

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Моделирование системы управления котельной установкой

УДК 004.896:697.32-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Ивашкин Евгений Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцова Ирина Леонидовна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения

Код компетенции	Наименование компетенции
	<b>Универсальные компетенции</b>
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

Код компетенции	Наименование компетенции
	<b>Общепрофессиональные компетенции</b>
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
	<b>Профессиональные компетенции</b>
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

Код компетенции	Наименование компетенции
	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

Код компетенции	Наименование компетенции
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, 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

Код компетенции	Наименование компетенции
	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)-12	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)-13	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)-14	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)-15	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
ПК(У)-16	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;

Код компетенции	Наименование компетенции
	способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения \_\_\_\_\_ весенний семестр 2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		



<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Описание технологического процесса; Краткое описание системы автоматизации; Разработка модели котельной установки; Осуществление моделирования в Matlab Simulink; Расчет коэффициентов регуляторов методом Циглера-Никольса; Корректировка параметров согласно критериям оценки качества регулирования.
<b>Перечень графического материала</b>	Функциональная схема автоматизации; Структурная схема котельной установки; Операторно-структурная схема установки.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Мезенцова Ирина Леонидовна, Ст. преподаватель ООД ШБИП
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
-	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Ивашкин Евгений Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т8А	Ивашкину Евгению Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 37700 руб. Оклад инженера - 19200 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 16%. Районный коэффициент – 1,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ, составление бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИ.

**Перечень графического материала:**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т8А	Ивашкин Евгений Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т8А	Ивашкину Евгению Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

<b>Моделирование системы управления котельной установкой</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> котельная установка  <i>Область применения:</i> автоматизация нефтегазовой отрасли  <i>Рабочая зона:</i> здание котельной установки  <i>Размеры крановой площадки:</i> 40*50м.  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 1 котёл ДКВР 10-13-250 ГМ, 2 клапана с электрическими приводами, 2 шиберы с электроприводами, сопутствующий КИПиА.  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> генерация требуемого количества пара.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Федеральный закон. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. №123-ФЗ, 2008.</li> <li>2. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</li> <li>3. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)</li> <li>4. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</li> <li>5. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Легкие углеводороды;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой/низкой температурой материальных объектов производственной среды,</li> </ol>

<p>производственных факторов</p>	<p>могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>3.Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.</p> <p>4.Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <p>1.Повышенный уровень общей вибрации;</p> <p>2.Повышенный уровень шума;</p> <p>3.Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>4. Монотонность труда, вызывающая монотонию.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b></p> <p>тепловая изоляция трубопроводов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, респираторы, беруши, наушники, защитные ограждения.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>	<p><b>Воздействие на атмосферу:</b> происходит в результате выбросов продуктов сгорания природного газа, связанных с технологическим процессом.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b></p> <p>Утечка газа, пожар, взрыв.</p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> утечка газа.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцова Ирина Леонидовна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Ивашкин Евгений Александрович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 98 страницах, содержит 20 рисунков, 39 таблиц и 13 источников литературы.

Ключевые слова: котёл ДКВР, моделирование, метод Циглера-Никольса, идентификация объектов управления, ПИ и ПИД-регуляторы.

Объектом исследования является котельная установка ДКВР 10-13.

Целью выпускной квалификационной работы является моделирование системы управления котельной установки типа ДКВР с последующим подбором регуляторов для каждого канала управления.

В данной работе исследуется устройство, его системы автоматизации для последующей идентификации объектов управления по их переходным характеристикам, что позволяет осуществить моделирование системы управления по каналам воздуха, давления пара, уровня в барабане котла, а также разрежения в топке котла. Осуществлена подборка регуляторов и их параметров для каждого канала управления котельной установки с последующей оценкой параметров качества регулирования (время переходного процесса и перерегулирование). Разработаны операторная и операторно-структурные схемы котельной установки.

Для выполнения работы использовались программные продукты: Компас-3D, Matlab Simulink 2020b.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 компании Microsoft.

## Оглавление

Введение.....	19
1 Конструкция котла.....	21
2 Система автоматизации.....	27
2.1 Рассмотрение установки как объекта автоматизации.....	27
2.2 Влияние соотношения «газ/воздух» на функционирование и производительность котельной установки.....	30
3 Разработка модели котельной установки.....	32
3.1 Идентификация объектов управления по заданной переходной характеристике.....	32
3.2 Модель системы управления.....	34
3.3 Рассмотрение модели $P_{Г} = f(P_{П})$ .....	36
3.4 Рассмотрение модели соотношения «газ/воздух».....	37
3.5 Рассмотрение модели по каналу регулирования давления пара.....	38
3.6 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования давления воздуха .....	39
3.7 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования разрежения топки .....	40
3.8 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования уровня в барабане .....	41
4 Моделирование системы в Matlab Simulink.....	43
4.1 Реализация операторно-структурной схемы.....	43
4.2 Расчет коэффициентов регуляторов методом Циглера-Никольса.....	43
4.2.1 Первый способ настройки регулятора.....	44
4.2.2 Второй способ настройки регулятора.....	45
4.3 Критерии оценки качества регулирования.....	46
4.4 Канал регулирования давления пара.....	47
4.4.1 Канал регулирования давления с ПИ-регулятором.....	48
4.4.2 Канал регулирования давления пара с ПИД-регулятором.....	49
4.5 Канал регулирования давления воздуха.....	50

4.5.1	Канал регулирования давления воздуха с ПИ-регулятором.....	51
4.5.2	Канал регулирования давления воздуха с ПИД-регулятором .....	51
4.6	Канал регулирования разрежения в топке котла.....	53
4.6.1	Канал регулирования разрежения с ПИ-регулятором.....	53
4.6.3	Канал регулирования разрежения с ПИД-регулятором.....	54
4.7	Канал регулирования уровня .....	55
4.7.1	Канал регулирования уровня с ПИ-регулятором.....	56
4.7.2	Канал регулирования уровня с ПИД-регулятором.....	57
5	Анализ полученных результатов .....	59
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
6.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
6.2	Анализ конкурентных технических решений .....	60
6.3	SWOT-анализ .....	62
6.4	Планирование научно-исследовательских работ.....	65
6.4.1	Структура работа в рамках научного исследования.....	65
6.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	66
6.4.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	69
6.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	72
6.5.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	72
6.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ ...	72
6.5.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	73
6.5.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	75
6.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	75
6.5.6	Накладные расходы .....	76
6.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	77
6.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	77
	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	82

7 Социальная ответственность .....	83
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	83
7.2 Производственная безопасность .....	85
7.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	86
7.3 Экологическая безопасность .....	91
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	91
Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	93
Заключение .....	95
Список используемой литературы .....	97

## Введение

Нормативный срок службы котлов ДКВР составляет 20 лет, а после технической модернизации он может быть продлён еще как минимум на пять, а то и более, лет. За это время система автоматизации может дважды морально и технически устареть. Но если за освидетельствованием котельной установки следит специализированная государственная организация - Котлонадзор и это напрямую связано с безопасностью эксплуатации, то к автоматизации нет таких жёстких требований и степень автоматизации, по сути, определяется организацией, эксплуатирующей данную котельную установку.

Как объект автоматизации, котёл представляет из себя достаточно сложный технический объект с взаимосвязанными параметрами. Стабильная работа установки заключается в поддержании определённого режима, который определяется нахождением параметров установки в заданных диапазонах. Если по каким-либо причинам параметр выходит за установленные пределы, то без дополнительного внешнего вмешательства установка может:

- Понизить КПД;
- Отключиться (прекратить горение);
- Аварийно остановиться, вплоть до разрушения.

Взаимное влияние параметров установки друг на друга хорошо описано в литературе [2], и связи в настоящей работе приняты за базовые.

Целью настоящей работы является моделирование системы управления котельной установкой с последующей оптимизацией режимов управления. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработать модель системы регулирования;
- Идентифицировать передаточные функции каналов регулирования по переходным характеристикам;
- Определить взаимные связи каналов регулирования;
- Выполнить настройку регуляторов;
- Определить качественные показатели регулирования;

- Обобщить полученные результаты.

В данной работе представлена разработанная модель системы регулирования котла ДВКР. Осуществлена настройка регуляторов методом Циглера-Никольса. Также произведена оценка качественных показателей регулирования с обобщением полученных результатов.

## 1 Конструкция котла

Основная масса тепловой энергии в нашей стране, да и в мире в целом, производится с помощью котельных. Основным элементом любой котельной является тепловой котёл, совокупность устройств, которые преобразует энергию сжигаемого топлива в энергию теплоносителя. По виду теплоносителя котлы можно разделить на водогрейные и паровые. В первом случае теплоносителем является вода, а во втором – пар. Конструктивно такие устройства отличаются незначительно. Существует целая программа по переводу выработавших свой ресурс паровых котлов в водогрейные. И как раз при переводе такие отличия устраняются.

В зависимости от вида используемого топлива котлы можно разделить на:

- Твердотопливные;
- Газовые;
- Жидкостные.

В твердотопливных котлах в качестве топлива выступают дрова, уголь и так же другие, традиционные и нетрадиционные виды твердого топлива. Котлы на жидком топливе в качестве топлива могут использовать любую горящую жидкость, но промышленные установки ориентированы на мазут, нефть или дизельное топливо.

Газовые котельные установки в качестве топлива используют метан. Метан, чаще встречаемый в данном контексте – природный газ, это легкий (в два раза легче воздуха) бесцветный газ, без запаха и вкуса. Разветвлённая сеть газовых трубопроводов, доступность и относительно низкая стоимость газа дают существенное преимущество газовым котельным. Благодаря программам Российской Федерации и ПАО «Газпром» по газификации всех субъектов государства это преимущество становится более ощутимым.

Рассмотрим конструкцию одного из самых распространённых паровых котлов ДКВР. И хотя этот котёл может использоваться как водогрейный, мы будем рассматривать его в качестве парового.

Следует отметить, что размеры, которые напрямую связаны с производительностью, вид топлива и теплоносителя будут влиять как на конструкцию отдельных элементов, так и всей установки в целом.

Паровой водотрубный котёл ДКВР служит для производства влажного и перегретого пара. КПД данного оборудования достигает 92%. В качестве топлива используется уголь, дрова, газ, мазут. Если используется газ или мазут, то производство пара вырастает до 50%[1].

Аббревиатура ДКВР обозначает двухбарабанный котёл, водотрубный, реконструированный. Совместно с аббревиатурой котла указываются основные технические характеристики, например, ДКВР 10-13-250 ГМ, что означает:

10 – объём пара, производимого за один час;

13 – давление пара в кгс/см<sup>2</sup>;

250 – температура пара на выходе после пароперегревателя в °С;

ГМ – вид топлива – газомазутный.

Если третья цифра отсутствует (в данном случае 250), то это означает, что в конструкции котла отсутствует пароперегреватель и установка производит насыщенный пар, температура которого значительно ниже перегретого.

Преимущества и недостатки

Котлы данной конструкции обладают некоторыми преимуществами, которые отличают их от других подобных агрегатов.

Основное достоинство котлов ДКВР заключается в их высокой паропроизводительности и высоком КПД, достигаемом даже при невысоком давлении пара. Отсутствие необходимости использовать подготовленную воду является ещё одним существенным достоинством котлов этой конструкции.

Отметим ряд достоинств котлов этого типа, которые отмечаются в литературе [2,3]:

- Высокий КПД до 92%;
- Возможность перехода с парового на водогрейный режим для отопления и обратно;

- Возможность использования различных видов топлива без каких-либо модификаций, особенно в случае жидкого и газообразного видов топлива;
- Высокая экономичность в работе и обслуживании, надёжность конструкции;
- Возможность установки в помещении практически любой котельной благодаря сборной конструкции, несложному подключению и запуску в эксплуатацию;
- Высокая паропроизводительность;
- Большой срок службы и хорошая ремонтпригодность оборудования котла.

Из недостатков в литературе отмечаются завышенные присосы холодного воздуха в газоходы от камеры сгорания до крайней поверхности нагрева.

Конструкция котла ДВКР представлена на рисунке 1.

Все конструкции котла данного типа снабжены двумя барабанами - сепараторами: верхним (поз. 2) и нижним (поз. 12). Верхний барабан может быть длинным или коротким. В старых модификациях котлов, которые в настоящее время ещё активно используются, с производительностью до 10 т/час используются длинные барабаны, а модернизированные модели с производительностью выше 10 т/час короткие барабаны. Нижний барабан короче верхнего на величину камеры сгорания.

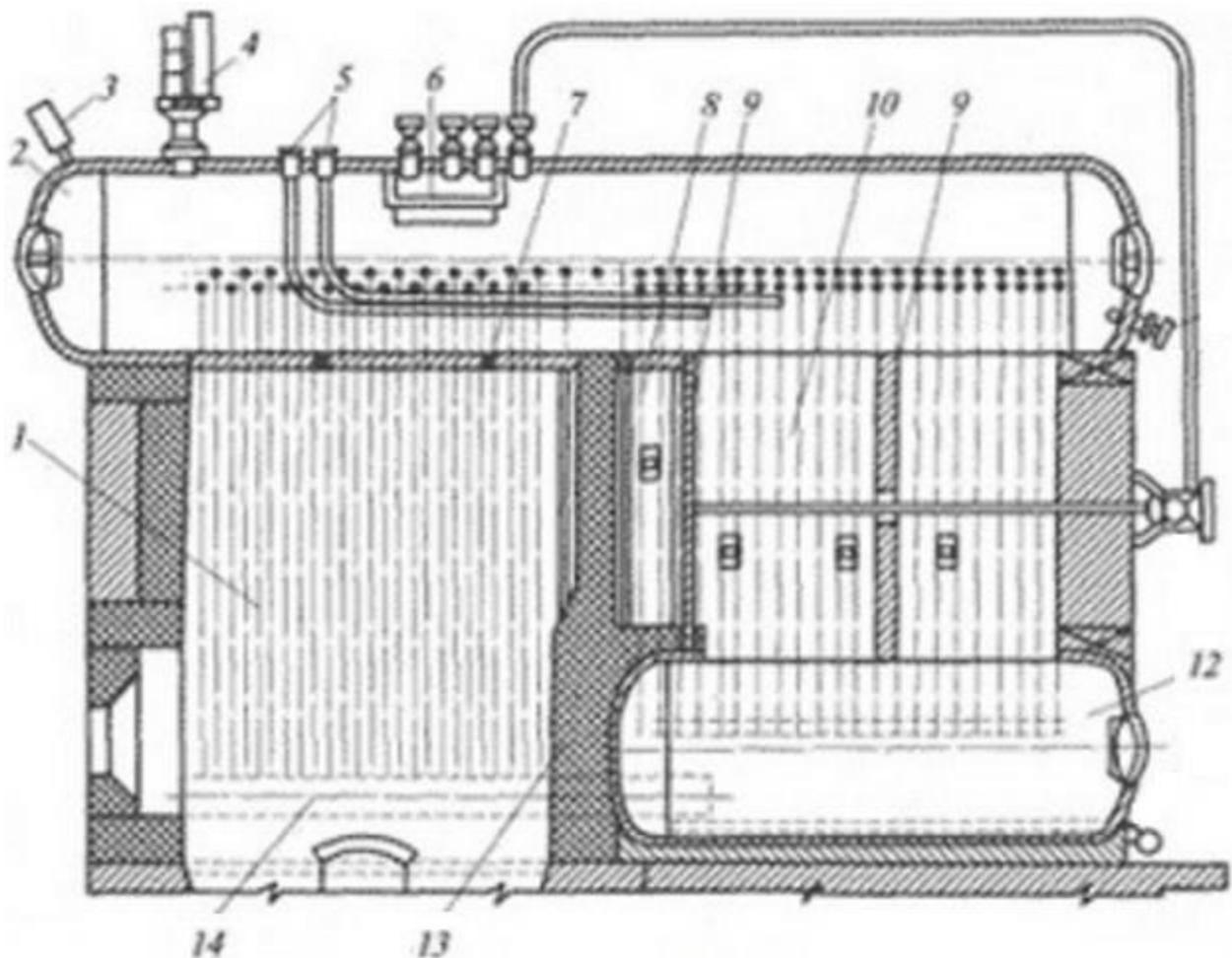


Рисунок 1 – Конструкция котла ДКВР

Обозначения на данном рисунке:

- 1 – Топочная камера;
- 2 – Верхний барабан;
- 3 – Датчик давления пара (манометр) в барабане;
- 4 – Предохранительный клапан;
- 5 – Питательные трубопроводы;
- 6 – Сепарационное устройство;
- 7 – Легкоплавкая пробка;
- 8 – Камера догорания;
- 9 – Перегородка;
- 10 – Кипятильный пучок труб;
- 12 – Нижний барабан;

13 – Кирпичная стенка;

14 – Коллектор.

Топка поделена кирпичной кладкой на две секции. Первая секция топки – камера сгорания, в которой происходит непосредственное сгорание топлива. По боковым поверхностям камеры сгорания из верхнего барабана опускаются два экрана (боковые экраны), состоящие из набора труб диаметром 51 мм и толщиной стенки 2,5...3,0 мм, которые в нижней части объединяются коллектором.

Конструкция котла без кирпичной кладки представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид котла ДКВР (без кирпичной кладки)

Во второй секции находится мощный кипяточный пучок, образованный набором труб (51x2,5) соединяющих верхний и нижний барабаны.

Дымовые газы, образованные в результате сгорания топлива, перемещаются по газоходам, которые образованы кирпичной и чугунной перегородками (см. рисунок 1, поз. 9 и 13), и далее через кипяточный пучок

труб, покидают котел через отверстие, расположенного на его задней поверхности.

Боковые экраны, соединяющие верхний барабан с коллектором, и кипятельный пучок, соединяющий верхний и нижний барабаны, образуют огромную конвективную зону нагрева.

Подпиточная вода заполняет всю систему, включая верхний барабан до определённого уровня. При нагреве воды возникает циркуляция: холодная вода опускается сверху, нагревается и уже смесь воды и пара поднимается вверх в барабан, где эти среды разделяются. Для того, чтобы избавиться от лишних солей и других примесей предусмотрены специальные устройства сепарации.

Для получения перегретого пара вместо части труб кипятельного пучка устанавливают пароперегреватель. Для давления менее 24 кгс/см<sup>2</sup> перегреватель имеет форму вертикальной петли, проходя через которую насыщенный водяной пар (при давлении 13 кгс/см<sup>2</sup> температура пара равна 195°С) дополнительно нагревается, что приводит к соответствующему возрастанию давления.

Технические характеристики типовых котлов ДКВР, использующих газомазутное топливо представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики типовых котлов ДКВР ГМ

Наименование показателей	ДКВР 2,5-13 ГМ	ДКВР 4-13 ГМ	ДКВР 6,5-13 ГМ	ДКВР 10-13 ГМ	ДКВР 20-13 ГМ
Производительность пара, т/ч	2,5	4,0	6,5	10	20
Рабочее давление, МПа	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Температура, °С	до 195	до 195	до 195	до 195	до 195
Расход газа, куб.м/ч	188	312	445	735	1465
Расход мазута, кг/ч	176	305	425	765	1405
Коэффициент полезного действия, %	89	89	88	88	92
- длина	4185	5520	5780	8850	11500
- ширина	2100	2100	3250	5830	5970
- высота	3985	3986	3990	7100	7660
Вес, кг	6887	9200	11446	15397	44635

## 2 Система автоматизации

### 2.1 Рассмотрение установки как объекта автоматизации

Котельная установка представляет собой сложный взаимосвязанный объект. Функциональная схема установки приведена на рисунке 3. Уровень автоматизации, представленный на рисунке, соответствует базовому уровню. Все незадействованные в этой модели параметры установки не показаны.

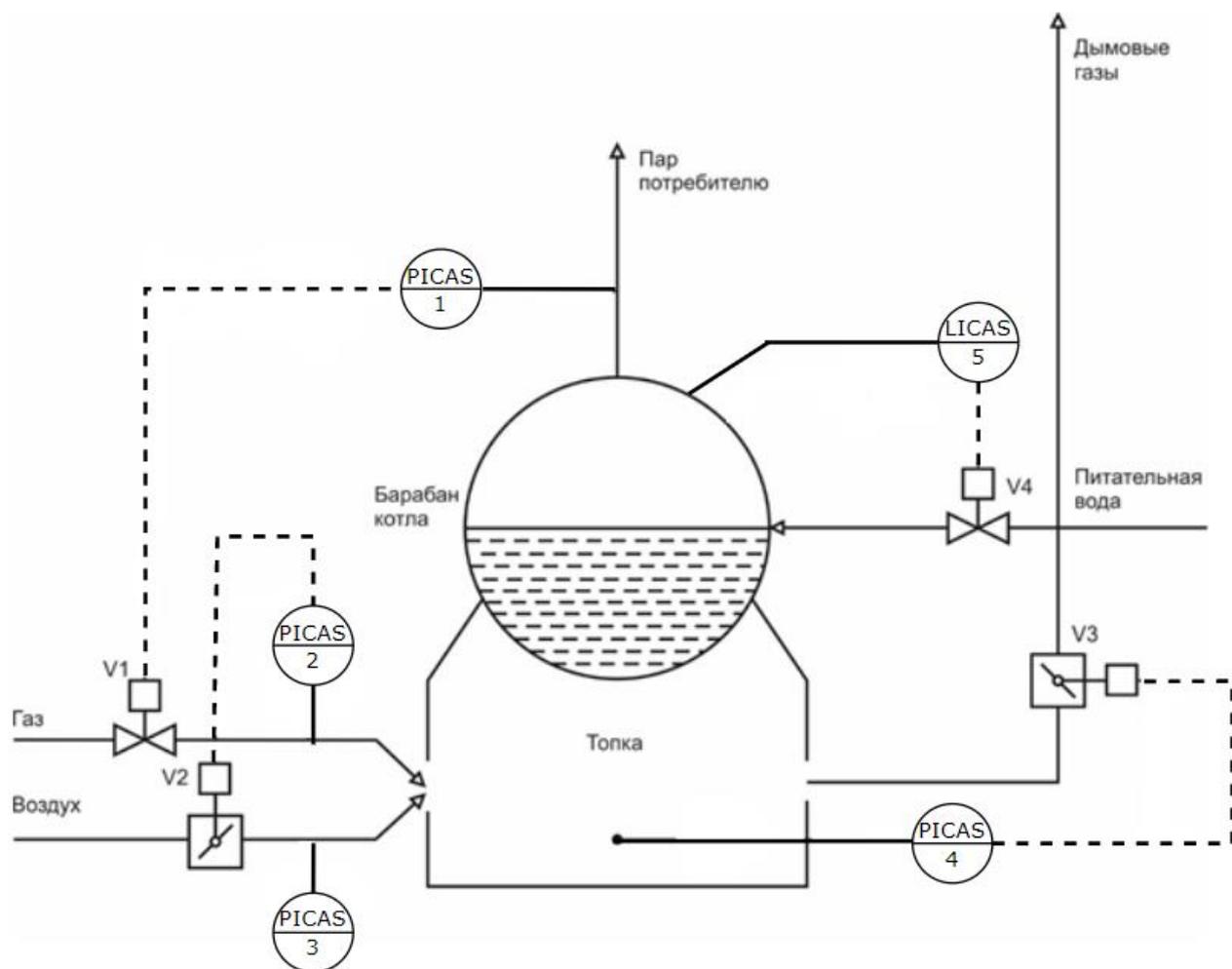


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматизации котельной установки

#### Общие сведения

1. Давление пара в барабане котла контролируется датчиком (поз. PICAS 1).
2. Природный газ, как топливо, в топку котла подаётся под небольшим избыточным давлением. Давление непосредственно перед топкой

контролируется датчиком (поз. PICAS 2), подача газа регулируется клапаном с электрическим приводом V1.

3. Воздух в топку котла по воздуховоду нагнетается дутьевым вентилятором. Давление непосредственно перед топкой контролируется датчиком (поз. PICAS 3), регулируется подача шибером с электрическим приводом V2.

4. Разрежение в топке котла контролируется датчиком (поз. PICAS 4), регулируется шибером с электрическим приводом V3.

5. Уровень воды в барабане котла контролируется датчиком (поз. LICAS 5), регулируется подачей питательной воды через клапан с электрическим приводом V4.

В качестве электрического привода (исполнительного механизма - ИМ) во всех случаях используются МЭО – механизмы электрические однооборотные, обеспечивающие перемещение регулирующего органа из положения открыто в положение закрыто, и обратно за один оборот ИМ.

В таблице 2 приведена справочная информация об измеряемых параметрах, уставках сигнализации и защиты парокотельной установки ДКВР-10-3 №2, находящейся в эксплуатации компании ООО «Тепло Плюс» посёлка Самусь, Томской области.

Таблица 2 – Уставки сигнализации и защиты котельной установки по заданным параметрам

№	Наименование параметра	Позиция	Единицы измерения	Шкала	Уставка сигнализации	Уставка защиты
1	Давление пара в котле	PICAS 1	кгс/см <sup>2</sup>	0...16	> 11	> 12
2	Давление газа перед горелкой	PICAS 2	кгс/м <sup>2</sup>	0...600	< 26	< 10
3	Давление воздуха перед горелкой	PICAS 3	кгс/м <sup>2</sup>	0...160	< 2	< 1
4	Разрежение в топке	PICAS 4	кгс/м <sup>2</sup>	минус 125...125	> минус 20	> минус 25
5	Уровень в барабане котла	LICAS 5	мм	минус 315...315	< минус 252 > 378	Отключение по электродам ДДУ*

\* - дискретный датчик уровня

Рассмотрим работу системы автоматизации. Предположим, что все параметры установки установились и соответствуют технологическим нормам.

В какой-то момент произошло увеличение нагрузки на теплосистему, выразившееся в увеличении расхода тепловой воды, что сказалось на увеличении расхода пара (поз. PICAS 1). Увеличение расхода пара приводит к снижению его давления, что является причиной «набухания уровня» воды в барабане (процесс усиленного выделения газа) и требующее немедленной реакции регулятора уровня, который прикрывает клапан V4 на подаче питательной воды в котёл.

Для устранения возмущения, вызванного увеличением нагрузки, необходимо увеличить подачу газа через клапан V1, что позволит ускорить нагрев и компенсировать потерю давления пара. Изменение давления газа, подаваемого в топку котла (поз. PICAS 2) приведет к изменению режима оптимального горения, который определяется соотношением «газ-воздух».

Для этого по давлению газа (поз. PICAS 2) происходит коррекция давления воздуха (поз. PICAS 3), изменением управляющего воздействия на шиберную заслонку V2, установленную на воздуховоде в топку котла. Коррекция давления воздуха выполняется по кривой соотношения «газ-воздух», которая является оригинальной для каждой котельной установки (см. п. 2.2).

Изменение объёмов сжигаемого топлива приводит к увеличению дымовых газов и, как следствие, изменению разрежения (поз. PICAS 4) в топке котла. Компенсация изменения разрежения выполняется изменением управляющего воздействия на шибер V3, установленный на воздуховоде дымовых газов из топки котла.

## **2.2 Влияние соотношения «газ/воздух» на функционирование и производительность котельной установки**

Для полного сгорания газа, поступаемого в топку котла, необходимо вполне конкретное количество кислорода, который подается в топку в составе воздуха.

Возможные варианты соотношения:

### ***Вариант 1***

Кислорода недостаточно для полного сгорания топлива. Газ улетает в атмосферу, при этом увеличивается стоимость произведённой единицы тепла, возникают проблемы с безопасностью и т. д.

### ***Вариант 2***

Избыточная подача кислорода. Газ полностью сгорает, но часть тепла идёт на нагрев лишнего воздуха, который впоследствии греет атмосферу. Потери в таком случае могут достигать 5 и более процентов. При этом возрастают выбросы вредных веществ, основную массу которых составляют окислы азота. Избыточная подача воздуха может создать проблемы с горением, например, отрыв пламени на начальном этапе горения.

### ***Вариант 3***

Подача кислорода оптимальная. Газ полностью сгорает, потери тепла с излишне поданным воздухом минимальные. Вредные выбросы снижаются в пределах 20 ... 40 %.

Для получения оптимального соотношения «газ/воздух» проводят режимно-наладочные испытания, в ходе которых составляют режимные карты, в которых кроме всего прочего определяют оптимально соотношение.

Для построения кривой соотношения (именно кривой) газ/воздух на этапе режимно-наладочных испытаний проводят ряд следующих экспериментов. Задают давление газа в топку и, изменяя давление воздуха, добиваются минимальной концентрации угарного газа в дымовых выбросах. Эта величина жестко контролируется. Заданное давление газа и полученное давление воздуха дают координаты точки, которая лежит на кривой соотношения. Затем изменяют давление газа и получают следующую точку и т. д. Количество точек в рабочей зоне должно быть больше, что позволит повысить точность воспроизведения кривой и качество регулирования.

Но даже если кривая воспроизведена с особой тщательностью, есть множество факторов, которые отрицательно влияют на повторяемость этой кривой в различных условиях, а именно:

- Изменение температуры воздуха +30 °С до минус 30 °С вызывает изменение плотности на 24%: от 1,1644 кг/м<sup>3</sup> до 1,4511 кг/м<sup>3</sup>;
- Нестабильный состав газа, или топлива в целом;
- Износ оборудования, наличие присосов воздуха;
- Т. д.

### 3 Разработка модели котельной установки

Для идентификации котельной установки как объекта управления рассмотрим контура регулирования, взаимосвязи между ними и выполним идентификацию объекта по каждому контуру. Идентификацию выполним по переходным характеристикам (кривым разгона), которые снимем на реальном объекте.

Анализ динамики объекта показывает, что по всем каналам регулирования объект может быть идентифицирован как апериодическое звено первого порядка с чистым запаздыванием.

#### 3.1 Идентификация объектов управления по заданной переходной характеристике

Одним из распространённых способов идентификации объектов управления является графический способ по переходной характеристике или кривой разгона. Кривая разгона – это кривая, полученная в результате реакции объекта на входное ступенчатое воздействие.

Определение параметров объекта первого порядка с запаздыванием

Рассмотрим объект, описываемый дифференциальным уравнением первого порядка с запаздыванием [4]

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_0 u(t - \tau), \quad (1)$$
$$y(0) = 0.$$

Реакция такого объекта на входное ступенчатое воздействие

$$u(t) = U * 1(t), \quad (2)$$

где  $U$  – амплитуда единичного ступенчатого воздействия, будет иметь вид, представленный на рисунке 4. Требуется определить параметры  $\tau$ ,  $K_0$ ,  $T$  объекта.

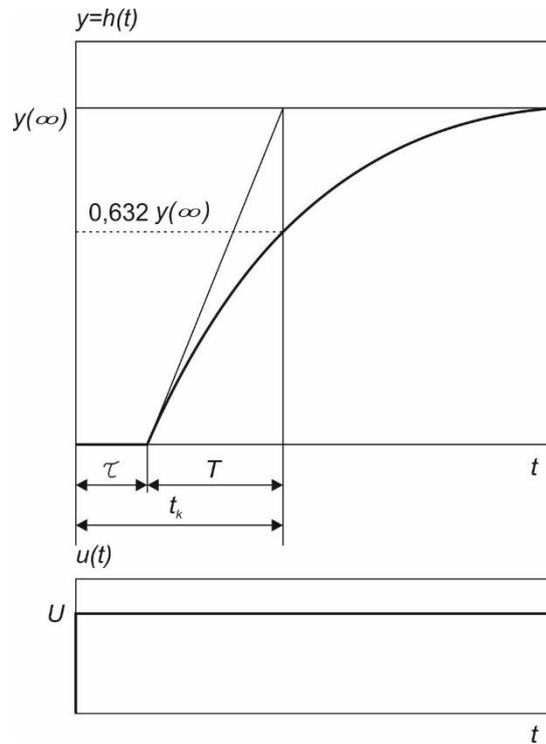


Рисунок 4 – Реакция объекта управления, имеющего функцию первого порядка с запаздыванием, на ступенчатое воздействие

Решение уравнения (1) будет иметь следующий вид:

$$y(t) = h(t) = K_0 \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}\right), t \geq \tau, \quad (3)$$

Непосредственно по рисунку 3.1 можно определить интересующие нас параметры объекта.

Время запаздывания  $\tau$  – это интервал времени от момента подачи входного ступенчатого воздействия до начала движения сигнала  $y(t)$ . Другими словами – это интервал времени, в течение которого  $u(t) \neq 0$ , а  $y(t) = 0$ .

Постоянная времени  $T$  – это время которое определяется по переходной характеристике как разность  $t_k - \tau$ , в течение которого  $y(t)$  достигает значения  $(1 - e^{-1})y(\infty)$ , что приблизительно равно 63,2% от установившегося значения  $y(\infty)$ .

Коэффициент усиления  $K_0$  определяется отношением:

$$K_0 = \frac{y(\infty)}{u(\infty)}, \quad (5)$$

то есть отношением выхода к входу в установившемся режиме.

Реальный объект с передаточной функцией первого порядка с запаздыванием:

$$W_o(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-\tau s}, \quad (6)$$

имеет несколько отличающуюся переходную характеристику (см. рисунок 5), и, тем не менее, может быть с достаточно высокой точностью идентифицирован по изложенному выше способу.

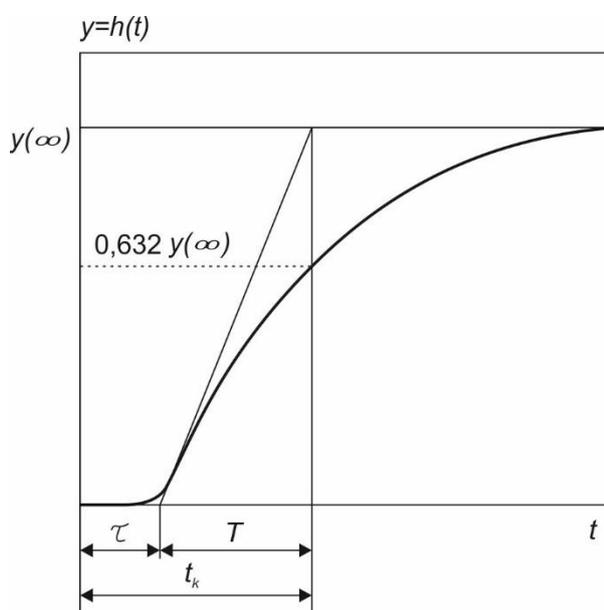


Рисунок 5 – График переходной характеристики реального объекта, имеющего передаточную функцию первого порядка с запаздыванием

### 3.2 Модель системы управления

На рисунке 6 представлена структурная схема модели системы управления котельной установкой

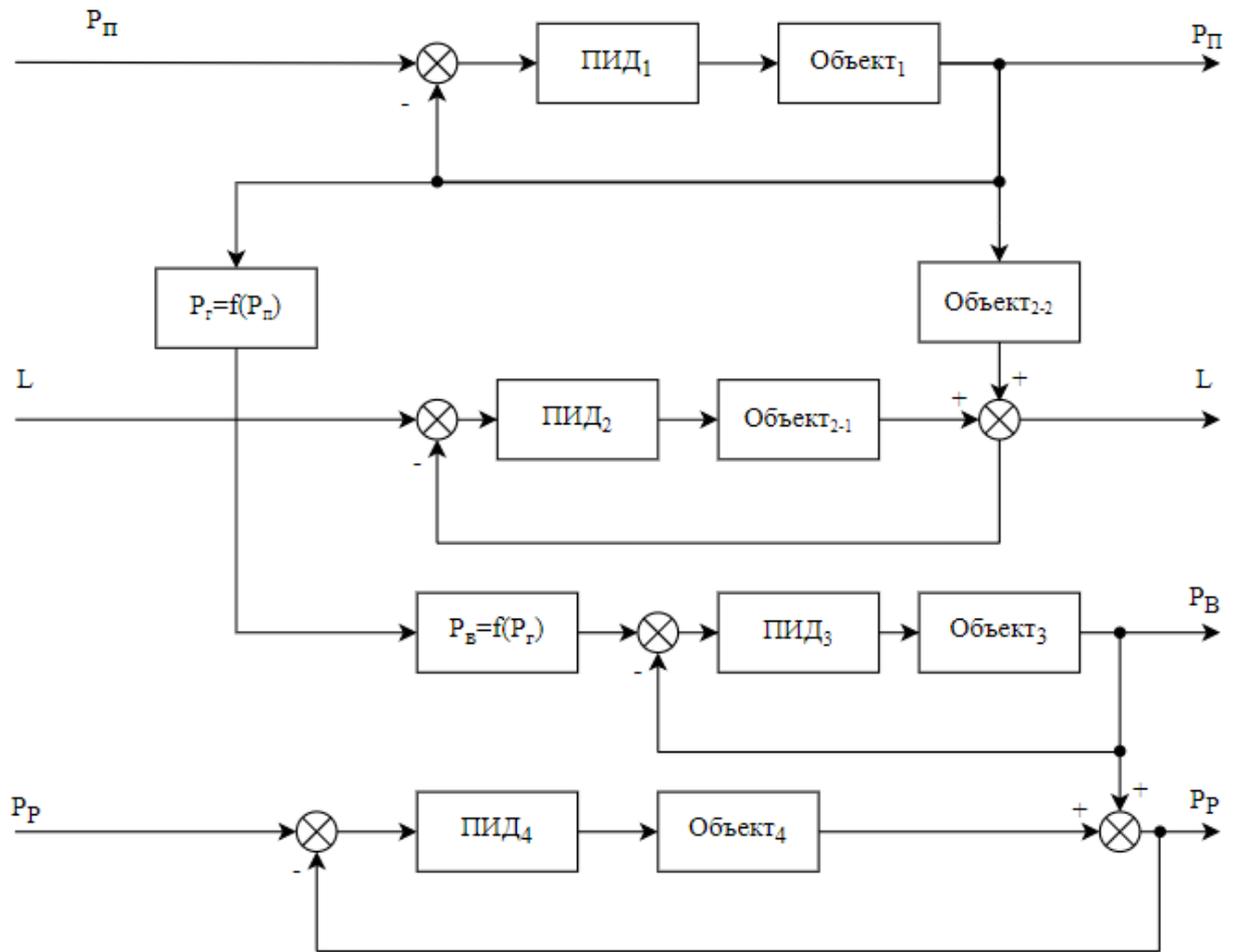


Рисунок 6 – Структурная схема

Используемые на схеме обозначения:

- $P_{\Pi}$  – давление пара в барабане котла;
- $L$  – уровень в барабане котла;
- $P_{\Gamma}$  – давление газа перед горелкой;
- $P_{В}$  – давление воздуха перед горелкой;
- $P_{Р}$  – разрежение в топке котла;
- ПИД<sub>1,2,3,4</sub> – ПИД-регуляторы;
- $P_{\Gamma} = f(P_{\Pi})$  – зависимость давления пара от давления газа;
- $P_{В} = f(P_{\Gamma})$  – зависимость давления воздуха от давления газа (кривая соотношения «газ/воздух»);

### 3.3 Рассмотрение модели $P_{г} = f(P_{п})$

В данной связи давление пара является ведомым параметром. Для того чтобы установить связь  $P_{г} = f(P_{п})$  выполнен ряд экспериментов, смысл которых заключается в определении реакции давления пара на изменение давления газа.

Суть эксперимента.

При относительно постоянной оптимальной нагрузке, определяемой расходом пара, и постоянном давлении пара ( $P_{п} = \text{const}$ ) изменяется давление газа. Все системы регулирования, связанные с расходом газа, работают штатно. Через определённое время, которое определяется длительностью переходного процесса и в данном случае составляет порядка 500 секунд, измеряется давление пара.

Ввиду того, что эксперименты на работающей установке проводить опасно, снято только две точки для оптимальной нагрузки. Данные экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость давление пара в барабане от давления газа перед горелкой

№	Параметр	Единицы измерения	Измерения	
1	Давление газа перед горелкой	кгс/м <sup>2</sup>	150	190
2	Давление пара в барабане котла	кгс/см <sup>2</sup>	9,35	9,83

Примем, что связь между давлениями описывается линейным выражением:

$$P_n = A + B \cdot P_г \quad (7)$$

Простые вычисления позволяют рассчитать величины А и В.

$$A = 7,55; B = 120.$$

Таким образом связь между давлением пара и давление газа будет определяться следующим выражением

$$P_n = 7,55 + 120 \cdot P_г$$

Для обобщенной модели требуется обратное выражение, которое связывает давление пара с давлением газа

$$P_2 = 0.0083 \cdot (P_n - 7,55).$$

### 3.4 Рассмотрение модели соотношения «газ/воздух»

Как отмечалось ранее, оптимальное соотношение «газ/воздух» определяется в процессе режимно-наладочных испытаний установки. На рисунке 7 представлена графическая зависимость  $P_B=f(P_G)$  для парокотельной установки ДКВР-10-3 №2, находящейся в эксплуатации компании ООО «Тепло Плюс» посёлка Самусь, Томской области.

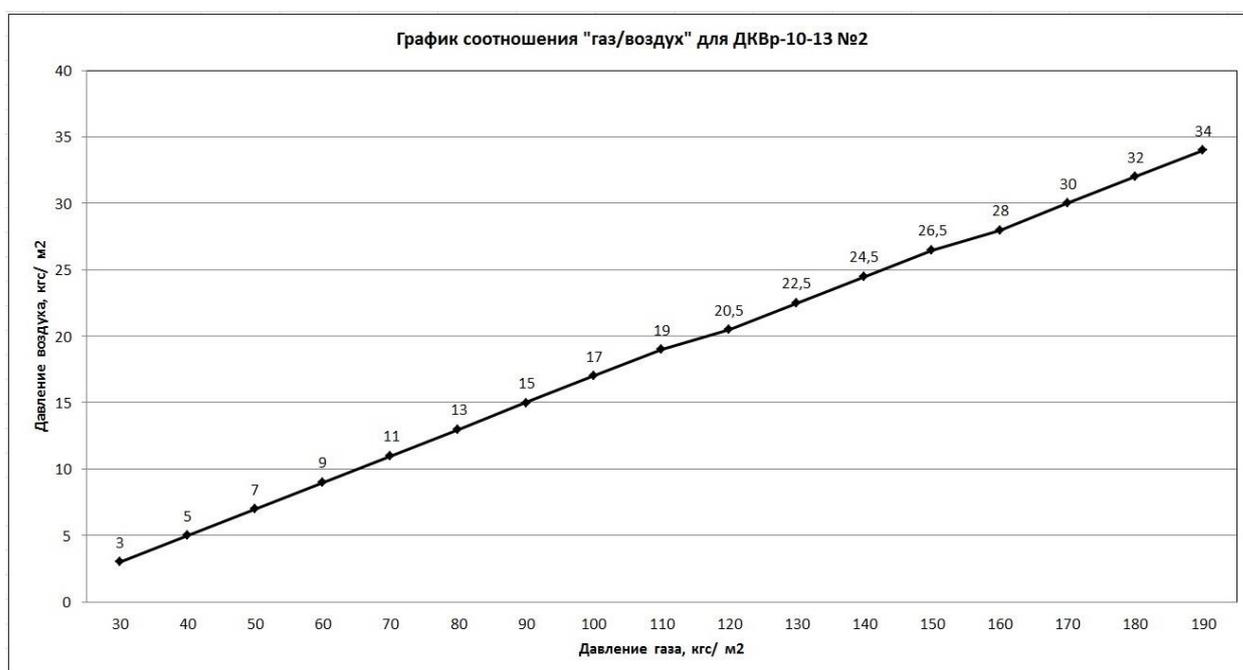


Рисунок 7 – Кривая «газ/воздух»

В области рабочих давлений воздуха (26 ... 34 кгс/м<sup>2</sup>) данное соотношение может быть с достаточно высокой точностью аппроксимировано прямой линией. В общем виде прямая описывается линейной зависимостью:

$$P(x) = A \cdot x + B; \tag{8}$$

$$A = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad (9)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - A \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (10)$$

Подставив значения в формулы 8, 9 и 10, получим:

$$A = \frac{7.262 \cdot 10^5 - 5.928 \cdot 10^5}{4.191 \cdot 10^6 - 3.497 \cdot 10^6} = 0,192;$$

$$B = \frac{317 - 359,792}{17} = -2,517;$$

$$P_{г} = -2,517 + 0,192 \cdot P_{г}.$$

### 3.5 Рассмотрение модели по каналу регулирования давления пара

Идентификация модели объекта по каналу регулирования давления пара (Объект<sub>1</sub>) выполняется графическим способом по переходной характеристике или кривой разгона в соответствии с п. 3.1.

Переходная характеристика снимается в процессе выполнения п. 3.3. При относительно постоянной оптимальной нагрузке, определяемой расходом пара, и постоянном давлении пара ( $P_{п} = \text{const}$ ) изменяется давление газа. Все системы регулирования, связанные с расходом газа, работают штатно

Переходная характеристика представлена на рисунке 8.

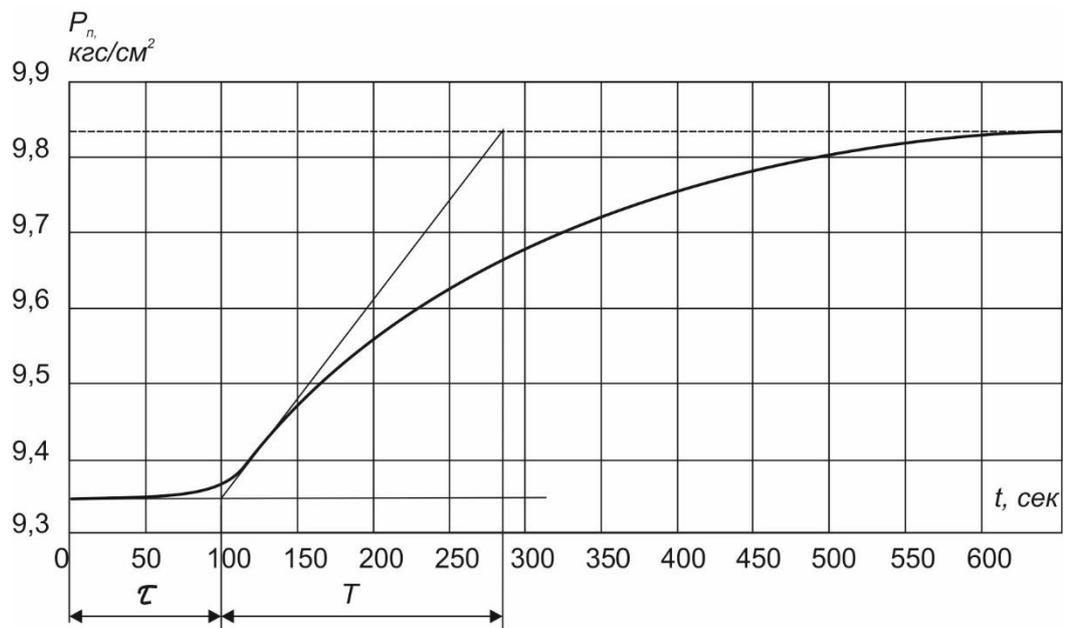


Рисунок 8 – График кривой разгона по давлению пара

По методике, изложенной в п.3.1.1 графическим методом определяем величины  $\tau$ ,  $T$  объекта. По отношению изменения выходной величины к изменению входной определяем коэффициент передачи объекта  $K_0$ . С учетом вышеизложенного передаточная функция объекта по каналу регулирования газа будет иметь следующий вид:

$$W_{\theta}(s) = \frac{120}{180s+1} e^{-100s}. \quad (11)$$

### 3.6 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования давления воздуха

Идентификация модели объекта по каналу регулирования давления воздуха (Объект<sub>3</sub>) выполняется графическим способом по переходной характеристике или кривой разгона в соответствии с п. 3.1.

На время проведения эксперимента регулятор переводится в ручное положение, обратная связь размыкается и на вход объекта подаётся ступенчатое воздействие изменением давления газа со 150 до 190 кгс/м<sup>2</sup>, что соответствует изменению давления воздуха с 26,5 до 34 кгс/м<sup>2</sup>. На рисунке 9 представлена переходная характеристика объекта регулирования.

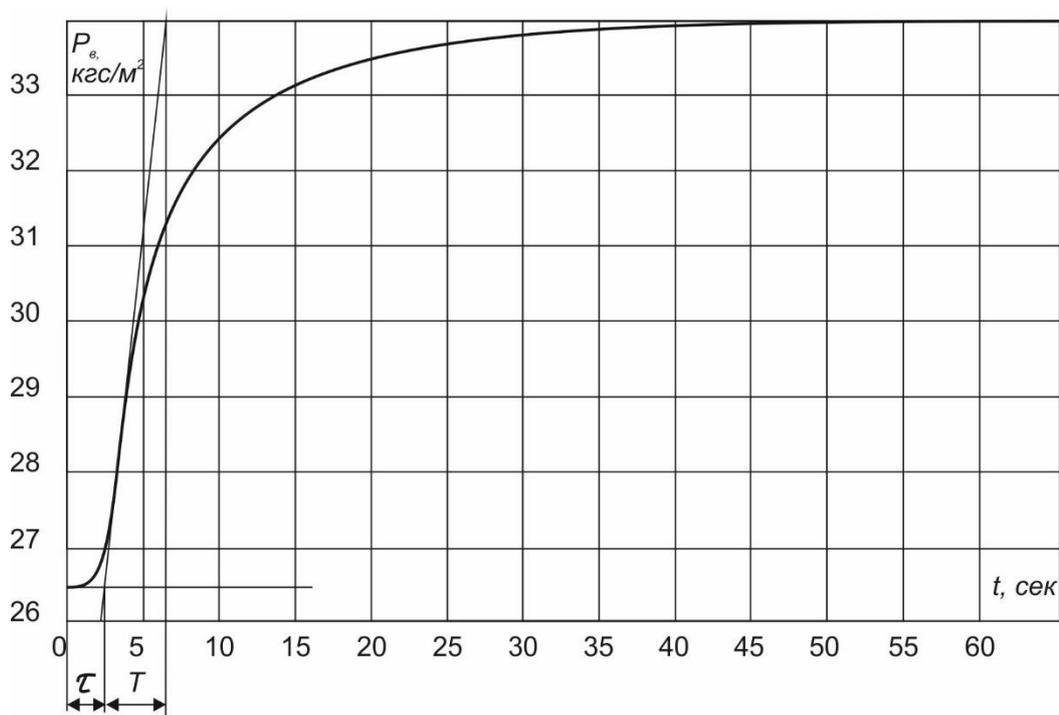


Рисунок 9 – График переходной характеристики по давлению воздуха

Аналогично пункту 3.1.5 графическим методом определяем величины  $\tau$ ,  $T$  объекта. По отношению изменения выходной величины к изменению входной определяем коэффициент передачи объекта  $K_0$ . С учетом вышеизложенного передаточную функция объекта по каналу регулирования воздуха будет иметь следующий вид:

$$W_v(s) = \frac{0,1875}{4,3s+1} e^{-2,4s} . \quad (12)$$

### 3.7 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования разрежения топки

Идентификация объекта по каналу разрежения (Объект3) выполняется перед розжигом котла. Включаются дымосос и дутьевой вентилятор. Шибром V2 устанавливается давление воздуха 25 кгс/м<sup>2</sup>. Изменением положения шибера V3 добиваются разрежения в топке, соответствующего номинальному режиму (-12 кгс/м<sup>2</sup>). Регулятор разрежения находится в ручном режиме и на работу шибера

V3 не оказывает влияния. Увеличивается давление воздуха до 35 кгс/м<sup>2</sup>. Наблюдается изменение разрежения, и снимается кривая разгона.

График кривой разгона по каналу разрежения представлен на рисунке 10.

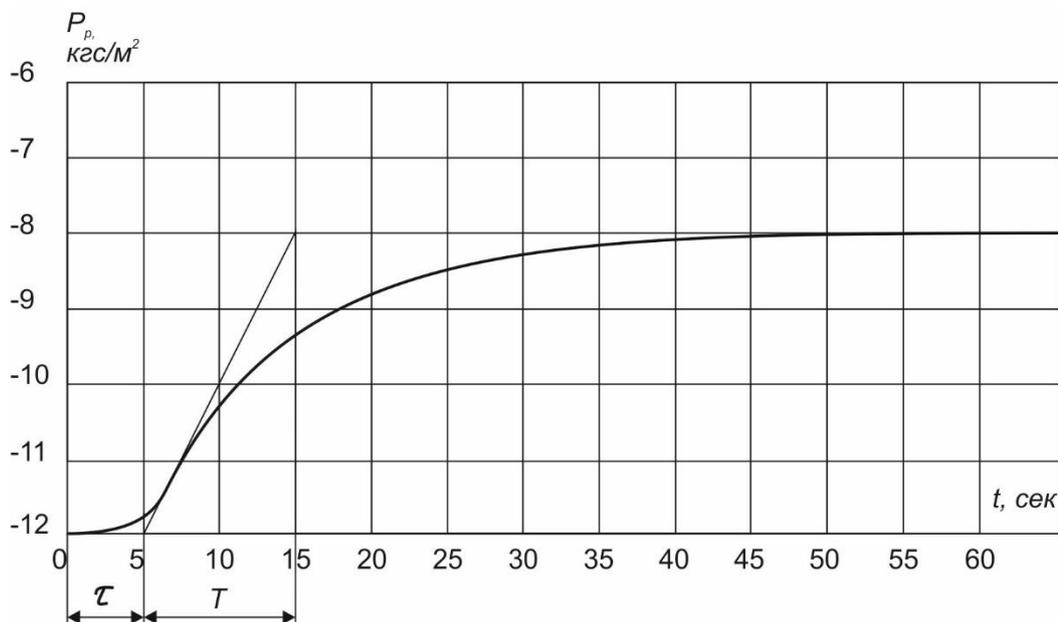


Рисунок 10 – График кривой разгона по каналу разрежения

По графику определяем величины  $\tau$ ,  $T$  объекта. По отношению изменения выходной величины к изменению входной определяем коэффициент передачи объекта  $K_0$ . С учетом вышеизложенного передаточную функцию объекта по каналу регулирования разрежения будет иметь следующий вид:

$$W_{\theta}(s) = \frac{0,4}{10s+1} e^{-5s}. \quad (13)$$

### 3.8 Рассмотрение модели объекта по каналу регулирования уровня в барабане

Регулятор уровня – это относительно независимый регулятор в котельной установке, возмущающее воздействие на который оказывает изменение давления пара (нагрузки). Регулятор работает как классический регулятор по отклонению. Управляющее воздействие на регулирующий орган формируется таким образом, чтобы уменьшить разность между заданием и сигналом обратной связи.

Модель барабана (Объект<sub>2-1</sub>) в соответствии с [5] представлена в виде апериодического звена 1-го порядка с постоянной времени, приближенной к времени заполнения барабана:

$$W_{\sigma}(s) = \frac{12}{100s+1} e^{-3s}. \quad (14)$$

Модель также включает звено, имитирующее явление "набухания" уровня (Объект<sub>2-2</sub>). В соответствии со справочными данными модель по этому каналу выглядит оно следующим образом:

$$W_{\sigma}(s) = \frac{k_H}{T_H s + 1}, \quad (15)$$

где  $k_H$  – скорость «набухания»;

$T_H$  – постоянная времени «набухания».

В соответствии с [5]

$$W_{\sigma}(s) = \frac{7}{s+1}. \quad (16)$$

## 4 Моделирование системы в Matlab Simulink

Моделирование системы управления котельной установкой выполняется в пакете программ MATLAB SimuLink. Настройка регуляторов выполняется методом Циглера - Никольса.

### 4.1 Реализация операторно-структурной схемы

Пакет Simulink содержит несколько инструментов, позволяющих с той или иной степенью точности проводить настройку ПИД-регуляторов по математическим моделям объектов управления.

Вероятно, самым простым является метод, базирующийся на использовании блоков PID-Controller в Simulink и на алгоритме настройки ПИД-регуляторов в интерфейсе Simulink Control Design.

На основании разработанной структуры модели системы управления (рисунок 6) составим операторно-структурную схему, заменив элементы на описанные объекты управления. Данная схема изображена на рисунке 11.

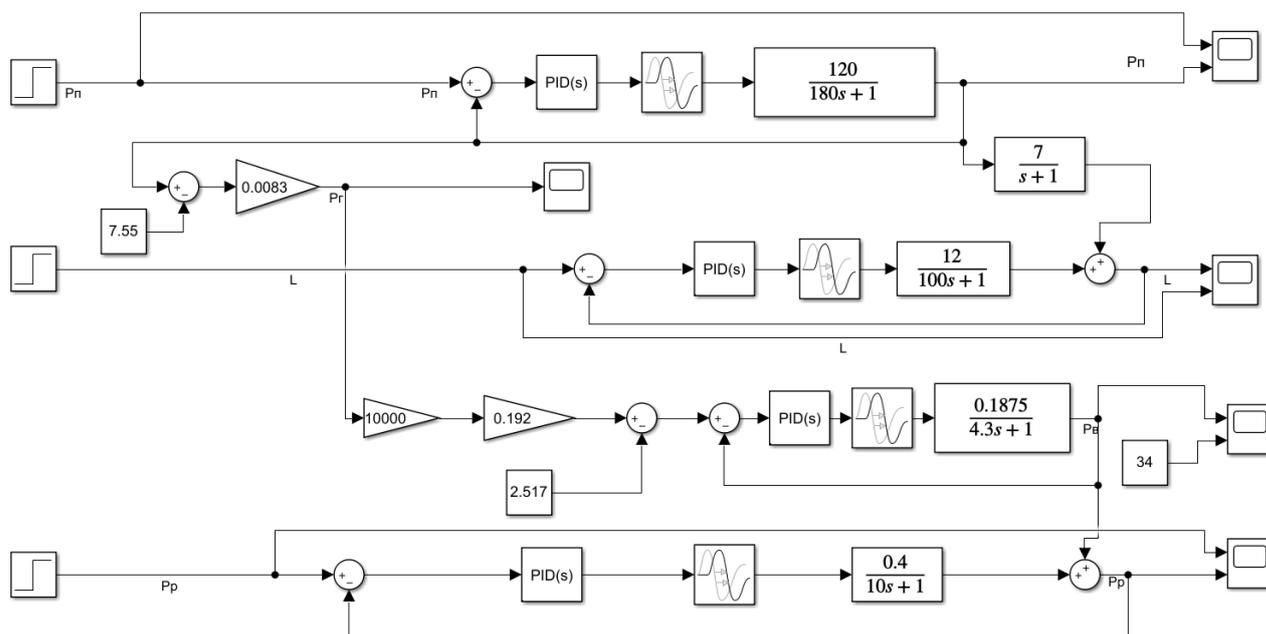


Рисунок 11 – Операторно-структурная схема

### 4.2 Расчет коэффициентов регуляторов методом Циглера-Никольса

В классической теории автоматического управления структура регулятора выбирается исходя из модели объекта управления. При этом сложные

объекты управления требуют применения сложных регуляторов. Однако на практике, в подавляющем большинстве случаев, регулирование сводится к использованию ПИД-регуляторов, имеющих следующий вид:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (17)$$

где  $k_p$  – коэффициент пропорциональности регулятора;

$k_i$  – интегральный коэффициент;

$k_d$  – дифференциальный коэффициент.

ПИД-регуляторы не всегда обеспечивают требуемое качество регулирования, но благодаря простоте своей структуры и большому количеству теоретических и практических методов их настройки ПИД-регуляторы являются основными в практическом применении [7].

Метод настройки Циглера-Никольса – это эвристический метод настройки ПИД-регулятора. Его разработали Джон Г. Циглер и Натаниэль Б. Никольс. Это выполняется путем установки коэффициентов усиления I (интеграл) и D (производная) на ноль. Затем коэффициент усиления «P» (пропорциональный) увеличивается (с нуля) до тех пор, пока он не достигнет предельного коэффициента усиления, при котором на выходе контура управления будут стабильные и последовательные колебания. Затем период колебаний используется для установки коэффициентов усиления P, I и D в зависимости от типа используемого контроллера и желаемого поведения:  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ .

Наибольшую известность получили два варианта настройки параметров регулятора по методу Циглера–Никольса.

#### **4.2.1 Первый способ настройки регулятора**

Настройка регулятора начинается с медленного увеличения коэффициента пропорциональности  $K_p$  П-регулятора до появления на выходе

системы установившихся колебаний с постоянной амплитудой. Появление таких колебаний в системе свидетельствует о её выходе на границу устойчивости.

Для такого состояния системы фиксируется коэффициент пропорциональности  $K_{\Pi}^*$  и период установившихся колебаний  $T^*$  [6].

Значение параметров регулятора рассчитываются по формулам, представленным в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры типовых регуляторов

Тип регулятора	$K_{\Pi}$	$K_{И}$	$K_{Д}$
П-регулятор	$0,5K_{\Pi}^*$		
ПИ-регулятор	$0,45K_{\Pi}^*$	$0,54K_{\Pi}^*/T^*$	
ПИД-регулятор	$0,60K_{\Pi}^*$	$1,2K_{\Pi}^*/T^*$	$0,075K_{\Pi}^* * T^*$

Недостатком этого варианта является необходимость выводить реальный объект на границу устойчивости, что во многих случаях делать не рекомендуется.

#### 4.2.2 Второй способ настройки регулятора

Способ настройки параметров регулятора использует реакцию объекта на ступенчатое управляющее воздействие. Этот способ тоже отрицательно влияет на состояние объекта, особенно когда он многосвязный, но последствия таких экспериментов для объекта менее значимые, чем в первом случае.

Реакцией объекта на такое воздействие является переходная характеристика или кривая разгона. Объекты управления, имеющие апериодическую кривую разгона, как на рисунке 12, представляются в виде последовательного соединения апериодического и запаздывающего звеньев.

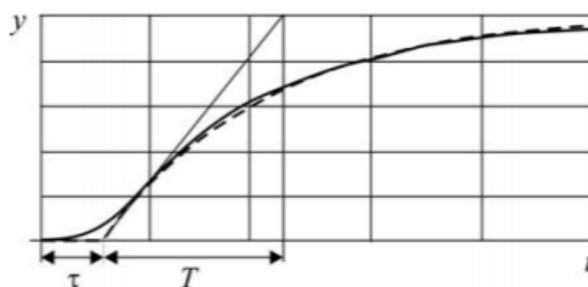


Рисунок 12 – Апериодическая кривая разгона

Формулы для расчёта коэффициентов ПИД–регулятора сведены в таблицу 5[6].

Таблица 5 – Параметры типовых регуляторов по второму способу

Тип регулятора	$K_P$	$K_I$	$K_D$
П-регулятор	$T/K_0 \tau$		
ПИ-регулятор	$0,9T/K_0 \tau$	$0,3T/K_0 \tau^2$	
ПИД-регулятор	$1,2T/K_0 \tau$	$0,6T/K_0 \tau^2$	$0,6T/K_0$

Регуляторы, параметры которых рассчитаны по методу Циглера – Никольса, не всегда обеспечивают требуемое качество процесса регулирования. Как правило, требуется дополнительная подстройка их параметров. Несмотря на это, метод Циглера–Никольса и некоторые его модификации весьма популярны, и многие производители регуляторов рекомендуют их для настройки регуляторов [8].

#### 4.3 Критерии оценки качества регулирования

Паровой котёл, как объект регулирования, сочетает в себе как быстродействующие каналы регулирования, так и достаточно медленнодействующие. По виду передаточной функции объекта к быстродействующим каналам регулирования относятся каналы регулирования:

- Разрежения в топке;
- Воздуха перед горелкой;

- Уровня в барабане.

К медленнодействующим регулятором относится регулятор пара.

Проведём настройку регуляторов для всех каналов, причем рассмотрим случаи использования ПИ и ПИД регуляторов.

Для оценки качества регулирования примем следующие критерии:

- Перерегулирование  $\sigma$ , отношение разности максимального выбега выходной величины  $Y_{\max}$  и установившегося значения  $Y_{уст}$  к установившемуся значению, выраженное в процентах

$$\sigma = \frac{Y_{\max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% ; \quad (18)$$

- Время регулирования  $t_p$  - минимальное время, от момента действия входного сигнала до момента, после которого выходной сигнал не выходит из заранее заданной зоны.

Первый показатель характеризует устойчивость системы, а второй её быстродействие.

#### 4.4 Канал регулирования давления пара

Расчет коэффициентов выполним в соответствии со вторым способом, основанным на использовании коэффициентов объекта, полученных по переходной характеристике

Модель по каналу давления пара, полученная в п. 3.1.5 имеет следующий вид согласно формуле 11:

$$W_{\sigma}(s) = \frac{120}{180s + 1} e^{-100s},$$

где  $K_o$  – коэффициент передачи объекта;

$T$  – постоянная времени объекта;

$\tau$  – время запаздывания объекта.

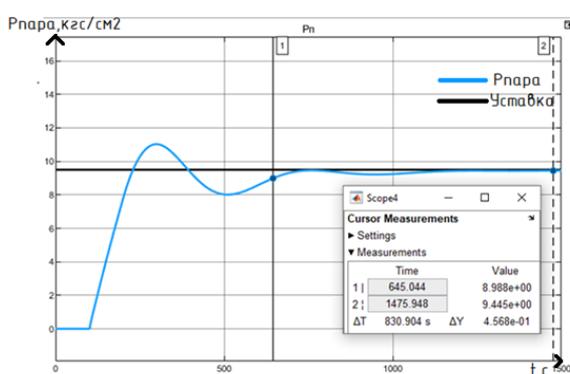
В таблице 6 приведены коэффициенты ПИ и ПИД регуляторов.

Таблица 6 – Коэффициенты регуляторов по каналу давления пара

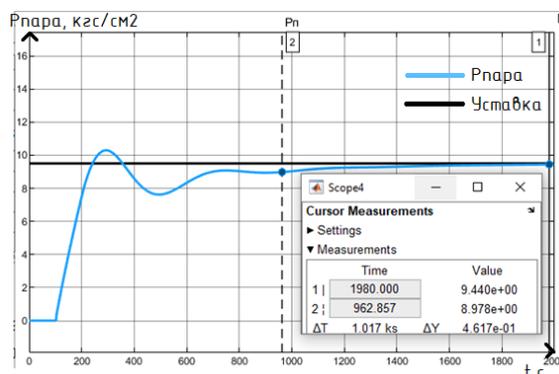
Тип регулятора	$K_P$	$K_I$	$K_D$
П-регулятор	0,015		
ПИ-регулятор	0,0135	0,000045	
ПИД-регулятор	0,018	0,00009	0,9

#### 4.4.1 Канал регулирования давления с ПИ-регулятором

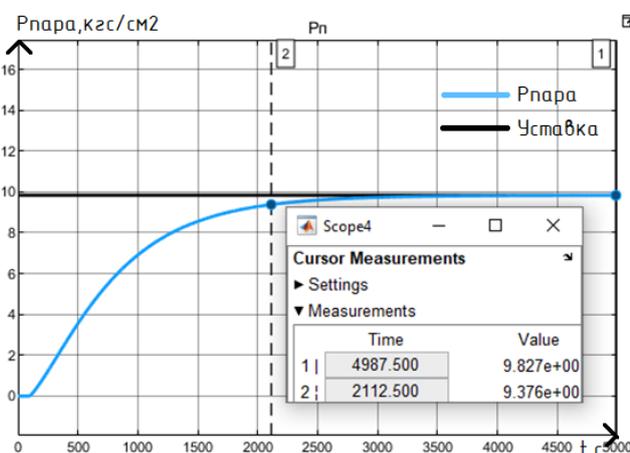
Выполним моделирование объекта управления по каналу регулирования давления пара ПИ-регулятором. Результаты моделирования представлены на рисунках 13 а, б, в.



а)  $K_P=0,0135$ ,  $K_I=0,000045$



б)  $K_P=0,0135$ ,  $K_I=0,000035$



в)  $K_P=0,001$ ,  $K_I=0,00001$

Рисунок 13 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования пара с ПИ-регулятором

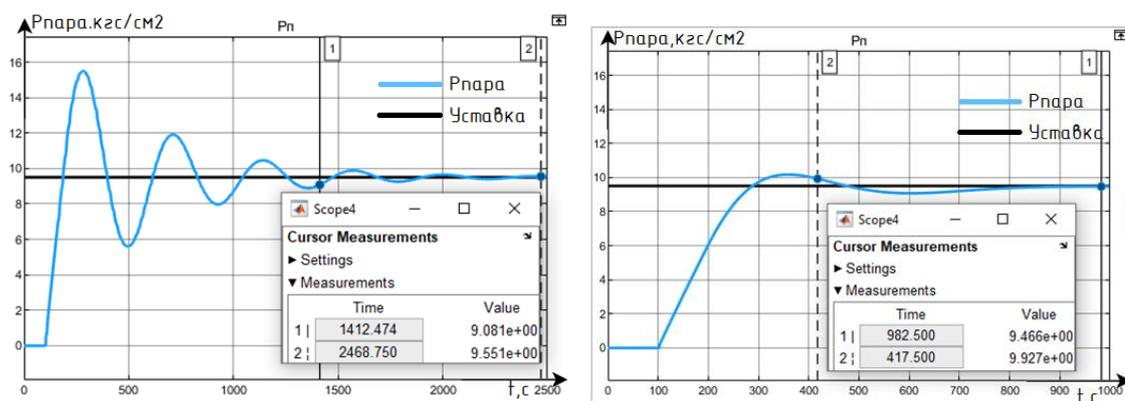
Критерии качества регулирования отображены в таблице 7

Таблица 7 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma$ , %	16,7	9	0
$t_p$ , с	645	963	2112,5

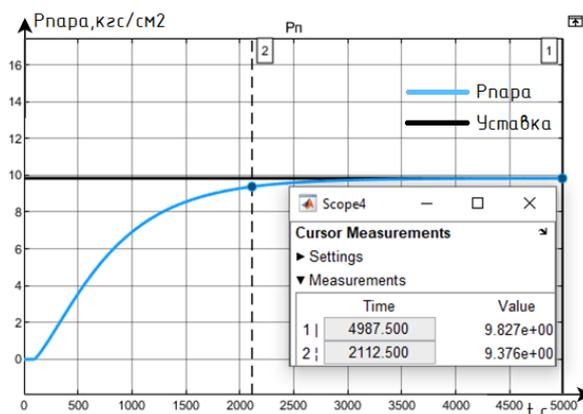
#### 4.4.2 Канал регулирования давления пара с ПИД-регулятором

Выполним аналогичное моделирование объекта управления по каналу регулирования давления пара ПИД-регулятором. Результаты моделирования представлены на рисунках 14 а, б, в.



а)  $K_P=0,018$ ,  $K_I=0,00009$ ,  $K_D=0,9$

б)  $K_P=0,010$ ,  $K_I=0,000045$ ,  $K_D=0,9$



в)  $K_P=0,001$ ,  $K_I=0,00001$ ,  $K_D=0,9$

Рисунок 14 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования давления пара с ПИД-регулятором

Критерии качества регулирования отображены в таблице 8.

Таблица 8 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma, \%$	62	7,4	0
$t_p, c$	1412	417	2112,5

Из-за того, что процесс изменения давления в барабане котла при нагреве достаточно медленный ПИ и ПИД – регулятор показывают достаточно хорошие результаты. Отталкиваясь от графиков можно также увидеть, что Д составляющая регулятора не повлияла на поведение графика. Следует отметить, что после расчета коэффициентов методом Циглера-Никольса выполнена интуитивная коррекция пропорциональных и интегральных коэффициентов в сторону уменьшения.

#### 4.5 Канал регулирования давления воздуха

Согласно формуле 12 модель по каналу регулирования давления воздуха, полученная в п. 3.6 имеет следующий вид:

$$W_e(s) = \frac{0,1875}{4,3s + 1} e^{-2,4s},$$

где  $K_o$  – коэффициент передачи объекта;

$T$  – постоянная времени объекта;

$\tau$  – время запаздывания объекта.

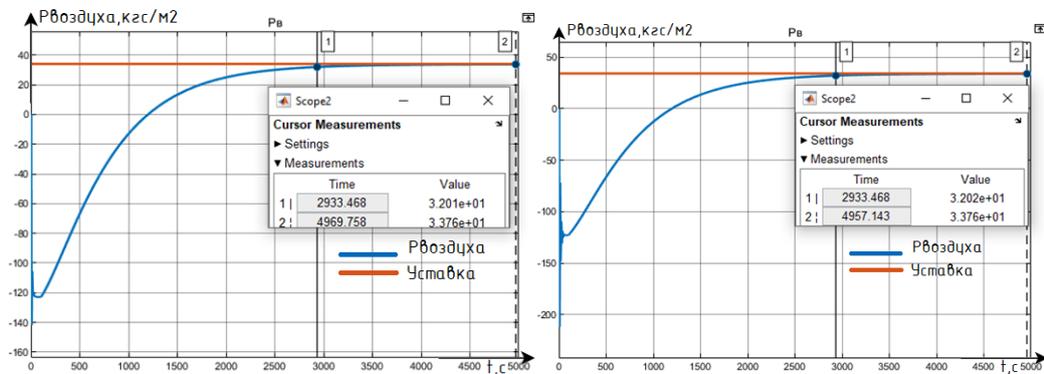
В таблице 9 приведены коэффициенты ПИ и ПИД регуляторов, рассчитанные в соответствие со вторым способом Циглера-Никольса.

Таблица 9 – Коэффициенты регуляторов для канала регулирования давления воздуха

Тип регулятора	$K_p$	$K_i$	$K_d$
П-регулятор	9,56		
ПИ-регулятор	8,6	1,19	
ПИД-регулятор	11,47	2,39	13,76

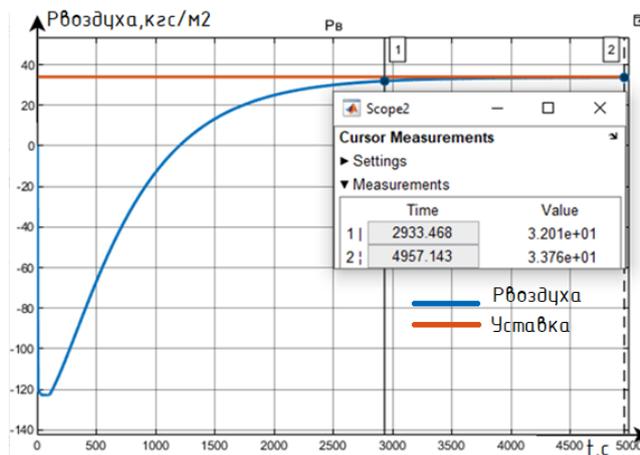
### 4.5.1 Канал регулирования давления воздуха с ПИ-регулятором

На рисунках 15 а, б, в представлены результаты моделирования системы регулирования давления воздуха с ПИ-регулятором.



а)  $K_p=8,6, K_i=1,19$

б)  $K_p=10, K_i=3$



в)  $K_p=5, K_i=1$

Рисунок 15 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования давления воздуха с ПИ-регулятором

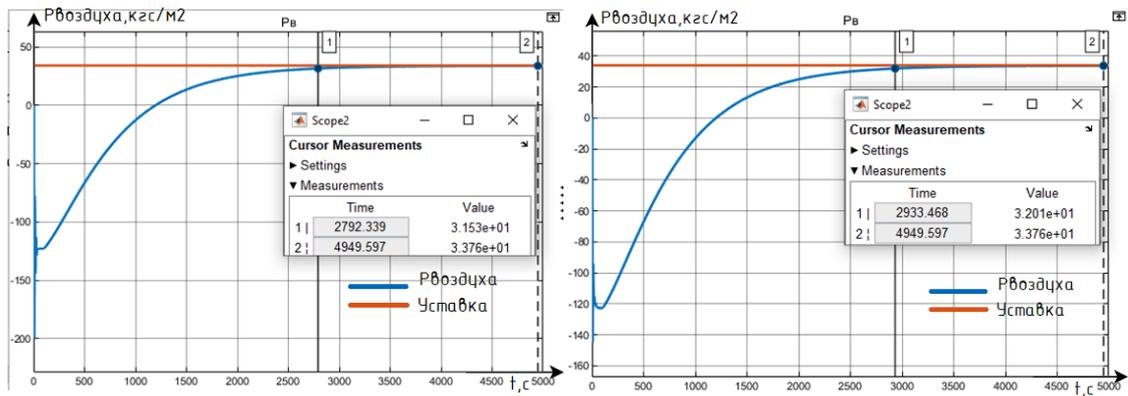
Критерии качества регулирования отображены в таблице 10

Таблица 10 – Критерии качества

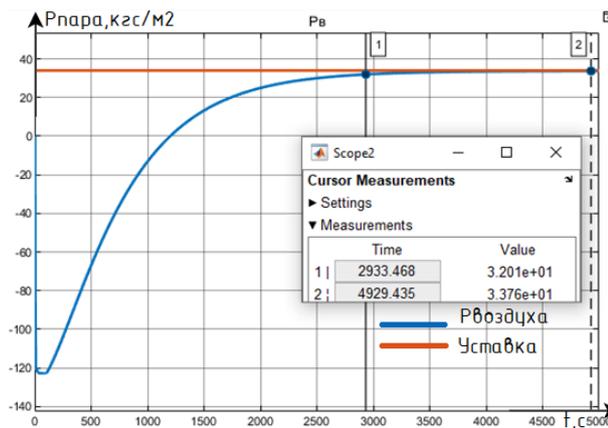
Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma, \%$	0	0	0
$t_p, c$	2933,5	2933,5	2933,5

### 4.5.2 Канал регулирования давления воздуха с ПИД-регулятором

На рисунках 16 а, б, в представлены результаты моделирования системы регулирования давления воздуха с ПИД-регулятором.



а)  $K_P=11,47$ ,  $K_I=2,39$ ,  $K_D=13,76$       б)  $K_P=10$ ,  $K_I=1$ ,  $K_D=13,76$



в)  $K_P=5$ ,  $K_I=1$ ,  $K_D=13,76$

Рисунок 16 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования давления воздуха с ПИД-регулятором

Критерии качества регулирования отображены в таблице 11

Таблица 11 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma$ , %	0	0	0
$t_p$ , с	2933,5	2933,5	2933,5

ПИ и ПИД – регуляторы показывают достаточно хорошие результаты. Отталкиваясь от графиков можно также увидеть, что Д составляющая регулятора не повлияла на поведение графика. После расчета коэффициентов методом Циглера-Никольса выполнена интуитивная коррекция коэффициента пропорциональности и интегрирования в сторону уменьшения. Однако, в силу того, что контур давления воздуха завязан на изменении давления пара, то

изменения в контуре регуляции давления пара вызывают сходные изменения в контуре управления давлением воздуха.

#### 4.6 Канал регулирования разрежения в топке котла

Согласно формуле 13 модель по каналу регулирования разрежения, полученная в п. 3.1.7 имеет следующий вид:

$$W_e(s) = \frac{0,4}{10s + 1} e^{-5s},$$

где  $K_o$  – коэффициент передачи объекта;

$T$  – постоянная времени объекта;

$\tau$  – время запаздывания объекта.

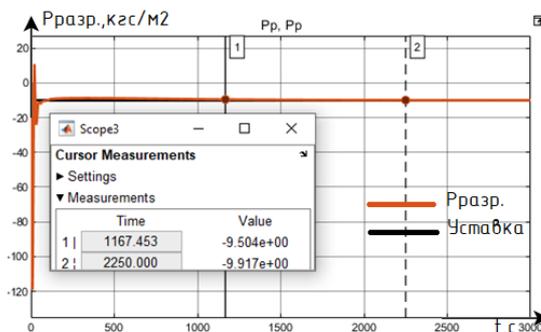
В таблице 12 приведены коэффициенты ПИ и ПИД регуляторов, рассчитанные в соответствии со вторым способом Циглера-Никольса.

Таблица 12 – Коэффициенты регуляторов для канала разрежения в топке котла

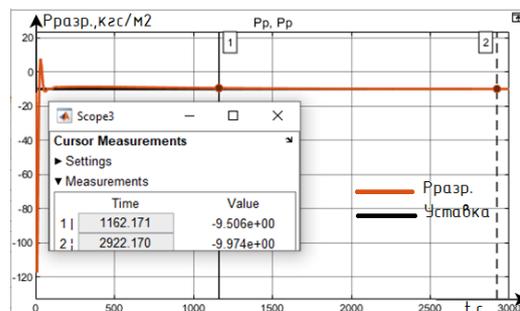
Тип регулятора	$K_{\text{П}}$	$K_{\text{И}}$	$K_{\text{Д}}$
П-регулятор	5		
ПИ-регулятор	4,5	0,3	
ПИД-регулятор	6	0,6	15

##### 4.6.1 Канал регулирования разрежения с ПИ-регулятором

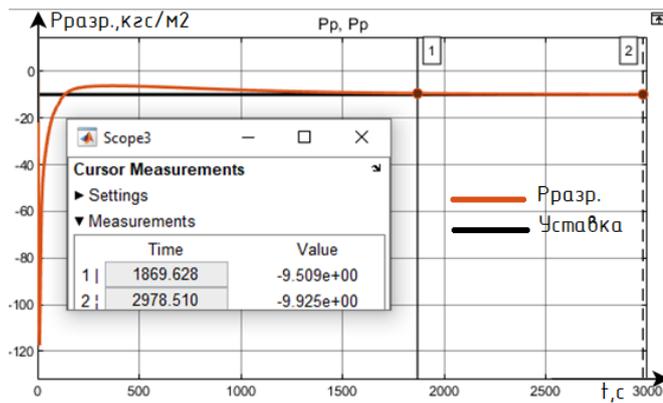
На рисунках 17 а, б, в представлены результаты моделирования системы регулирования разрежения в топке котла с ПИ-регулятором.



а)  $K_{\text{П}}=4, K_{\text{И}}=0.3$



б)  $K_{\text{П}}=2, K_{\text{И}}=0.3$



в)  $K_{II}=2, K_{I}=0.1$

Рисунок 17 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИ-регулятором

Критерии качества регулирования отображены в таблице 13.

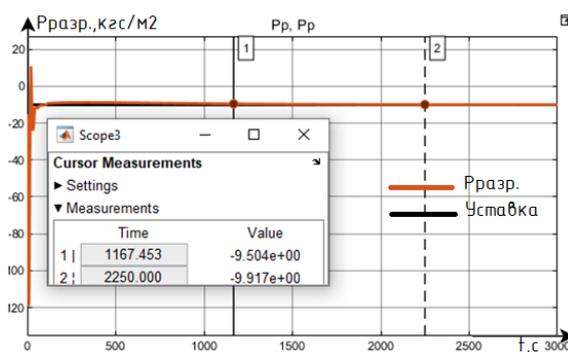
Таблица 13 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma, \%$	226	15	0
$t_p, с$	1167	1162	1869

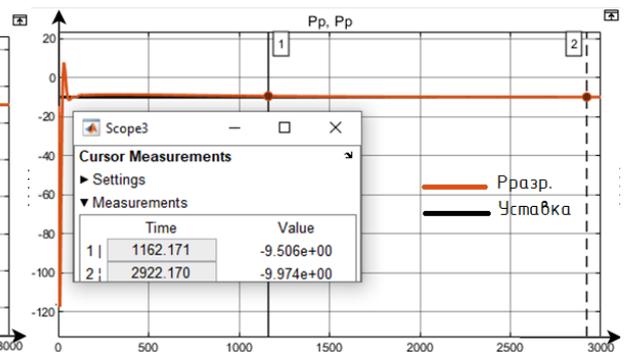
#### 4.6.3 Канал регулирования разрежения с ПИД-регулятором

Аналогичное моделирование выполнено для объекта с ПИД - регулятором.

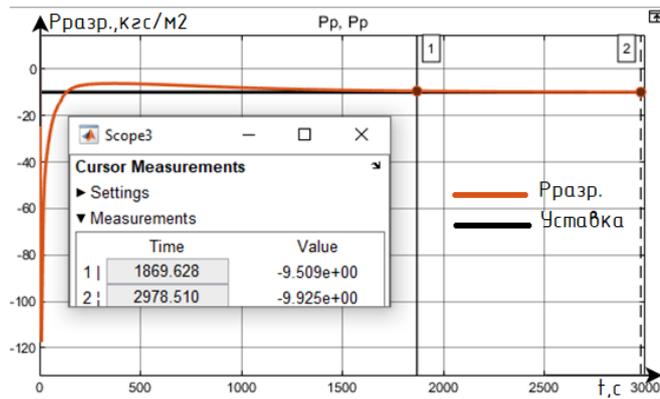
Результаты моделирования представлены на рисунке 18 а, б, в .



а)  $K_{II}=6, K_{I}=0.6, K_{D}=15$



б)  $K_{II}=2, K_{I}=0.3, K_{D}=15$



в)  $K_{\text{П}}=2, K_{\text{И}}=0.1, K_{\text{Д}}=15$

Рисунок 18 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором

Критерии качества регулирования отображены в таблице 14.

Таблица 14 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma, \%$	226	15	0
$t_p, \text{с}$	1167	1162	1869

Как и в предыдущем случае ПИ и ПИД – регуляторы показывают достаточно хорошие результаты, но при условии коррекции коэффициентов после расчетов, полученных методом Циглера-Никольса. Отталкиваясь от графиков можно также увидеть, что Д составляющая регулятора не повлияла на поведение графика.

#### 4.7 Канал регулирования уровня

Согласно формуле 14 модель по каналу регулирования разрежения, полученная в п. 3.8 имеет следующий вид:

$$W_o(s) = \frac{12}{100s + 1} e^{-3s},$$

где  $K_o$  – коэффициент передачи объекта;

$T$  – постоянная времени объекта;

$\tau$  – время запаздывания объекта.

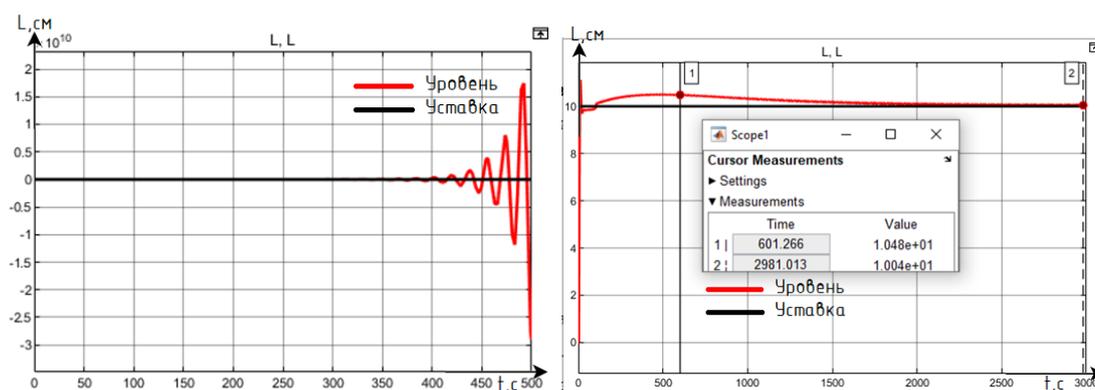
В таблице 15 приведены коэффициенты ПИ и ПИД регуляторов, рассчитанные в соответствии со вторым способом Циглера-Никольса.

Таблица 15 – Коэффициенты регуляторов для канала регулирования уровня в барабане котла

Тип регулятора	$K_P$	$K_I$	$K_D$
П-регулятор	2,8		
ПИ-регулятор	2,5	0,83	
ПИД-регулятор	3,33	0,56	5

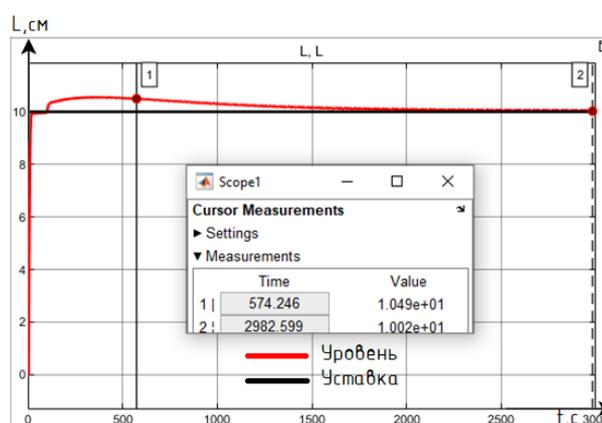
#### 4.7.1 Канал регулирования уровня с ПИ-регулятором

На рисунках 19 а, б, в представлены результаты моделирования системы регулирования уровня в барабане котла с ПИ-регулятором.



а)  $K_P=2.5, K_I=0.83$

б)  $K_P=1.7, K_I=0.01$



в)  $K_P=1.1, K_I=0.01$

Рисунок 19 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования уровня с ПИ-регулятором

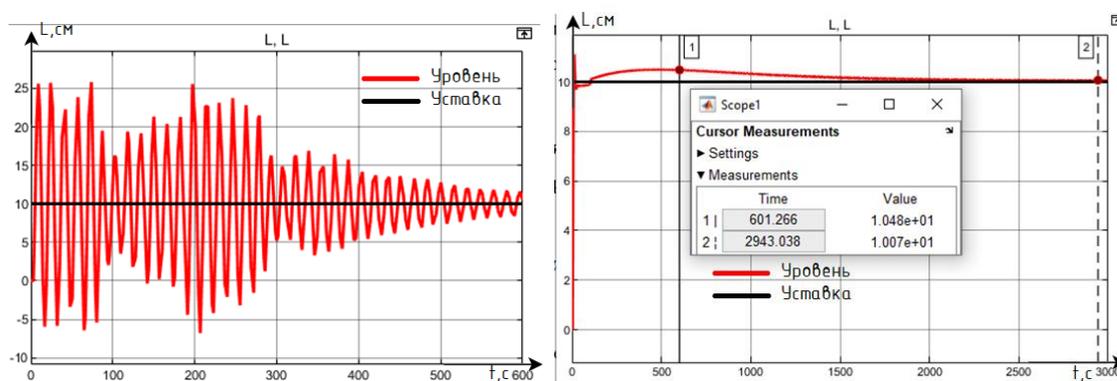
Критерии качества регулирования отображены в таблице 16.

Таблица 16 – Критерии качества

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma$ , %	-	10	5,5
$t_p$ , с	-	601	574

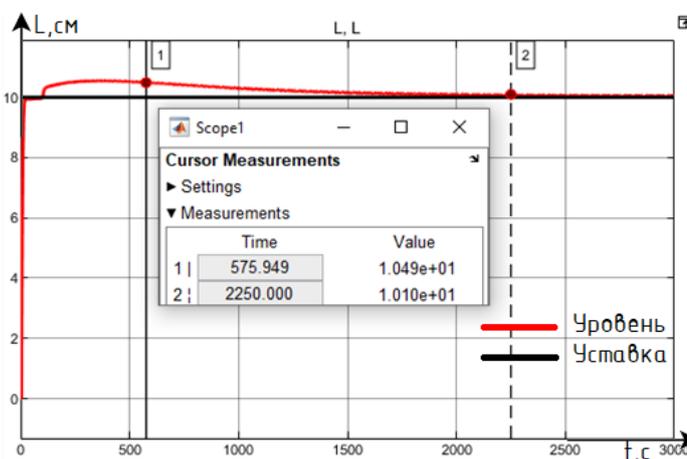
#### 4.7.2 Канал регулирования уровня с ПИД-регулятором

На рисунках 20 а, б, в представлены результаты моделирования системы регулирования уровня в барабане котла с ПИД-регулятором.



а)  $K_P=3,33$ ,  $K_I=0,56$   $K_D=5$

б)  $K_P=1.7$ ,  $K_I=0,01$   $K_D=5$



в)  $K_P=1.1$ ,  $K_I=0,01$   $K_D=5$

Рисунок 20 – Переходная характеристика системы по каналу регулирования уровня с ПИ-регулятором

Критерии качества регулирования отображены в таблице 15.

Таблица 15 – Критерии регулирования

Критерий	Параметры а	Параметры б	Параметры в
$\sigma$ , %	-	10	5,5
$t_p$ , с	-	601	576

Как и в предыдущем случае ПИ и ПИД – регуляторы могут быть использованы для регулирования уровня при соответствующей настройке коэффициентов. Рассчитанные коэффициенты не смогли обеспечить требуемых параметров качества регулирования, поэтому была выполнена интуитивная коррекция параметров регуляторов. Можно заметить, что Д составляющая также не вносит вклад в регулирование уровня в барабане котла.

## **5 Анализ полученных результатов**

В ходе выполнения основного раздела выпускной квалификационной работы было произведено моделирование системы регулирования парокотельной установки ДКВР-10-3 №2, находящейся в эксплуатации компании ООО «Тепло Плюс» посёлка Самусь, Томской области.

В ходе работы была детально изучена конструкция теплового котла, составлена функциональная схема автоматизации котельной установки и описано взаимодействие её составных частей.

Была составлена общая модель системы управления котельной установки и осуществлена идентификация передаточных функций объектов управления по их переходным характеристикам (кривым разгона).

Были определены взаимные связи каналов регулирования.

Полученная модель системы была смоделирована в математическом пакете Matlab Simulink, произведена настройка ПИД-регуляторов для каждого из каналов регулирования методом Циглера-Никольса, после чего были получены графики переходных процессов и зафиксированы показатели регулирования.

Основное влияние на показатели качества оказывают коэффициент пропорциональности и интегральный коэффициент, в то время как коэффициент дифференцирования практически не влияет на качество.

Этот факт даёт возможность рекомендовать к практическому использованию ПИ-регуляторы.

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Объектом разработки является моделируемая система регулирования котельной установки. Потенциальными потребителями системы регулирования котельной установки могут выступать промышленные предприятия, объекты жилищно-коммунальной сферы (котельные), лаборатории.

В таблице 16 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности.

Таблица 16 – Карта сегментирования рынка

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Объекты ЖКХ	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят средние предприятия пищевой и химической промышленности, объекты ЖКХ, мелкие лаборатории. Для использования в более крупных организациях требуется внедрить в систему поддержку промышленных сетей и настроить взаимодействие со SCADA-системами.

### **6.2 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Московский завод тепловой автоматики «МЗТА» предлагает готовые решения, в частности для автоматизации котельных и тепловых узлов, на

собственном программно-техническом комплексе (ПТК «Контар») и обеспечивает комплексную автоматизацию тепловых объектов.

В таблице 17 отражена оценочная карта для сравнения разработок конкурентов.

Таблица 17 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес Критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,12	5	4	0,6	0,48
2. Удобство в эксплуатации	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Надежность	0,03	5	5	0,15	0,15
4. Безопасность	0,12	5	3	0,6	0,36
5. Точность измерений	0,1	5	5	0,5	0,5
6. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,09	5	5	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена	0,2	5	3	1	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,07	5	5	0,35	0,35
Доступность	0,1	5	5	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>4,8</b>	<b>4,04</b>

Анализ конкурентных технических решений рассчитываем по формуле (19):

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (19)$$

где,  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений (разработок). Исходя из расчётов, сделанных выше, можно сделать вывод, что разработка имеет высокий уровень конкурентоспособности.

Позиции конкурентов особенно уязвимы в степени проникновения на рынок. Кроме того, уязвимостью является предполагаемый срок эксплуатации разработки. Конкурентное преимущество устройства в функциональной мощности, сроке выхода на рынок и конкурентоспособности.

### 6.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап – описание сильных и слабых сторон проекта, а также обнаружение возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 18 – Матрица SWOT. Первый этап

	<p><b>Сильные стороны:</b>  <b>С1.</b> Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).  <b>С2.</b> Функциональная мощность (предоставляемые возможности).  <b>С3.</b> Конкурентоспособность продукта.  <b>С4.</b> Срок выхода на рынок.  <b>С5.</b> Наличие опытного руководителя</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  <b>Сл1.</b> Отсутствие прототипа научной разработки.  <b>Сл2.</b> Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.  <b>Сл3.</b> Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания ПО.  <b>Сл4.</b> Уровень проникновения на рынок.  <b>Сл5.</b> Большой срок поставок плат, используемы для проведения научного исследования.</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 18

<p><b>Возможности:</b>  <b>В1.</b> Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.  <b>В2.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.  <b>В3.</b> Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  <b>У1.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства.  <b>У2.</b> Развитая конкуренция производителей ПО.  <b>У3.</b> Ограничения памяти регулятора и контроллера.  <b>У4.</b> Ограничения регулятора и контроллера.</p>		

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды.

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности	В1	+	+	+	0	+	+	+	+	-	-
	В2	+	+	+	+	0	-	-	-	+	-
	В3	-	+	+	0	0	0	-	-	+	-
Угрозы проекта	У1	-	+	0	0	0	-	-	-	-	-
	У2	0	+	+	+	+	-	-	+	-	-
	У3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	У4	0	-	-	-	+	-	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: В1С1С2С3С5; В2С3С4. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

Итоговая матрица SWOT будет выглядеть следующим образом:

Таблица 20 – Итоговая матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны:</b>  <b>С1.</b> Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).  <b>С2.</b> Функциональная мощность (предоставляемые возможности).  <b>С3.</b> Конкурентоспособность продукта.  <b>С4.</b> Срок выхода на рынок.  <b>С5.</b> Наличие опытного руководителя</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  <b>Сл1.</b> Отсутствие прототипа научной разработки.  <b>Сл2.</b> Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.  <b>Сл3.</b> Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания ПО.  <b>Сл4.</b> Уровень проникновения на рынок.  <b>Сл5.</b> Большой срок поставок плат, используемы для проведения научного исследования.</p>
<p><b>Возможности:</b>  <b>В1.</b> Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.  <b>В2.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.  <b>В3.</b> Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высококвалифицированного научного труда.</p>	<p>Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p>

## Продолжение таблицы 20

<p><b>Угрозы:</b>  <b>У1.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства.  <b>У2.</b> Развитая конкуренция производителей ПО.  <b>У3.</b> Ограничения памяти регулятора и контроллера.  <b>У4.</b> Ограничения регулятора и контроллера.</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода ПО на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей ПО может привести к снижению конкурентоспособности продукта. Ограничения памяти платы ICP DAS. и высокая стоимость оборудования и плат требует более высоко квалифицированный научный труд и затягивает срок выхода на рынок.</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства и высокая стоимость оборудования и плат может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию Потенциальных потребителей, необходимого оборудования для проведения испытания ПО, ухудшить уровень проникновения на рынок и увеличить сроки поставки плат. Выпуск более новых чипов для ICP DAS. может способствовать к отсутствию необходимого оборудования для проведения испытания ПО.</p>
--	---	---

Данный анализ позволяет выстраивать маркетинговые и управленческие стратегии. В нашем случае можно сделать вывод, что на данный момент преимущества преобладают над недостатками.

### 6.4 Планирование научно-исследовательских работ

#### 6.4.1 Структура работа в рамках научного исследования

Для реализации проекта формируется рабочая группа, в состав которой входят два исполнителя – научный руководитель и студент. Составим перечень этапов и работ в рамках выполнения данной дипломной работы, проведем распределение исполнителей по видам работ (Таблица 21).

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер, руководитель
	3	Изучение существующих объектов проектирования	Инженер, руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер, руководитель
Проектирование и моделирование системы управления	5	Описание технологического процесса	Инженер
	6	Идентификация объекта	Инженер
	7	Создание модели регулирования котельной установки	Инженер
	8	Моделирование системы в Matlab Simulink	Инженер
	9	Расчет параметров PID регуляторов	Инженер
	10	Наладка программы	Инженер
	11	Оценка полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Инженер, руководитель

#### 6.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (20)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (Формула 3). Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (21)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для того, чтобы было удобней строить диаграмму Ганта, необходимо длительность каждого из этапов работ из рабочих дней были переведены в календарные дни. Поэтому воспользуемся формулой:

$$T_{k_i} = T_{p_i} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (22)$$

где  $T_{k_i}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  
 $T_{p_i}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (23)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Получили, что  $k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,221$ .

Таблица 22 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{p_i}$	Длительность работ в календарных днях $T_{k_i}$		
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Подбор и изучение материалов по теме	2	1	4	3	2,8	1,8	1,4	0,9	2	1

Продолжение таблицы 22

Изучение существующих объектов проектирования	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1	
Описание технологического процесса	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Идентификация объекта	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Создание модели регулирования котельной установки	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	6	-	
Моделирование системы в Matlab Simulink	6	-	12	-	8,4	-	8,4	-	10	-	
Расчет параметров PID регуляторов	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Наладка программы	6	-	9	-	7,2	-	7,2	-	9	-	
Оценка полученных результатов	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	9	-	
Составление пояснительной записки	6	2	10	5	7,6	3,2	3,8	1,6	5	2	
Итого:								41,6	5,1	51	6

#### 6.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График проведения научного исследования представлен в форме диаграммы Ганта в таблице 23.

Таблица 23 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{k_i}$	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апрель			Май			И ю н ь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер	1 2	■	■										
3	Изучение существующих объектов проектирования	Руководитель, инженер	1 1		■	■									
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1 1		■	■									
5	Описание технологического процесса	Руководитель, инженер	3			■									

Продолжение таблицы 23

Идентификация объекта	Инженер	3			■							
Создание модели регулирования котельной установки	Инженер	6			■							
Моделирование системы в Matlab Simulink	Инженер	10				■						
Расчет параметров PID регуляторов	Инженер	3					■					
Наладка программы	Инженер	9						■				
Оценка полученных результатов	Инженер	9							■			
Составление пояснительной записки	Руководитель, инженер	2 5							▨		■	

▨ –Руководитель      ■ – Инженер

## 6.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 6.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В данном разделе рассчитывается стоимость технического обеспечения, используемого в разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, m \quad (24)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 24 сведены сведения о материальных затратах на научные исследования

Таблица 24 – Материальные затраты НТИ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Ноутбук	шт.	1	50 000	50 000
Итого	50 000			

### 6.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Результаты расчетов по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	AutoCAD 2022	1	16 667	16 667
2	Microsoft Office	1	9 978	9 978
3	MATLAB Simulink	1	6 737	6 737
Итого:				33 382

### 6.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Учитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительная заработная плата:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (25)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (26)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_D}, \quad (27)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_D$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 26

Таблица 26 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер (Студент)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (Fд)	243	271

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\delta}) \cdot k_p, \quad (28)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\delta}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{mc}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 27.

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$З_{м}$ , руб.	$З_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	37700	0,3	0,2	1,3	73515	3146,3	5,1	16046,1
Инженер (студент)	19200	0,3	0,2	1,3	37440	1436,8	41,6	59770,9
Итого:								75817

#### 6.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн}, \quad (29)$$

где  $k_{дон}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

В таблице 28 представлен расчет дополнительной заработной платы.

Таблица 28 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$З_{осн}$ , руб	$k_{дон}$	$З_{дон}$ , руб
Руководитель	16046,1	0,12	1925,5
Студент	59770,9	0,12	7172,5
Итого:			9098

#### 6.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон}), \quad (30)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработанная плата, руб.	Дополнительная заработанная плата, руб.
Руководитель	16046,1	1925,5
Студент	59770,9	7172,5
Отчисления во внебюджетные фонды	30 %	
Итого		
Руководитель	5391,5	
Студент	20083	
Итого	25474,5	

По итогу отчисления во внебюджетные фонды составит: 25474,5руб.

### 6.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (31)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов возьмем в размере 16%.

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (39000 + 40358 + 80954,6 + 9714,6 + 27200,8) = 31556,48 \text{ руб.}$$

### **6.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 30.

Таблица 30 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	50 000
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	33 382
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	75817
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9098
Отчисления во внебюджетные фонды	25474,5
Накладные расходы	31556,48
Бюджет затрат НИИ	225 327,98

В ходе формирования бюджета затрат на НИИ вышло, что затраты составляют 225 327,98 руб.

### **6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Эффективность разработки сравнивается аналогичными системами:

1. Система на основе программируемого логического контроллера «ОВЕН ПЛК 160» производства компании «ОВЕН» общей стоимостью 240 000 руб.

2. Система на основе ПТК Контар (ПЛК «МС 12.3») производства «МЗТА» общей стоимостью 250 000 руб.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (32)$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$\Phi_{max}$  зависит от сложности проекта, который разрабатывается для компании заказчика. На сложность проекта влияет огромное количество факторов, поэтому достоверно оценить величину  $\Phi_{max}$  невозможно.

Расчет интегрального финансового показателя разработки представлен в таблице 31.

Таблица 31 – Расчет интегрального финансового показателя разработки

Исполнитель	$\Phi_{pi}$	$\Phi_{max}$	$I_{финр}^{студент}$	$I_{финр}^{«ОВЕН»}$	$I_{финр}^{«МС12.3»}$
Студент с руководителем	225328 руб.	250000 руб.	0,9	0,96	1
«ОВЕН»	240000 руб.				
«МС 12.3»	250000 руб.				

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в таблице 32.

Таблица 32– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

проекта

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Студент с преподавателем	«ОВЕН»	«МС 12.3»
Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	5	5	4
Помехоустойчивость	0,05	5	4	4
Энергосбережение	0,05	4	4	5
Надежность	0,15	4	4	4
Материалоемкость	0,15	4	5	4
Итого	1			

Значения интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Значения интегрального показателя ресурсоэффективности

$I_{студент}$	$I_{"ОВЕН"}$	$I_{"МС 12.3"}$
4,65	4,75	4,35

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (33)$$

Значения интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Значения интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки

$I_{исп.студент}$	$I_{исп.}\text{«ОВЕН»}$	$I_{исп.}\text{«МС 12.3»}$
5,17	4,95	4,35

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.студент}}, \quad (34)$$

Значения сравнительной эффективности проекта представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Сравнительная эффективность проекта

$\mathcal{E}_{ср.студент}$	$\mathcal{E}_{ср.}\text{«ОВЕН»}$	$\mathcal{E}_{ср.}\text{«МС 12.3»}$
1	0,96	0,84

В таблице 36 представлена сравнительная эффективность разработки.

Таблица 36 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разработанный вариант	«ОВЕН»	«МС 12.3»
Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	0,96	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,75	4,35
Интегральный показатель эффективности	5,17	4,95	4,35

Продолжение таблицы 36

Сравнительная эффективность исполнения	вариантов	1	0,96	0,84
--	-----------	---	------	------

Из полученных данных, следует, что система, разработанная студентом и руководителем, наиболее эффективна на фоне конкурентов. Несмотря на небольшое отставание в плане ресурсоэффективности проект опережает конкурентов.

## **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В ходе выполнения работы был использован широкий спектр аналитических инструментов и расчетов. Примененный комплекс инструментов и расчеты позволили решить ряд задач, возлагаемые на раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

В данном разделе были решены следующие задачи:

- оценили коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований, определили потенциальных потребителей и выявили следующие конкурентные преимущества разработки: цена разработки ниже, повышение надежности и безопасности, простота эксплуатации;

- определили возможные альтернативы проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения, выполнили SWOT – анализ, где определили стратегии поведения по использованию возможностей и нивелированию угроз и слабых сторон проекта;

- провели планирование научно-исследовательских работ, провели расчет трудозатрат и по полученным данным составили календарный план-график проекта;

- определили ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

С учетом решенных задач можно сделать вывод, что проект является конкурентоспособным, несмотря на небольшое отставание в плане ресурсоэффективности проект опережает конкурентов.

## **7 Социальная ответственность**

Согласно ГОСТ Р ИСО 26000-2012, социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров.

В данном разделе рассматривается повышение надежности с точки зрения безопасности жизнедеятельности в соответствии с трудовым законодательством.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является котельная установка. Данная установка применяется для генерации требуемого количества пара.

Целью данной работы является моделирование эффективной автоматизированной системы управления котельной установкой.

Рабочей зоной является здание котельной установки.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1 котёл ДКВР 10-13-250 ГМ, 2 клапана с электроприводами, 2 шиберы с электроприводами, датчики КИПиА.

Конечным пользователем моделируемой системы АСУ ТП котельной установки будут операторы котельной.

### **7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В трудовом кодексе РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее [9]. Оператор исходя из трудового кодекса имеет право на сокращенную продолжительность рабочего времени, для работников в возрасте от шестнадцати до восемнадцати лет - не более 35 часов в неделю.

Следует отметить, что работа котельной установки осуществляется круглосуточно посменно. Ночная смена с 22 до 6 часов, дневная смена с 6 до 14

часов дня и вечерняя смена с 14 до 22 часов вечера. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно Федеральному закону от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» условия труда оператора технологических установок относятся ко второму классу (допустимые условия труда).

Согласно ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина» [10]. При создании рабочего места оператора следует учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Также стоит принимать во внимание, что рабочее место должно иметь достаточное пространство для осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Все требуемые органы управления и индикаторы автоматизированного рабочего места должны быть группированы и полностью расположены в зоне досягаемости рабочего.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы [11]. Так как, основная работа оператора заключается в управлении процессом с помощью SCADA-системы, поэтому экран монитора следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной

плоскости. Часто используемые источники информации должны быть расположены под углами 30°, а редко используемые – 60°.

## 7.2 Производственная безопасность

Управление котлом ДКВР осуществляется операторами котельной установки с автоматизированного рабочего места. Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при работе оператора технологических установок согласно ГОСТ 12.0.003-2015 представлен в таблице 37 [12].

Таблица 37 – Возможные опасные и вредные факторы в операторской АСУ ТП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
<b>Опасные факторы</b>	
Легкие углеводороды	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой/низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	Приказ Минтруда РФ от 27.11.2020 N 833Н "Об утверждении Правил по охране труда при размещении, монтаже, техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования".
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
<b>Вредные факторы</b>	
Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
Повышенный уровень шума	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

## Продолжение таблицы 37

Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
---	--

### 7.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### *Легкие углеводороды*

В системе управления паровым котлом используется природный газ как топливо. В следствии неправильной эксплуатации оборудования или заклинивания клапана подачи газа может произойти его утечка. Отравляющим веществом становится метан с предельной допустимой концентрацией 300 мг/м<sup>3</sup> согласно ГОСТ 12.1.005-88.

При отравлении природным газом работник может испытать головокружение, головную боль, боли в сердце, связанные с учащением частоты сердечных сокращений, нарушение координации и потерю сознания. При продолжительном вдыхании природного газа может произойти удушье.

В целях обеспечения безопасности на рабочих местах в случае выявления выбросов необходимо перекрыть подачу газа, проветрить помещение и проверить герметичность фланцевых соединений.

*Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой/низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека*

В ходе эксплуатации приведенной в выпускной квалификационной работе системы в результате несчастного случая вероятно получение тяжелых или смертельных ожогов. Хотя многие из этих ожогов вызваны огнем или высоким напряжением электричества, промышленные ожоги часто вызываются концентрированным паром.

Ожоги на рабочем месте являются предсказуемым источником травм. Осведомленность, предотвращение опасностей и защита могут значительно

снизить риск ожогов на рабочем месте. Для разрабатываемой системы наиболее вероятным видом ожога является термический ожог. Общие требования по предотвращению получения ожогов описываются в СанПиН 1.2.3685-21 [13]. Наиболее важным приоритетом при термических ожогах является контроль и остановка процесса горения. Термические ожоги можно предотвратить, надев средства индивидуальной защиты, используя тактику предотвращения пожара, а также имея процедуры и планы действий в чрезвычайных ситуациях, связанные с обнаружением и защитой от пожара.

*Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов*

При эксплуатации котельной установки есть угроза получить порезы от острых кромок, заусенцев, шероховатости деталей и заготовок. В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки и спец. одежда и проводят инструктаж по ТБ.

*Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий*

Котельная установка для человека потенциально опасна, так как в процессе эксплуатации или проведения профилактических работ человек может коснуться комплектующих, находящихся под напряжением. При работе с установкой возможно поражение электрическим током, что ведет к появлению ожогов, нагреву сосудов, механическим повреждениям тканей и сосудов, раздражающим воздействиям на ткани.

Общие требования по электробезопасности представлены в ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.

Мерами защиты являются изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и автоматического отключения питания. Необходимо разместить предупредительные знаки и плакаты безопасности.

### *Повышенный уровень общей вибрации*

Анализ показателей норм вибрации определяется в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 на рабочем месте оператора технологических установок присутствует общая производственная вибрация (технологическая вибрация на стационарных рабочих местах).

Под воздействием общей вибрации развивается «вибрационная болезнь», которая сопровождается следующими нарушениями:

- ангиодистоническим синдромом (периферическим и церебральным);
- вегетативно-вестибулярным синдромом;
- синдромом полинейропатии;
- болезнями опорно-двигательного аппарата: остеохондрозом, остеопорозом, радикулопатией и артрозом;
- энцефалопатией;
- функциональными расстройствами нервной системы.

При внедрении автоматизированной системы управления котельной установки вибрация может появиться вследствие наличия вибрации на участке с объектами управления, которая передается в операторное помещение.

Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации для автоматизированного рабочего места оператора котельной установки представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации рабочих мест для оператора технологической установки согласно СанПиН 1.2.3685-21

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентный скорректированные уровни виброускорения	
				$m/c^2$	дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах	Zo	Wk	0,1	100
		Xo, Yo	Wd	0,071	97

Для снижения воздействия этого фактора используются: виброизолирующие рукавицы и виброизолирующая обувь.

#### *Повышенный уровень шума*

Источником возникновения фактора являются исполнительные механизмы. Шум ухудшает условия труда и работоспособность человека. Длительное шумовое воздействие оказывает негативное влияние на организм – появление головных болей, раздражительности, повышенная утомляемость, боли в ушах и т.д. Интенсивный шум (более 80 дБ) при длительном воздействии может привести к полной или частичной потере слуха. Допустимые значения звукового давления согласно санитарным нормам раздела «Предельно допустимые уровни звука и звукового давления в октавных полосах частот на рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала специального подвижного состава» указаны в таблице 39.

Таблица 39 – Допустимые уровни звука и звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В качестве индивидуальных средств защиты можно использовать наушники, беруши и шлемы. В качестве коллективной защиты могут быть использованы материалы и конструкции, препятствующих распространению шума, малошумные машины. Необходимо привлекать к работе лиц, не имеющих медицинский противопоказаний по работе с шумом.

*Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения*

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения.

Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

В помещении операторной в качестве искусственного освещения используются светильники с люминесцентными лампами. Нормы освещенности приведены в СП 52.13330.2016, освещенность рабочего места оператора АСУ должна составлять (300 – 500) Лк. при общем освещении.

Коэффициент пульсации освещения – параметр, который отражает силу изменения светового потока, направляемого на единицу поверхности в определенный временной промежуток.

Стоит учесть, что существующими санитарными правилами установлен верхний лимит на параметр коэффициента пульсации. В месте организации

рабочего места он не должен быть выше 20%. При этом, чем более ответственный вид деятельности у работника, тем ниже должен быть этот параметр.

При этом опасность света как раз и заключается в том, что его нельзя распознать, но результатом действия может стать расстройство сна, слабость, депрессия, сбои в работе сердца, дискомфорт и так далее.

В зимний период вследствие укороченного светового дня и недостаточного естественного освещения необходимо использовать искусственное освещение.

### **7.3 Экологическая безопасность**

*Атмосфера.* Источником загрязнения продукты сгорания природного газа, используемого как топливо котельной установки. Основной метод предупреждения – поддержание оптимальных соотношений между газом и воздухом в топке, которые приводят к снижению вредных выбросов в пределах 20-40%. Также следует установить золоуловители, способные очищать исходящий от установки дым на 90%.

*Литосфера.* Воздействие на селитебную зону не происходит.

*Селитебная зона.* Воздействие на селитебную зону не происходит.

*Гидросфера.* Воздействие на селитебную зону не происходит.

### **7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В процессе эксплуатации парового котла возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций: утечка газа, пожар, взрыв, природные катастрофы (наводнение, цунами, ураганы), а также геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории).

Наиболее вероятным ЧС может являться утечка газа с последующим пожаром – это неконтролируемое горение вне специального очага.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

был определен класс возможного пожара: пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением (Е).

Источником возникновения пожара может послужить:

- короткое замыкание электрической цепи приборов;
- разгерметизация газопровода для подачи топлива;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- перегрев котла.

Управлять пожарной сигнализацией можно с операторской или в ручном режиме по месту. При возникновении пожара система пожаротушения срабатывает автоматически.

В случае возникновения пожара в котельной необходимо:

1. Покинуть место пожара;
2. Прекратить подачу электроэнергии;
3. Прекратить подачу газа, воздуха и питательной воды в котёл
4. Руководствоваться инструкциями по противопожарной безопасности, разработанными на эксплуатирующем предприятии.

Основными огнетушащими веществами являются порошковые составы, позволяющие тушить как горючие газы, так и электроприборы.

## **Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

В результате работы над данным разделом были определены меры обеспечения безопасности, которые снизят риски для работника и повысят его работоспособность. Определили, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Согласно СП 12.13130.2009, помещение рабочей зоны также относится к категории А (повышенная взрывопожароопасность) из-за природного газа, используемого как топливо.

Согласно ПУЭ, помещение рабочей зоны относится закрытым помещениям второй категории (помещения с повышенной опасностью).

Специалисты, контролирующие процесс сепарации газа, могут иметь группу I по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током.

Согласно ПУЭ помещение по электробезопасности относится ко второй категории (помещение с повышенной опасностью).

Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок должна иметь III группу по электробезопасности.

Категорию тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" соответствует IIa категория тяжести труда, это работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения, диапазон температуры воздуха ниже оптимальных величин – 18-19,9°C, выше оптимальных величин – 22,1-27°C.

Согласно постановлению правительства РФ от 31 декабря 2020 года N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное

воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» был выбран объект II категории – объекты, оказывающие НВОС (негативное воздействие на окружающую среду).

## **Заключение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведён анализ работы котельной установки, осуществлено моделирование системы регулирования котельной установки ДКВР-10-3

Была составлена общая модель системы управления котельной установки и осуществлена идентификация передаточных функций объектов управления по их переходным характеристикам (кривым разгона).

Были определены взаимные связи каналов регулирования.

Полученная модель системы была смоделирована в математическом пакете Matlab Simulink, произведена настройка ПИД-регуляторов для каждого из каналов регулирования методом Циглера-Никольса, после чего были получены графики переходных процессов и зафиксированы показатели регулирования.

Было выявлено, что основное влияние на параметры регулирования оказывают пропорциональная и интегральная составляющие регуляторов, тогда как дифференциальная не вносит каких-либо явных изменений.

В ходе написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были оценены экономические аспекты разработки исследуемой системы управления котельной установкой. По результатам оценки можно сказать, что разработанная система управления достаточно эффективна по отношению к конкурентам, несмотря на отставание в плане ресурсоэффективности.

В разделе «Социальная ответственность» было рассмотрено повышение надежности и безопасности котельной установки в соответствии с трудовым законодательством и нормативной документацией. Был осуществлен анализ вредных и опасных факторов, возникающих в процессе эксплуатации котла ДКВР, а также было рассмотрено влияние каждого из этих факторов на производственную безопасность и способы защиты от них. Изучены вопросы экологической безопасности, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Таким образом, моделирование системы котельной установки типа ДКВР удовлетворяет заданным требованиям и позволяет осуществлять регулирование ее параметров в нужных пределах.

## Список используемой литературы

1. Котёл ДКВР: устройство, принцип работы, технические характеристики [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://okno-pro.ru/kotel/konservaciya-kotlov-vodogrejnyh-instrukciya.html>, свободный
2. Киселев, Н. А. Устройство и эксплуатация котлов и котельного оборудования: учебное пособие / Н.А. Киселев – М.: Высшая школа, 1976. – 232 с.
3. Береснев, И. С. Автоматика отопительных котлов и агрегатов: учебное пособие / И. С. Береснев, М.А. Волков, Ю.С. Давыдов – М.: Стройиздат, 1979. – 376 с.
4. Коновалов, В. И. Идентификация и диагностика систем: учебное пособие / В. И. Коновалов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 156с.
5. Синянин, А.М. Модернизация привода, регулирующего уровень жидкости в барабане-сепараторе котла. Пояснительная записка к выпускному квалификационному проекту. – ЮУрГУ, Челябинск, 2018 г.
6. Настройка типовых регуляторов: методические указания к выполнению лаб. Работы / сост. В.В. Курганов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 24 с.
7. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского М., «Машиностроение», 1974, 328 с.
8. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
9. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 25.02.2022) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (Дата обращения: 29.05.2022).

10. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834> (Дата обращения: 29.05.2022).

11. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> (Дата обращения: 25.05.2022).

12. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (Дата обращения: 24.05.2022).

13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (Дата обращения: 24.05.2022).