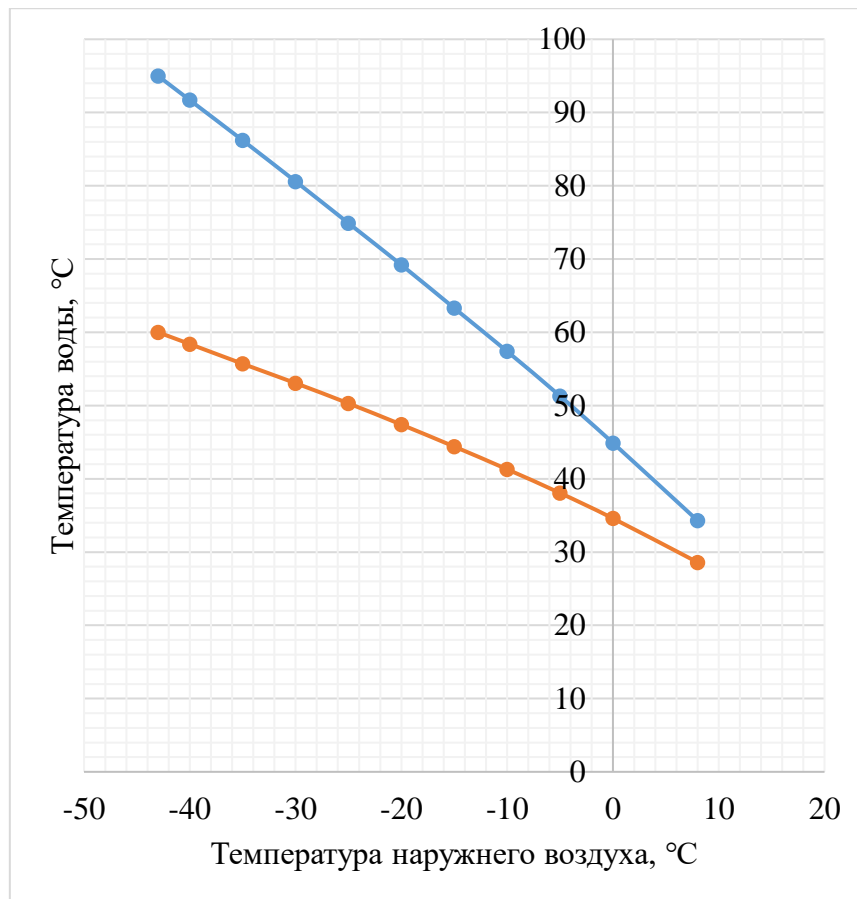


Рисунок 3.2 – Температуры теплоносителя при качественном регулировании по отопительной нагрузке

3.2.3 Расход сетевой воды

Согласно СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» подрезка графика делается при температуре 65 °С, для удовлетворения потребителей нуждами на горячее водоснабжение.

$$t_{\text{н}} = -16,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau''_{01} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau''_{02} = 45,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Таблица 3.4 – Расчет расхода сетевой воды

Параметры	Формула	Значение
Расход сетевой воды в интервале температур от t_n до $t_{н.о}$, т/ч	$G'_0 = \frac{Q'_o}{c_p \cdot \delta\tau'_0}$	2,73
Расход сетевой воды на отопление при температуре выше $8\text{ }^\circ\text{C}$, кг/с	$G_0^{+8} = \frac{Q'_o}{c_p \cdot (\tau''_{01} - \tau''_{02})}$	3,98
Расход сетевой воды на вентиляцию при температуре выше $8\text{ }^\circ\text{C}$	$G'_B = \frac{Q'_B}{c_p \cdot \delta\tau'_0}$	0,35
Расход сетевой воды на вентиляцию при температуре выше $8\text{ }^\circ\text{C}$	$G_B^{+8} = \frac{Q'_B}{c_p \cdot (\tau''_{01} - \tau''_{02})}$	1,82

3.2.4 Гидравлический расчет

Основной задачей гидравлического расчета трубопроводов является определение потерь давления при заданных расходах теплоносителя или определение пропускной способности трубопроводов при заданном располагаемом перепаде давления [19].

Диаметры трубопроводов у нас уже заданы. Поскольку станция находится в рабочем состоянии, мы можем принять существующие диаметры труб. Расчет потерь давления приведен ниже.

На ряду с вышеперечисленным заданы расходы теплоносителя в трубопроводах.

В таблицу 3 сведены следующие характеристики участков, все участки пронумерованы, схема станции приведена в приложении А:

- G , т/ч – расход теплоносителя на определенном участке;
- $D_{у.под}$, мм – условный диаметр подающего трубопровода;
- $D_{у.об}$, мм – условный диаметр обратного трубопровода;
- L , м – длина трубопровода;
- Δh , кгс/м³ – удельная потеря давления на трение [4]

$$\Delta h = 0,00638 \cdot \lambda \cdot \frac{G^2}{D_B^5 \cdot \gamma}, \text{ кгс/м}^2 \quad (3.30)$$

где γ – средний удельный вес теплоносителя на рассчитываемом участке, принимается равным $958,4 \text{ кгс/м}^3$, λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения (величина безразмерная), D_B – внутренний диаметр трубопровода, определяется исходя из толщины стенки трубы согласно СНиП 2.04.12-86

Так как движение в трубах ламинарное гидравлическое сопротивление принимаем равное 1.

где A – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения, Re – число

Также в расчете нам потребуется число Рейнольдса (Re), определим его для всех участков сети. Находить Re будем по номограмме представленной в источнике 4 на странице 109 (рисунок 3.3).

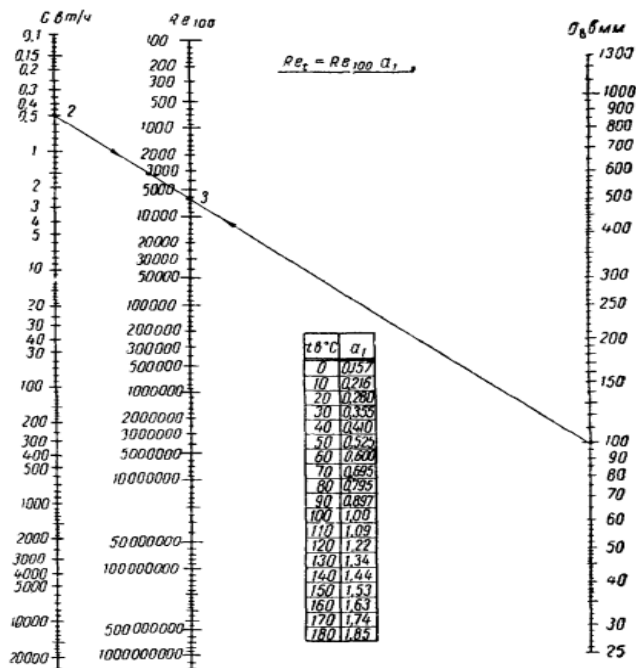


Рисунок 3.3 – Номограмма для определения числа Рейнольдса для воды (при $t=100^\circ\text{C}$)

У падающего трубопровода температура рабочего тела 90°C , у обратного 65°C . В первом случае мы будем найденное число по номограмме умножать на поправочный коэффициент равный $0,897$; в случае 65°C найдем коэффициент путем интерполяции, получаем $0,6475$.

Число Рейнольдса представлено в таблице 3.

Определим коэффициент гидравлического трения по формуле, учитывающей любые значения числа Рейнольдса ($k_3 = 0,5$)[10, стр. 109], формула 3.23:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_3}{D_B} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,5}{150} + \frac{68}{538200} \right)^{0,25} = 0,0267 \quad (3.23)$$

Определим скорость теплоносителя в трубопроводах, скорость будет меняться в зависимости от диаметра сечения и пропускной способности, формула 3.24:

$$v = 0,354 \cdot \frac{G}{\gamma \cdot D_B} = 0,354 \cdot \frac{15,56}{958,4 \cdot 0,15} = 0,255 \text{ м/с} \quad (3.24)$$

где γ – средний удельный вес теплоносителя на рассчитываемом участке трубопровода, принимаем $958,4 \text{ кгс/м}^3$; G – расчетный расход теплоносителя на рассчитываемом участке, т/ч; D_B – внутренний диаметр трубы в м.

Далее, рассчитаем удельную потерю давления на трение на каждом участке сети, определяем по формуле 3.25:

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g \cdot D_B} = 0,00638 \cdot \lambda \cdot \frac{G^2}{D_B^5 \cdot \gamma}, \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2 \cdot \text{м}} \quad (3.25)$$

Характеристики участков, посчитанные в данном разделе показаны в приложении В. Для определения потерь давления на участках трубопровода необходимо найти приведенную и эквивалентную длину трубопровода, они рассчитываются ниже.

Приведенная длина трубопровода, формулы 3.26 и 3.27 соответственно:

$$l_{\text{пр}} = l + l_3 \text{ м}, \quad (3.26)$$

$$l_3 = \sum \xi \frac{D_B}{\lambda} \text{ м}, \quad (3.27)$$

При отсутствии данных о характере и количестве местных сопротивлений на трубопроводе эквивалентную длину местных сопротивлений и приведенную длину можно определить по формулам 3.28 и 3.29 соответственно:

$$l_3 = \alpha \cdot l = 0,3 \cdot 42,7 = 12,81 \text{ м}, \quad (3.28)$$

$$l_{\text{пр}} = l + l_3 = 42,7 + 12,81 = 55,5 \text{ м}, \quad (3.29)$$

где α – коэффициент, учитывающий долю падения давления в местных сопротивлениях по отношению к падению давления на трение, принимаю согласно [21, стр. 107, табл. 9.5].

Принимается $\alpha = 0,3$, рассчитываемая магистраль является разветвленной (магистраль состоит из различных диаметров теплопровода и разными расходами).

Потери давления на участке трубопровода, формула 3.30:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}}, \quad (3.30)$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – потеря давления на трение, кгс/м²; $\Delta P_{\text{м}}$ – потеря давления в местных сопротивлениях, кгс/м²;

Потери давления в местных сопротивлениях, определяются по формуле 3.30:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta h \cdot l, \quad (3.30)$$

Потери давления на трение определяются по формула 3.31:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta h \cdot l_{\text{э}}, \quad (3.31)$$

где $l_{\text{э}}$ – эквивалентная длина в местных сопротивлениях, м; l – длина участка трубопровода по плану, м.

Расчеты сведены в Приложение Г, таблицу 1.

Необходимо определить падения давления и напора по пути магистрали. Оно определяется по участкам, путем вычитания потерь от заданного напора и давления от напора и давления насоса.

На станции работает циркуляционный насос с сухим ротором в исполнении Inline с фланцевым соединением Wilo CronoLine-IL 80/170-15/2 (рисунок 3.4) [22].



Рисунок 3.4 – Циркуляционный насос в исполнении Inline с фланцевым соединением Wilo CronoLine-IL 80/170-15/2

Характеристики насоса сведены в таблицу 4.

Таблица 3.4 – Характеристики насоса

Максимальный расход, м ³ /ч	140
Максимальная температура окружающей среды, °С	40
Максимальное рабочее давление, бар	16
Максимальный напор, м в ст	40

4 Описание математической модели распределенной тепловой станции

Электронная модель потребителей тепла подключенных к станции составлялась в программном продукте Matlab Simulink. Для создания моделей использовались температурные графики потребителей в зависимости от температуры наружного воздуха, температурный график строился в программном продукте ZuluGIS исходя из гидравлического и теплового расчета станции.

Входными данными для расчета тепловой сети в ZuluGIS являются параметры, полученные в тепловом и гидравлическом расчете.

Модель состоит из следующих блоков:

- потребитель тепла – здание;
- участок трубопровода;
- соединительный узел на обратном трубопроводе;
- источник тепла.

Блок потребителя тепла (здание) описывается входными воздействиями температуры прямой воды, массовым расходом теплоносителя, выходной величиной является температура обратной воды, изменение входных параметров зависит от температуры окружающей среды. Блок представлен на рисунке 4.1

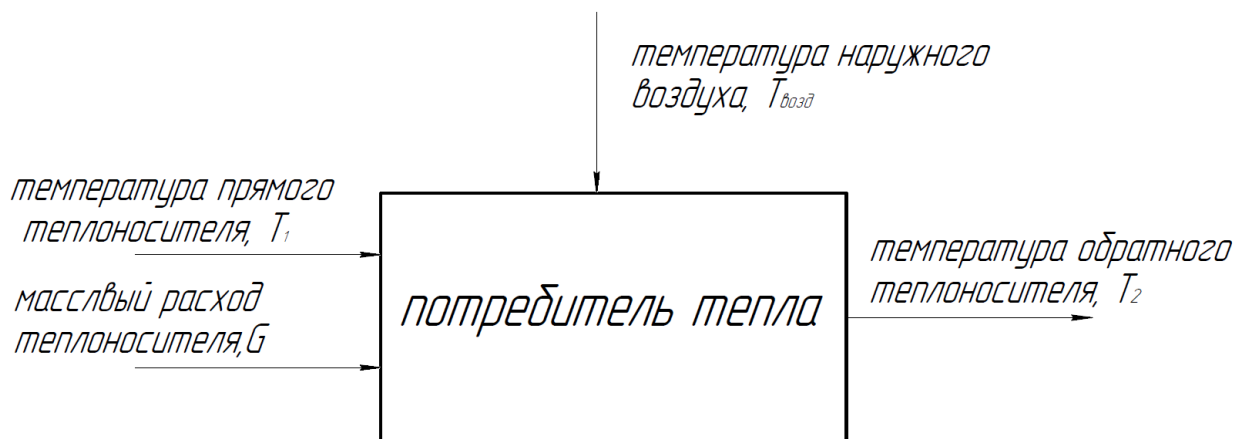


Рисунок 4.1 – Блок i -ого потребителя тепла (здание)

Для построения электронного блока потребитель, где i – номер потребителя согласно карте потребителей, в программе ZuluGIS производился расчет потребителей, строится температурный график, по которому производится аппроксимация данных.

Аппроксимация данных производится с помощью графического интерфейса «Curve Fitted», определяется полином с коэффициентами, который описывает данные с потребителя. Построенная модель представлена на рисунке 4.3.

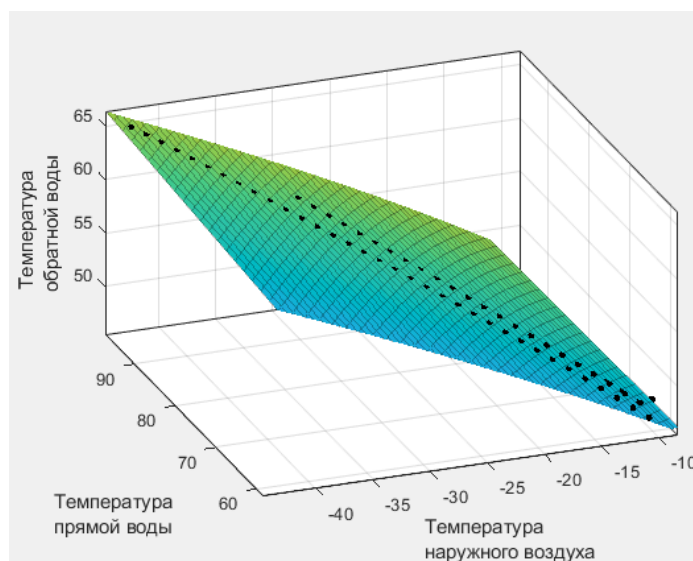


Рисунок 4.3– Модель полиномиальной аппроксимации данных снятых при расчете температур одного из объектов теплоснабжения

Листинг блока потребителя тепла показан в приложении А. Листинг блока потребителя тепла представлен в Приложении А на рисунке А.2

Блок части трубопровода описывается входными воздействиями температуры прямой или обратной воды на входе и тепловыми потерями по длине трубопровода, выходной величиной является температура теплоносителя с учетом преодоления расстояния. Блок представлен на рисунке 4.4.

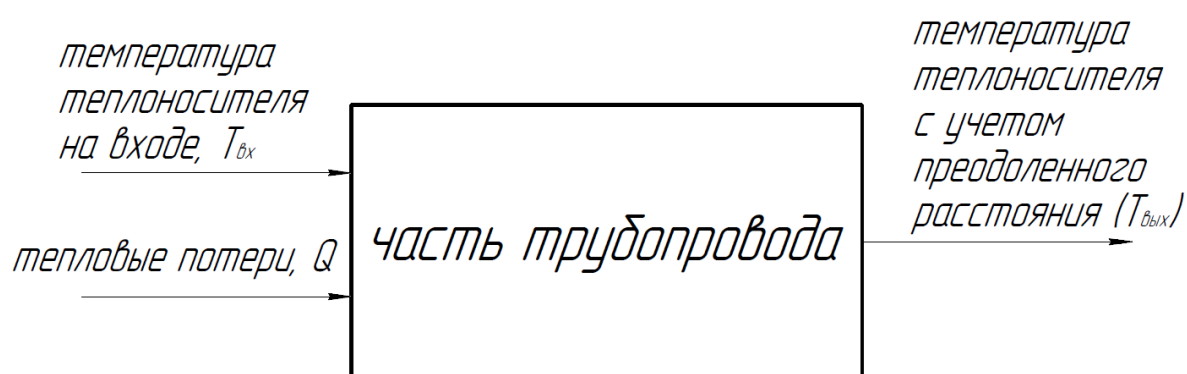


Рисунок 4.4 – Блок-схема трубопровода

Для построения блока трубопровода в программе Matlab необходимо найти количество тепловых потерь по длине трубопровода, массовый расход рабочего тела.

Массовый расход и тепловые потери считаются с помощью программы ZuluGIS, потери по длине трубопровода согласно расчету, представленному в [4], по следующей формуле:

$$Q_2 = (q \cdot l \cdot \beta) \cdot 10^{-6}, \text{ ккал/ч}, \quad (4.1)$$

где q – удельные часовые потери трубопроводами каждого диаметра, определённые пересчётом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, ккал/ч·м; l – длина участка трубопроводов тепловой сети, м;

β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 – при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования) [23].

Температура воды с учетом тепловых потерь выражается по следующей формуле:

$$G = \frac{Q \cdot 1000}{T_1 - T_2}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4.2),$$

где T_1 – температура на входе в участок трубопровода, °С;

T_2 – температура с учетом преодоления длины, °С;

Q – выражается как сумма потерь по длине трубопровода и тепловых потерь трубопровода считается следующим образом:

$$G = \frac{(Q + Q_2) \cdot 1000}{T_1 - T_2} \quad (4.3).$$

Отсюда выражаем значение температуры на выходе из трубопровода:

$$T_2 = T_1 - \frac{(Q + Q_2) \cdot 1000}{G}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.4).$$

Листинг блока трубопровода показан в приложении Б.

Связующим звеном обратных трубопровод выходящих из различных зданий является блок узла смешения, представленный на рисунке 5.

Блок узла смешения описывается входными воздействиями температур обратной воды из различных потребителей на входе, массовыми расходами соответствующих трубопроводов, выходной величиной является температура теплоносителя и массовый расход. Блок представлен на рисунке 4.5



Рисунок 4.5 – Блок-схема узла трубопровода

Математически модель процесса смешения строилась с использованием следующих формул:

Сперва определяется объем теплоносителя в каждом проходном сечении (4.5):

$$V_i = \frac{G_i}{\rho_{\text{вод}}} \quad (4.5),$$

Далее по формуле (4.6) находим температуру теплоносителя после смешения:

$$T_{\text{ВЫХ}} = \frac{(V_i \cdot T_i + V_{i+1} \cdot T_{i+1})}{(V_i + V_{i+1})} \quad (4.6),$$

где G_i - массовый расход воды через конкретный трубопровод, м³/ч ;

$\rho_{\text{вод}}$ - плотность воды для определенной температуры, кг/м³;

T_i и T_{i+1} - температуры теплоносителя, °С.

Водогрейный котел представляет собой технологическую установку, в которой происходит сгорание топливно-воздушной смеси, которая выделяет энергию для нагрева теплоносителя. В качестве теплоносителя используется предварительно подготовленная вода. Температура воды, поступающей в котел не должна быть меньше 60 градусов. На вход в котел подается топливо и холодный теплоноситель – обратная вода, на выходе: нагретый теплоноситель – прямая вода. Блок водогрейного котла представлен на рисунке 4.6. Блок теплоносителя учитывает объем V (м³) теплоносителя, постоянно находящегося в котле, плотность ρ (кг/м³) теплоносителя, c – удельная теплоемкость теплоносителя кДж/(кг · К)

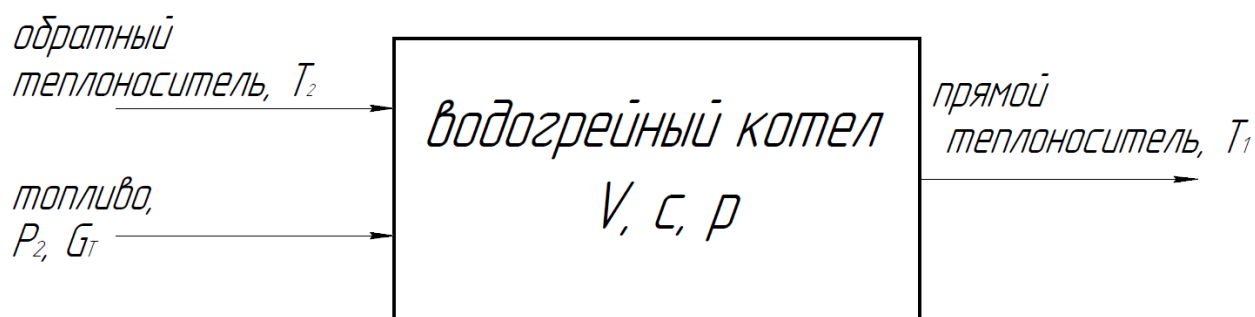


Рисунок 4.6 – Блок схема водогрейного котла

Мощность передаваемая теплоносителю при сгорании топлива P_1 (4.7):

$$P_1 = V_T \cdot \rho_T \cdot q \cdot \eta, \text{ кДж/ч} \quad (4.7),$$

где V_T – объемный расход топлива (для котлов на газовом топливе) $\text{м}^3/\text{мин}$, ρ_T – плотность газового топлива $\text{кг}/\text{м}^3$, q – удельная теплота сгорания топлива, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Мощность, которую отбирает теплоноситель P_2 (4.8):

$$P_2 = c \cdot G \cdot (T_2 - T_1), \text{ кДж/ч} \quad (4.8)$$

где c – удельная теплоемкость теплоносителя $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; G – массовый расход теплоносителя $\text{Дж}/\text{кг}$;

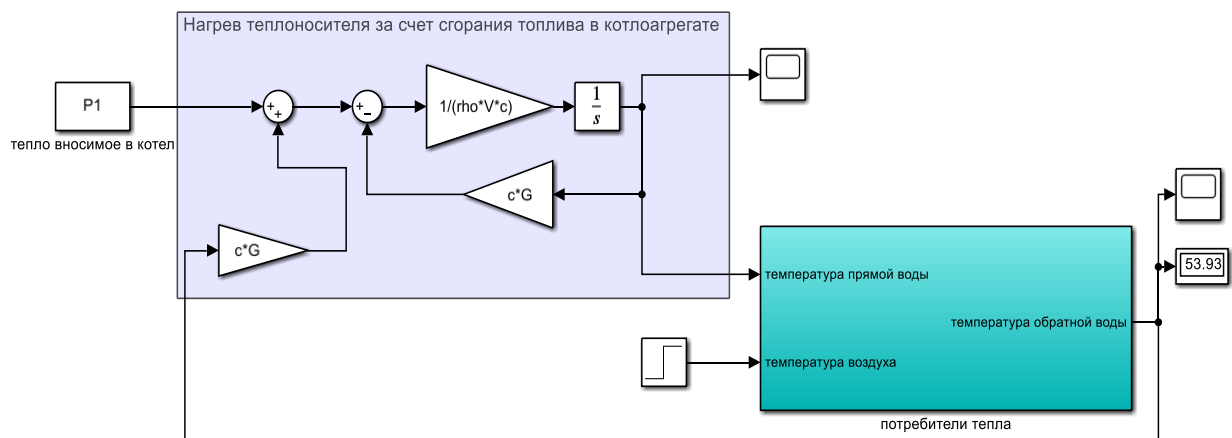
Температура прямой воды на выходе из котла будет следующей (4.9):

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{V \cdot \rho \cdot c} \frac{d(P_1 - P_2)}{dt} \quad (4.9)$$

Уравнение прямой воды является уравнением динамики для температуры прямой воды. Решением этого уравнения является интеграл от правой части (4.10):

$$T_2 = \int \frac{P_1 - P_2}{V \cdot \rho \cdot c} dt \quad (4.10)$$

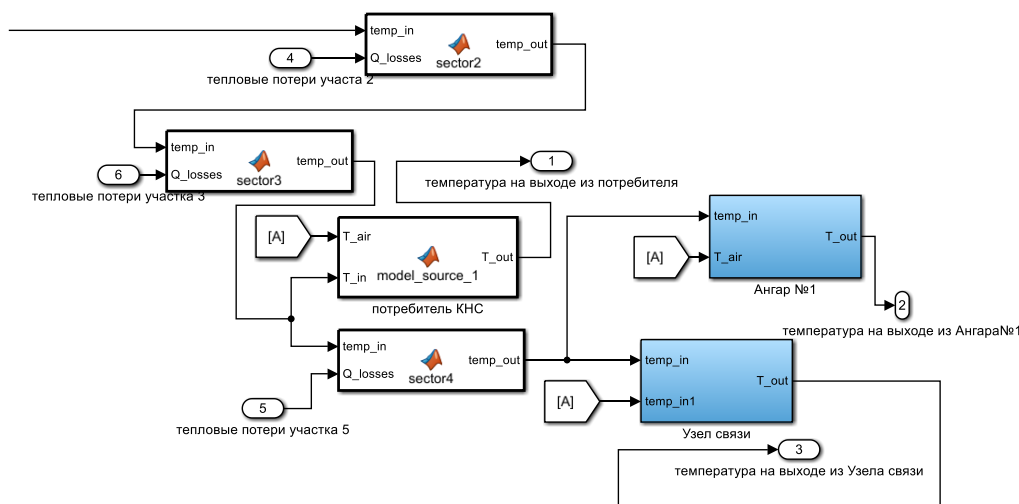
Все вышеперечисленные блоки формируются в общую схему, которая описывает тепловую станцию, общий вид блоков представлен на рисунке 4.7.



c – удельная теплоемкость теплоносителя $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; G – массовый расход теплоносителя ($\text{т}/\text{ч}$); ρ – плотность теплоносителя находящегося в котлоагрегате ($\text{кг}/\text{м}^3$); V – объем теплоносителя в котлоагрегате; P_1 – мощность отданная котлу от сгорания топлива (Дж)

Рисунок 4.7 – Общий вид блоков: котельная и потребители тепла

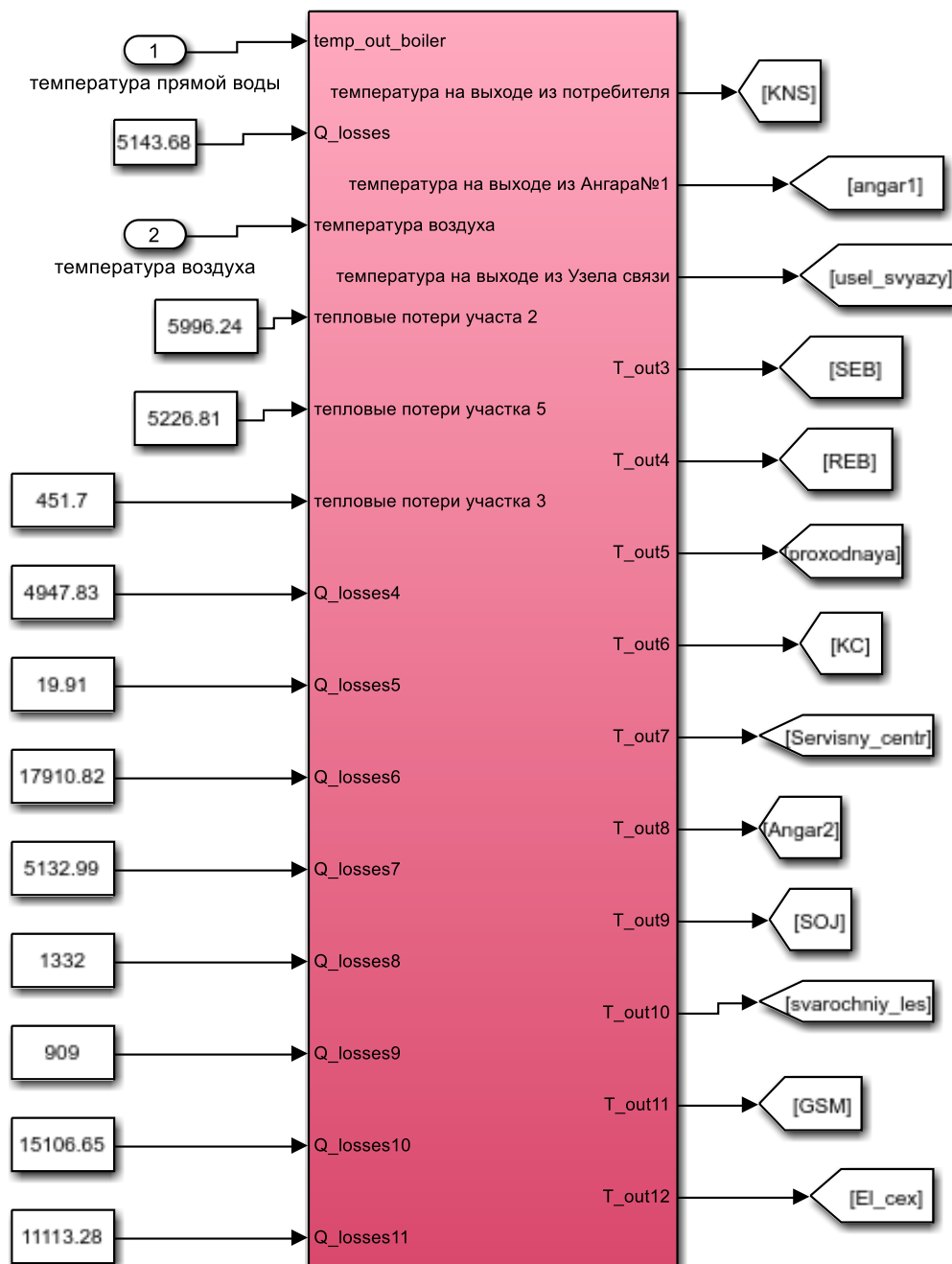
Часть блоков подающего трубопровода представлена на рисунке 4.7, часть блоков обратного трубопровода представлена на рисунке 4.8. Соединение блоков происходит согласно карте схемы потребителей, с учетом последовательности трубопроводов.



$temp_in$ – температура теплоносителя поступающего в участок трубопровода; Q_losses - тепловые потери по длине трубопровода (ккал); T_air – температура окружающего воздуха ($^{\circ}C$); T_in – температура теплоносителя поступающего к потребителю тепла ($^{\circ}C$)

Рисунок 4.8 – Часть блоков, образующих подающий трубопровод

На рисунке 4.9 представлен блок, объединяющий блоки подающего трубопровода для удобства подачи входных воздействий, также этот блок описывает подающий трубопровод. Входами данного блока будут тепловые потери по участкам магистральных трубопроводов. Выходными параметрами будут температуры на входе в каждый потребитель. Далее теплоноситель проходит через радиаторы, отдавая тепло охлаждается и на выходе из здания будет температура теплоносителя, входящего в обратный трубопровод.



Q_losses – тепловые потери по длине участка трубопровода (ккал); T_out – температура теплоносителя на выходе из потребителя тепла ($^{\circ}C$)

Рисунок 4.9 – Общий вид математической модели подающего трубопровода

На рисунке 4.10 представлена часть обратного трубопровода. На вход поступает температура теплоносителя, выходящего из потребителя, на выходе из участка – температура теплоносителя, входящего в котлоагрегат.

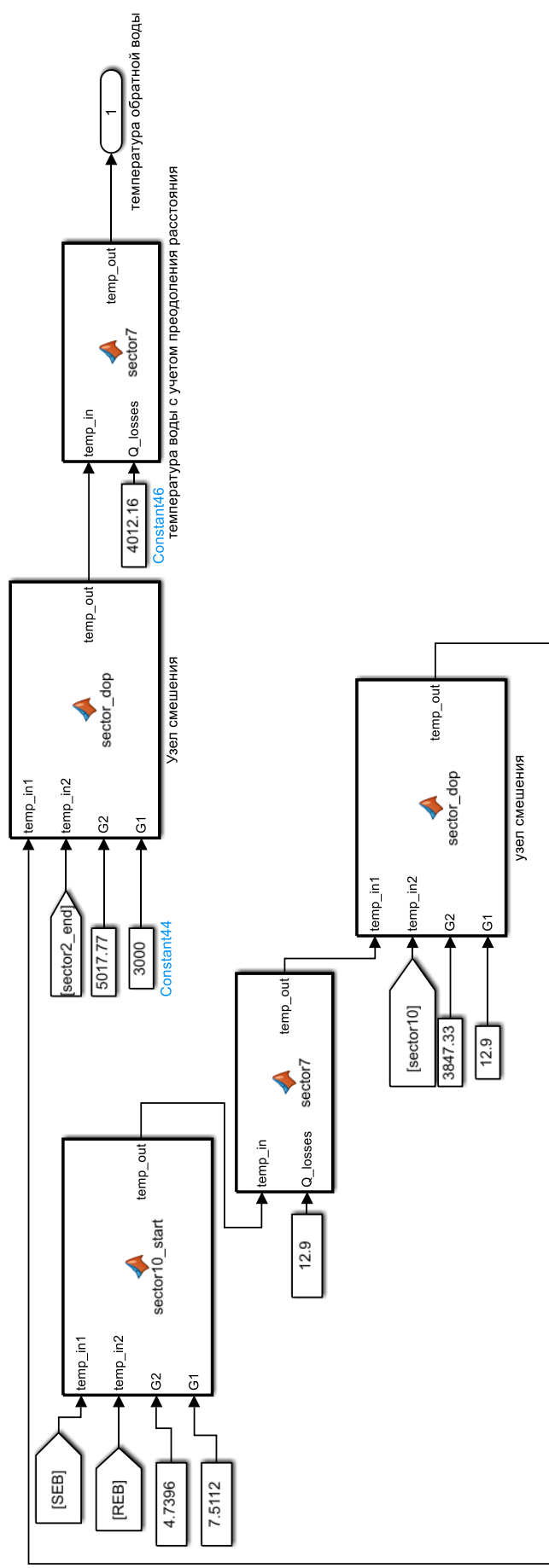


Рисунок 4.10 – Часть блоков, образующих обратный трубопровод

Температура теплоносителя зависит от объема газозвоздушной смеси поданной в котел, объемный расход газозвоздушной смеси изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха.

Процесс проверки модели на адекватность происходит следующим образом, принимаем предельно критичные параметры окружающей среды: при изменении возмущений температуры наружного воздуха с минус минус 43 °С до минус 23°С отслеживаем изменение температуры прямого и обратного теплоносителя, график изменения температуры приведен на рисунке 5.1, график изменения температуры прямого теплоносителя приведет на рисунке 5.2, график изменения температуры обратного теплоносителя приведет на рисунке 5.3.

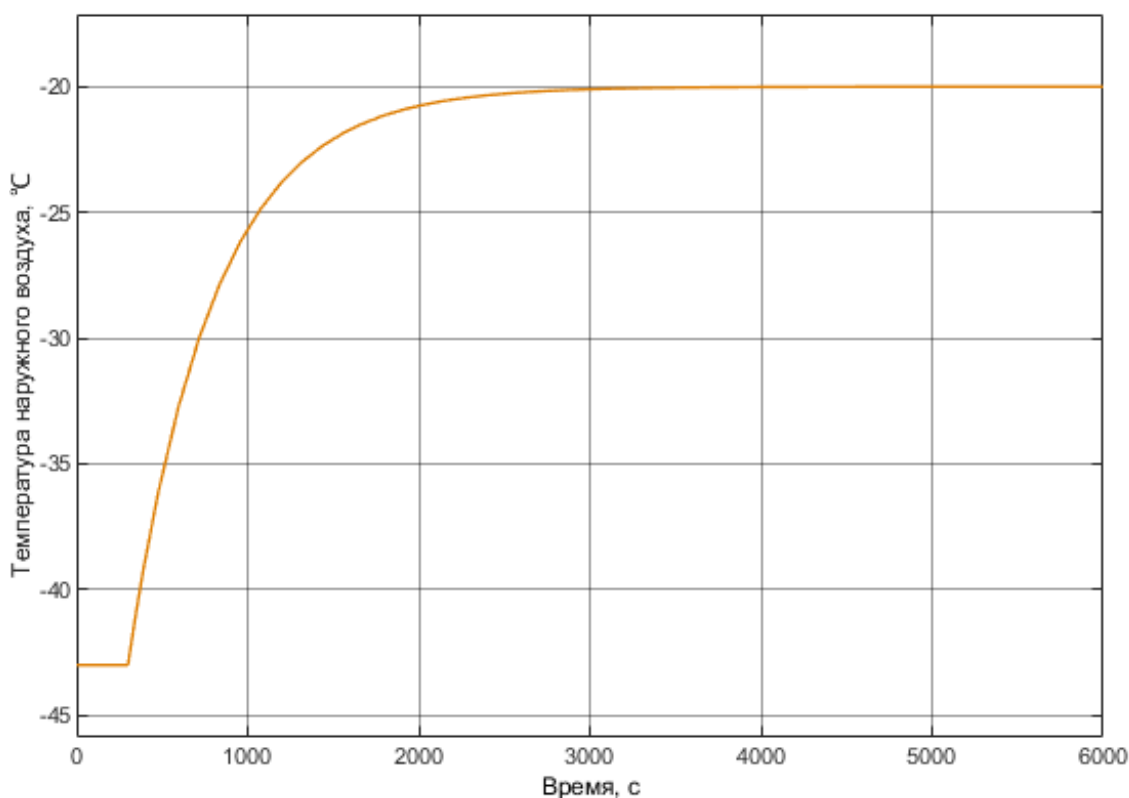


Рисунок 4.11 – Изменение температуры наружного воздуха по времени°С

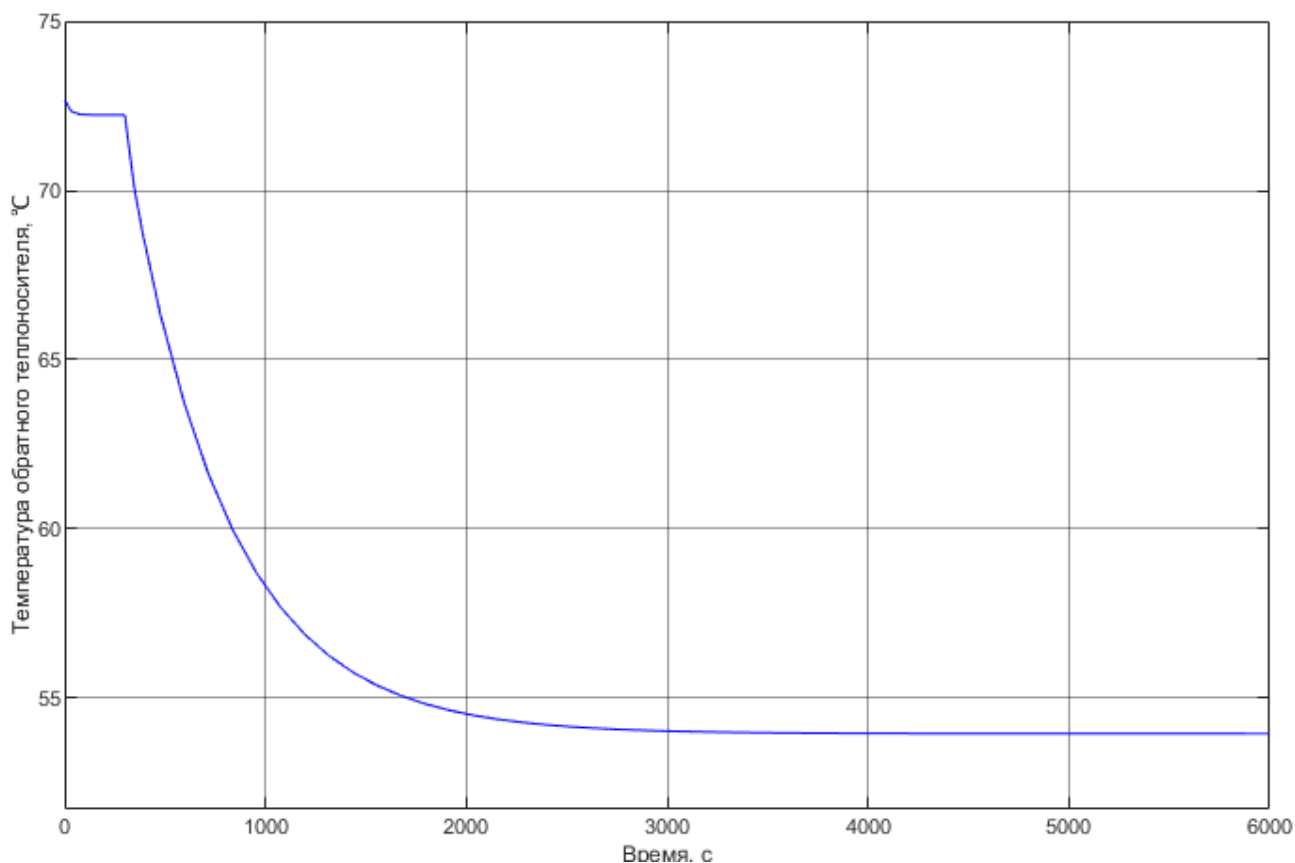


Рисунок 4.12 – Изменение температуры обратной воды от температуры воздуха

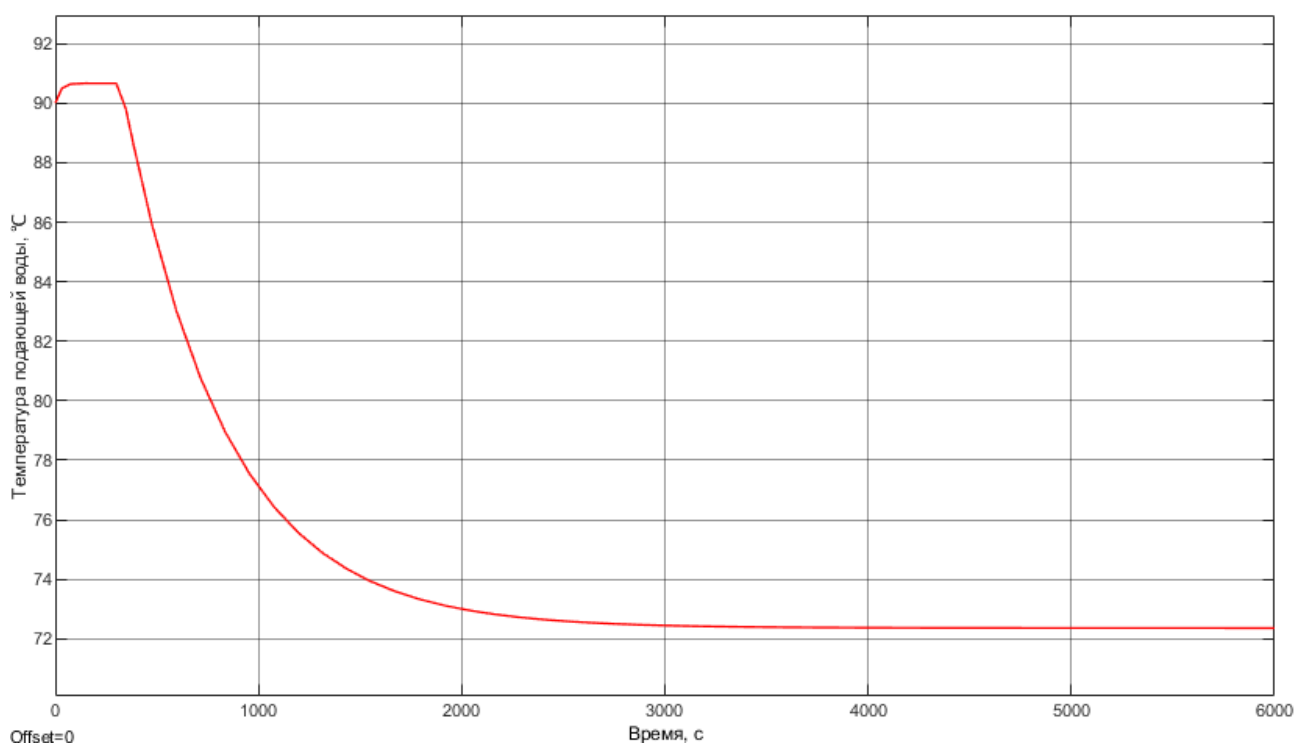


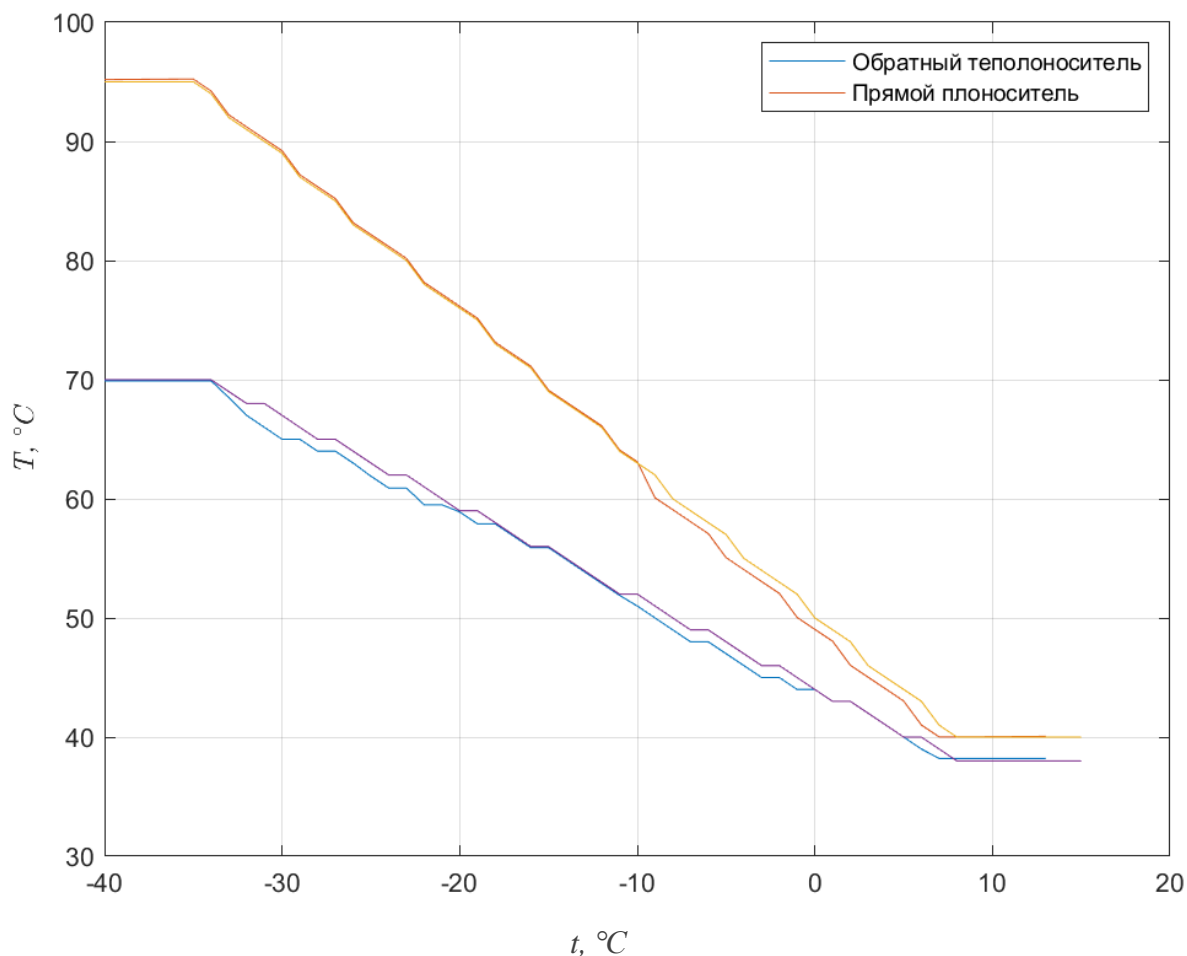
Рисунок 5.13 – Изменение температуры подающей воды в зависимости от температуры воздуха

Результаты расчета показывают, что температура обратной и прямой воды обратно пропорционально реагирует на изменение воздуха.

5 Разработка системы автоматического управления

Задача системы автоматического управления заключается в поддержании необходимой температуры теплоносителя, который поступает к потребителям, температура теплоносителя зависит от температуры окружающего воздуха.

В качестве регулятора для поддержания необходимой температуры используется пропорциональный регулятор, на рисунке 5.1 показано регулирование температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, где коэффициент – масса топлива.



$T, ^\circ\text{C}$ - температура теплоносителя; $t, ^\circ\text{C}$ - температура окружающего воздуха на улице
 Рисунок 5.2 – Температурные графики прямой и обратной воды с регулятором температуры

Из графика 5.2 следует то, что спроектированная система поддерживает необходимую температуру воды в зависимости от данных которые мы подаем на вход системы. Можно сделать вывод: с помощью спроектированной системы возможно прогнозирование нагрузки на систему отопления.

Неопределенность системы рассчитывалась по формуле 5.1 в программе Matlab и составила $0,5^\circ$, при переводе в проценты составляет 1%.

$$B = \frac{\sum_{i=0}^N |x_{real}^i - x_{model}^i|}{N} \quad (5.1),$$

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Магистерская диссертация направлена на построения компьютерной модели распределения тепла по потребителям котельной станции с возможностью регулирования.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является расчет затрат на выполнение научного исследования и оценка хозяйственной деятельности, а также обоснование актуальности проведения научного исследования с позиции конкурентоспособности и ресурсоэффективности.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для этого составлена оценочная карта, приведенная в таблице 6.1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K_i = \sum V_i \cdot B_i ; K_i = \sum V_i \cdot B_i \quad (6.1),$$

где K_i – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В качестве конкурентных разработок, выполняемому научному исследованию, выделим:

1. Интеллектуальные трубопроводные системы, выполненные авторами [24];

2. Электронные модели теплоснабжения, разработанные авторами в литературном источнике [16].

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{НИ}	Б ₁	Б ₂	К _{НИ}	К ₁	К ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
повышение производительности труда пользователя	0,18	4	2	3	0,72	0,36	0,52
удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	5	3	4	0,70	0,42	0,56
энергоэкономичность	0,07	4	4	2	0,28	0,28	0,14
Экономические критерии оценки эффективности							
конкурентоспособность продукта	0,09	5	3	3	0,45	0,24	0,24
уровень проникновения на рынок	0,06	3	5	5	0,18	0,30	0,30
цена	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
финансирование научной разработки	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,20
срок выхода на рынок	0,03	5	3	3	0,15	0,12	0,12
финансирование научной разработки	0,05	4	3	5	0,20	0,15	0,25
Итого	1	58	47	51	4,46	3,38	3,75

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила $K_{НИ} = 4,46$, в то время как у двух других аналогов $K_1 = 3,38$ и $K_2 = 3,75$. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, надежность, цена, предполагаемый срок эксплуатации.

6.2 Инициация проекта

Инициатором проекта является студент и научный руководитель.

Разработанный Устав проекта включает в себя следующие элементы:

1. Цель и ожидаемые результаты (таблица 6.2);
2. Организационная структура проекта (таблица 6.3).

Таблица 6.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Построение электронной схемы распределенной тепловой станции
Ожидаемые результаты проекта	Осуществление управления температурой воды в подающем и обратном трубопроводах

Таблица 6.3- Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, дни
1.	Филипас Александр Александрович, НИ ТПУ, к.т.н., заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Координатор	Координирует деятельность студента	21
2.	Комкина Ульяна Сергеевна, НИ ТПУ, студентка	Исследователь	Осуществляет научное исследование, оформляет результаты исследования	133

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

6.3.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определяем ключевые события проекта, даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Информация сведена в таблицу 6.4.

Исполнителями проекта являются: научный руководитель (НР); студент (С).

Таблица 6.4 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное события	Дата	Исполнители	Результат (подтверждающий документ)
1	Определение направления и тематики проводимой научной работы	01.01.2022-08.02.2022	НР, С	Тема научного исследования (задание на выполнения работы)
2	Проведение анализа и поиска научной литературы по выборной теме. Определение актуальности проведения работы.	09.02.2022-09.03.2022	С	Обзор литературных источников
3	Проведение теоретических расчетов и обоснований	10.03.2022-15.03.2022	НР, С	Выполненный тепловой расчет потребителей
4	Монтирование экспериментальной установки и подготовка технического оборудования для эксплуатации	16.03.2022-25.03.2022	С	Блок схема в программном продукте MatLab
5	Разработка структурной схемы	26.03.2022-31.03.2022	С	Структурная схема
6	Проведение работ по моделированию	01.04.2022-10.04.2022	С	электронная модель потребителей
7	Моделирование общей электронной модели	11.04.2022-20.04.2022	С	электронная модель станции
8	Тестирование полученной модели	21.04.2022-30.04.2022	С	Собранные данные
9	Составление отчета о проделанной работе	01.05.2022-25.05.2022	НР, С	Отчет об анализе данных

6.3.2 План проекта

В данном подразделе идет составление календаря продолжительности работы инженера и научного руководителя. В качестве научного руководителя выступает кандидат технических наук, заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры ОАР, ИШИТР, НИ ТПУ.

Данные по основным пунктам, таким как: наименование работ, количество исполнителей и продолжительность дней показаны в таблице 6.1. Исполнители – лица, принимающие участие в работе. Время – количество дней, затраченных для реализации каждой работы и проекта в целом.

На основе перечня проводимых работ и затраченных на них временных ресурсов, описанных в подразделе 7.3 разработан план-график работ проводимого научного исследования в виде диаграммы Гантта, представленный в таблице 7.5.

Таблица 6.1 – Диаграмма Гантта (План-график работ проводимого научного исследования)

№	Исполнитель	продол- жительность, дн.	Продолжительность работ																				
			Январь					Февраль					Март					Апрель			Май		
1	НР, С	1	■																				
2	С	16		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	НР, С	1																					
4	С	3																					
5	НР, С	1																					
6	С	44																					
7	С	9																					
8	С	8																					
9	НР,С	6																					
День по порядку			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105

6.3.3 Бюджет научного исследования

Бюджет научного исследования на проведение компьютерного моделирования котельной станции и её численного расчёта, рассчитывается по формуле (6.2) [18]:

$$K_{\text{Эк.ис}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з.пл.}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}; \quad (6.2)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация;

$K_{\text{з.пл.}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

6.3.3.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские принадлежности, необходимые для проведения научного исследования. Стоимость материалов приведена в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Стоимость материалов

Наименование	Стоимость за ед. руб.	Норма расхода	Цена, руб.
Электроэнергия, кВт/ч	3,85	65	250,25
Безлимитный интернет, мес ⁻¹	500	5	2500
Бумага, уп.	500	1	500
Ручка, шт.	50	2	100
Итого			3350,25

В данном научном исследовании использовалась компьютерная техника для проведения необходимых работ и решения задач в программных пакетах Matlab Simulink, ZuluGIS и MS Office.

Для математического моделирования и численного расчёта использовалась электронная вычислительная машина (ПК) «Intel® Core™ i3-6700 CPU 2.40 GHz ОЗУ 8 Гб» с монитором «SAMSUNG S24D330», общей стоимостью 43500 рублей и сроком службы 7 лет. Для текущей разработки

использовалась программа Matlab Simulink, студентам ТПУ использование бесплатно, поэтому стоимость не учитываем. Все данные сведены в таблицу 6.6. Таблица 6.6 – Стоимость используемого оборудования и ПО для всех вариантов исполнения.

Наименование ОПФ	Стоимость, руб.		
	Текущая разработка	Исполнение 1	Исполнение 2
ПК	43500	43500	43500
Matlab Simulink	0		
Ansys Twin Builder		157200	
EMAS.OPT			123400
Итого:	43500	200700	166900

Для расчета основной заработной платы были использованы следующие нормативные значения:

- k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равный 10% ($k_1 = 1,1$);
- k_2 – районный коэффициент, равный 30% ($k_2 = 1,3$);
- ЗПо – месячный оклад (инженер исследователь – 23800 руб., НР (заведующий кафедрой) – 55500 руб.);

Расчет затрат на заработную плату сведён в таблицу 6.7.

Таблица 6.7 – Затраты на заработную плату

Участник НИ	Руководитель		Студент	
	Месячная	Фактическая	Месячная	Фактическая
Заработная плата				
Итого, руб.	79365	30234,29	34034	144239,33
Сумма, руб.	174473			

Отчисления во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Принимаются в размере 30,2% от затрат на заработную плату и рассчитываются по формуле (6.3):

$$K_{c.o.} = 0,302 \cdot K_{з.пл.}; \quad (6.3)$$

$$K_{c.o.} = 0,302 \cdot 174473 = 52690 \text{ руб.}$$

Смета затрат на компьютерное моделирование и численный расчёт сведены в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 – Смета затрат на проведение научного исследования

Статьи расходов	Стоимость, руб.		
	текущий проект	исполнение 1	исполнение 2
Материальные затраты	3350,25	3350,25	3350,25
Специальное оборудование для проведения расчетов	43500	200700	166900
Затраты на заработную плату	174473	174473	174473
Затраты на социальные нужды	52690	52690	52690
Итого, руб.	274013,25	431213,2	397413,25

Общие затраты для реализации проекта в рамках проведения научного исследования составили 274013,25 рублей.

6.3.4 Матрица ответственности

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Матрица ответственности сведена в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Роль/должность
1	2
1. Определение направления и тематики проводимой научной работы	О - руководитель; И - студент
2. Проведение анализа и поиска научной литературы по выборной теме. Определение актуальности проведения работы.	О - студент
3. Создание плана проведения работ. Формирование методики проведения работ по моделированию на основе ранее полученного опыта.	О - руководитель; И - студент
4. Монтирование экспериментальной установки и подготовка технического оборудования для эксплуатации	И - студент
5. Установка и обновление необходимого программного обеспечения	И - студент
6. Проведение работ по численному моделированию	И - студент
7. Обработка полученных результатов и проведения сравнительного анализа с результатами предоставленными другими экспериментаторами и предыдущими экспериментами	И - студент
8. Формирование отчетной документации по проведённой работе	И - студент
9. Утверждение проекта	О - руководитель; И - студент

6.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин (финансовой эффективности и ресурсоэффективности).

Так как определение финансовой эффективности не представляется возможным в данном случае, произведем оценку ресурсоэффективности научного исследования. Сравнение использованного метода было произведено с двумя ближайшими аналогами.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом по формуле (6.4):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i; \quad (6.4)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта (аналога);

a_i – весовой коэффициент i -го варианта (аналога);

b_i – бальная оценка i -го варианта (аналога), устанавливается экспертным путём по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в форме таблицы 6.10.

Таблица 6.10 – Оценка ресурсной эффективности проводимого научного исследования

Объект сравнения	Весовой коэфф. параметра	Текущее НИ (Matlab Simulink)	Аналог 1 (Ansys Twin Builder)	Аналог 2 (EMAS.OPT)
Критерии				
Точность математического описания объекта	0,222	4	4	4
Задание параметров физики	0,158	5	5	4
Возможность автоматизации регулирования параметров	0,184	5	3	3
Решение модели	0,139	5	4	3
Легкость в освоении	0,111	3	4	5
Итого I_p	1	4,4	4	3,8

Результаты расчетов интегрального показателя финансовой эффективности и интегрально показателя сравнительной эффективности вариантов исполнения научного исследования представим в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Сравнительная эффективность научной разработки

№ п/п	Показатели	Текущее НИ	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,635	1	0,922
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	6,9	4	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,72	1,6	

По результатам таблицы 2 текущая разработка превосходит аналоги. За счет доступа к бесплатной версии MatLab. Кроме того, использованная программа позволила обеспечить автоматизацию регулирования параметров и точности решения модели.

Таким образом, построение компьютерных моделей сложных систем отвечает требованиям ресурсоэффективности, также научное исследование направленно на снижение экономических затрат конечных потенциальных потребителей результата исследования. С точки зрения ресурсной эффективности, для решения поставленных в магистерской работе задач, был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, так как именно он отвечает параметрам ресурсоэффективности.

Кроме того, в ходе решения задач раздела было выявлено следующее.

Во-первых, определён перечень работ для научного исследования и необходимые на них временные ресурсы. Так, для успешного выполнения, требуется произвести девять видов работ, на которые инженер затратил 89 дней, а научный руководитель – 8 дней. В дополнение, для наглядности, на основе этих данных, разработана диаграмма Ганта;

Во-вторых, рассчитана смета затрат по вариантам исполнения, наименьшей является стоимость на ресурсы по текущему проекту. Стоимость остальных предложенных вариантов исполнения превышает стоимость текущего за счет стоимости оборудования необходимого для проведения работ.

В-третьих, определена ресурсоэффективность проекта $I_{рНИ} = 4,4$, на основе сравнения с аналогами ($I_{р1} = 4$ и $I_{р2} = 3,8$). Выявлено, что проект имеет отличные показатели в таких важных критериях как, наложение сетки и решение модели.

7 Социальная ответственность

В ходе работы проводились исследования распределения тепла котельной станции по потребителям, далее по снятым данным строилась модель автоматизации. Данная работа имеет практическое значение для оптимизации процессов котельных станций, с помощью данной модели может осуществляться управление станцией.

Областью применения данной модели являются энергетические объекты, связанные с сжиганием топлива в котельном агрегате. Экономическая значимость работы заключается в возможности снижения затрат на использования топливных ресурсов.

Основная часть моделирования состоит из построения тепловой карты и тепловых расчетов потребителей, а также составления модели автоматизации. По результатам исследования проводится анализ и обработка результатов. Все вышеперечисленные работы проводятся с использованием ПЭВМ, в десятом корпусе ТПУ, в компьютерном классе с помощью специальных программ.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с охраной труда и техникой безопасности людей, работающих в компьютерной лаборатории. По степени воздействия на организм человека отрицательные внешние факторы можно разделить на опасные и вредные. На рабочем месте должны быть предусмотрены меры защиты от возможного воздействия опасных и вредных факторов производства. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами. Эти нормативные документы обязывают к созданию на рабочем месте условий труда, при которых влияние опасных и вредных факторов на работающих либо устранено совсем, либо находится в допустимых пределах [1].

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.2.1 Правовые нормы трудового законодательства

Научно-исследовательская работа выполняется в 10 корпусе Томского политехнического университета, в аудитории №101.

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [19].

Также согласно главе 22 ст.163 ТК РФ, Работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. А именно исправное состояние помещений, своевременное обеспечение технической и иной необходимой для выполнения научного исследования документацией, а также условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

7.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Согласно статье 216 трудового кодекса каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда. Согласно ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ, конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, средства отображения информации, рабочий стол) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [20].

Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего [4].

Рабочее место в аудитории 224, 4 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [3]. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем – не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой

работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600x1000 мм². Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 – 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Рабочее место сотрудника аудитории 224, 4 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Рабочие позы оператора ПЭВМ представлены на рисунке 8.1.

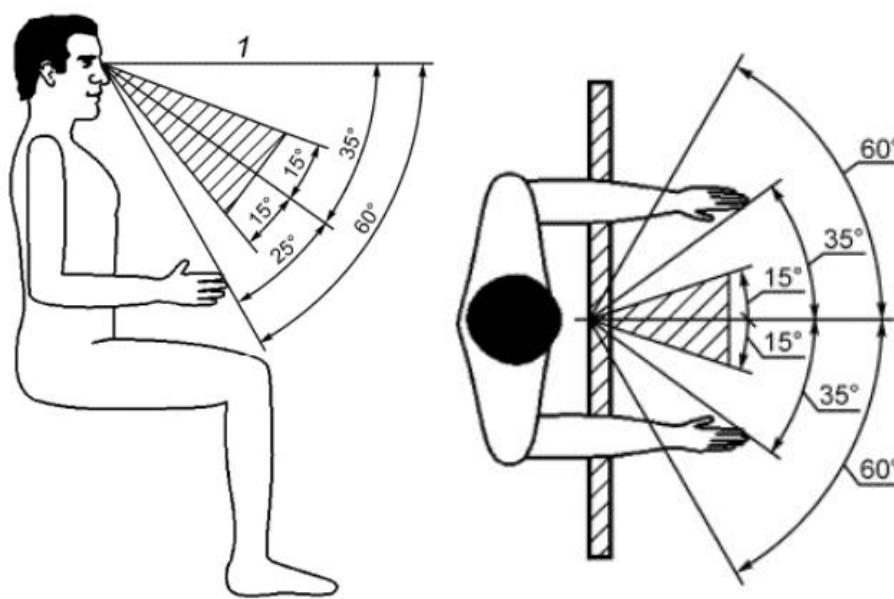


Рисунок 7.2 – Рабочая поза в положении сидя оператора ПЭВМ

7.3 Производственная безопасность

7.3.1 Анализ потенциально вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [21]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для среды проектирования представлен в виде таблицы 7.1.

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении ВКР

Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	Общие требования к уровню шума изложены в ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности [22] СП 51.13330.2011 Защита от шума
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [23]
Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего	Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [24], [25]
Физические перегрузки, связанные с рабочей позой	Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDTs) по ГОСТ Р ИСО 9241-1-2007 [26]
Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой	Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки по ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки [27]
Производственные факторы, связанные с электрическим током	С точки зрения электробезопасности ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление оборуд-я, запитываемое напряжением выше 42 В [28]

7.3.1.1 Повышенный уровень шума

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению

продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. [29].

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 в таблице 7.2 представлены уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора ЭВМ на его рабочем месте [30].

Таблица 7.2 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Защита от шума. СНиП 23-03-2003 [12].

Назначение помещений или территорий	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) L, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами									Уровень звука L _A , дБА	Максимальный уровень звука L _{A макс} , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	70

7.3.1.2 Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего

Микроклиматом понимаются метеорологические условия внутренней среды рабочего помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения. Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. Такие параметры представлены в таблице 7.3 [31].

Таблица 7.3 – Оптимальные параметры микроклимата в помещениях с наличием персональных компьютеров

Период года	Категория работ по энергозатратам, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Iб (140–174)	Температура воздуха в помещении	21–23 °С
		Относительная влажность	40–60 %
		Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Тёплый	Iб (140–174)	Температура воздуха в помещении	22–24 °С
		Относительная влажность	40–60 %
		Скорость движения воздуха	0,1–0,2 м/с

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [32].

7.3.1.3 Физические перегрузки, связанные с рабочей позой и умственное напряжение, вызванное информационной нагрузкой

Пользователи видеодисплейных терминалов (VDT) в офисной работе обычно принимают определенные рабочие позы (сидят, наклонив корпус вперед, или держат корпус прямым, или откидываются назад, или стоят, или комбинируют эти позы). Рабочее место, которое адаптировано к таким предпочтениям пользователя, может способствовать его перемещениям, поддерживать комфортность работы и уменьшать физические, умственные и зрительные нагрузки [33].

Любая деятельность, даже физическая, может приводить к умственному стрессу. Умственный стресс вызывает процессы увеличения или уменьшения умственного напряжения человека. Умственное напряжение имеет как положительные, так и отрицательные последствия, такие как усталость и/или состояния, аналогичные усталости. Усталость – временное снижение

умственной и физической функциональной производительности, зависящее от интенсивности, продолжительности и изменений во времени предшествующего умственного напряжения. Для быстрого восстановления при умственной усталости необходим отдых, а не смена вида деятельности. Медленно развивающееся состояние пониженной активности, возникающее при длительном выполнении однообразных, повторяющихся заданий или действий, проявляющееся в виде сонливости, снижения общего уровня активности, уменьшения или колебания работоспособности, снижения адаптируемости и восприимчивости и сопровождающееся повышением неравномерности частоты сердечных сокращений. Снижение бдительности – медленно развивающееся состояние, характеризующееся пониженной способностью к обнаружению (например, при отслеживании экранов радаров или панелей управления приборов), возникающее при выполнении однообразных заданий по обнаружению [35].

7.3.1.4 Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк согласно СанПиНу 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [36].

Расчет освещенности рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитываются параметры искусственного освещения. Обычно искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. При расчёте используются люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ [37]:

- по спектральному составу света они близки к дневному, естественному свету;
- обладают более высоким КПД (в 1,5–2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- обладают повышенной светоотдачей (в 3–4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- более длительный срок службы.

Расчет освещения производится для комнаты площадью 30 м², ширина которой 6 м, высота – 5 м. Воспользуемся методом светового потока [14].

Для определения количества светильников определяется световой поток, падающий на поверхность по формуле 7.1:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot n}; \quad (7.1)$$

где F – рассчитываемый световой поток, лм;

$E=400$ лк – нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице) [38]. Работу специалиста, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ;

S – площадь освещаемого помещения (в нашем случае $S = 30$ м²);

Z – отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1 – 1,2, пусть $Z = 1,1$);

K – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в данном случае $K = 1,8$);

η – коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен (P_C) и потолка ($P_{П}$)), значения коэффициентов P_C и $P_{П}$ были указаны выше: $P_C = 40\%$, $P_{П} = 60\%$. Значение η определяется по таблице коэффициентов использования различных светильников.

Для этого вычисляется индекс помещения по формуле 7.2:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A+B)}; \quad (7.2)$$

где S – площадь помещения, $S = 30 \text{ м}^2$;

h – расчетная высота подвеса, $h = 3 \text{ м}$;

A – ширина помещения, $A = 5 \text{ м}$;

B – длина помещения, $B = 6 \text{ м}$.

Подставив значения, получается:

$$I = \frac{30}{3 \cdot (5 + 6)} = 0,9$$

Зная индекс помещения, по таблице 7 [39] находится $\eta = 0,81$. При выборе осветительных приборов устанавливаются светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаются светильники в два ряда. В каждом ряду устанавливаются три светильника типа ОДР мощностью 30 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 57 см.

Подставляются все значения в формулу для определения светового потока F :

$$F = \frac{400 \cdot 30 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{0,8 \cdot 12} = 2444,44 \text{ лм};$$

По таблице 1 [40] подбирается ближайшая стандартная лампа – ЛХБ404Вт с потоком 2600 лм.

Расстояние между светильниками L определяется по формуле 7.3:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 3 = 3,9 \quad (7.3)$$

где λ – интегральный критерий оптимальности расположения светильников, характеризует наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками. Согласно [15, Приложение 1. таблица 9] $\lambda = 1,3$.

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле 7.4:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3} \cdot L)}{L} + 1 = \frac{(5 - \frac{2}{3} \cdot 3,9)}{3,9} + 1 = 1,615 \approx 2 \text{ ряда} \quad (7.4).$$

Количество светильников в ряду определяем по следующей формуле 7.5:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} + 1 = \frac{(6 - \frac{2}{3} \cdot 3,9)}{3,9} + 1 \approx 2 \text{ шт} \quad (7.5).$$

Общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяем по следующей формуле:

$$N = n_{\text{св}} \cdot n_{\text{ряд}} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт} \quad (7.6).$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,230 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 0,57 м. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 12$.

Проверка полученных значений по формуле 7.7

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расчет}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (7.7)$$

Получаем:

$$-10\% \leq 8\% \leq +20\%$$

Электрическая мощность всей осветительной системы определяется по формуле 7.8:

$$P = N_{\text{л}} \cdot p_{\text{л}} = 480 \quad (7.8)$$

План расположения светильников представлен на рисунке 1.

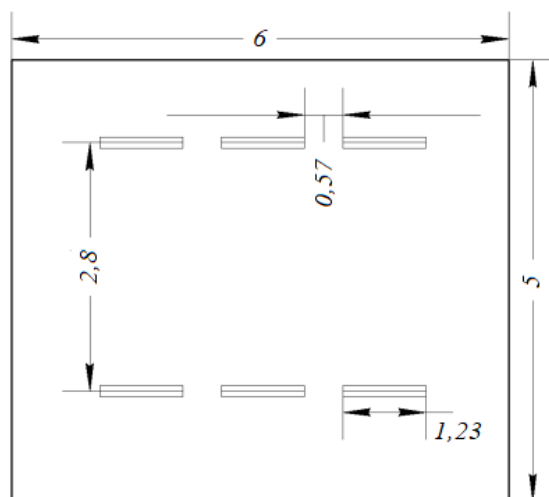


Рисунок 7.3 – Схема размещения искусственного освещения (светильников с люминесцентными лампами)

7.3.2 Анализ опасных факторов

7.3.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии.

Одним из опасных факторов, возникающих при работе с настольными электронно-вычислительными машинами является поражение электрическим током. Опасность поражения электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

Последствия поражения электрическим током:

- из-за высокого электрического сопротивления человеческих тканей происходит довольно быстрое их нагревание, что может вызывать ожоги;
- даже сравнительно малые напряжения, порядка 110–230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300–500 мА для постоянного);
- удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Повторяющиеся удары могут вызвать невралгию. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии;

при поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.

Рабочее помещение по опасности относится к первой группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала. Категория персонала – II (электротехнический персонал). Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены [40].

7.4 Экологическая безопасность

Атмосфера: на производственно-отопительной станции основным видом топлива является низкосернистый природный газ, он считается наиболее экологичным топливом. Основными вредными веществами, содержащимися в дымовых газах, при сжигании, являются: оксиды углерода СО и оксиды азота NO_x . Согласно ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности» [41] двуокись азота NO_2 относится ко «2» классу опасности, имеет $\text{ПДК}_{\text{ср}} = 0,004 \text{ мг/м}^3$, $\text{ПДК}_{\text{мр}} = 0,085 \text{ мг/м}^3$, окись углерода СО относится к «4» классу опасности, имеет $\text{ПДК}_{\text{ср}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$, $\text{ПДК}_{\text{мр}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$.

Методами уменьшения концентрации оксидов углерода являются в основном дожигание СО до CO_2 при высоком содержании СО, при низком - используют каталитическое окисление [41].

Снижение выбросов оксидов азота с дымовыми газами обеспечивается режимными и конструктивными мероприятиями, направленными на уменьшение образования газов в топках котлов (двухступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов в зону горения, сжигание топлива при малых избытках воздуха, разработка новых типов горелок и различное конструктивное решение топочных устройств).

Гидросфера: в следствии выбросов оксидов вредных веществ в атмосферу, они оседают в водоемы, что в свою очередь снижает рН пресных вод, увеличивает содержание в них сульфатов и нитратов, также происходит загрязнение от системы водоподготовки. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 примеси сульфатов не должно быть более 500 мг/л [43], в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК нитратов для питьевой воды составляет 45 мг/дм³, для рыбохозяйственных водоемов – 40 мг/дм³ [41].

Для водоподготовки, в частности умягчения водопроводной воды до требуемых нормативных показателей, в котельных применяется натрий-катионирование. В результате образуются сточные воды, содержащие значительные концентрации кальция, магния, натрия и хлоридов.

На промышленных предприятиях при соответствующем технико-экономическом обосновании должны создаваться замкнутые системы водоснабжения. Если сточные воды, подлежащие сбросу в канализационную сеть населенных пунктов, содержат вредные вещества в концентрациях, превышающих установленные нормы, то их следует подвергать предварительной очистке [42].

Согласно ГОСТ 17.1.3.13-86 [42] на объектах быта и жизнедеятельности человека должны соблюдаться требования в области охраны водных ресурсов. Для обеспечения безопасного пользования гидросферой применяются следующие мероприятия: оборудование отдельных систем хозяйственно-бытовой и ливневой канализации.

Литосфера: в ходе эксплуатации котельной станции происходит загрязнение земель оксидами азота, которые попадают в атмосферу с дымовыми газами и оседают, но также сюда можно включить влияние сточных вод. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [43] ПДК веществ, сбрасываемых со сточными водами на газовой котельной станции, составляет следующие значения:

- взвешенные вещества 300 мг/дм³;
- водородный показатель (рН) 6-9 единиц;

При этом должны соблюдаться требования Постановления Правительства РФ от 29.07.2013 №644 (ред. от 29.06.2017) [43], т.е. при эксплуатации котельной станции должна вестись работа по охране земель от загрязнения, а также обеспечиваться рекультивация деградированных и загрязненных земель. Для территорий промплощадок организован контроль режима температуры и химического загрязнения близлежащих к поверхности горизонтов грунтовых вод.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В целях снижения возникновения ЧС необходимо применение ряда мероприятий, которые направлены на максимальное снижение потерь и

разрушений. Повышение устойчивости функционирования объектов в ЧС возможно при:

- предотвращении производственных аварий;
- снижении возможных потерь от вторичных факторов и стихийных бедствий;
- создании условий для восстановления производства в минимальные сроки;
- обеспечении жизнедеятельности населения.

Основные причины возникновения ЧС:

- стихийные бедствия и особо опасные инфекции;
- природные факторы, приводящие к старению или коррозии и снижению физических показателей оборудования;
- производственные дефекты, некачественное выполнение строительных работ, низкое качество строительных материалов;
- воздействие технологических процессов на материалы (нагрузки, вибрация, температура, скорость);
- нарушение правил эксплуатации;
- нарушение правил техники безопасности проведения работ;
- низкий профессиональный уровень руководящего состава, специалистов и рабочих.

Обслуживающий персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и, в случае аварии, действовать при чрезвычайных ситуациях в соответствии с инструкциями предприятия, на котором эксплуатируется котел. Население, находящееся в непосредственной близости к объекту, на котором эксплуатируется котел, в случае аварии, должно быть проинформировано и по возможности эвакуировано из потенциально опасных зон.

Наиболее вероятным ЧС может быть пожар. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 года №1437 [22] и ФЗ №116 от 21.07.1997 [45], на опасном производственном объекте разрабатывается

и регулярно пересматривается план минимизации и ликвидации аварий (ПМЛА) при возникновении различных ЧС. Персонал рассматриваемой котельной станции должен быть ознакомлен с утверждённым ПМЛА и действовать в соответствии с ним.

При возникновении сигнала о пожаре сменный инженер должен убедиться в отсутствии ложного срабатывания пожарных извещателей. При подтверждении сменный инженер осуществляет следующие действия:

- оповещает через всевозможные средства связи (радиосвязь, громкая общая связь, мобильная/стационарная телефония) персонал станции о пожаре и сообщает о необходимости незамедлительной эвакуации лиц, не участвующих в ликвидации пожара, в безопасные специально отведённые места за территорией;

- назначает ответственного за осмотр помещений и эвакуацию людей, который, также, координирует проезд транспорта профессиональных формирований чрезвычайных служб;

- оповещает диспетчерскую службу предприятия, МЧС, близлежащую пожарную охрану;

- оповещает начальника станции, который, в свою очередь, формирует добровольную пожарную дружину (ДПД), которая занимается ликвидацией и минимизацией последствий пожара до приезда профессиональных формирований чрезвычайных служб;

- требует от сменного персонала (дежурного электромонтёра и дежурного слесаря) через средства радиосвязи обесточить место пожара и включить пожарные насосы;

- обеспечивает себя средствами индивидуальной защиты, костюмом самоспасателем;

- контролирует и координирует действия участников ликвидации аварии;

В случае стремительного распространения пожара сменный инженер требует через средства радиосвязи от сменного персонала и участников ДПД

немедленно покинуть территорию станции в безопасное специальное отведённое место за территорией и, надев костюм самоспасателя, эвакуируется сам.

Класс пожара – «С»: горение газообразных горючих веществ (в случае рассматриваемой станции природный газ, состоящий на 90% из метана)

Рекомендуемые средства тушения пожаров класса С:

объёмное тушение и флегматизация газовыми составами;

огнетушащие порошки общего назначения;

пены, вода (для охлаждения оборудования) [24].

7.6 Выводы по главе «Социальная ответственность»

В ходе работы над разделом «Социальная ответственность» установлено, что на выполняющего ВКР человека в помещении № 101, корпуса № 10 воздействуют пять вредных и опасных факторов:

1. повышенный уровень шума (25-30 дБ) от вентиляторов электронно-вычислительных машин не превышающие нормативное значение в 60 дБ [39];

2. недостаток необходимого естественного освещения, разрешён путём установки ламп освещения ЛХБ404Вт с потоком 2600 лм по схеме, указанной на рисунке 8.2, для обеспечения расчётного минимального светового потока в 2444 лм [7];

3. микроклиматические параметры воздушной среды в помещении, такие как, температура воздуха в помещении (22 °С), относительная влажность (40%) и скорость движения воздуха (0,1 м/с) соответствуют значениям, создающие комфортные условия [40];

4. чтобы избежать повышенные физические перегрузки, связанные с сидячей рабочей позой [41], умственные, вызванные информационной нагрузкой, необходимо регулярно (каждый час) делать перерыв (минимум 10 мин) и выполнять лёгкие физические упражнения на растяжение мышц спины, наклоны туловища, медленные и аккуратные повороты влево-вправо/вниз-вверх головы и глаз, подъём и опускание рук [45];

5. опасность поражения электрическим током маловероятна, т.к. все токоведущие элементы заизолированы, видимых пробоев нет, в помещении проведено заземление, сетевые фильтры имеют предохранитель и сертификационную бирку, электрические приборы и установки находятся в защитных корпусах, кожухах, щитках и закрыты, при возможности, на ключ.

Категория помещения № 101, корпуса № 10, в котором проводятся исследования и выполнение выпускной квалификационной работы, согласно ПУЭ относится к первой – без повышенной опасности [45].

Группа персонала согласно Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок относится к «П» [39].

Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 – Iб (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [38].

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно «В-Па» (зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей) [39].

Заключение

В магистерской диссертации выполнен анализ существующих схем теплоснабжения и способов управления отоплением комплекса зданий при децентрализованном теплоснабжении. Наиболее часто встречающимся среди отечественных авторов и зарубежных является моделирование системы теплоснабжения с помощью нейронных сетей, а также управление системой с помощью нечеткой логики.

В данной работе представлена математическая модель тепловой системы с использованием Matlab Simulink. Гидравлический расчет и тепловой расчет для создания имитационной модели выполнялись в программном продукте ZuluGIS. Целью гидравлического расчета было уточнение диаметров трубопроводов для верного определения массового расхода теплоносителя через единицу поверхности трубопровода. В ходе теплового расчета были определены нагрузки на отопления для каждого потребителя тепла и системы отопления в целом, расчетная нагрузка на отопление с учетом всех потребителей составила 0,764 МВт·ч.

Выполнено имитационное моделирование станции, которое позволяет отслеживать распределение температуры по теплоносителям, а также температуру теплоносителя, поступающего от потребителей в котельную и из котельной к потребителям.

График, изображенный на рисунках 5.2 говорит о том, что система работает адекватно, воспринимает температурное изменение окружающей среды, выстраиваясь на заданную температуру с неопределенностью в $0,5^\circ$, что составляет относительную погрешность в 1%, а также о том, что система выполняет правильный расчет, при сравнении параметров, снятых с реальных датчиков системы теплоснабжения и параметров, рассчитанных при помощи имитационной модели.

Основным преимуществом данной системы является возможность наиболее приближенного моделирования объектов, а также позволяет прогнозировать нагрузку на систему теплоснабжения. Методика моделирования имитационной модели, предложенная в данной работе может быть использована для построения большинства систем.

Список публикаций студента

1. Диплом первой степени в XVII международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов «молодёжь и наука», 27 мая 2022.

2. Комкина У.С., Филипас А.А. Управление распределенной системой теплоснабжения на основе модельного подхода. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Молодежь и наука», 27 мая 2016 г. – УФУ НТИ, 2022. (принято в печать)

Список использованных

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. – С. 78.
2. Басалаев А. А. Распределенное управление теплоснабжением зданий на основе сенсорных сетей : кандидат наук / А. А. Басалаев. – Челябинск, 2018. – URL: <https://dissercat.com/content/raspredelennoe-upravlenie-teplosnabzheniem-zdaniy-na-osnove-sensornykh-setei> (дата обращения: 02.06.2022). – Текст : электронный.
3. Добротин С.А. Применение имитационного моделирования на этапе синтеза системы автоматического регулирования подачи тепла на отопление здания / С.А. Добротин, Е.Л. Прокопчук // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 3 – с. 50-51.
4. Дэбни Дж. Simulink 4. Секреты мастерства / Дж.Дэбни, Т.Харман. Изд-во: Бином. Лаборатория знаний, 2003. – 404 с.
5. Солдатенков А. С. Автоматизация децентрализованного отопления комплекса зданий с основными схемами теплопотребления: кандидат наук / А. С. Солдатенков. – Белгород, 2014. – URL: <https://dissercat.com/content/avtomatizatsiya-detsentralizovannogo-otopleniya-kompleksa-zdaniy-s-osnovnymi-skhemami-teplotrebniya> (дата обращения: 30.05.2022). – Текст : электронный.
6. Мазитов Н. Ф. Информационное Окружение Автоматической Системы Подогрева Воды / Н. Ф. Мазитов. – Текст : электронный. – ООО «Издательство ВВМ», 2021. – С. 300-307. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46659655> (дата обращения: 05.06.2022).
7. Dynamic evaluation method to increase the effect of the automation system on the building energy performance // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 253. – P. 119811.
8. Satyavada H. A Novel Modelling Approach for Condensing Boilers Based on Hybrid Dynamical Systems / H. Satyavada, S. Baldi // Machines. – 2016. – Vol. 4. – № 2. – P. 10.

9. Иссам А. Моделирование тепловых режимов эксплуатации зданий с использованием систем MatLab/Simulink // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – №. 1. – С. 95-99
10. Крицкий Г. Г., Игнатчик В. С. Цифровые технологии в инженерной инфраструктуре города // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – №. S2. – С. 167-184.
11. Саков И. А., Романов Г. А., Курятов В. Н. Принципы построения программно-методического комплекса "Тепловые сети" // Теплоэнергетика. – 1994. – №. 1. – С. 57-60.
12. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы».
13. Сканави А.Н. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Издво АСВ, 2002. – 576 с.
14. Белов И. С., Белов И. П. Информационные технологии в теплоснабжении. Опыт Санкт-Петербурга.
15. Ионин А.А. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А.А. Ионин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
16. Крутов В.И. Теплотехника / В.И. Крутов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 420 с.
17. Луканин В.Н. Теплотехника: Учебник для вузов / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2002. – 671 с.
18. Гаврикова Н.А., Трухватулина Л.Р., Видяев И.Г. Методические указания по разработке раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ – Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
19. Пашков Е.Н., Сечин А.И., Мезенцева И.Л., Антонец О.А., Авдеева И.И. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ / Е.Н. Пашков, А.И.

Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антоневиц, И.И. Авдеева. – Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2022. – 18 с.

20. Снигирева И. О. Трудовой кодекс Российской Федерации и наука трудового права //Трудовое право в России и за рубежом. – 2012. – №. 2. – С. 2- 9.

21. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М: Стандартинформ, 2001. – 11 с.

22. ГОСТ Р ИСО 9241-1-2007. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDTs). – М: Стандартинформ, 2008. – 20 с

23. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

24. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем", 2015. – 45 с

25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003. – 26 с.

26. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М: Стандартинформ, 2008. – 48 с.

27. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2019. – 37 с.

28. ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. – М: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

29. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М: Стандартинформ, 1988. – 24 с.

30. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004 – 30 с.

31. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М: Мин. строительства и ЖК РФ, 2017. – 102 с.
32. Тимченко Е.В. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: метод. указания / сост.: Е.В. Тимченко, П.Е. Тимченко. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 60 с.
33. ГОСТ 12.1.007-76. «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности». – М.: Стандартиформ, 2007. – № 2. – 11 с.
34. Бондалетова Л. И., Новиков В. Т., Алексеев Н. А. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных: методическое пособие //Томск.: Изд-во ТПУ. – 2000. – 56 с.
35. СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
36. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования». – Зарегистрировано в Минюсте РФ 31 октября 2001 г. № 3011. – 59 с.
37. Анопольский В. Н., Фельдштейн Г. Н., Фельдштейн Е. Г. Проблема загрязнения гидросферы продуктами, используемыми для водоподготовки и очистки сточных вод //Биосфера. – 2012. – Т. 4. – №. 2. – С. 167-176.
38. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера – М.: ФГУП «Стандартиформ», 2010. – 12 с.
39. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 №644 (ред. от 29.06.2017)
40. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 года №1437
41. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116 от 21.07.1997
42. Максименко, Георгий Тарасович. Техника безопасности при применении пожароопасных, взрывоопасных и токсичных материалов / Г. Т. Максименко, В. М. Покровский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1987. – 150 с.: ил.: 22 см. – Библиогр.: с. 148.

42. сайт https://gb.ru/posts/be_healthy

43. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) Седьмое издание.
Раздел 1. Общие правила. Глава 1.1. Общая часть.

44. ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 года №903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

45. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Приложение А

(обязательное)

Management of a distributed heat supply system based on a model approach

Студент:

Группа	ФИО
5TM02	Комкина Ульяна Сергеевна

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

Introduction

Today, a developing trend is the computer modeling of objects, not only from the side of clarity and deep understanding of processes, but also the rational use of resources.

In our case, the control object is a heat supplying system; the main elements of the system are a small capacity water-heating boiler, heat consumers, and pipelines.

Designing a distributed heat supply system is a complex mathematical problem, the solution of which is aimed at ensuring the achievement of the specified characteristics of the developed object by optimizing its operating process by selecting certain regime and geometric parameters, as well as their mutual coordination. Requirements for efficiency, as well as environmental friendliness of boilers (low level of production waste and emissions of harmful substances) become stricter over time. It becomes necessary to simulate real systems, the processes taking place in the heat supply system for a more accurate visualization of heat distribution, the ability to predict the loads on the heating system, as well as the optimal use of resources.

Relevance of the work. The constant increasing in the price of energy resources and the growth of energy consumption brings to the forefront the task of developing and implementing state policy in the field of energy conservation. Namely, reducing the growth in demand for energy by increasing energy efficiency and the development of new technologies [1]. The most acute problems of energy supply are in the sector of the national economy, namely the communal sphere, and first of all it is characteristic for heat supply systems of residential and industrial objects. The above is caused by the fact that about 430 million tons of equivalent fuel are currently spent for heat supply of buildings in Russia, which is about 45% of all energy resources consumed in the country [2].

The solution to the above problem is to use a mathematical model of the distribution system, because it increases the energy efficiency of the plant, as well as leads to a reduction of anthropogenic emissions. Based on the mathematical model, a simulation model of the plant is created, which allows to simulate heat distribution over the plant, which in turn is a prerequisite for tracking the temperature in the boiler unit in order to ensure the completeness of fuel combustion.

It becomes possible to control the combustion temperature of the fuel without loss of heat at the consumers or excess heat. This is especially important at times of rapid changes in air temperature.

The electronic model of heat supply, gas supply, water supply and water disposal systems is understood as a mathematical model of these systems, tied to the topographic basis of the city, taking into account the cadastral division of the territory and designed for simulation of operation modes [2].

The optimal operation of the boiler room depends on the ergonomic use of resources that affect the efficiency of the system as a whole.

The object of the research - the object of the research of the master's thesis is a computer model of the heat supply system of the boiler station of the Chazhemento settlement.

Subject of study is the methods, algorithms and models of organization of automated control of distributed heat supply system

The purpose of the work is to create a mathematical model for further algorithms of management of the heat supply system based on the model approach

The above tasks is achieved by solving the following points:

- analysis of existing schemes of heat consumption and methods of management of heating complex of buildings with decentralized heat supply;
- development of a heat supply system (thermal design of the heating system, hydraulic calculations of the main pipelines);
- choosing a method for mathematical modeling of the distributed heat supply control system;
- simulation modeling and experimental studies of heating control;

1 Analyses of the points, the main problems.

1.1 Literature review

1.1.1 The conduct of similar studies by Russian authors

Now, the urgent task is to introduce information technology in the areas of management and development of the branches of the engineering and energy complex. The need for the introduction of information technology in engineering and energy complexes is due to the national focus on the development of information society [3].

The introduction of intelligent technologies allows the economical use of fuel resources reduce losses of heat and electricity increase the reliability of heating systems as a consequence have a positive impact on the cost of tariffs.

Also one of the main problems is summed up by researchers [4], they talk about heat losses associated with an increase in outdoor air temperature or excess heat at the end of the heating season. The main prerequisites for occurrence of the above-mentioned problems are: complexity of adequate assessment of the current situation and forecasting of consequences of active control actions on the heating network by the operating personnel; natural changes in the network structure (new consumers, new sources of heat energy), leading to loss of operational control over the state of the object.

Now, the current task is the adoption of IT in the areas of management and development of the branches of engineering and energy complex [5]. The necessity of introducing information technology in engineering and energy complexes is due to the national focus on the development of information society [4].

The implementation of intelligent technologies allows the economical use of fuel resources reduce losses of heat and electricity increase the reliability of heating systems as a consequence have a positive impact on the cost of tariffs.

Also one of the main problems is summed up by researchers [5], they talk about heat losses associated with an increase in outdoor air temperature or excess heat at the end of the heating season. The main conditions for occurrence of the above-mentioned problems are: complexity of adequate assessment of the current situation and forecasting of consequences of active control actions on the heating network by the

operating personnel; natural changes in the network structure (new consumers, new sources of heat energy), leading to loss of operational control over the state of the object.

Sakov I.A. et al. offer the software-methodological complex "Thermal networks" as a solution. The software complex includes the following: a measuring part, consisting of a database of the initial operational and resulting information, methodological support, packages of applied programs (counting software modules); a basic block, consisting of: a command shell, a service subsystem (a dialogue management system, a data display and conversion system), a shared user database, universal computing procedures.

Soldatenkov A.S. [6] present the work on creating an automated system of dispatching control and metering of thermal energy based on modern equipment. The main task that the authors solve is to increase the efficiency of decentralized heating of the complex of buildings with automated individual heat point and water jet elevator units by controlling the distributed power systems. The authors confirm the validity of the research by the software implementation and implementation.

The main problem of heat supply systems, which the authors highlight, is hydraulic instability, which requires a constant value of the coolant flow [6]. Since a change of flow rate leads to hydraulic regulation of the system - the coolant flow to individual risers stops and the heating of consumers connected to them stops. The authors managed to achieve 6.28% savings of heat energy in buildings with individual heating substation, they also achieved reduction of coolant flow rate and the authors also point out the error of the system at $\pm 5\%$. Along with the advantages of the method, the disadvantage of the system is the possibility of increasing overheating under certain conditions of distribution of coolant flow rates.

In the literature source [2], the author solves the problem of ensuring the maximum degree of comfort of microclimatic conditions of objects with a complex structure with a variety of their thermal energy characteristics under inconsistent temperature conditions using sensor networks. This approach differs from the approach to solving the issue of temperature distribution to consumers in this master's thesis.

Basalaev A.A. [2] talks about a method of distributed control of building heat supply using simulation modeling in combination with an automated operational control system built on the basis of sensor networks. The main advantage in using sensor networks is obtaining comprehensive information about the functioning of individual elements of heat supply management objects. This allows a more comprehensive study of the heat supply object, taking into account individual characteristics of its individual elements and disturbing influences acting on them, as well as identifying the internal relationships between the elements of the object. Due to the information on the temperature of a large number of rooms of the building, it becomes possible to obtain a more adequate assessment of the current state of both individual rooms and the building as a whole.

But the disadvantage of the model outlined above is the problematic nature of the optimal use of a large amount of data in the management, especially when it is necessary to manage the heat supply of the whole building. In other words, the redundancy of input data complicates the analysis of optimal control of the object.

The authors [6] investigated the peculiarities of effective automated control of the process of district heating of a distributed complex of buildings, on the basis of simulation modeling and experimental data show variants of possible partial redistribution of heat carrier between the objects of a distributed complex, leading to a decrease in economic efficiency of automated control in general. The implementation of the control system allowed to reduce the payment of utility costs for heat by 22 %.

Although it should be taken into account that the implementation of the control system was carried out in a temperate climate zone, where the average annual temperature is - 6.6° C. Along with this, the main drawback of the system is the possibility of use in certain temperature zones because, as the authors note, there were no energy savings during the average daily temperature below - 9° C [7].

1.1.2 The conduct similar studies by foreign authors

The authors of [8] investigated the impact of building automation systems on energy consumption for heating and cooling by controlling the building's operating

scheme. The researchers developed a methodology for integrating different building systems, such as heat pumps, boiler and solar collectors, with their operating circuits through an automation system, and investigated different control scenarios investigated for comparison using different software. The energy model of the building was prepared in TRNSYS, and the scenario conditions were written in MATLAB for importing into TRNSYS using a special component, which is a bridge between MATLAB and TRNSYS. Subsequently, dynamic hourly simulations for changing the set values of thermal conditions in the room are integrated using fuzzy logic tools from MATLAB.

The authors were able to obtain data on the effect of the automation system on the energy efficiency of the building. They also achieved heat savings. According to the results [8], the heat consumption savings between Fuzzy and Base Case scenarios were about 10.37% (~166,000 kWh), while it was 4.46% (~65,000 kWh) for Fuzzy and ICT scenarios.

In addition to the modeling of heat consumers, the basic element is a mathematical model of the hot water boiler. Most of the past research has been carried out, focusing on a detailed calculation method, which implies limitations for specific cases, which further causes difficulties in the use of the method in general application. The authors [9] pointed out several shortcomings existing in the model. First, the authors emphasize oversimplification or neglect of thermal dynamics in various modeling approaches. Second, many models rely only on linear efficiency curves based on the 2 operating points given by the manufacturers for stable unit operation. The third drawback is reflected in the fixed ratios of dry and wet heat exchangers corresponding to the two heat transfer modes of condensing boilers.

In the study [9] the authors consider a condensing boiler and model heat transfer phenomena by simulating a hybrid dynamic model. One of the main objectives was to realize complete combustion of methane with a fixed value of dry excess air. In this study, two temperatures of water, both entering the boiler and leaving the boiler, are regulated, since the temperature entering the boiler will determine the mode of boiler operation. In their work, the authors developed a modeling approach that is based on

complete combustion of methane with a fixed constant amount of 15% dry excess air. Along with the specified task, the authors addressed the issue of predicting the boiler efficiency, depending on the selected parameters. This study has improved the efficiency of the boiler by better control of the parameters. This study can also be used not only for condensing boilers

1.2.3 Analysis of research trends

At present, one of the most significant directions for our country is modernization of automatic control systems for thermal power plants. Since the quality of control affects many factors, for example, the ability to constantly monitor the plant, maintaining the set parameters allows reducing the occurrence of emergencies, there is an opportunity to predict the load on the heat supply system. Along with the above, there is a possibility of ergonomic use of fuel resources, which in turn leads to a reduction in the tariff payment.

Summarizing the review of modern means of automation, we can emphasize the popularity of this direction not only in the Russian Federation, but also abroad. It has been noticed the tendency of more use of neural networks, which allow more flexible control of thermal power plants.

Above studies have been published in the time period from 2008 to 2022, which confirms the above about the relevance of considering the issue of automation. The increasing trend of new technologies shows the interest of the population for a more intelligent use of fossil fuels.

Of the highlighted problems, which are solved by the use of innovations, we can highlight the following:

- completeness of fuel combustion;
- reduction of emergency situations;
- efficient heat distribution between heat consumers;
- elimination of some bottlenecks in the main pipelines through constant pressure monitoring;
- reduction of the tariff fee.

- Along with the above-mentioned advantages, the following issues remain:
- the flexibility of using the developed software;
- the automation software is modeled for a particular customer (difficulty in extensive use);
- complexity of parameter optimization with exhaustive factors of the system (a lot of input data creates a number of issues when analyzing the system).

2 Description of the system simulated

2.1 Description of the distributed heating system

Each heat supply system consists of the following elements: heat source, heat network, subscriber inputs and metering systems of heat consumers.

Heat supply systems with different devices and purposes of the elements are classified according as follows: the source of heat preparation; type of heat carrier; the number of pipelines of heat networks; the method of heat supply to consumers, etc.

There are three types of heat supply systems based on the source of heat production: 1) highly centralized centralized heat supply based on the combined production of heat and electricity at cogeneration plants - heatingification; 2) centralized heat supply from district heating and industrial boilers; 3) decentralized heat supply of small boilers, individual heating furnaces.

In this master's thesis the centralized heat supply system is considered, which consists of a block-modular boiler house.

2.2 Description of the modular boiler room

Nowadays, block-modular boiler plants (BMB) are often installed at production facilities. BMBs are the most economical and regulated heat supply systems, they are usually used for heat supply and hot water supply of the facility. Stationary boilers are freestanding buildings or built into a complex of structures.

This type of boiler plants is not fully autonomous, as they are connected with the centralized fuel supply systems. At the boiler plant, located at the Chazhemento gas compressor station, natural gas is used as fuel, the reserve fuel can be liquid fuel (fuel oil, diesel). Transportable block-modular boiler plant of CS Chazhemento serves a group of buildings located at the site.

In boilers with capacity up to 2.5 MW all the equipment is placed in one container (block), if more capacity is needed, then several blocks are combined into a group to provide the necessary capacity [10]. The power of the investigated boiler house makes 5 MW, the boiler house consists of 6 separate transportable building modules. An example of a block-modular boiler house is located in Fig. 1.

Advantages of modular boiler plants are that boiler plants of this type consist of two framed block-modules, sheathed with sandwich panels, which are already joined at the construction site. These boilers are of good quality. Due to the modular assembly of boilers in production the time of their installation at the site is reduced. On average, the installation of boiler plant of 2 MW takes from 3 to 5 days, while the construction of a stationary boiler takes 4 months and more

Most of such boilers do not require the presence of staff since they are fully automated. Maintenance and repair of such boilers are performed by specialized accredited organizations. These boilers have smaller overall dimensions than stationary boilers (Fig. 1), so the cost of generated heat energy is reduced due to the closer location to the object [11].

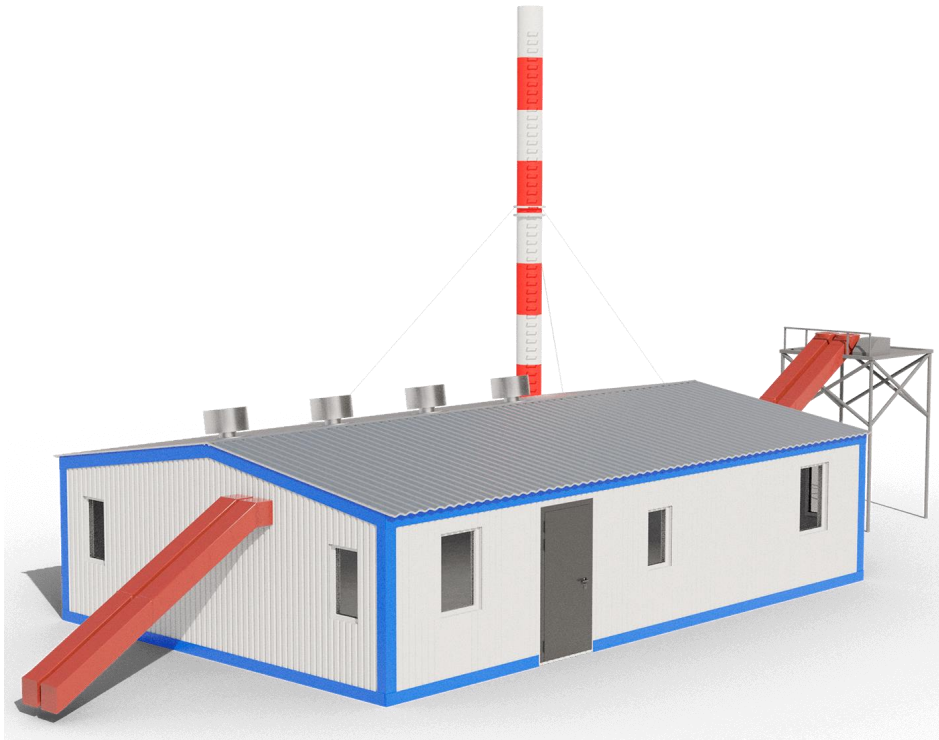


Fig 1. Block-Modular Boiler House

Heat supply to heat consumers at the plant is carried out with the help of the supply pipeline.

2.2.2 Operational requirements for BMK

The block-modular boiler houses have the following requirements:

- operation of the BMC is carried out by the preparatory heat-power personnel. It is allowed to operate the BMK by a specialized organization;
- the person responsible for the good condition and safe operation is appointed by the administrative document (order) of the head of the organization from among the management personnel and specialists of the organization;

The main tasks of the personnel are:

- maintaining the equipment in the state of operational readiness and ensuring maximum reliability and efficiency of heat production;
- observation of explosion and fire safety requirements, industrial hygiene and labor safety;

Compliance with the specified heat supply modes.

Comprehensive testing of boiler equipment should be carried out on the main fuel with the nominal load and design parameters at continuous operation for 72 hours with simultaneous or alternate operation of auxiliary equipment.

Measurement of the total volume of gas consumed by the boiler house, archiving the data on gas flow rate, pressure and temperature, and generating reports are performed by a metering unit with an electronic corrector and a flow meter installed at the gas inlet, installed in front of the gas burner.

The heat meter with installation of electromagnetic flow meters and temperature sensors on the supply and return pipelines of the heating system, as well as the temperature sensor on the source water pipeline is used for metering of heat released from the boiler room into the heating system and archiving the data.

References

1. Energy Strategy of Russia for the Period up to 2035. - C. 78.
2. Basalaev A. A. Distributed heat management of buildings based on sensor networks : PhD / A. A. Basalaev. - Chelyabinsk, 2018. - URL: <https://dissercat.com/content/raspredelennoe-upravlenie-teplosnabzheniem-zdaniy-na-osnove-sensornykh-setei> (date of reference: 02.06.2022).
3. Dobrotin, S.A. Application of simulation modeling at the stage of synthesis of automatic control system of heat supply for building heating / S.A. Dobrotin, E.L. Prokopchuk // Advances of modern natural science. - 2008. - № 3 - c. 50-51.
4. Dabney J. Simulink 4. Secrets of mastery / J. Dabney, T. Harman. Edited by: Binom. Laboratory of knowledge, 2003. - 404 c.
5. Soldatenkov A. S. Automation of decentralized heating of complex buildings with basic heat consumption schemes: PhD / A. S. Soldatenkov. - Belgorod, 2014, <https://dissercat.com/content/avtomatizatsiya-detsentralizovannogo-otopleniya-kompleksa-zdaniy-s-osnovnymi-skhemami-teplot> .
6. Mazitov N. F. Information Environment of the Automatic Water Heating System / N. F. Mazitov. - Text : electronic. - BBM Publishing House LLC, 2021. - C. 300-307, <https://elibrary.ru/item.asp?id=46659655>.
7. Dynamic evaluation method to increase the effect of the automation system on the building energy performance // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 253. – P. 119811.
8. Satyavada H. A Novel Modelling Approach for Condensing Boilers Based on Hybrid Dynamical Systems / H. Satyavada, S. Baldi // Machines. – 2016. – Vol. 4. – № 2. – P. 10.
9. Issam A. Modeling of thermal operating modes of buildings using MatLab/Simulink systems // Izvestiya vysokikh obrazovaniye obrazovaniye. North-Caucasus region. Technical Sciences. - 2009. - №. 1. - C. 95-99
10. Kritsky G. G., Ignachik V. S. Digital technologies in the engineering infrastructure of the city // Actual problems of military and scientific research. - 2019. - №. S2. - C. 167-184.

11. Sakov I. A., Romanov G. A., Kuryatov V. N. Principles of constructing a software and methodological complex "Thermal networks" //Teploenergetika. - 1994. - №. 1. - C. 57-60.
12. Satyavada H. A Novel Modelling Approach for Condensing Boilers Based on Hybrid Dynamical Systems / H. Satyavada, S. Baldi // Machines. – 2016. – Vol. 4. – № 2. – P. 10.
13. Issam A. Modeling of thermal operating modes of buildings using MatLab/Simulink systems // Izvestiya vysokikh obrazovaniye obrazovaniye. North-Caucasus region. Technical Sciences. - 2009. - №. 1. - C. 95-99

Приложение Б

(справочное)

Операторно-структурная схема Matlab

```
function T_out = model_source_1(T_air, T_in)
p1 = 0.1929;
p2 = 49.41;
model_1 = @(T_air) p1*T_air + p2;
%вторая часть потребителя, температура ниже 10 градусов
p00 = 49.32;
p10 = -0.963;
p01 = 0.1275;
p11 = -0.004454;
p02 = -0.006124;
model_2 = @(T_air, T_in) p00 + p10*T_air + p01*T_in + p11*T_air*T_in
+ p02*T_in^2;
    if (T_air > -10)
        T_out = model_1(T_air);
    Else
        T_out = model_2(T_air, T_in);
    end
end
end
```

Рисунок А.1 – Реализация блока потребителя тепла (здания)

```
function temp_out = sector1(temp_in, Q_losses)
%q - удельные часовые потери трубопроводами каждого диаметра,
определённые пересчётом табличных значений норм удельных часовых
тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия
эксплуатации, ккал/чм;
%В - коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые
потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами
%G - расход через объем потребителя
% l - длина трубы
% Q_losses - потери по длине трубопровода, с учетом температуры
наружного воздуха
G = 59.2882; %т/ч|
q = 42; %ккал/чм
l = 42.7;%м
В = 1.2; % принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 м
% Q2 - величина тепловых потерь, Гкал/час;
Q2=(q*l*В)*10^(-6);
temp_out = temp_in - (((Q_losses*10^(-6))*1000)/G);
end
```

Рисунок А.2 – Реализация блока участка трубопровода

Приложение В

(справочное)

Результаты теплового расчета

Таблица 1 – Тепловые нагрузки каждого потребляемого здания и сооружения

Номер потребителя согласно схеме 1.	Тепловая нагрузка, МВт:	
	На отопление	На вентиляцию
1	0,2011	0,0924
2	0,2234	0,1027
3	0,0171	0,007865
4	0,0171	0,007865
5	0,0171	0,007865
6	0,0171	0,007865
7	0,1899	0,08726
8	0,0171	0,007865
9	0,0171	0,007865
10	0,0171	0,007865
11	0,0171	0,007865
12	0,0171	0,007865
13	0,0171	0,007865

Таблица 2 – Годовые расходы тепловой энергии по видам теплоснабжения

Номер потребителя	Расход тепла МВт·ч	
	Отопление	Вентиляция
1	263,04	121,7
2	292,22	19,4
3	323,53	14,87
4	358,96	164,9
5	323,53	14,87
6	323,53	14,87
7	323,53	14,87
8	323,53	14,87
9	323,53	14,87
10	323,53	14,87
11	323,53	14,87
12	323,53	14,87
13	323,53	14,87

Приложение Г

(справочное)

Результаты гидравлического расчета

Таблица 1 – Характеристики участков

№ уч	G, т/ч	D _{у.под} , мм	D _{у.об} , мм	L, мм	Re _{под}	Re _{об}	λ _{под}	λ _{обр}	v, м/с	l _э , м	l _{пр} , м	Δh, кгс /м ³	ΔP _м , кгс/м ²	ΔP _{тр} , кгс/м ²	ΔP, кгс/м ²
1		150	150	42,7	538200	388500	0,0267	0,0294	0,255	12,81	55,5	0,636	8,14	27,16	35,304
2	5,5	100	100	66,3	80730	58275	0,31	0,031	0,057	19,9	86,2	0,048	0,96	3,18	4,13
3	0,1	50	50	7,7	2242,5	1618,8	0,0493	0,0525	0,004	2,3	9,7	0,07	0,161	0,54	0,7
4	5,4	100	100	58,7	79833	57627	0,03	0,031	0,055	17,61	76,3	0,147	2,6	8,63	11,22
5	4,6	80	80	22,0	46644	33670	0,0325	0,0332	0,075	6,6	28,6	0,113	0,74	2,5	3,232
6	0,8	50	50	32,3	20182,5	14568,8	0,037	0,0383	0,033	19,4	51,7	0,043	0,83	1,4	2,2231
7	10	150	150	0,3	88803	64102,5	0,0278	0,0283	0,046	0,09	0,39	0,033	0,003	0,01	0,013
8	3,7	80	80	30,3	45747	33022,5	0,0326	0,0332	0,059	9,1	39,4	0,073	0,6643	2,2119	2,9
9	6,3	100	100	30,7	49335	35612,5	0,031	0,032	0,065	9,21	39,9	0,068	0,63	2,08	2,71
10	40,5	150	150	41,1	358800	259000	0,0267	0,0269	0,185	12,33	53,4	0,335	4,13	13,77	17,9
11	0,6	32	32	65,5	22425	16187,5	0,0406	0,0413	0,072	19,65	85,15	0,068	1,34	4,454	5,79
12	39,9	150	150	148,9	269100	194250	0,0269	0,0271	0,194	44,7	193,6	0,368	16,45	54,79	71,2448
13	32,9	150	150	45,8	242190	174825	0,0269	0,0272	0,15	13,74	59,64	0,22	3,01	10,076	13,0988
14	7,0	150	150	42,8	49335	35612	0,0288	0,0296	0,032	12,84	55,64	0,01	0,13	0,43	0,5564
15	0,8	100	100	10,1	8790	6475	0,031	0,0317	0,008	3,03	13,12	0,001	0,003	0,0101	0,01313
16	0,6	50	50	1,6	12558	9065	0,038	0,04	0,03	0,48	2,08	0,035	0,0168	0,056	0,073
17	0,2	50	50	21,8	4485	323,75	0,044	0,075	0,009	6,54	28,34	0,003	0,1962	0,0654	0,085
18	6,2	100	100	14,8	50232	36260	0,031	0,032	0,064	4,44	19,24	0,08	0,36	1,184	1,54
19	0,4	50	50	6,1	8970	6475	0,0401	0,042	0,016	1,83	7,9	0,01	0,0183	0,061	0,0793
20	5,8	100	100	167,9	48438	34965	0,0311	0,0318	0,059	50,37	218,34	0,068	3,42	11,41	14,84
21	0,3	50	50	35,4	6503	4694,4	0,042	0,044	0,083	10,62	46,02	0,006	0,064	0,2124	0,27
22	0,6	80	80	143,2	8073	5827	0,0383	0,0402	0,01	0,6	80	80	143,2	42,96	186,16
23	0,3	50	50	1,7	6503	4694,4	0,042	0,044	0,012	0,3	50	50	1,7	0,51	2,31
24	0,3	50	50	35,4	6503	4694,4	0,042	0,044	0,012	0,3	50	50	35,4	10,62	46,02
Общее количество сопротивлений															188,5210