



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

Инженерная школа энергетики

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

НОЦ И.Н. Бутакова

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АСР температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе

УДК: 681.51:662.75:621.643

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Пискунов Максим Владимирович	к.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер-исследователь	Романов Даниил Сергеевич	-		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<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 безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать

	электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП



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

Инженерная школа энергетики

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Атрошенко Ю.К.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна

Тема работы:

АСР температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41-34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	01.06.2023
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования является участок топливоподачи композиционного жидкого топлива от резервуара к форсунке. В качестве композиционного жидкого топлива использовалось водоугольное топливо. Для предотвращения застывания топлива при его перекачке по трубопроводу через теплообменник необходимо регулировать его температуру. Регулирование происходит за счет изменения расхода воды, подаваемой в теплообменник.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Научно-исследовательская работа;</li> <li>2. Анализ объекта автоматической системы регулирования;</li> <li>3. Разработка структуры КТС автоматической системы регулирования;</li> <li>4. Разработка функциональной схемы системы регулирования и составление заказной спецификации;</li> <li>5. Составление перечней входных и выходных сигналов;</li> <li>6. Разработка принципиальной электрической схемы щита управления и составление перечня элементов;</li> <li>7. Проектирование схемы монтажной;</li> <li>8. Разработка общего вида щита управления;</li> <li>9. Расчет параметров регулятора системы автоматического регулирования;</li> <li>10. Мнемосхема АСР;</li> <li>11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>12. Социальная ответственность.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структурная схема АСР;</li> <li>2. Функциональная схема АСР;</li> <li>3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации;</li> <li>4. Схема монтажная внешних проводок;</li> <li>5. Принципиальная электрическая схема щита управления;</li> <li>6. Перечень элементов электрической схемы;</li> <li>7. Общий вид щита управления.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p style="text-align: center;">10.02.2023</p>
--	---

**Задание выдал руководитель/консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н. Бутакова</p>	<p>Пискунов Максим Владимирович</p>	<p>к.ф.-м.н.</p>		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б93</p>	<p>Чоботова Владлена Михайловна</p>		

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

Инженерная школа энергетики  
 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Уровень образования бакалавриат  
 НОЦ И.Н. Бутакова  
 Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна

Тема работы:

АСР температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.03.23	Научно–исследовательская работа	8
20.03.23	Анализ объекта автоматической системы регулирования	8
30.03.23	Разработка структуры КТС автоматической системы регулирования	8
10.04.23	Разработка функциональной схемы системы регулирования и составление заказной спецификации	10
11.04.23	Составление перечней входных и выходных сигналов	5
17.04.23	Разработка принципиальной электрической схемы щита управления и составление перечня элементов	10
05.05.23	Проектирование схемы монтажной	8
10.05.23	Разработка общего вида щита управления	6
16.05.23	Расчет параметров регулятора системы автоматического регулирования	10
22.05.23	Мнемосхема АСР	7
28.05.23	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
30.05.23	Социальная ответственность	5
01.06.23	Презентация	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Пискунов Максим Владимирович	к.ф.–м.н.		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер– исследователь	Романов Даниил Сергеевич	–		

**СОГЛАСОВАНО:****Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	К.Т.Н		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 106 с., 27 рис., 35 табл., 40 источников, 1 прил.

Ключевые слова: композиционное жидкое топливо, водоугольное топливо, транспортировочный трубопровод, транспортировка, автоматическая система регулирования.

Объектом исследования является участок топливоподачи от резервуара к форсунке.

Цель работы – разработка автоматической системы регулирования температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе.

Проведены экспериментальные исследования; выполнен анализ объекта автоматической системы регулирования; разработаны структурная и функциональная схемы; произведен выбор оборудования и составлена заказная спецификация на приборы и средства автоматизации; составлен перечень входных и выходных сигналов; разработана принципиальная электрическая схема щита автоматизации и перечень его элементов; спроектирована монтажная схема; разработан общий вид щита управления. Произведен финансовый расчет научного исследования, а также рассмотрены вопросы о производственной и экологической безопасности при эксплуатации установки.

В результате выпускной квалификационной работы разработана АСР температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе.



## Сокращения и обозначения

КЖТ – композиционное жидкое топливо

ВУТ – водоугольное топливо

АСР – автоматическая система регулирования

СС – коксующийся уголь

ССS – шлам от переработки коксующегося угля

ПАВ – поверхностно-активные вещества

LP – лигнитовый полимер

SAPP – кислый пирофосфат натрия

$D_{50}$  – средний размер частиц, мкм

$\mu$  – вязкость, мПа·с

$\gamma$  – скорость сдвига,  $\text{с}^{-1}$

$T_{\text{топл}}^{\text{до}}$  – температура топлива до теплообменника, °С

$T_{\text{топл}}^{\text{после}}$  – температура топлива после теплообменника, °С

$T_{\text{крио}}$  – заданная температура на криостате, °С

$U_{\text{топл}}^{\text{до}}$  – скорость потока в трубопроводе до теплообменника, м/с

$U_{\text{топл}}^{\text{после}}$  – скорость потока в трубопроводе после теплообменника, м/с

$\mu_{\text{КЖТ}}^{\text{до}}$  – динамическая вязкость в трубопроводе до теплообменника, мПа·с

$\mu_{\text{КЖТ}}^{\text{после}}$  – динамическая вязкость в трубопроводе после теплообменника, мПа·с

$Re_{\text{факт}}^T$  – число Рейнольдса, рассчитанное при фактическом расходе жидкости

$Re_{\text{насос}}^T$  – число Рейнольдса, при установленном на насосе расходе жидкости

$G_{\text{насос}}$  – расход жидкости, заданный на насосе, мл/мин

## Содержание

Введение.....	13
1 Научно–исследовательская работа .....	15
1.1 Экспериментальная установка .....	16
1.2 Методика исследований.....	17
1.3 Результаты исследований .....	20
2 Анализ объекта автоматической системы регулирования .....	27
3 Разработка структуры КТС автоматической системы регулирования.....	31
4 Разработка функциональной схемы системы управления .....	34
5 Составление заказной спецификации на приборы и средства автоматизации.....	36
5.1 Выбор датчиков температуры .....	36
5.2 Выбор расходомеров .....	37
5.3 Выбор насоса.....	39
5.4 Выбор ПЛК.....	39
5.5 Выбор задвижки с электроприводом.....	40
6 Составление перечня входных и выходных сигналов .....	42
7 Разработка принципиальной электрической схемы щита автоматизации	43
8 Проектирование схемы монтажной .....	45
9 Разработка общего вида щита управления.....	47
10 Расчет параметров настройки регулятора.....	48
10.1 Идентификация объекта управления.....	48
10.2 Расчет параметров настройки и построение границы заданного запаса устойчивости .....	50
10.3 Расчёт, построение, и оценка качества переходного процесса по каналу регулирующего воздействия $S$ – $y$ .....	54
10.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении $f$ – $y$ , идущем по каналу регулирующего воздействия .....	57
11 Мнемосхема системы .....	61

12	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	69
12.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	69
12.1.1	Анализ конкурентноспособности технических решений .....	69
12.1.2	Матрица SWOT .....	70
12.2	Планирование научно–исследовательских работ .....	72
12.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	72
12.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	73
12.3	Бюджет научно–технического исследования .....	78
12.3.1	Расчет материальных затрат НИИ .....	78
12.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	78
12.3.3	Основная заработная плата исполнителей .....	80
12.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей.....	82
12.3.5	Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)...	82
12.3.6	Накладные расходы.....	82
12.3.7	Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта .....	83
12.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	83
13	Социальная ответственность .....	89
13.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	89
13.2	Производственная безопасность .....	90
13.2.1	Повышенный уровень шума .....	91
13.2.2	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	92
13.2.3	Повышенный уровень общей вибрации .....	93

13.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник .....	94
13.2.5 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека .....	95
13.3 Экологическая безопасность .....	96
13.3.1 Атмосфера .....	96
13.3.2 Гидросфера.....	97
13.3.3 Литосфера .....	97
13.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	97
13.5 Выводы по разделу .....	98
Заключение .....	100
Список использованных источников .....	101
Приложение А. Программный код.....	105

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.021 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.021 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.021 СО1	Заказная спецификация приборов и средств автоматизации
ФЮРА.421000.021 С5	Схема монтажная
ФЮРА.421000.021 Э4	Схема электрическая соединений
ФЮРА.421000.021 ПЭ4	Перечень элементов схемы электрической соединений
ФЮРА.421000.021 ВО	Общий вид щита автоматизации

## Введение

В последние десятилетия происходит быстрое истощение мировых запасов нефти, газа и угля наряду с быстро растущим потреблением электроэнергии [1]. Отходы углеобогащения и нефтепереработки можно применять на станциях для выработки тепловой и электрической энергии, однако их применение в исходном состоянии довольно затруднительно, поскольку необходимо проводить изменения топочных камер, а также проводить модификацию систем транспортировки и хранения [2].

В связи с этим огромный интерес представляет собой создание и использование композиционных жидких топлив (КЖТ) на основе отходов, получаемых в различных отраслях промышленности, для сжигания в режимах, поддерживаемых станцией, а также котельными и другими энергетическими установками [3].

На протяжении последних лет все чаще используется КЖТ, в состав которых входят остатки и отходы переработки угля (КЕК, каменноугольная смола и углеродистый шлам); различные отработанные масла от турбин и насосов [4]. В электроэнергетическом оборудовании оптимальное использование КЖТ может принести значительные улучшения в экологических, энергетических и технико-экономических показателях [5]. Композиционные жидкие топлива могут использоваться в энергетическом секторе для работы паровых [6] и газовых турбин [7], а также служат топливом для дизельных двигателей [8] и котлов [9].

Одним из примеров таких топлив является водоугольное топливо (ВУТ). Это смесь измельченного угля, воды и различных отходов углеобогащения. Использование добавок дает желаемые свойства суспензии, делая ее пригодной для перекачки и предотвращая осаждение и затвердевание с течением времени. Это топливо, которое в условиях хранения и транспортировки является негорючим и экологически чистым, с хорошей эффективностью сгорания по сравнению с обычными видами топлива [10–13].

Реологические свойства топлива имеют большое значение в ряде промышленных применений, включая транспортировку по трубопроводу, хранение в резервуарах или же распыление в горелочных устройствах. Эти свойства зависят от нескольких параметров, таких как форма частиц и распределение по размерам, концентрация твердого вещества и свойства жидкости [14–16]. Регулируя распределение частиц по размерам, при сохранении других параметров на прежнем уровне, можно получить стабилизированную жидкость. Эта информация важна для прогнозирования требований к перекачке топлива. Присутствие твердых частиц влияет не только на производительность насоса, а также на внутренние поверхности за счет повышенного износа под действием агрессивных сред [17].

Целью исследования является установление на основе испытаний при низких числах Рейнольдса влияния температуры топлива, пониженной относительно комнатной, включая отрицательные (от 25 до -5 °C), на скорость движения и вязкость потока КЖТ на основе коксующегося угля (CC) и шлама от переработки коксующегося угля (CCS) при наличии диспергирующих (смачивающих агентов, регуляторов вязкости) добавок. Достижение поставленной цели исследования, с практической точки зрения, позволит изучить температурные условия, типичные для транспортировки КЖТ трубопроводным транспортом в различных странах.

## 1 Научно–исследовательская работа

Перекачка и подготовка к транспортировке композиционного жидкого топлива представляет собой некоторые проблемы, поскольку при снижении температуры оно загустевает и процесс перекачки становится крайне сложным, энергозатратным и иногда невозможным [18]. Поэтому специалисты из многих стран ищут способы улучшения транспортировки таких жидкостей.

Система связанных между собой труб является наиболее перспективной для промышленного применения из–за ряда преимуществ, таких как энергоэффективность, оптимизация управления и экологичность, благодаря ее изоляции от окружающей среды и способности работать непрерывно [19]. При транспортировке композиционных жидких топлив по трубопроводам важно учитывать свойства топлива для обеспечения безопасной транспортировки, однако его использование оправдано даже с экологической точки зрения, поскольку это топливо выделяет меньше антропогенных выбросов за счет отсутствия взаимодействия с окружающим воздухом [20].

Было предложено несколько методов транспортировки вязких жидкостей, и они включают предварительный нагрев топлива с последующим нагревом трубопровода [21] и разбавление более легким топливом [22]. К недостаткам трубопроводного транспорта вязких жидкостей относится большой расход металла и опасность тяжёлых экологических последствий при авариях [23].

Данное исследование проводилось с целью расширения информации о трубопроводном транспорте КЖТ, так как это направление исследования является малоизученным. Размер частиц и их налипание на стенку, содержание твердых частиц, температура КЖТ и другие параметры топлива влияют на поток в трубопроводе, поэтому эти параметры необходимо учитывать при транспортировке композиционных топлив.

## 1.1 Экспериментальная установка

Для определения значений характеристик КЖТ была проведена серия экспериментов на экспериментальном стенде, который представлен на рисунке 1. Для поддержания заданной температуры топлива использовался криостат КРИО-ВСИ-Т-06-01 фирмы TERMEX (температурный диапазон от -30 до +100 °С, отклонение температуры в рабочей емкости  $\pm 0,01$  °С). Для подачи жидкости по трубопроводу диаметром 8 мм использовался перистальтический насос ВТ100-1F (производительность 0,0002...600 мл/мин, диапазон скоростей вращения 0,1...100 об/мин). Измерение температуры происходило посредством двух датчиков температуры 2TRM1 фирмы ОВЕН с термоэлектрическим преобразователем ХК (диапазон измерения -20...+300 °С). Для поддержания однородности суспензии в резервуар помещалась верхнеприводная мешалка DC-1200RM фирмы HT Machinery, Китай (частота вращения, 120...1200 об/мин, крутящий момент 147 Н·м). Температуру суспензии варьировали в диапазоне от -5 до 25 °С. Резервуар заполнялся исследуемым образцом топливной смеси объемом около  $1,5 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, после чего смесь перемешивалась со скоростью вращения 1500 об/мин. Расход насоса равен  $G_{\text{насос}} = 500$  мл/мин. Фактический расход КЖТ измерялся после установления требуемой температуры суспензии. Измерение фактического расхода происходило до и после теплообменника. Теплообменник представляет собой алюминиевую трубку диаметром 6 мм и длиной 500 мм, изогнутую в виде круглой спирали, предназначенный для увеличения теплообмена между теплоносителем в ванне криостата и потоком КЖТ в трубке.



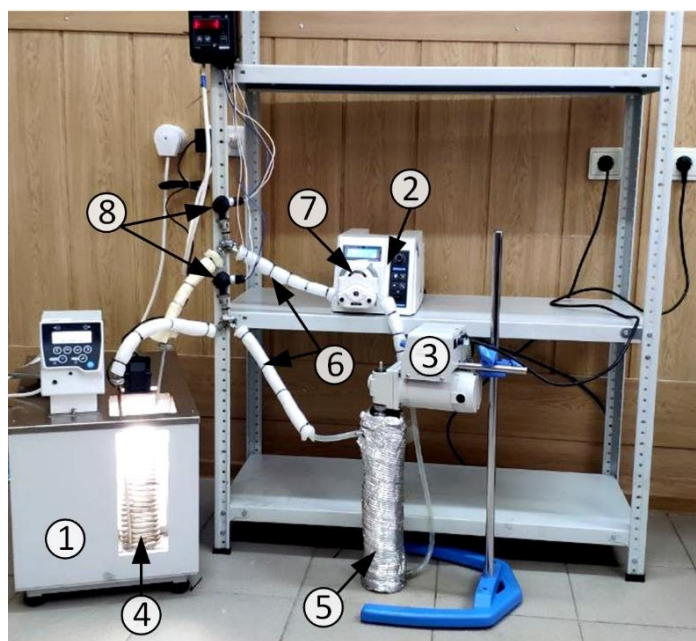


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

1 – криостат; 2 – перистальтический насос; 3 – верхнеприводная мешалка; 4 – погружной теплообменник; 5 – резервуар (буферный бак) для КЖТ; 6 – тракты движения КЖТ (трубопроводы); 7 – головка перистальтического насоса; 8 – температурные датчики

## 1.2 Методика исследований

Измерение характеристик КЖТ осуществлялось при температурах 25 °С, 5 °С, 0 °С и -5 °С. Состав исследуемых топлив представлен в таблице 1. Топлива изготовлены из коксующегося угля (СС) и угольного шлама после переработки коксующегося угля (ССС). В качестве жидкой составляющей использовалась дистиллированная вода. В качестве ПАВ выбраны LP (лигнитовый полимер), SAPP (кислый пирофосфат натрия), эмульгатор прямых эмульсий Неонол АФ 9-12 и вспомогательное вещество ОП-7.

Сначала в дистиллированную воду добавлялись полимеры в соответствующих пропорциях. Для равномерного распределения веществ полученный раствор перемешивался в течение 7 минут магнитной мешалкой Таглер ММ-135Н при температуре 25 °С и скорости вращения магнитного якоря 2000 об/мин. После чего в раствор постепенно добавлялся

измельченный уголь при температуре 25 °С и скорости вращения магнитного якоря 2000 об/мин (время перемешивания 15 мин.).

Таблица 1 – Компонентный состав исследуемых образцов КЖТ

Образец топлива	Композиционный состав						
	CCS	CC	Дистиллированная вода	LP	SAPP	Неонол АФ 9- 12	ОП-7
	$D_{50} \approx$ 54 мкм	$D_{50} \approx$ 48 мкм					
масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	масс. %	
КЖТ#1	50	–	48	1	–	1	–
КЖТ#2	50	–	48	–	1	–	1
КЖТ#3	–	50	48,4	0,6	–	–	1
КЖТ#4	–	50	49,1	–	0,6	0,3	–

При анализе размеров твердых частиц принято использовать средний размер частиц ( $D_{50}$ ), меньше которого в пробе находится около 50 масс. % частиц. Определение данной характеристики проводится по формуле:

$$D_{50} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i D_i^5}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i}, \quad (1)$$

где  $D_i$  – диаметр  $i$ -ой частицы и  $n_i$  – число  $i$ -ых частиц.

Измерение температуры и расхода топлива происходило после 10 минут работы трубопровода. Данный временной интервал позволял достичь требуемых для топливной смеси значений температуры после начала перекачки по трубопроводу.

С помощью ротационного вискозиметра Brookfield DV3T (диапазон измерения  $1 \dots 6 \cdot 10^6$  мПа·с, точность  $\pm 1$  %, воспроизводимость  $\pm 0,2$  %) определены кривые вязкости для КЖТ#1–КЖТ#4 при температурах 25 °С, 5 °С, 0 °С и -5 °С. Измерения в диапазоне скоростей сдвига  $0,01 \dots 70$  с<sup>-1</sup> проводились с использованием шпинделя SC4-34 (диапазон измерений  $24 \dots 600 \cdot 10^3$  мПа·с, точность  $\pm 1$  %, воспроизводимость  $\pm 0,2$  %), а в диапазоне  $70 \dots 380$  с<sup>-1</sup> – с применением шпинделя LV-3 (диапазон измерения вязкости

200...400000 мПа·с). Для варьирования температуры КЖТ использовался криостат Kiss K6 фирмы «Huber», Германия (температурный диапазон от - 25 °С до 200 °С, обеспечиваемый за счет использования теплоносителя – смеси пропиленгликоля и воды в соотношении 50/50, отклонение температуры в рабочей емкости  $\pm 0,05$  °С).

Для определения эффективной динамической вязкости для конкретного КЖТ при заданном расходе жидкости и требуемом значении  $T_{\text{топл}}$  характерная скорость сдвига,  $\gamma_{char}$ , оценивалась по (2), предложенной в [24]:

$$\gamma_{char} = \frac{\partial u_r}{\partial r} \sim \frac{U_{\text{КЖТ}}}{D}, \quad (2)$$

где  $u_r$  – составляющая радиальной скорости, м/с;

$r$  – внутренний радиус трубопровода, м;

$U_{\text{КЖТ}}$  – мгновенная скорость течения, определяемая с использованием (3), м/с;

$D$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

$$U_{\text{КЖТ}} = \frac{G}{S}, \quad (3)$$

где  $G$  – объемный фактический расход топлива, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площадь сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

Для изучения поведения вязкости потока КЖТ в трубопроводе вычислялись характерные значения чисел Рейнольдса ( $Re$ ) согласно выражению:

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\text{КЖТ}} \cdot d}{\mu_{\text{КЖТ}}}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность КЖТ, оцененная через отношение массы топливной смеси к занимаемому объему, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_{\text{КЖТ}}$  – эффективная динамическая вязкость КЖТ при  $\gamma_{char}$ .

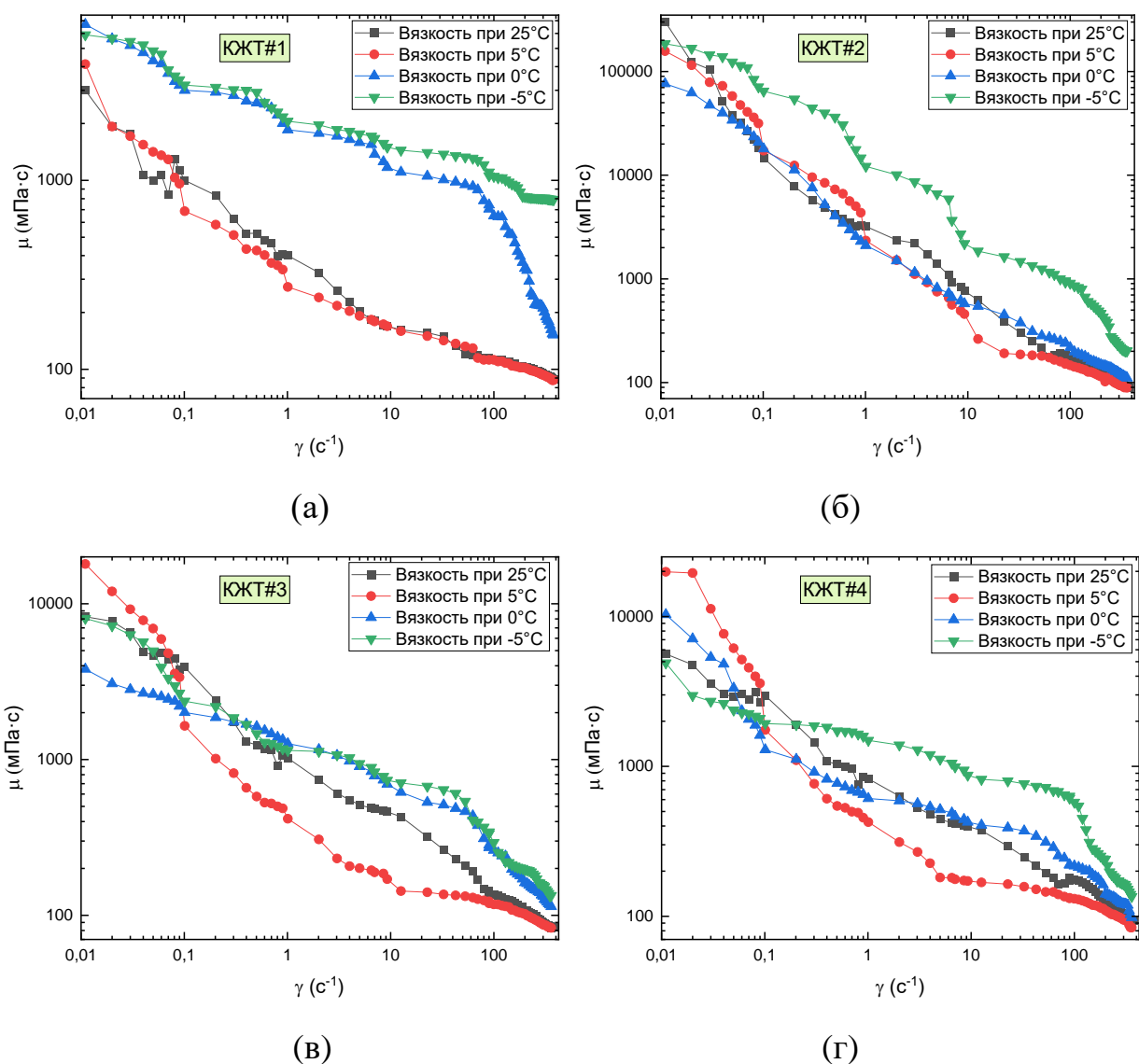


Рисунок 2 – Кривые сдвиговой вязкости для топливных образцов при исследуемых температурах

(а) КЖТ#1; (б) КЖТ#2; (в) КЖТ#3; (г) КЖТ#4

Исходя из полученных данных, представленных на рисунке 2, можно сделать вывод, что при понижении температуры вязкость топлива увеличивается.

### 1.3 Результаты исследований

Для зависимостей вязкости топлива от характерной скорости сдвига, построенных при лабораторных исследованиях, определена кривая, соответствующая функции (5):

$$\mu = 449,91 \cdot \gamma^{-0,294} \quad (5)$$

На рисунке 3 приведена зависимость вязкости КЖТ от характерной скорости сдвига для КЖТ#1, полученная при лабораторных экспериментальных исследованиях, и соответствующая ей аппроксимационная кривая, которая предсказывает вязкость при более высоких скоростях сдвига, которые встречаются при  $d = 50$  мм и больше.

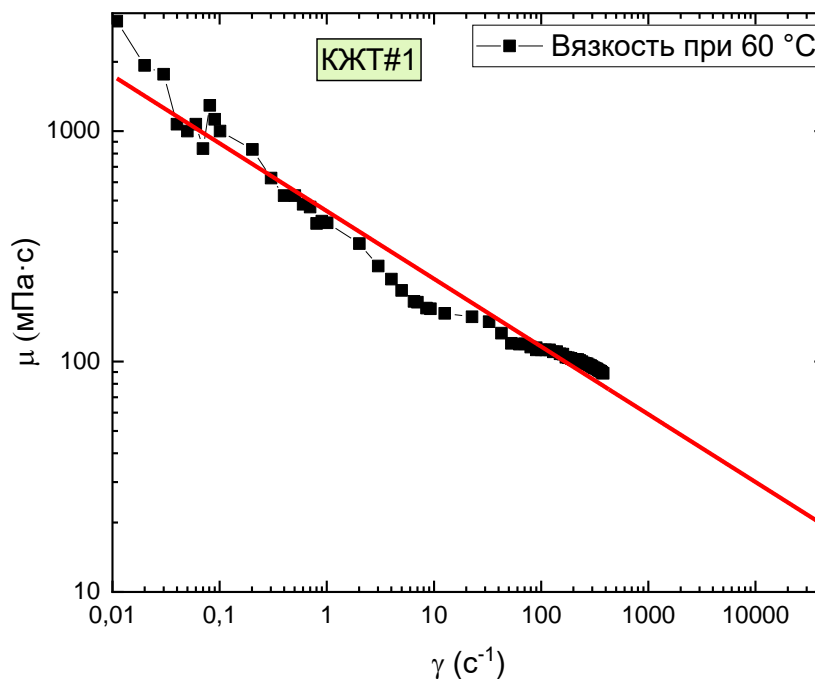


Рисунок 3 – Кривая сдвиговой вязкости топлива для топливного образца при температуре  $T_{\text{топл}} = 60$  °С

Из рисунка 3 видно, что при увеличении температуры топлива до 60 °С вязкость топлива уменьшилась почти в 10 раз, по сравнению с результатами, полученными при температуре топлива, равной 25 °С.

На рисунке 4 приведена динамика изменения температуры, скоростей потока и относительной вязкости КЖТ до и после теплообменника.

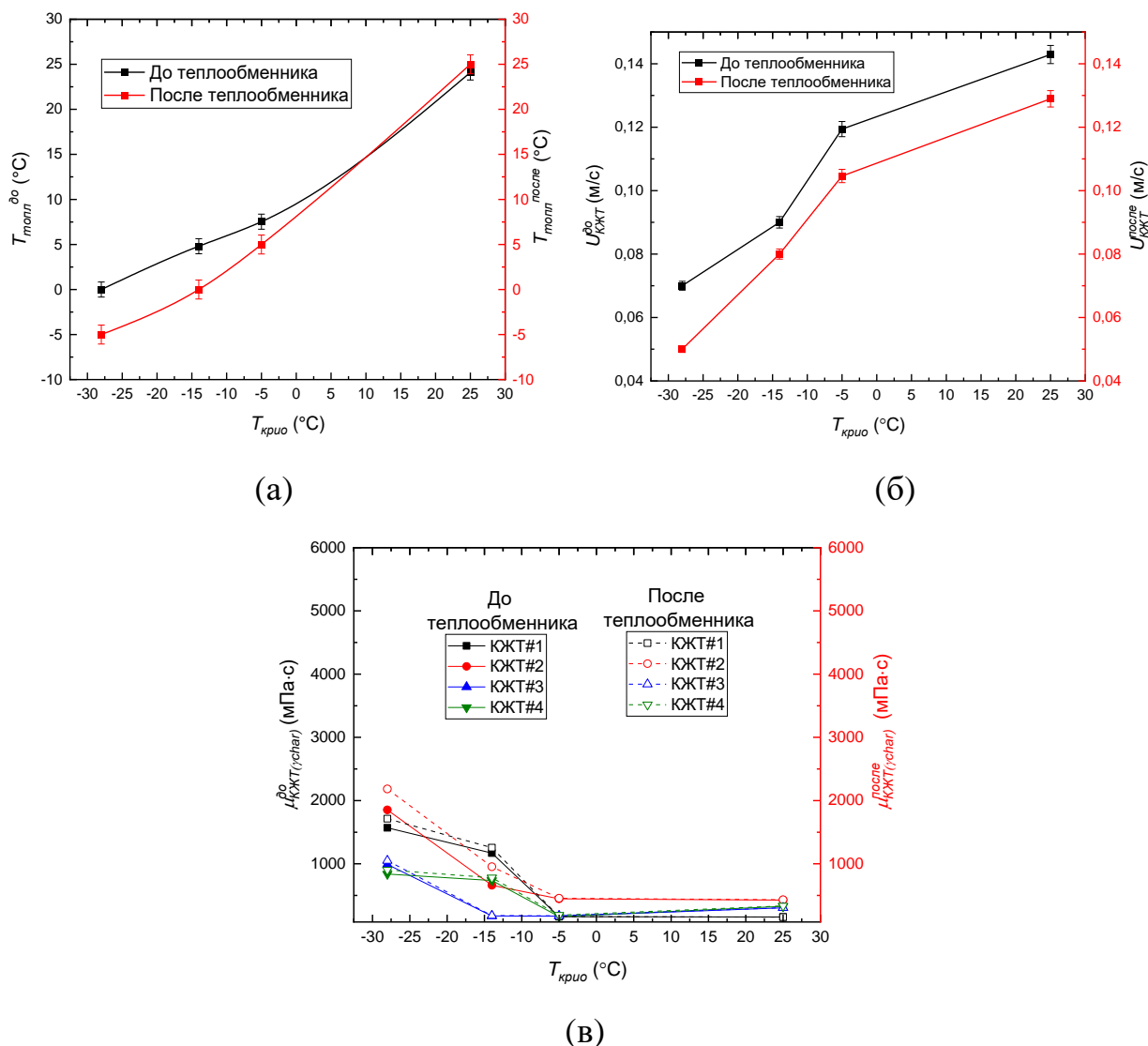


Рисунок 4 – Динамика изменения температуры, скоростей потока и относительной вязкости КЖТ до и после теплообменника  
 а – значения температуры топлива в трубопроводе до и после теплообменника  $T_{\text{топл}}^{\text{до}}$  и  $T_{\text{топл}}^{\text{после}}$  при заданных на криостате температурах  $T_{\text{крио}}$ ; б – значения скоростей потока  $U_{\text{КЖТ}}^{\text{до}}$  и  $U_{\text{КЖТ}}^{\text{после}}$  до и после теплообменника при заданных на криостате температурах  $T_{\text{крио}}$ ; в – значения динамической вязкости потока топлива в трубопроводе  $\mu_{\text{КЖТ}}^{\text{до}}$  и  $\mu_{\text{КЖТ}}^{\text{после}}$  до и после теплообменника при заданных на криостате температурах  $T_{\text{крио}}$

Датчики температуры регистрировали температуру КЖТ до  $T_{\text{топл}}^{\text{до}}$  и после  $T_{\text{топл}}^{\text{после}}$  теплообменника. Значения температуры, устанавливаемые на криостате  $T_{\text{крио}}$ , отличались, особенно при переходе к отрицательным

температурам (рисунок 4а). Для получения требуемой температуры КЖТ после теплообменника, например,  $T_{\text{топл}}^{\text{после}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , необходимо установить на криостате температуру  $T_{\text{крио}}$ , равную  $-14 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При этом же значении  $T_{\text{крио}}$  температура топлива до теплообменника  $T_{\text{топл}}^{\text{до}}$  существенно выше и составляет около  $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Такие отличия (рисунок 4а) обусловлены несовершенством выполненной теплоизоляции, а также последовательностью теплообмена при циркуляции КЖТ. До теплообменника КЖТ успевало охладиться при течении в трубопроводе за теплообменником (рисунок 4а).

На рисунке 4б приведены значения скоростей потока  $U_{\text{КЖТ}}^{\text{до}}$  и  $U_{\text{КЖТ}}^{\text{после}}$  до и после теплообменника при заданных на криостате температурах  $T_{\text{крио}}$ . Значения скорости потока после теплообменника  $U_{\text{КЖТ}}^{\text{до}}$  при всех рассматриваемых температурах ниже. Отличия на рисунке 4б обусловлены разными температурами (рисунок 4а) и вязкостями топлива (рисунок 4в).

Из рисунка 4в видно, что при снижении температуры  $T_{\text{крио}}$  динамическая вязкость КЖТ увеличивается до и после теплообменника.

При постоянном расходе топлива, установленном на насосе, получены результаты по относительным вязкостям топлива в зависимости от числа  $Re$  (рисунок 5). Приведенные на рисунке 5 экспериментальные значения аппроксимированы кривой до рассчитанных чисел Рейнольдса каждого КЖТ, соответствующей функции (6).

$$[\mu_{rel}]_2 = \frac{822}{Re^{0,7}}. \quad (6)$$

В экспериментальных значениях использовался трубопровод диаметром  $d = 6 \text{ мм}$ , в прогнозируемых –  $d = 50 \text{ мм}$ .

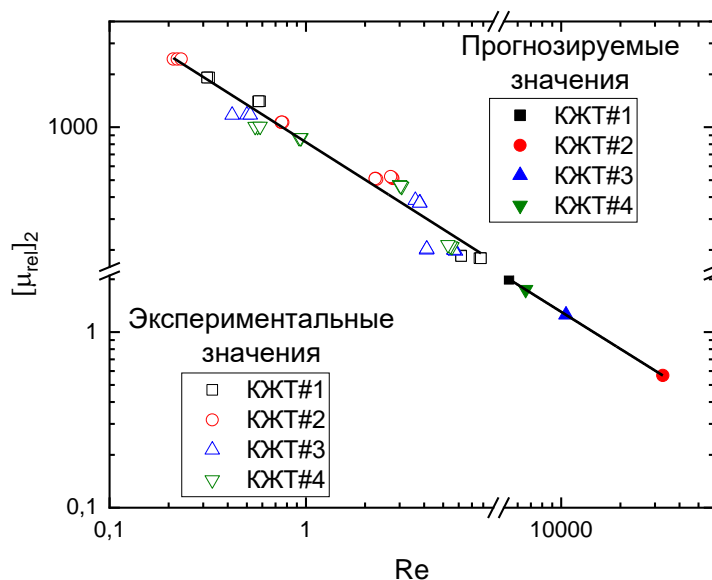


Рисунок 5 – Относительная вязкость топлива после теплообменника, рассчитанная через динамическую вязкость растворителя (воды) при  $T_{\text{топл}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  в зависимости от значений числа  $Re$ ; расход жидкости, заданный на насосе, равен  $G_{\text{насос}} = 3,5 \text{ м}^3/\text{с}$

Из рисунка 5 видно, что значения относительных вязкостей КЖТ после теплообменника значительно уменьшились по сравнению с лабораторными экспериментальными результатами из-за значительного увеличения числа Рейнольдса.

На рисунке 6а приведен пример регулирования критического соотношения между числом Рейнольдса, рассчитанным при фактическом расходе жидкости у локального потребителя при заданных температурных условиях ( $Re_{\text{факт}}^T$ ), и числом Рейнольдса при установленном на насосе расходе жидкости ( $Re_{\text{насос}}^T$ ) при разных температурах топлива  $T_{\text{топл}}$ . Числа Рейнольдса  $Re_{\text{факт}}^T$  и  $Re_{\text{насос}}^T$  рассчитывалось по (4).



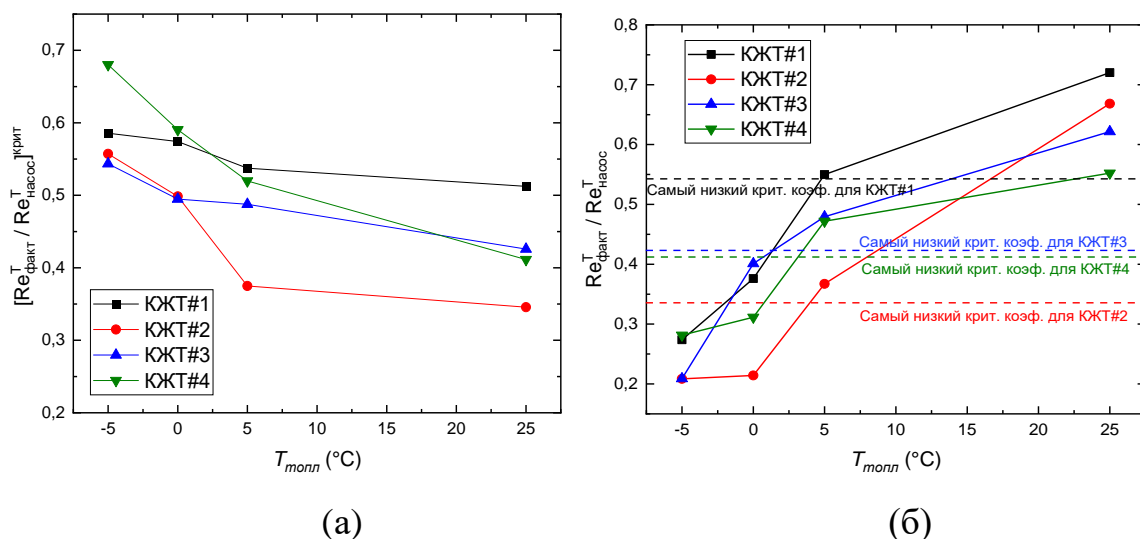


Рисунок 6 – Регулирование критического соотношения между  $Re_{факт}^T$  и  $Re_{насос}^T$  при разных температурах

а – критические соотношения  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  при рассматриваемых температурах  $T_{топл}$ ; б – карта значений  $Re_{факт}^T / Re_{насос}^T$  для топлив при рассматриваемых температурах топлива с выделенными минимальными значениями  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  для каждой жидкости

Предположим, что по условиям потребителя скорость потока КЖТ в конечной точке не должна быть ниже 0,1 м/с при температурах -5 °С...25 °С. Этому условию для каждой жидкости удовлетворяет четыре критических отношения  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  по количеству рассматриваемых температур  $T_{топл}$  (рисунок 6а). Более низкие значения  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  проявляются при понижении  $T_{топл}$ . На карте значений  $Re_{факт}^T / Re_{насос}^T$ , соответствующих всем рассматриваемым случаям, выделены минимальные значения  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  для каждой жидкости. Для удовлетворения условий потребителя по конечной скорости перекачивания КЖТ значения  $[Re_{факт}^T / Re_{насос}^T]^{крит}$  должны быть не ниже 0,512, 0,345, 0,425 и 0,411 для КЖТ#1, КЖТ#2, КЖТ#3 и КЖТ#4, соответственно (рисунок 6б). Предложенный метод позволяет учитывать внешние температурные условия при транспортировке КЖТ по трубопроводу постоянным регулированием задаваемого на насосе расхода жидкости в зависимости от текущей температуры топлива.

Экспериментальные результаты на рисунке 7 аппроксимированы по экспоненциальной асимптотической функции (7):

$$[\mu_{rel}]_2 = 300 - 1359 \cdot 0.003 \frac{T_{топл}}{T_{окр}}. \quad (7)$$

На рисунке 7 показана зависимость значения относительной вязкости  $[\mu_{rel}]_2$  КЖТ от температуры топлива  $T_{топл}$ , отнесенной к комнатной температуре  $T_{окр}$ . Характерные условия для экспериментальных значений:  $d = 6$  мм,  $T_{топл} = 0 \dots 25$  °С; для прогнозируемых значений:  $d = 50$  мм,  $T_{топл} = 60$  °С.

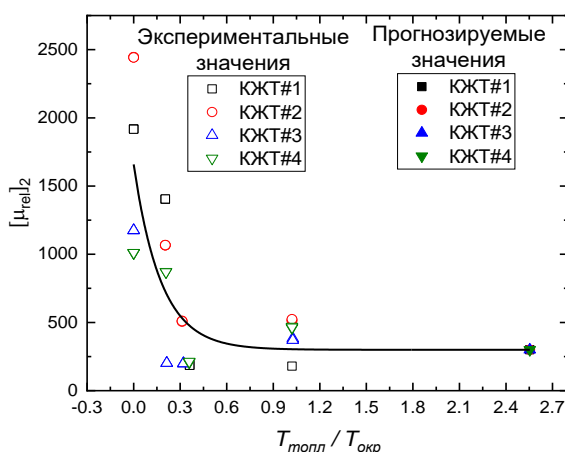


Рисунок 7 – Значения относительных вязкостей КЖТ после теплообменника, рассчитанных через динамическую вязкость растворителя (воды) при 25 °С, в зависимости от безразмерной температуры топлива  $T_{топл} / T_{окр}$ ; расход жидкости, заданный на насосе  $G_{насос} = 3,5$  м<sup>3</sup>/с

На рисунке 7 показано, что увеличение значений  $T_{топл} / T_{окр}$  от 0 до 1 приводит к снижению вязкости топлива после теплообменника. Наиболее резкое падение значения вязкости КЖТ после теплообменника происходит условно до  $T_{топл} = 5$  °С ( $T_{топл} / T_{окр} = 0,21$ ), а при росте температуры топлива до  $T_{топл} = 25$  °С, т.е. до  $T_{топл} / T_{окр} = 1,02$ , снижение этих значений носит весьма умеренный характер. При дальнейшем увеличении отношения температуры топлива и среды до  $T_{топл} = 60$  °С ( $T_{топл} / T_{окр} = 2,55$ ) значение относительной вязкости топлива КЖТ#1 после теплообменника повысилось. У КЖТ#2–4  $[\mu_{rel}]_2$  понижается при увеличении температуры топлива.

## 2 Анализ объекта автоматической системы регулирования

Транспортировка композиционного жидкого топлива по трубопроводу является малоизученной сферой. В связи с чем установок достаточно мало.

Объектом автоматизации является участок топливоподдачи КЖТ. Рассмотрим некоторые варианты схем. На рисунке 8 приведена система транспортировки жидкости по трубопроводу через теплообменники.

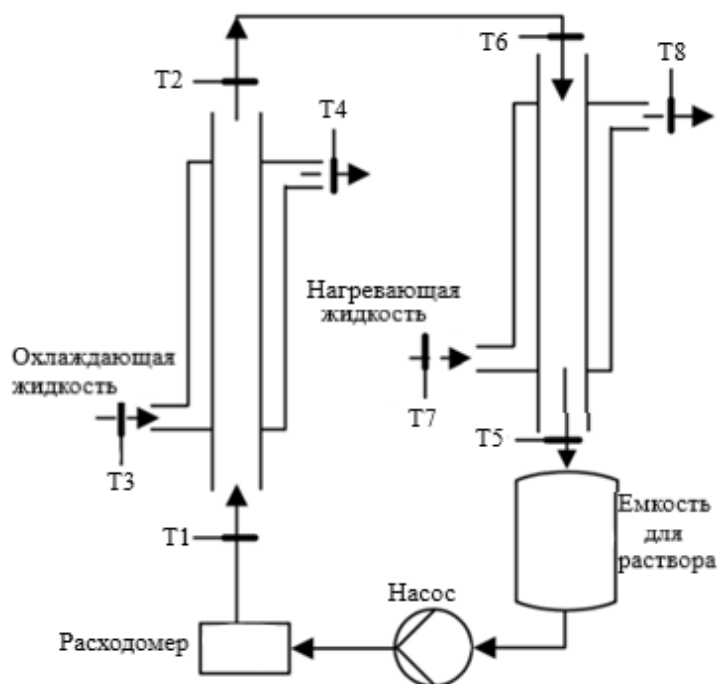


Рисунок 8 – Первая установка [25]

Экспериментальная установка, показанная на рисунке 6, состоит из двух теплообменников для нагрева и охлаждения наножидкостей, циркуляционного насоса, емкости для раствора и массового расходомера. Испытательный участок представляет собой трубу из нержавеющей стали. Двухтрубные теплообменники изготовлены из некоррозионной нержавеющей стали. Восемь термопар типа К вставлены во входную и выходную линии нагревательной жидкости (горячая вода) и охлаждающей жидкости (наножидкость). Температура и расход вводимых наножидкостей контролируется с помощью внешней охлаждающей водяной бани перед подачей в испытательную секцию и перепускного клапана, установленного в

выходной линии циркуляционного насоса. Каждое значение температуры и расхода, измеренное термопарой и массовым расходомером, сохраняется системой сбора данных.

Испытания [25] показали, что разница в скоростях теплопередачи двух жидкостей (нагревательной и охлаждающей) с обеих сторон теплообменника была очень мала. Этот результат означает, что в системе двухтрубного теплообменника потери энергии невелики. Здесь применялись разные виды оксида алюминия, вода, трансформаторное масло.

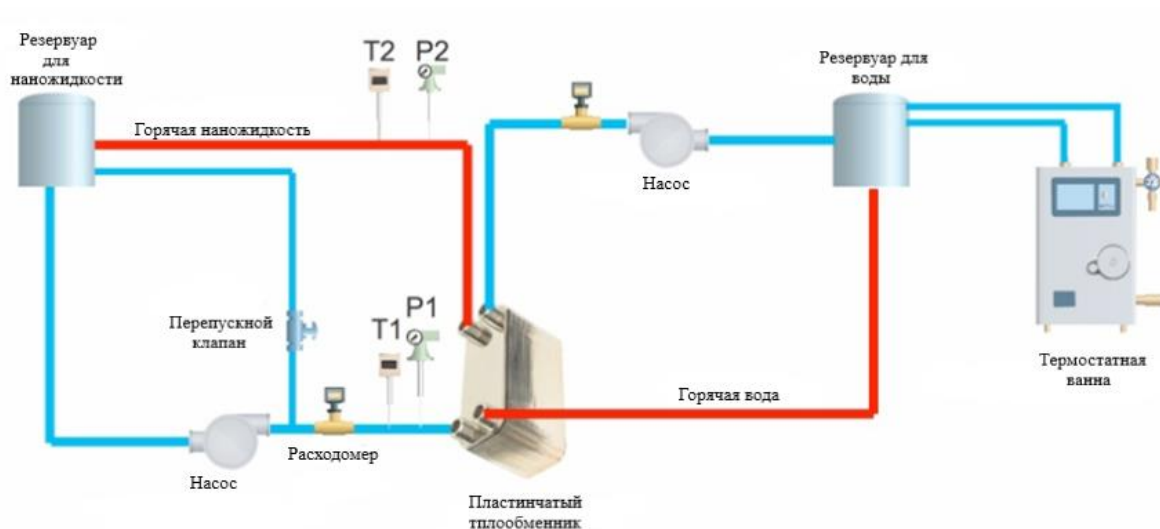


Рисунок 9 – Вторая установка [26]

На рисунке 9 показана испытательная установка, состоящая из трех основных блоков, включающие насосные и циркуляционные контуры, испытательную секцию и измерительные приборы. Циркуляционные контуры состоят из горячего и холодного контуров для наножидкости и воды соответственно. Для хранения наножидкости и воды в них использовались два резервуара. Оба резервуара были изолированы. Для перекачки воды и наножидкости в теплообменник используется два центробежных насоса. Температура и давление в каждом контуре измеряются с помощью двух термометров и двух датчиков давления непосредственно перед испытательным участком и после него. Расход жидкости в каждом контуре

контролируется с помощью ультразвукового расходомера. Основной частью испытательной установки является пластинчатый теплообменник.

Исследования потенциального образования загрязнений из наночастиц MgO внутри теплообменника в испытании [26] показали, что после 500 минут работы в теплообменнике не было обнаружено слоя загрязнения; здесь применялись нонилфенолэтоксилат, MgO и этиленгликоль. Температура в контуре охлаждения устанавливалась на уровне 20 °С.

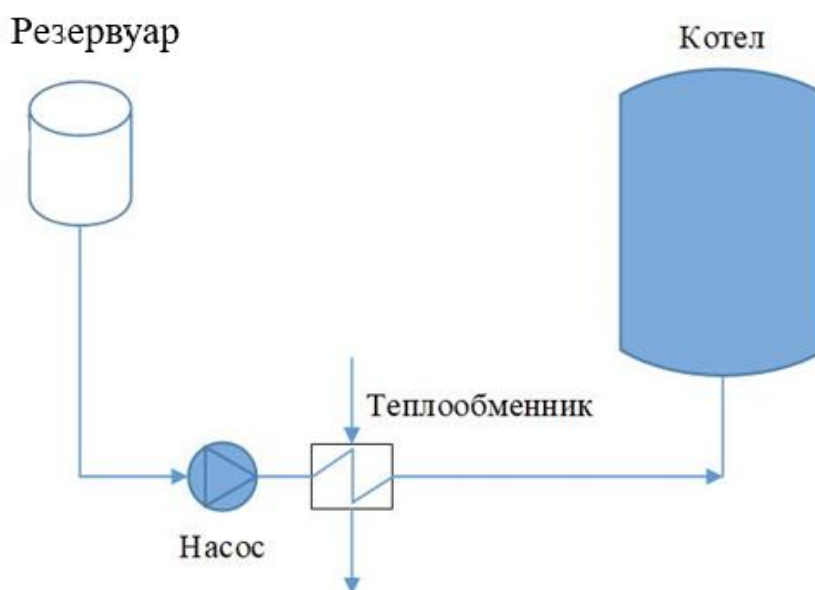


Рисунок 10 – Третья установка [27]

Система, представленная на рисунке 10, обеспечивает бесперебойную подачу подогретого топлива.

В установке [27] топливо в процессе хранения разогревается до температуры 40 °С, так как холодное топливо застывает при перекачке. Топливо подогревается с помощью воды, подаваемой в теплообменник. Интенсивность подогрева перекачиваемой жидкости зависит от температуры окружающего воздуха. Топливо, подаваемое на форсунки котлов, проходит через насос и теплообменник, поднимающий температуру топлива до 140 °С – такой нагрев необходим для оптимизации работы форсунок.

Из вышеперечисленных объектов выберем последний, так как ее реализация более простая, а также экономически более выгодная по сравнению с первыми двумя установками.

Технологические процессы, осуществляемые в системе: подача топлива насосом; подача воды в теплообменник.

Регулируемые параметры:

- температура топлива после теплообменника (60...140 °С).

Контролируемые параметры:

- расход воды в трубопроводе (0...4 т/ч);
- расход топлива в трубопроводе (0...3 т/ч).

Возмущающие воздействия:

- температура окружающей среды.

Регулирующие воздействия:

- температура топлива изменяется посредством изменения расхода воды, подаваемой в теплообменник;
- расход воды регулируется за счет электрозадвижки.

### 3 Разработка структуры КТС автоматической системы регулирования

Найдем типовую структурную схему АСР температуры КЖТ.

На рисунке 11 представлена структурная схема автоматической системы регулирования температуры топлива.

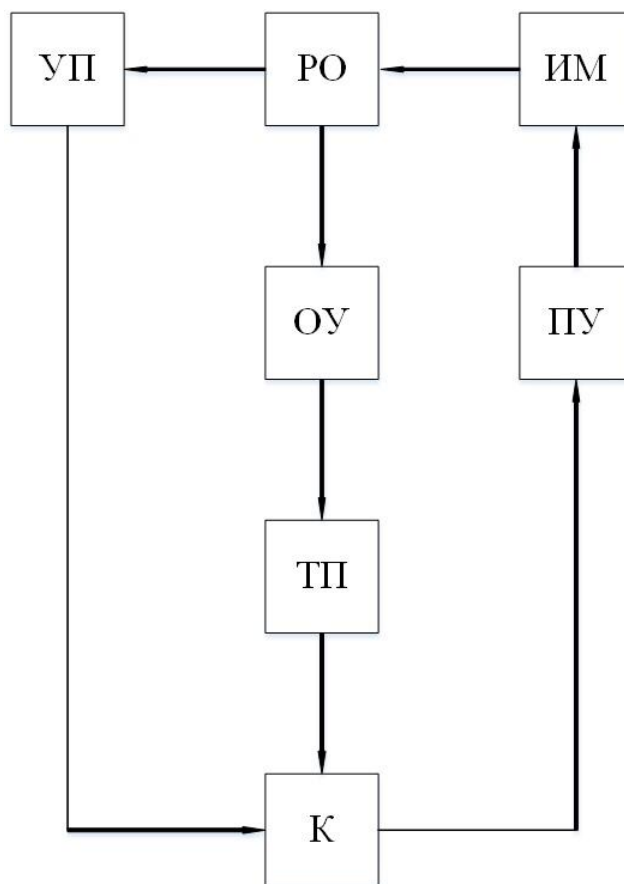


Рисунок 11 – Структурная схема АСР температуры топлива [28]

К – контроллер; ПУ – пусковое устройство; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган; УП – указатель положения; ОУ – объект управления; ТП – преобразователь температуры

На рисунке 11 датчик температуры регулирует состояние среды, контролируя ход процесса и анализируя текущую температуру топлива. Если значение температуры отклоняется от уставки, контроллер вырабатывает управляющее воздействие, которое поступает на вход пускового устройства. Сигнал от пускового устройства преобразовывается из электрического в

механическое перемещение регулирующего органа и идет на исполнительный механизм.

Разработаем на базе найденной схемы структурную схему АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе.

На рисунке 12 представлена структурная схема регулирования температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе.

В системе происходит регулирование температуры композиционного жидкого топлива после теплообменника за счет изменения расхода воды. На трубопроводе с водой установлена задвижка с электроприводом, которая позволяет изменять расход подаваемой воды; на трубопроводе с КЖТ установлен насос, который регулирует расход топлива. КЖТ поступает в трубопровод посредством управления насосом (Н), в это же время вода поступает в теплообменник. После этого происходит измерение температуры КЖТ после теплообменника (РТП) и расхода воды до теплообменника с помощью первичного преобразователя температуры (ПП) и расходомера (Fв), соответственно. Сигналы, поступившие на ПЛК от датчика температуры и расходомера, обрабатываются. В случае расхождения значений температуры вырабатывается управляющее воздействие, передающееся на исполнительный механизм (ИМ), т.е. на электрозадвижку. Также во время подачи КЖТ в теплообменник происходит измерение температуры до теплообменника (Тт1). Для измерения расхода КЖТ (Fт) используется расходомер. С помощью термоэлектрических преобразователей измеряется температура воды до и после теплообменника (Тв1, Тв2).



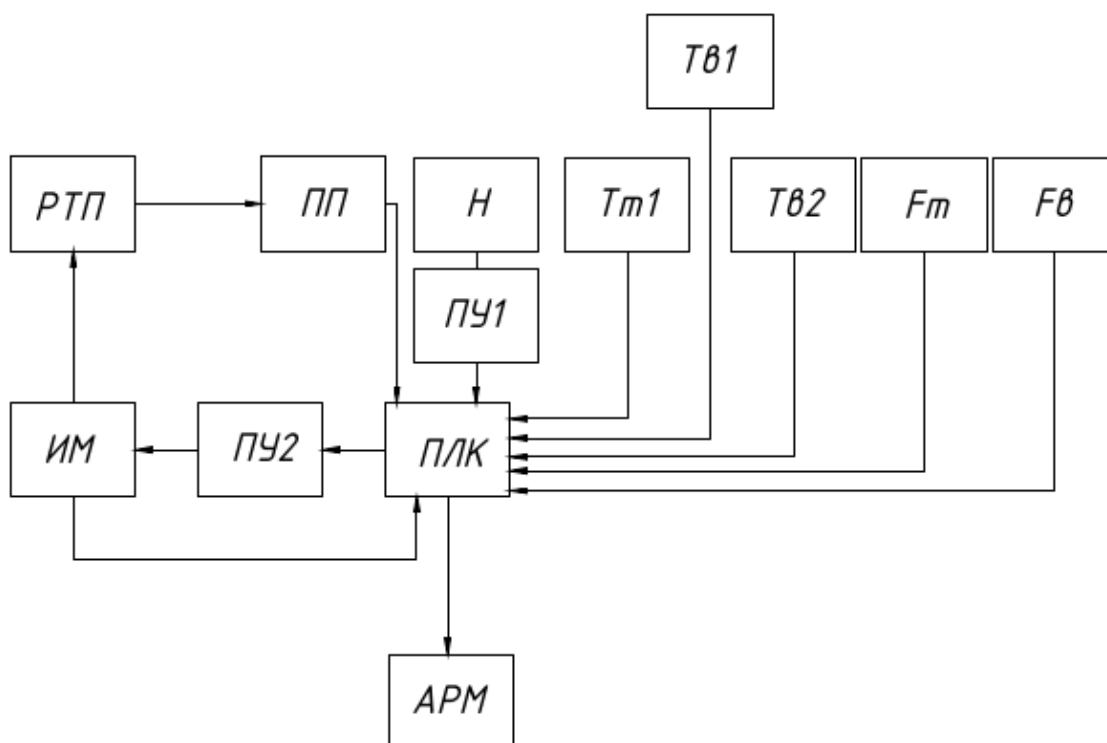


Рисунок 12 – Структурная схема АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе

РТП – регулируемый технологический параметр (температура композиционного жидкого топлива после теплообменника); ПП – первичный преобразователь; ПЛК – программируемый логический контроллер; ПУ1, ПУ2 – пусковое устройство; ИМ – исполнительный механизм; Н – насос; T<sub>т1</sub> – измеряемый параметр (температура композиционного жидкого топлива до теплообменника); T<sub>в1</sub> – измеряемый параметр (температура воды до теплообменника); T<sub>в2</sub> – измеряемый параметр (температура воды после теплообменника); F<sub>т</sub> – измеряемый параметр (расход композиционного жидкого топлива); F<sub>в</sub> – измеряемый параметр (расход воды); АРМ – автоматизированное рабочее место

Разработанная структурная схема представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.021 С1.

#### 4 Разработка функциональной схемы системы управления

На функциональной схеме оборудование необходимо представлять упрощенно, для того, чтобы показать взаимосвязь между отдельными частями схемы, узнать о взаимодействии с датчиками и другими элементами системы.

На трубопроводах представлена только такая регулирующая арматура, которая участвует в системе. Каждое техническое средство имеет собственное позиционное обозначение, которые показывается на функциональной схеме.

На рисунке 13 приведена технологическая схема объекта.

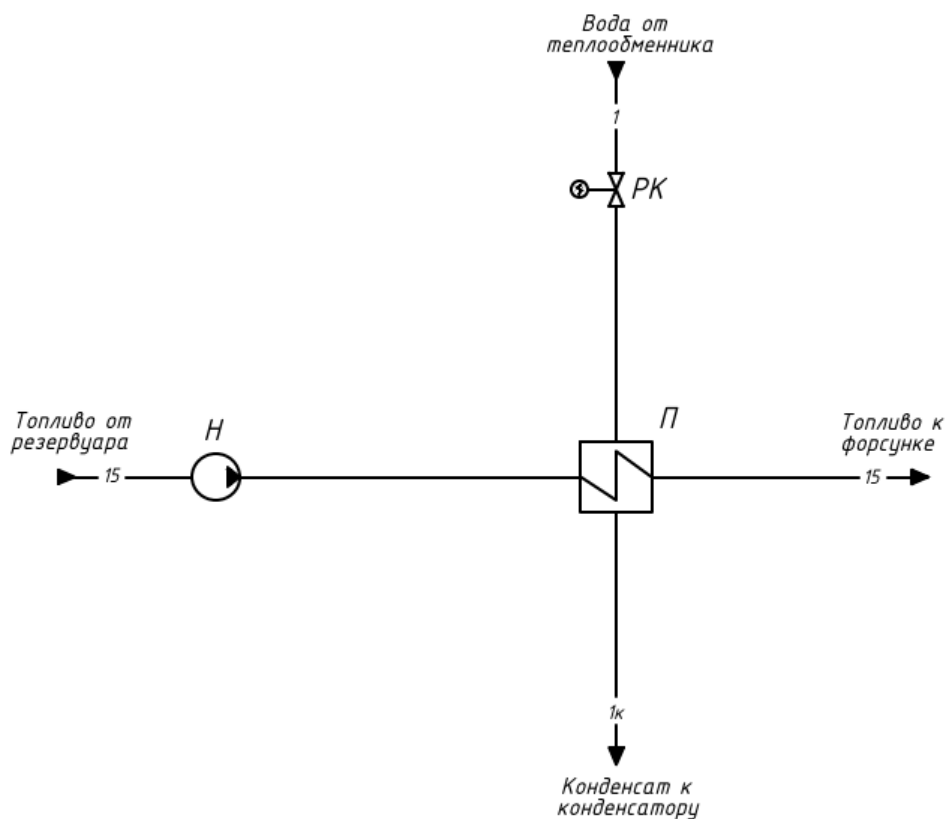


Рисунок 13 – Технологическая схема объекта

Из резервуара подается композиционное жидкое топливо, подаваемое насосом через поверхностный теплообменник к форсунке. Для бесперебойной транспортировки КЖТ от резервуара к форсунке необходимо поддержание температуры топлива от 60 до 140 °С. Чтобы производить

нагрев КЖТ используется подача воды из другого теплообменника. Пройдя через поверхностный теплообменник, образовавшийся конденсат сливается в конденсатор. Для регулирования подачи воды используется электродвигатель, для подачи КЖТ – насос.

На чертеже разработанной функциональной схемы АСР изображено:

- в правой части – технологическая схема объекта автоматизации;
- в верхней левой части – список условных обозначений;
- в нижней левой части разработанного чертежа – таблица с местом установки технических средств.

Изображение преобразователей представляет собой окружность, от которой отходит линия связи с присвоенным ей номером. Все эти линии затем ведутся в шкаф автоматизации, в котором находится контроллер. С контроллера информация передается на АРМ.

Каналы 1–7, 9 – измерения, каналы 7, 8 – регулирования, каналы 1, 2 – сигнализации и канал 8 – управления. Измерительные каналы 1 и 2 служат для передачи сигнала о величине температуры композиционного жидкого топлива до и после теплообменника от термопреобразователей сопротивления с унифицированными выходными сигналами 4...20 мА на программируемый логический контроллер. Измерительные каналы 3 и 4 служат для передачи сигналов о величине температуры воды до и после теплообменника от ТПС с унифицированными выходными сигналами 4...20 мА на контроллер. По каналу 5 передается значение расхода КЖТ от электромагнитного расходомера. По каналу 6 передается значение расхода воды от расходомера. Канал 7 служит для измерения и регулирования сигнала от насоса. Канал 8 и 9 для управления, измерения и регулирования сигналами от электродвигателя.

Около каналов 1–8 прописаны минимальные значения измеряемой величины. Для канала 9 – процент открытия задвижки.

Функциональная схема представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.021 С2.

## 5 Составление заказной спецификации на приборы и средства автоматизации

### 5.1 Выбор датчиков температуры

В таблицах 2–4 приведена сравнительная характеристика датчиков температуры.

Таблица 2 – Технические характеристики датчика Овен типа ДТС-100М

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4...20 мА
НСХ первичного преобразователя	100М
Диапазон преобразования температуры	-50...+180 °С
Класс точности	0,5 %
Длина монтажной части	От 30 до 2000 мм
Средний срок службы	Не менее 8 лет

Таблица 3 – Технические характеристики ТСМУ-205-М

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4...20 мА
НСХ первичного преобразователя	100М
Класс точности	0,5 %
Диапазон преобразования температуры	-50...+150 °С
Длина монтажной части	От 20 до 1000 мм
Средний срок службы	Не менее 15 лет

Таблица 4 – Технические характеристики Метран-2700-100П

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4...20 мА
НСХ первичного преобразователя	100П
Класс точности	0,02 %
Диапазон преобразования температуры	-50...+200 °С
Длина монтажной части	От 30 до 2500 мм
Средний срок службы	Не менее 10 лет

Характеристики датчика Метран-2700-100П больше подходят, так как длина монтажной части соответствует требованиям (30 мм), а также класс точности у данного прибора меньше, чем у других датчиков температуры.

## 5.2 Выбор расходомеров

В процессе поиска расходомеров были рассмотрены различные технические средства. Характеристики выбранных приборов приведены в таблицах 5–7.

Таблица 5 – Технические характеристики ЭМИС- МАГ- 270

Характеристика	Величина
Выходные сигналы	4...20 мА, цифровой Modbus RTU и HART
Условный проход трубопровода	От 15 до 3000 мм
Рабочая температура	-40...+130 °С
Диапазон измерения	0,06...136800 $\frac{м^3}{ч}$
Диапазон рабочего давления	До 32 МПа
Степень пылевлагозащиты	IP65
Средний срок службы	Не менее 15 лет

Таблица 6 – Технические характеристики СИМАГ 11К

Характеристика	Величина
Выходные сигналы	4...20 мА; частотный; импульсный
Условный проход трубопровода	От 10 до 1400 мм
Рабочая температура	-10...+150 °С
Диапазон рабочего давления	До 4 МПа
Степень пылевлагозащиты	IP65, IP67
Средний срок службы	Около 12 лет
Диапазон измерения	0,0035...90477,9 $\frac{м^3}{ч}$

Таблица 7 – Технические характеристики US-800

Характеристика	Величина
Выходные сигналы	4...20 мА; импульсный; частотный
Условный проход трубопровода	От 50 до 1600 мм
Рабочая температура	0...+150 °С
Диапазон рабочего давления	До 6,3 МПа
Степень пылевлагозащиты	IP65
Средний срок службы	Около 10 лет
Диапазон измерения	4...4500 $\frac{м^3}{ч}$

При выборе расходомера нужно учитывать измеряемую среду. Так как в трубопроводе протекает вязкая жидкость, то необходимо рассматривать расходомеры, у которых в среду измерения входят вязкие жидкости.

Все расходомеры удовлетворяют нашим требованиям как по диапазонам измерения жидкости, так и по условному диаметру трубопровода. Но у расходомера ЭМИС- МАГ-270 по сравнению с другими расходомерами есть выходной сигнал HART, а также средний срок службы у

данного расходомера больше, чем у других, поэтому выбор сделаем в сторону первого расходомера.

### 5.3 Выбор насоса

При выборе насоса необходимо было, в первую очередь, обращать внимание на вязкость и наличие твёрдых частиц в перекачиваемом топливе. Главное преимущество винтовых насосов заключается в стабильной скорости перекачки потоков с различной степенью плотности и вязкости с присутствием твердых взвесей. В таблице 8 приведены технические характеристики выбранного насоса.

Таблица 8 – Технические характеристики Varisco V250

Характеристика	Величина
Напор	До 8 бар
Подача	До 13000 $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$
Максимальная вязкость	До 60000 сСт
Частота вращения	До 1800 об/мин

В данном насосе есть частотный преобразователь. Его характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики ER-01T-011T4

Характеристика	Величина
Напряжение питания	380 В
Мощность	35 кВт
Номинальный ток	24 А
Диапазон выходной частоты	0...120 Гц

### 5.4 Выбор ПЛК

Контроллер – это важное устройство системы автоматизации, которое работает в реальном времени. Устройство выполняет функции управления при получении информации, которая приходит к нему от датчиков. В данной работе рассматривались два контроллера, технические характеристики которых приведены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – Технические характеристики SIMATIC-S7-200

Характеристика	Величина
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Количество дискретных входов	До 16 в модуле
Количество аналоговых входов	До 8 в модуле
Количество дискретных выходов	До 8 в модуле
Количество аналоговых выходов	До 4 в модуле

Таблица 11 – Технические характеристики Элси-ТМК

Характеристика	Величина
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Количество дискретных входов	До 64 в модуле
Количество аналоговых входов	До 24 в модуле
Количество дискретных выходов	До 64 в модуле
Количество аналоговых выходов	До 8 в модуле

Так как контроллер Элси-ТМК более доступен, и так как в дальнейшем система может быть усовершенствована, а у данного ПЛК есть достаточно свободных входов и выходов, значит, выберем его.

#### 5.5 Выбор задвижки с электроприводом

В таблице 12 представлены технические характеристики выбранной задвижки с электроприводом.



Таблица 12 – Технические характеристики задвижки клиновой 30ч939р с электроприводом ГЗ А-70

Характеристика	Величина
Тип задвижки	Клиновая
Условный диаметр	65 мм
Тип управления	Электропривод
Крутящий момент	100 Нм
Температура окружающей среды	-10...+180 °С

Для составления заказа необходимо составлять спецификацию, которая предоставляет подробное описание всех приборов и средств автоматизации транспортировочного трубопровода.

Спецификация представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.021 СО1.

## 6 Составление перечня входных и выходных сигналов

В таблице 13 представлен список входных и выходных аналоговых и дискретных сигналов.

Таблица 13 – Входные и выходные сигналы

	AI	AO	DI	DO
Температура КЖТ до теплообменника	+	–	–	–
Температура КЖТ после теплообменника	+	–	–	–
Температура воды до теплообменника	+	–	–	–
Температура воды после теплообменника	+	–	–	–
Расход КЖТ	+	–	–	–
Расход воды	+	–	–	–
Электрозадвижка	+	–	+	+
Насос	+	+	–	–

## **7 Разработка принципиальной электрической схемы щита автоматизации**

На 1 листе изображена подсистема электрического питания и микроклимата щита управления.

Все технические средства питаются от щита питания с переменным напряжением 220 В, 50 Гц. Для осуществления питания внутри щита установлен блок питания 24 В. В случае неисправности клеммы предусмотрен резерв на 24 В и 220 В.

После ввода питания предусмотрена защита от перенапряжения PLT-SEC-T3-230-FM-PT (Z01). Для преобразования напряжения из переменного в постоянное используется источник бесперебойного питания EF A UPS 1AC/24DC-4 (G1) с аккумуляторным модулем АБ-24 МП-12 (GB1), необходимый для поддержки автономной работы устройств, находящихся в щите. В шкафу также установлена лампа (EL1) для ремонта щита и концевой выключатель (SQ1), который включает и выключает лампу при открытии и закрытии дверцы шкафа соответственно. Для удобства обслуживания оборудования в шкафу предусмотрена розетка (XS1). Для контроля температуры внутри шкафа используется термореле TCR111 (KK1), уставка которого составляет 35 °С. Если температура выходит за уставку, т.е. когда срабатывает термореле, то включается вентилятор (M1).

На 2 листе схемы в области 4А представлена таблица с зоной расположения каждого модуля в схеме. Использовано 6 модулей контроллера.

На листах 2 и 3 изображены модули ввода и вывода аналоговых сигналов. Для них предусмотрены разделительные преобразователи ET-322, ET-421 и ET-422, которые обеспечивают гальваническую развязку цепей. ET-322 предназначен для цепей термопреобразователей сопротивления (подключение датчика по 2 каналам); ET-421 и ET-422 – для аналоговых сигналов (подключение по 1 и 2 каналам, соответственно).

Провод НВЭВ у датчиков экранированный, поэтому для каждого провода показано экранирование. Оно нужно для защиты от помех.

Для токовых сигналов с электрозадвижки и насоса предусмотрен резерв.

На листах 3 и 4 изображены модули ввода и вывода дискретных сигналов. Для выдачи управляющих сигналов используются реле.

Для дискретных входных и выходных сигналов с электрозадвижки предусмотрен резерв.

На листе 4 изображена электрическая схема подсистемы управления исполнительным механизмом (электрозадвижки).

В перечне элементов в примечании для модульного контроллера указаны панель и выбранные модули, для всех клемм указаны их номера расположения в блоках зажимов, для переключателей указаны соответствующие клеммы, для реле К2, К3, К5 и К6 указан базовый модуль, на который они крепятся.

Электрическая схема приведена на отдельном листе с шифром ФЮРА 421000.021 Э4.

Перечень элементов для электрической схемы представлен на отдельных листах с шифром ФЮРА 421000.021 ПЭ4.

## 8 Проектирование схемы монтажной

Нижний уровень, он же полевой, включает в себя контрольно–измерительные приборы, запорно–регулирующую арматуру, исполнительный механизм, насос. На данном уровне выполняется контроль за технологическими параметрами; преобразование полученных параметров в унифицированные сигналы; определение положения и состояния исполнительных механизмов; взаимодействие с запорно–регулирующей арматурой.

Кабели выбираются по количеству жил и размеру сечения.

Кабель КВВГ – это контрольный кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ.

Кабель КВВГЭ – контрольный экранированный кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ.

Для щита силового управления выберем кабели ВВГ. Это силовой кабель с медными токопроводящими жилами, с изоляцией и оболочкой из ПВХ–пластика без защитных покровов. Применяется для прокладки в сухих и влажных помещениях, в блоках, щитах.

На чертеже около каждого кабеля написано число жил, сечение кабеля и длина. Также около некоторых кабелей указано число задействованных жил.

В таблице 14 указаны кабели, использованные в схеме.

Таблица 14 – Кабели, использованные в схеме

Номер измерительного канала	Наименование кабеля
7, 8, 11, 12, 15	КВВГЭ
1–6, 14	КВВГ
9, 10, 13	ВВГ

Клеммные коробки предназначены для соединения и разветвления кабелей. Провода от каждого датчика заводятся в клеммную коробку.

Предусмотрено две клеммных коробки У 614 – первая для трех датчиков температуры с позициями 1а, 2а и 3а, вторая для датчика температуры и расходомеров с позициями 4а, 5а и 6а. У клеммной коробки У 614 10 клемм, с сечением жил до 4 мм<sup>2</sup>, IP65, 3 входа М20 и 1 выход М32.

На чертеже в правой нижней части приведена таблица с применяемыми клеммными коробками и их некоторые данные.

В верхней части чертежа приведена таблица с наименованием параметров, местами отбора импульсов и позициями датчиков и приборов. Под каждой позицией располагаются соответствующие датчики и приборы. Исходя из руководства по эксплуатации, датчики температуры подключаются по трехпроводной схеме, а расходомер по двухпроводной. Провода обозначаются, начиная со 101, и соединяются в кабели. В окружности на кабеле приводится маркировка кабеля. Кабели №1–3 сводятся в клеммную коробку через 3 сальника М20, из коробки выходит кабель №7 через сальник М32 на щит автоматизации. Кабели №4–6 сводятся в клеммную коробку через 3 сальника М20, из коробки выходит кабель №8 через сальник М32 на щит автоматизации.

В нижней левой части чертежа изображен шкаф автоматизации. Он соединяется кабелем №9 с щитом силового управления, который изображен в верхней правой части чертежа.

Правее от датчиков изображен насос Varisco V250. Он питается от ЩСУ кабелем №10. Сигналы регулирования от насоса идет в щит автоматизации с помощью кабеля № 11, сигнал измерения – с помощью кабеля №12. Так как все сигналы насоса аналоговые, то предусмотрено их экранирование.

Правее насоса расположена задвижка с электроприводом 30ч939р с ГЗ А-70. Электропривод питается от силового щита кабелем № 13. Кабели №14 и №15 идут в щит автоматизации, причем кабель №15 экранированный, так как это сигнал измерения, т.е. аналоговый.

Схема монтажная приведена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.021 С5.

## **9 Разработка общего вида щита управления**

Общий вид щита управления демонстрирует взаимное расположение всех элементов, входящих в щит. Общий вид щита управления и перечень элементов, входящих в его состав, представлены на листе с шифром ФЮРА.421000.021 ВО.

Шкаф выбирается исходя из объема технических средств, входящих в шкаф, и их количества. Выберем распределительный навесной шкаф АХ фирмы “Rittal” (производитель – Германия) размером 600х1200х400 мм.

Как правило, оборудование, обеспечивающее питание и освещение, располагают в верхней части шкафа. В средней части находятся разделительные преобразователи и реле. В нижней части – блоки зажимов.

Оборудование размещается на DIN–рейке NS 35/4,5 ZN UNPERF. Прокладка соединений предусмотрена в закрытых коробах.

На двери шкафа размещены вентилятор и ручка.

## 10 Расчет параметров настройки регулятора

### 10.1 Идентификация объекта управления

Под идентификацией понимается определение математической модели элемента или системы управления.

В настоящей работе для построения кривой разгона использована модель изменения расхода воды, подаваемой в теплообменник, по времени (рисунок 14).

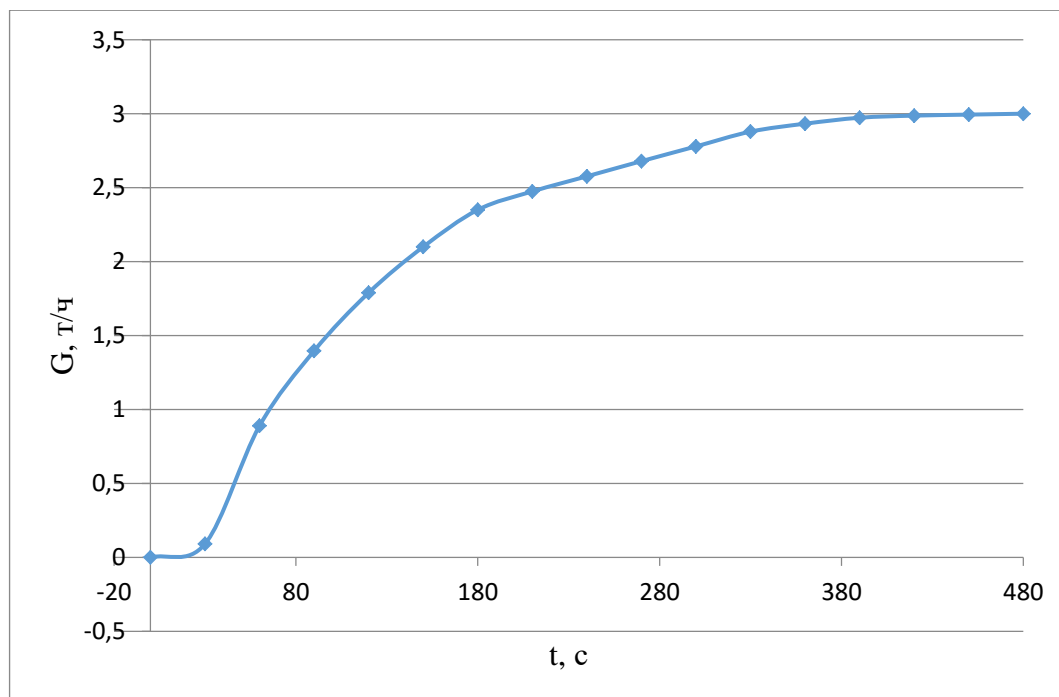


Рисунок 14 – Кривая разгона объекта управления

Передаточная функция состоит из апериодического звена и звена запаздывания. Формула для передаточной функции:

$$W(P) = \frac{k}{TP+1} e^{-P\tau}, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент передачи;

$T$  – постоянная времени;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания.

Для решения уравнения (8) найдем нулевые начальные условия:



$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (9)$$

Коэффициент усиления:

$$k = \frac{h(T_y)}{A}, \quad (10)$$

где  $A$  – выходное воздействие.

При  $A = 1$  коэффициент усиления:

$$k = h(T_y). \quad (11)$$

Построим точки  $A$  и  $B$ , ордината точки  $A$  равна  $0,33 \cdot k$ , точки  $B$  –  $0,7 \cdot k$  (рисунок 15).

Постоянная времени и время запаздывания:

$$T = \frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (12)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (13)$$

где  $t_A, t_B$  – значения абсцисс;  $h_A, h_B$  – значения ординат.

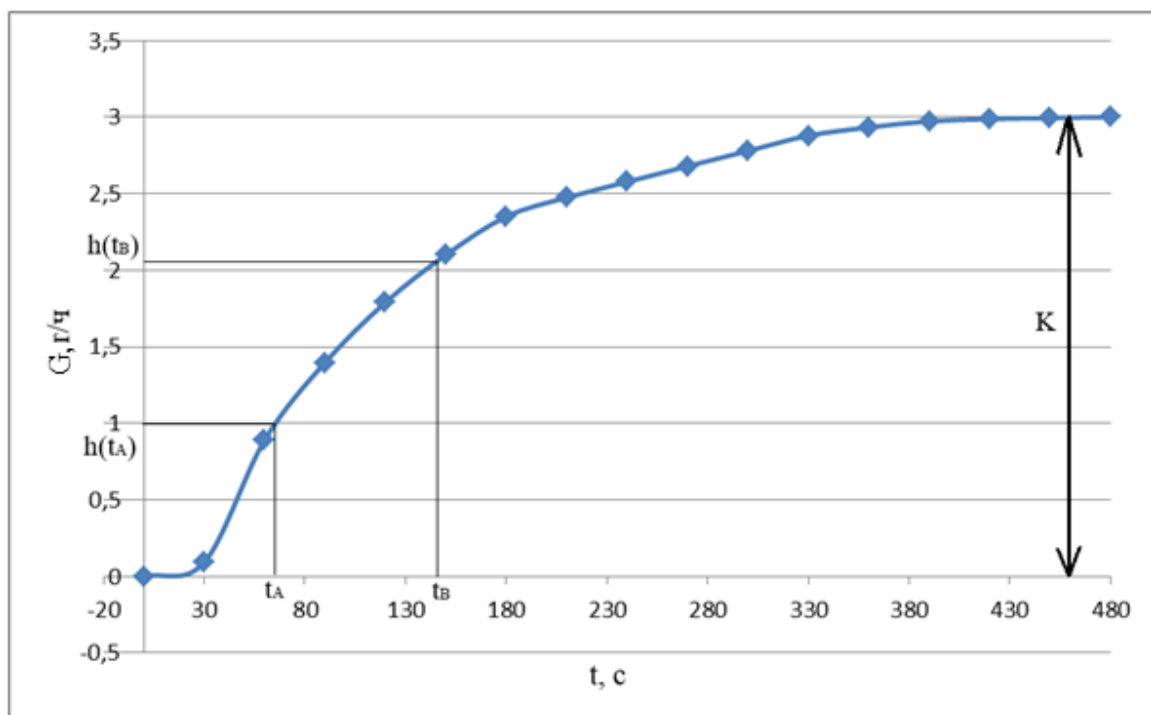


Рисунок 15 – Определение  $t_A$  и  $t_B$  на кривой разгона

Произведем аппроксимацию кривой по методу Орманна. Постоянная времени и время запаздывания вычисляются по следующим формулам:

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25 \cdot (t_B - t_A), \quad (14)$$

$$\tau = 0,5 \cdot (3 \cdot t_A - t_B). \quad (15)$$

Исходя из рисунка 15 определим значения постоянной времени и время запаздывания:

$$T = 1,25 \cdot (185 - 85) = 112,5 \text{ с},$$

$$\tau = 0,5 \cdot (3 \cdot 85 - 185) = 15 \text{ с}.$$

Передаточная функция примет вид:

$$W(P) = \frac{3}{112,5 \cdot P + 1} e^{-15 \cdot P}. \quad (16)$$

10.2 Расчет параметров настройки и построение границы заданного запаса устойчивости

На рисунке 16 приведена структурная схема АСР с обратной связью.

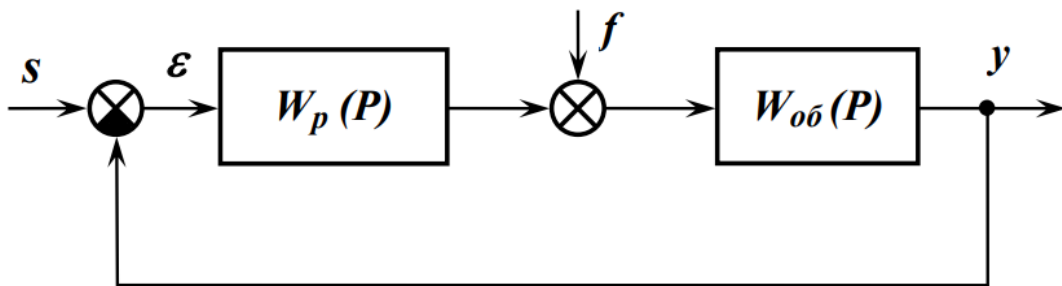


Рисунок 16 – Структурная схема АСР

При помощи корневого метода параметрического синтеза расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ) построим границу заданного запаса устойчивости.

Требование к запасу устойчивости:  $\psi = 0,75$ ; критерий оптимальной настройки:  $I_1$ .

Определим значение степени колебательности по заданной степени затухания:

$$m = -\frac{\ln(1 - \psi)}{2 \cdot \pi}, \quad (17)$$

$$m = -\frac{\ln(1-0,75)}{2 \cdot 3,14} = 0,221.$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается следующей формулой:

$$W(P) = \frac{3}{112,5 \cdot P + 1} e^{-15 \cdot P}.$$

Произведем преобразования для формулы (9) и найдем расширенные частотные характеристики объекта  $Re_{об}(m, \omega)$ ,  $Im_{об}(m, \omega)$ ,  $A_{об}(m, \omega)$ , сделав замену  $P = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ .

$$\begin{aligned} W_{об}(m, \omega) &= \frac{K \cdot e^{-(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) \cdot \tau}}{T \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1} = \frac{K \cdot e^{-(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) \cdot \tau}}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1] + i \cdot T \cdot \omega} = \\ &= \frac{([-T \cdot m \cdot \omega + 1] - i \cdot T \cdot \omega) \cdot K \cdot e^{-(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) \cdot \tau}}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2}, \\ W_{об}(m, \omega) &= \frac{([-T \cdot m \cdot \omega + 1] - i \cdot T \cdot \omega) \cdot K \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau} \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot \tau}}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Произведем замену экспоненциальной функции на тригонометрическую по формуле Лапласа:

$$\begin{aligned} W_{об}(m, \omega) &= \\ &= \frac{([-T \cdot m \cdot \omega + 1] - i \cdot T \cdot \omega) \cdot K \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau} \cdot (\cos(\omega \cdot \tau) - i \cdot \sin(\omega \cdot \tau))}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2} = \\ &= K \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau} \cdot \left( \frac{\cos(\omega \cdot \tau) \cdot [-T \cdot m \cdot \omega + 1] - T \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot \tau)}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{i \cdot [-T \cdot m \cdot \omega + 1] \cdot \sin(\omega \cdot \tau) + i \cdot T \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot \tau)}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2} \right). \end{aligned}$$

Расширенная вещественная частотная характеристика:

$$Re_{об}(m, \omega) = \frac{\cos(\omega \cdot \tau) \cdot [-T \cdot m \cdot \omega + 1] - T \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot \tau)}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2} \cdot K \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau}. \quad (19)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика:

$$Im_{об}(m, \omega) = -\frac{[-T \cdot m \cdot \omega + 1] \cdot \sin(\omega \cdot \tau) + T \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot \tau)}{[-T \cdot m \cdot \omega + 1]^2 + T^2 \cdot \omega^2} \cdot K \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau}. \quad (20)$$

Расширенная амплитудно–частотная характеристика:

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}^2 + Im_{об}^2}. \quad (21)$$

Расчетные формулы корневого метода для ПИ–регулятора имеют следующий вид:

$$\frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi}} = - \frac{w \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, w)}, \quad (22)$$

$$k_{\Pi} = - \frac{m \cdot Im_{o6}(m, \omega) + Re_{o6}(m, \omega)}{A_{o6}^2(m, w)}. \quad (23)$$

Задаваясь частотой, найдем значения для расширенных частотных характеристик.

Таблица 15 – Результаты расчета настройки ПИ–регулятора

$w, c^{-1}$	$Re_{o6}(m, \omega)$	$Im_{o6}(m, \omega)$	$A_{o6}(m, \omega)$	$\frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi}}$	$k_{\Pi}$
0	3	0	3	0	-0,33333
0,002	2,98655	-0,80246	3,092478	0,000176	-0,29374
0,004	2,615471	-1,50936	3,019745	0,000694	-0,25024
0,006	2,041116	-1,94259	2,817768	0,00154	-0,203
0,008	1,459077	-2,09956	2,556767	0,002695	-0,15222
0,01	0,973989	-2,07508	2,292293	0,004142	-0,09808
0,012	0,605012	-1,96059	2,051821	0,005861	-0,04079
0,014	0,334492	-1,81296	1,843557	0,007833	0,01947
0,016	0,137925	-1,66094	1,666654	0,010034	0,082493
0,018	-0,00555	-1,51711	1,517122	0,012444	0,148079
0,02	-0,11135	-1,38598	1,390442	0,015038	0,216026
0,022	-0,19034	-1,26831	1,282517	0,017792	0,286129
0,024	-0,25006	-1,16335	1,189922	0,020682	0,358185
0,026	-0,29572	-1,06976	1,109883	0,023682	0,431988
0,028	-0,33099	-0,98612	1,040185	0,026765	0,507332
0,03	-0,35846	-0,91108	0,979063	0,029907	0,584011
0,032	-0,37999	-0,84346	0,925102	0,033078	0,66182
0,034	-0,39693	-0,78222	0,877171	0,036254	0,740555
0,036	-0,41029	-0,7265	0,834352	0,039405	0,820012
0,038	-0,4208	-0,67556	0,795897	0,042505	0,899987
0,04	-0,42903	-0,62877	0,761195	0,045527	0,980281
0,042	-0,43542	-0,5856	0,729738	0,048442	1,060694
0,044	-0,44029	-0,54561	0,701107	0,051225	1,141029
0,046	-0,44391	-0,50843	0,674946	0,053846	1,221092
0,048	-0,44647	-0,47372	0,65096	0,056281	1,300691
0,05	-0,44815	-0,44121	0,628894	0,058502	1,379637
0,052	-0,44906	-0,41068	0,608535	0,060484	1,457744
0,054	-0,44932	-0,3819	0,589697	0,062201	1,534829
0,056	-0,44901	-0,35472	0,57222	0,063629	1,610715
0,058	-0,4482	-0,32896	0,555966	0,064742	1,685225
0,06	-0,44694	-0,30451	0,540816	0,065518	1,75819
0,062	-0,44529	-0,28124	0,526663	0,065934	1,829442

Продолжение таблицы 15

$\omega, \text{c}^{-1}$	$Re_{o6}(m, \omega)$	$Im_{o6}(m, \omega)$	$A_{o6}(m, \omega)$	$\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{и}}}$	$k_{\Pi}$
0,064	-0,44327	-0,25905	0,513416	0,065968	1,898821
0,066	-0,44093	-0,23785	0,500994	0,065599	1,966169

По полученным результатам построим зависимость  $\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{и}}} = f(k_{\Pi})$ . Все значения параметров настройки, лежащие на кривой, обеспечивают заданную степень затухания.

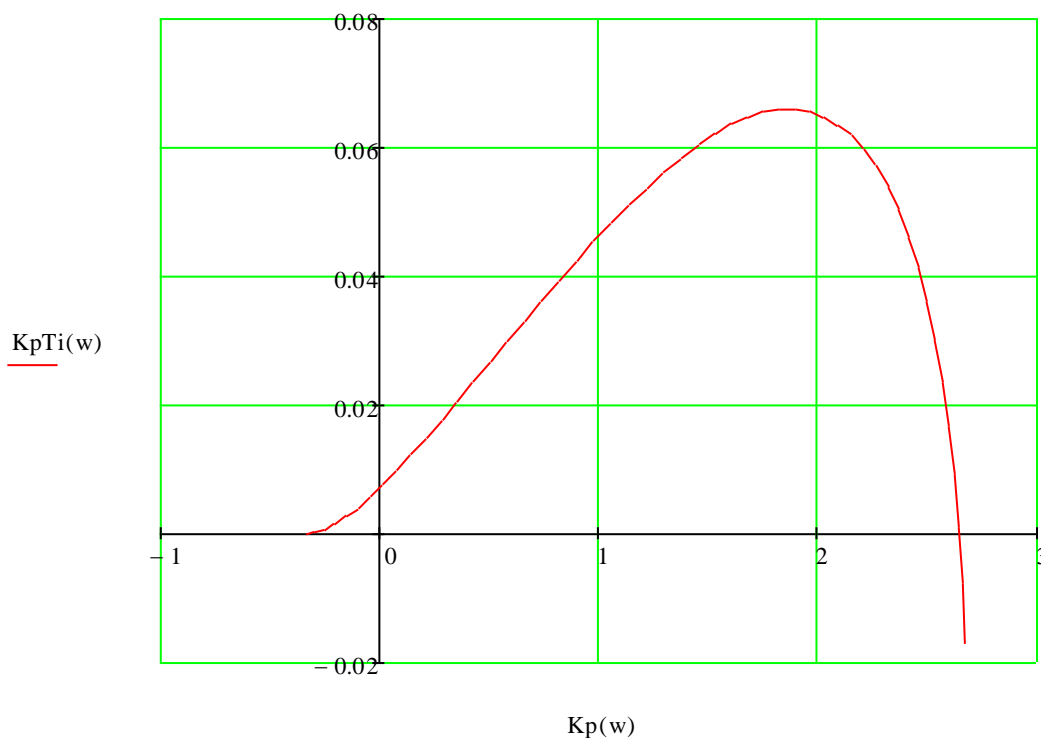


Рисунок 17 – Расчет настройки ПИ–регулятора

На границе заданного запаса устойчивости найдем значения параметров, минимизирующих принятый критерий качества работы системы. Так, минимуму первого интегрального критерия соответствует максимум отношения  $\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{и}}}$ . Тогда:

$$\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{и}}} = 0,065967572,$$

$$k_{\Pi} = 1,899,$$

$$T_{и} = \frac{k_{п}}{\frac{k_{п}}{T_{и}}} = \frac{0,24415}{0,00292} = 28,79 \text{ с}, \quad (24)$$

$$w_{рез} = 0,064 \text{ с}^{-1}.$$

10.3 Расчёт, построение, и оценка качества переходного процесса по каналу регулирующего воздействия  $S-y$

Для АСР, приведенной на рисунке 16, передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W_{S-y}(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (25)$$

$$\text{где } W_{об}(P) = \frac{3}{112,5 \cdot P + 1} e^{-15 \cdot P}, W_p(P) = K_p + \frac{K_p}{T_{и} \cdot P}.$$

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Для расчета по этому методу необходимо построить вещественную частотную характеристику (ВЧХ). В таблице 16 приведены результаты расчета ВЧХ замкнутой системы при задающем воздействии.

Таблица 16 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы при задающем воздействии

$w, \text{с}^{-1}$	$Re(w)$
0,001	1
0,004	1,008
0,007	1,023
0,01	1,047
0,013	1,078
0,016	1,117
0,019	1,164
0,022	1,216
0,025	1,274
0,028	1,337
0,031	1,404
0,034	1,472
0,037	1,537
0,04	1,595
0,043	1,634
0,046	1,638
0,049	1,581
0,052	1,418
0,055	1,096

Продолжение таблицы 16

$w, c^{-1}$	$Re(w)$
0,058	0,561
0,061	-0,181
0,064	-1,009
0,067	-1, 72
0,07	-2,16
0,073	-2,322
0,076	-2,288
0,079	-2,149
0,082	-1,967
0,085	-1,777
0,088	-1,596
0,091	-1,43
0,094	-1,281

На рисунке 18 приведена ВЧХ системы.

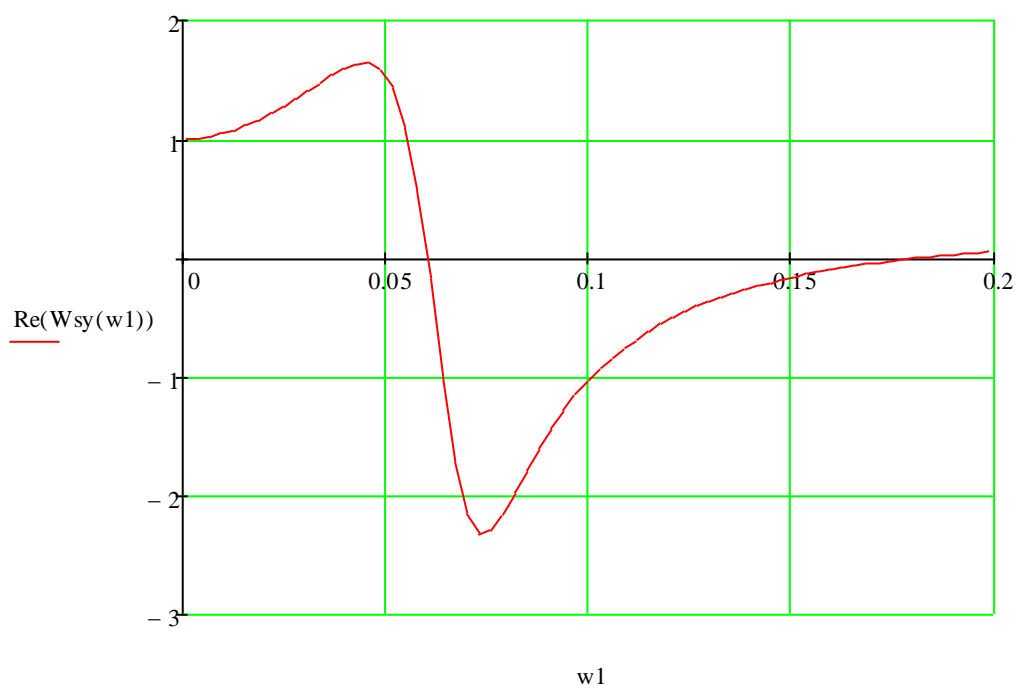


Рисунок 18 – ВЧХ замкнутой системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(w)}{w} \cdot \sin(w \cdot t) \cdot dw. \quad (26)$$

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение ВЧХ системы стремится к 0. Из рисунка 18 определим это значение и тогда формула (26) примет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,181} \frac{Re(w)}{w} \cdot \sin(w \cdot t) \cdot dw. \quad (27)$$

На рисунке 19 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

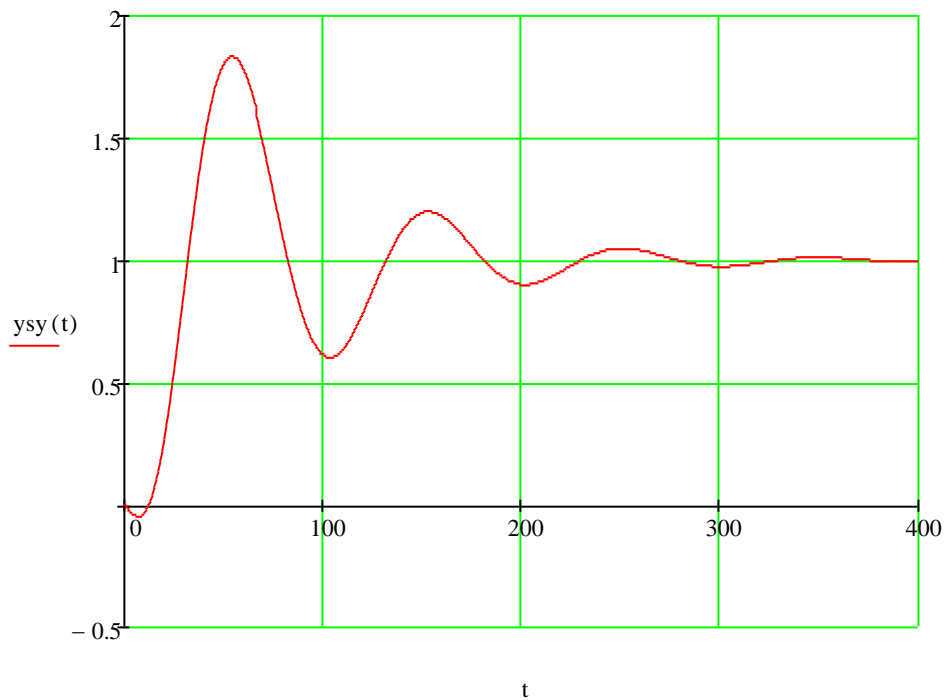


Рисунок 19 – Переходный процесс

Динамическая ошибка:

$$A_1 = 0,834.$$

Перерегулирование:

$$\delta = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,834}{1} \cdot 100 = 83,4 \%$$

Статическая ошибка:



$$\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0.$$

Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,834 - 0,19}{0,834} = 0,772.$$

Время регулирования:

$$t_p = 252 \text{ с.}$$

10.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР при возмущении  $f - y$ , идущем по каналу регулирующего воздействия

Передаточная функция замкнутой системы при возмущении  $f - y$  имеет вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (28)$$

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. В таблице 17 приведены результаты расчета ВЧХ замкнутой системы при задающем воздействии.

Таблица 17 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы при задающем воздействии

$w, \text{с}^{-1}$	$Re(w)$
0,001	0,000513
0,004	0,008193
0,007	0,025
0,01	0,051
0,013	0,085
0,016	0,128
0,019	0,178
0,022	0,236
0,025	0,302
0,028	0,374
0,031	0,454
0,034	0,541
0,037	0,634
0,04	0,733
0,043	0,835
0,046	0,935

Продолжение таблицы 17

$w, c^{-1}$	$Re(w)$
0,049	1,023
0,052	1,079
0,055	1,07
0,058	0,952
0,061	0,693
0,064	0,312
0,067	-0,104
0,07	-0,45
0,073	-0,677
0,076	-0,794
0,079	-0,832
0,082	-0,824
0,085	-0,791
0,088	-0,745
0,091	-0,695
0,094	-0,645

На рисунке 20 приведена ВЧХ системы.

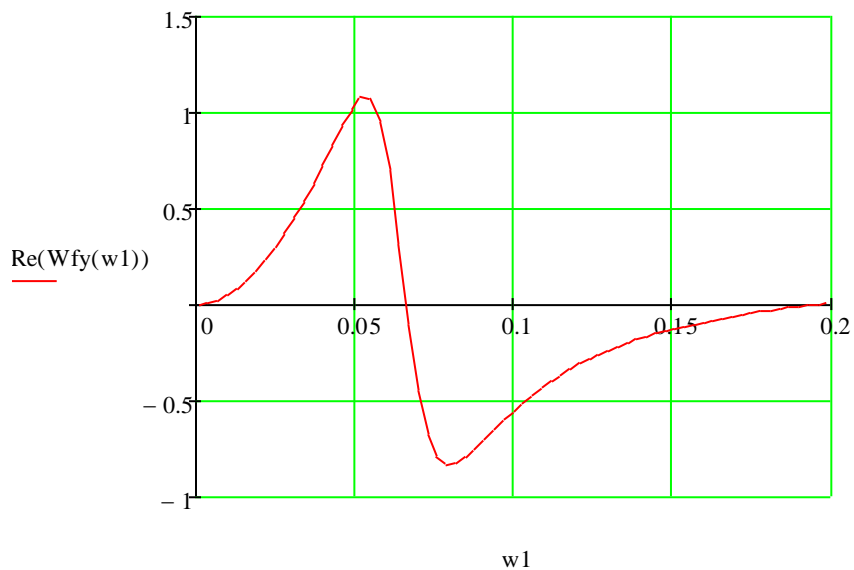


Рисунок 20 – ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле (27):

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(w)}{w} \cdot \sin(w \cdot t) \cdot dw. \quad (29)$$

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение

ВЧХ системы стремится к 0. Из рисунка 20 определим это значение и тогда формула (29) примет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,19} \frac{Re(w)}{w} \cdot \sin(w \cdot t) \cdot dw. \quad (30)$$

На рисунке 21 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

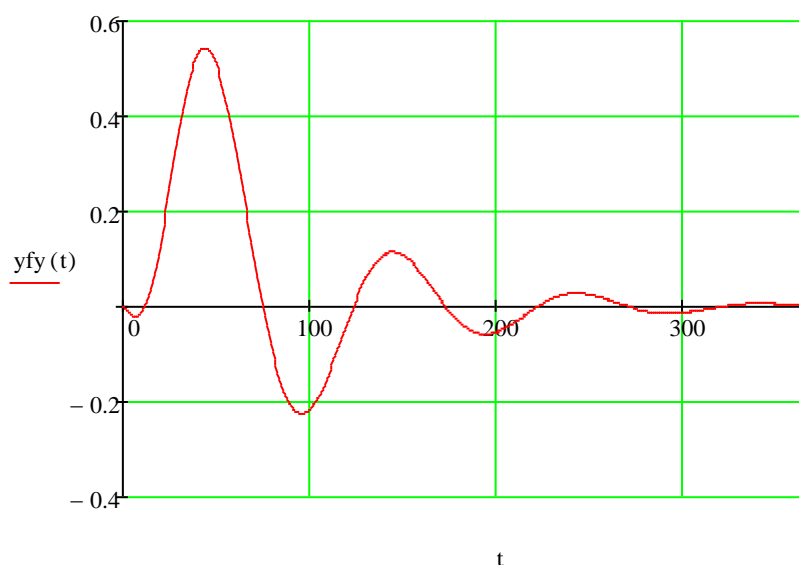


Рисунок 21 – Переходный процесс

Динамическая ошибка:

$$A_1 = 0,542.$$

Перерегулирование:

$$\delta = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,226}{0,542} \cdot 100\% = 41,7 \%. \quad (31)$$

Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0.$$

Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,542 - 0,115}{0,542} = 0,79.$$

Динамический коэффициент регулирования:

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100\% = \frac{0,542 + 0}{3} \cdot 100\% = 18,07\% \quad (32)$$

Время регулирования:

$$t_p = 201 \text{ с.}$$

По полученным оценкам можно сделать вывод, что степень затухания соответствует принятой.

## 11 Мнемосхема системы

Для предоставления человеку–оператору достаточной информации о текущем состоянии контролируемого объекта и возможности справедливого принятия правильных решений требуется специальный вид визуализации, который называется мнемосхемой. Она позволяет достичь оптимального взаимодействия системы и человека, что позволит устранять неожиданные отклонения в процессах на самых ранних этапах.

К мнемосхеме должны быть предъявлены некоторые основные требования:

- при любом нарушении работы системы необходимо, чтобы отображалась сигнализация;
- отображение всех панелей должно давать лучшее зрительное восприятие информационных элементов системы;
- каждый элемент должен выделяться от других любым способом;
- на мнемосхеме изображают элементы, которые необходимы оператору для управления объектом.

Для АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе написан код и сделана визуализация системы в ПО MasterSCADA (Приложение А).

SCADA – это система, которая используется для управления и контроля за процессами, происходящими в различных отраслях промышленности. Такая система позволяет получать данные с датчиков, контролирующего оборудование, которое изображают на схеме (насосы, клапаны, задвижки), обрабатывать полученные данные, отображать их и управлять процессами на основе данных.

Внедрение SCADA–системы начинается с четкого представления и понимания того, что необходимо регулировать. Следующий шаг – добавить аппаратное и программное обеспечение, необходимое для соединения точек. ПЛК часто используются в качестве локальных точек сбора информации с датчиков и отправки ее на SCADA–систему. Программное обеспечение

SCADA затем берет на себя управления, помогая оператору взаимодействовать с системой, предупреждая о проблемах и обеспечивая контроль над несколькими или тысячами оборудованиями. Листинг программы представлен в приложении А. На рисунке 22 представлены функциональные блоки, которые использованы при написании кода.

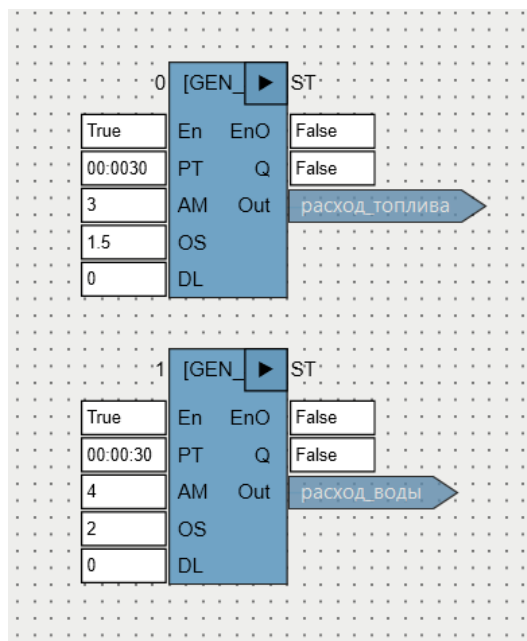


Рисунок 22 – Функциональные блоки программы

На рисунке 23 представлена мнемосхема АСР. В верхней части в центре условно изображен технологический процесс. В нижней левой части показано состояние оборудования и аварии при их поломке или при превышении уставок.

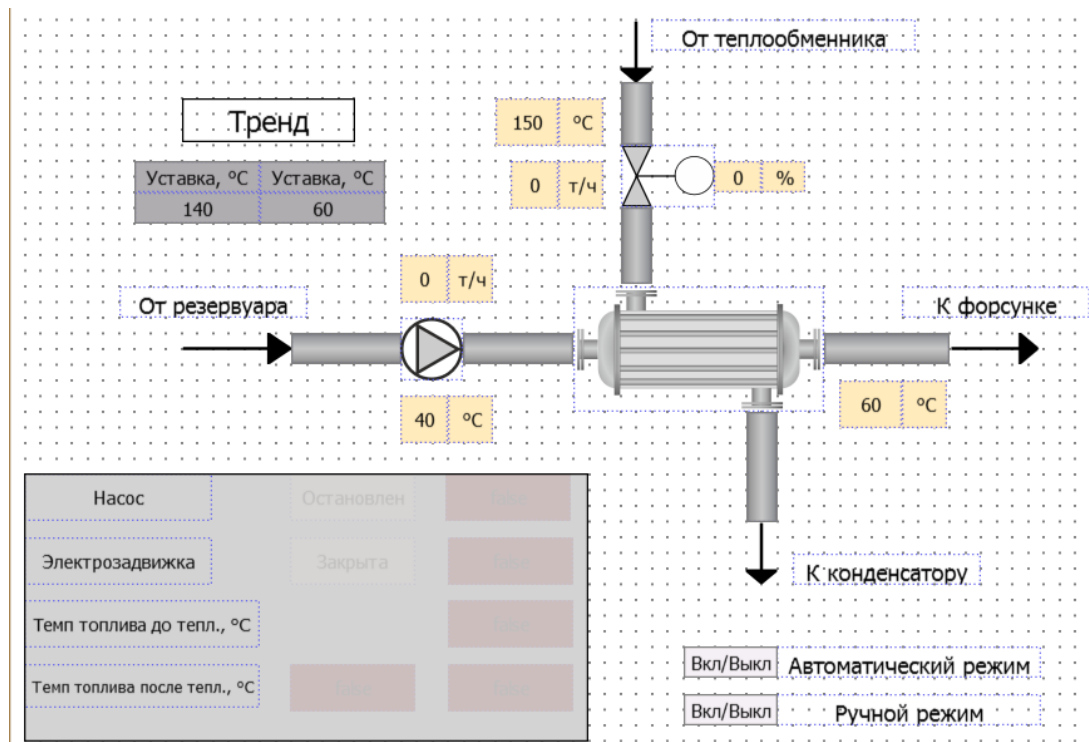


Рисунок 23 – Главное окно мнемосхемы АСР

На рисунке 24 представлена визуализация проекта. При запуске демонстрации мнемосхемы все начинает работать в автоматическом режиме, т.е. с первых секунд насос запущен, а задвижки открыты. По горизонтальному трубопроводу течет КЖТ, а по вертикальному трубопроводу – вода. Зеленый цвет на индикаторах означает, что оборудование работает. Желтый цвет привода электрозадвижки означает ее промежуточное положение. Справа от электрозадвижки показана доля открытия задвижки в зависимости от максимального расхода воды.

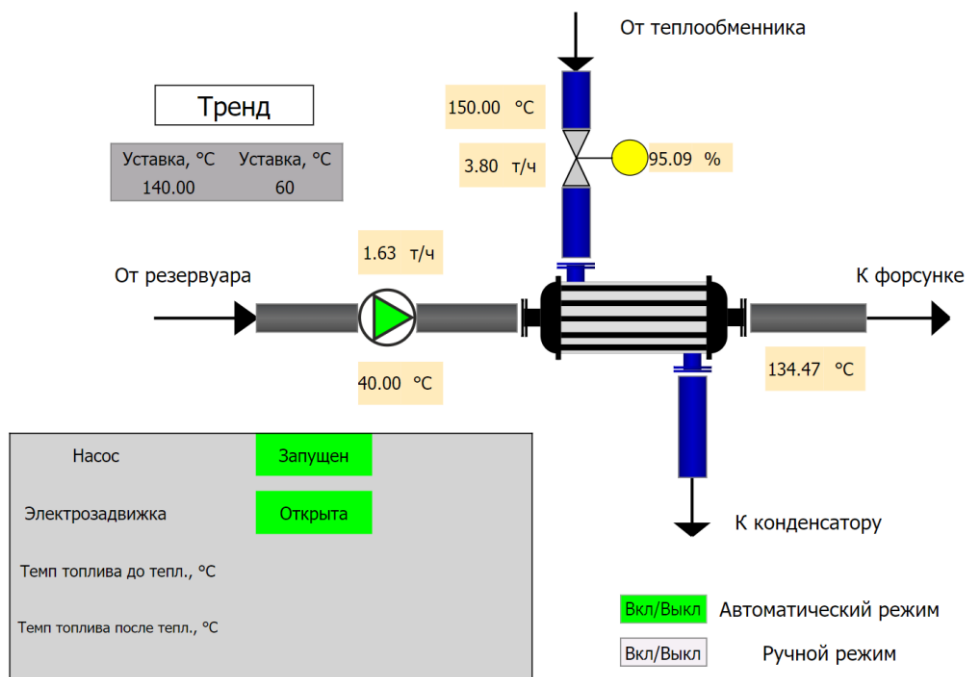


Рисунок 24 – Визуализация процесса при включении автоматического режима

При переключении с автоматического режима на ручной можно управлять насосом и электроздвижкой с помощью кнопок, которые появляются при нажатии на соответствующее оборудование (рисунок 25).

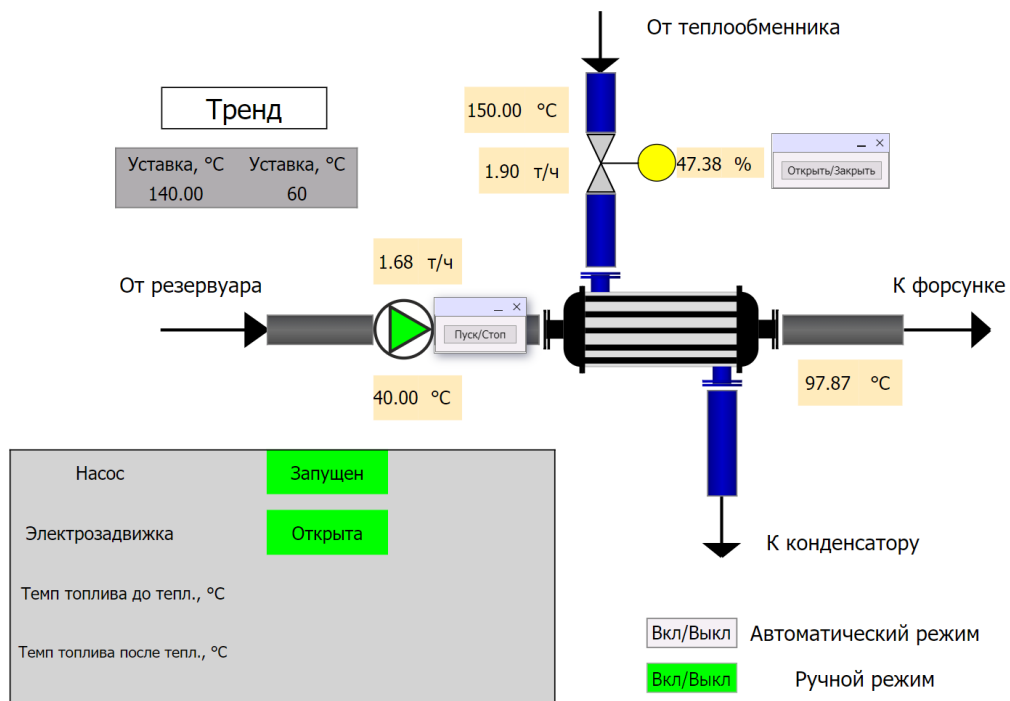


Рисунок 25 – Визуализация процесса при включении ручного режима



В верхней левой части мнемосхемы указаны уставки для температуры после теплообменника. Выше уставок расположена кнопка «Тренд», при нажатии на которую появляется окно с зависимостью расхода воды от температуры КЖТ после теплообменника (рисунок 26).

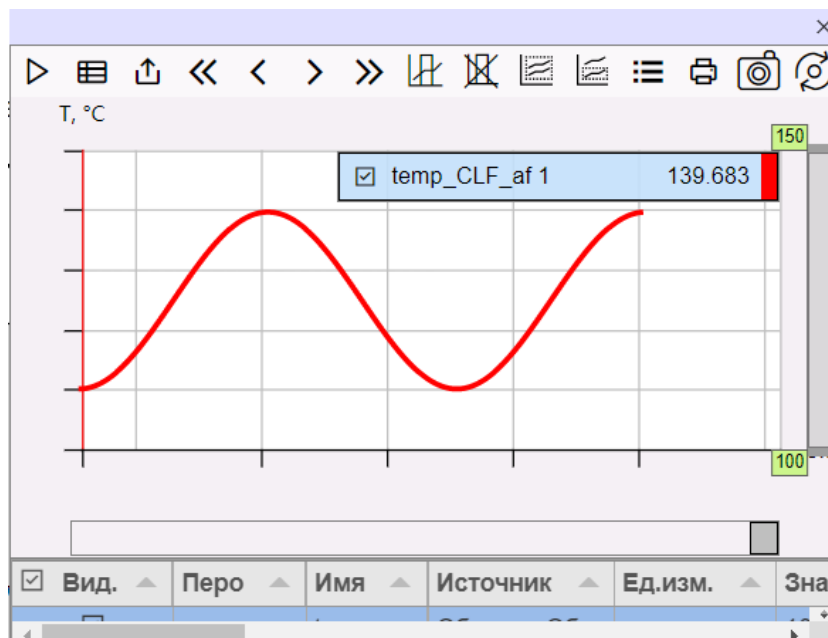


Рисунок 26 – Зависимость расхода воды от температуры топлива после теплообменника

Если температура топлива после теплообменника будет либо ниже 60 °С, либо выше 140 °С, то сработает авария. Если насос или электродвигатель сломаются, то также сработает авария.

На рисунке 27 приведено срабатывание аварии в случае, если насос перестает работать.

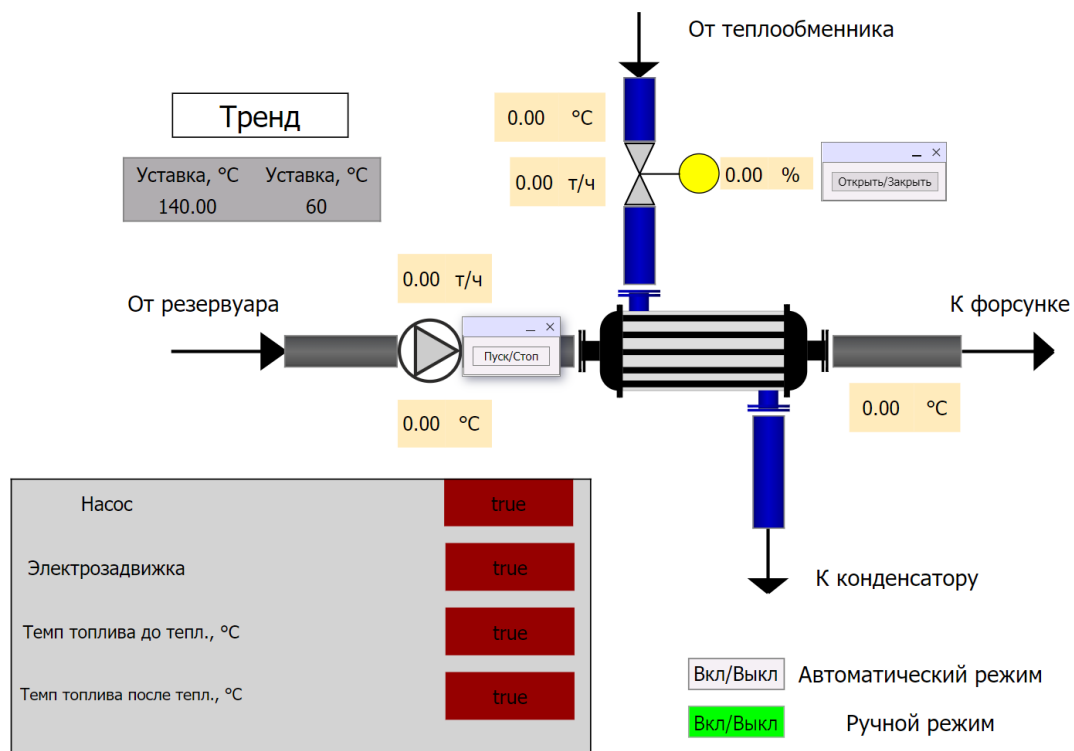


Рисунок 27 – Авария при поломке насоса

При поломке насоса электроздвижка перестает работать и, наоборот, при поломке электроздвижки насос также выключается.



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

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

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б93	Чоботовой Владлене Михайловне

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>И. Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/ООП/ОПОП</b>	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. Стоимость ресурсов: материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– коэффициент дополнительной заработной платы –1,12; – накладные расходы – 16%; – норма амортизации – 5...20%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Единый тариф страховых взносов – 30%.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT–анализа.
2. Планирование и формирование бюджета	Формирование плана и графика проекта: – определение структуры работ; – определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности.

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

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

<b>Дата выдачи задания в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
--	--

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна		

## 12 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела ВКР – оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы регулирования температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе.

Достижение данной цели предусматривает рассмотрение следующих задач:

- сравнение технических и экономических критериев ВУТ с конкурирующими топливами (ОВУТ и МТ);
- планирование этапов и работ для выполнения ВКР;
- расчет бюджета для проведения экспериментов по исследованию перекачки ВУТ по трубопроводу;
- проведение сравнительной оценки характеристик ВУТ, ОВУТ и МТ.

12.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 12.1.1 Анализ конкурентоспособности технических решений

Сравнение будет производиться по двум конкурирующим топливам:

- 1) органоводоугольное топливо;
- 2) мазутное топливо.

Таблица 18 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ВУТ</sub>	Б <sub>ОВУТ</sub>	Б <sub>МТ</sub>	К <sub>ВУТ</sub>	К <sub>ОВУТ</sub>	К <sub>МТ</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экологичность	0,15	5	5	3	0,75	0,75	0,45
Актуальность исследования	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Удобство эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,1	0,15
Качество регулирования	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5

Продолжение таблицы 18

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ВУТ</sub>	Б <sub>ОВУТ</sub>	Б <sub>МТ</sub>	К <sub>ВУТ</sub>	К <sub>ОВУТ</sub>	К <sub>МТ</sub>
Возможность применения технологии на производстве	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
Эффективность применения	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Цена	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
Итого	1	46	33	38	4,7	3,8	3,55

По итогам анализа конкурентоспособности технических решений, можно сделать вывод, что использование ВУТ является наиболее перспективным по сравнению с другими топливами.

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (33)$$

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

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

$$\begin{aligned} K_{\text{ВУТ}} &= \sum B_i \cdot \text{Б}_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,7, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{ОВУТ}} &= \sum B_i \cdot \text{Б}_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 = 3,8, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{МТ}} &= \sum B_i \cdot \text{Б}_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 \\ &\quad + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 2 = 3,55. \end{aligned}$$

### 12.1.2 Матрица SWOT

С помощью SWOT–анализа можно оценить внутренние ресурсы проекта и сопоставить их с внешними факторами; определить внутренние и внешние риски, а также рассмотреть варианты их минимизации и, возможно, предотвращения.

В таблице 19 приведена итоговая матрица SWOT.

Таблица 19 – Матрица SWOT анализа

	<b>Сильные стороны проекта:</b>	<b>Слабые стороны проекта:</b>
	<p>С1. Экологичность установки.</p> <p>С2. Большой срок эксплуатации</p> <p>С3. Высокая экономичность проекта</p>	<p>Сл1. Повышение потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>Сл2. Новизна технологии.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Повышенный спрос на установку/топливо.</p> <p>В2. Понижение стоимости на компоненты/установку.</p> <p>В3. Внедрение на отечественный рынок.</p>	<p>СИВ:</p> <p>1. Экологичность установки и высокая экономичность проекта даст повышенный спрос.</p> <p>2. Понижение стоимости на компоненты и/или установку может привести к доступности установки для других организаций.</p>	<p>СЛиВ:</p> <p>1. Повышение спроса на установку/топливо приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>2. Новизна технологии может привести к внедрению технологии на отечественный рынок.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на установку/топливо</p> <p>У2. Повышение стоимости на топливо.</p> <p>У3. Более низкая стоимость у уже используемых установок.</p>	<p>СИУ:</p> <p>1. Так как технология является экологичной по сравнению с другими, значит, всегда будет привлекательна на рынке.</p> <p>2. Повышение стоимости на топливо приведет к удорожанию установки в целом.</p>	<p>СЛУ:</p> <p>1. Высокая стоимость приведет к отсутствию спроса на технологию.</p> <p>2. Из–за повышенных требований система может стать нецелесообразной.</p>

На основе вышеприведенных пунктов можно сделать вывод, что главным достоинством технологии является экологичность, что важно для всех стран.

Данная технология только начинает внедряться, и с каждым годом она будет все больше исследоваться, будут разрабатываться новые установки, что приведет к минимизации недостатков или даже к их устранению.

Из полученных результатов видно, что данная технология является перспективной, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон.

## 12.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 12.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ	НР
	4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инженер
	6	Обработка полученных данных	НР, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	НР
Разработка технической документации и проектирование	8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схему, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инженер



Продолжение таблицы 20

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технической документации и проектирование	9	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инженер
	10	Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.	Инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	Инженер

### 12.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (34)$$

где  $t_{ожi}$  – 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.;

$t_{\max i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. –дн.

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (35)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (36)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (37)$$

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;

В таблице 21 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях $T_{pi}$		Длительность работ в кал. днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	НР	1,4	–	2	–
Поиск и изучение литературы по выбранной теме	4	7	5,2	Инж.	–	5	–	8
Календарное планирование работ	1	2	1,4	НР	1,4	–	2	–
Подготовка КЖТ для проведения исследований	5	8	6,2	Инж.	–	6,2	–	9
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	18	25	20,8	Инж.	–	20,8	–	31
Обработка полученных данных	8	12	9,6	НР, инж.	4,8	4,8	7	7
Обработка полученных данных	8	12	9,6	НР, инж.	4,8	4,8	7	7
Оценка эффективности результатов	5	7	5,8	НР	5,8	–	9	–

Продолжение таблицы 21

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях $T_{pi}$		Длительность работ в кал. днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$		НР	Инж.	НР	Инж.
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР	17	28	21,4	Инж.	–	21,4	–	32
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	10	15	12	Инж.	–	12	–	18
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	7	10	8,2	Инж.	–	8,2	–	12
Составление пояснительной записки	5	8	6,2	Инж.	–	6,2	–	9
Итого	81	124	98,2	–	13,4	84,8	20	126

Таблица 22 – График Ганта

№	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	НР	2												
2	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Инж	8												
3	Календарное планирование работ	НР	2												
4	Подготовка композиционного жидкого топлива для проведения исследований	Инж	9												
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик композиционного жидкого топлива.	Инж	31												
6	Обработка полученных данных	НР, инж	7												
7	Оценка эффективности результатов	НР	9												
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схем, выбор оборудования; разработка ЩУ и мнемосхемы	Инж	32												

Продолжение таблицы 22

№	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	Инж	18														
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инж	12														
11	Составление пояснительной записки	Инж	9														

 – Научный руководитель

 –Инженер

График Ганта строится для максимального по длительности исполнения работ на основе вышеприведенной таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10) дней за период времени написания ВКР.

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ продолжительность разработки автоматической системы регулирования температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе составляет 12 декад.

По диаграмме Ганта можно четко оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Длительность выполнения ВКР в календарных днях составляет 139 дней, из которых 17 дней – продолжительность выполнения работ научным руководителем, а 122 – продолжительность выполнения работ инженером.

### 12.3 Бюджет научно-технического исследования

#### 12.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование материала	Ед. измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	2	40	80
Угольный шлам	Кг	2	70	140
Добавки	Кг	1	130	130
Итого				350

#### 12.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В разработке АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе использовались следующее оборудование: перистальтический

насос ВТ100–1F, криостат Kiss К6, верхнеприводная мешалка DC–1200RM, 2 датчика температуры 2ТРМ1.

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (38)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для перистальтического насоса ВТ100–1F:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,07.$$

Норма амортизации для криостата Kiss К6:

$$H_A = \frac{1}{20} = 0,05.$$

Норма амортизации для верхнеприводной мешалки DC–1200RM:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Норма амортизации для датчика температуры 2ТРМ1:

$$H_A = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Амортизация оборудования:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t, \quad (39)$$

где  $И$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$t$  время использования, мес.

Амортизация для перистальтического насоса ВТ100–1F:

$$A = \frac{0,07 \cdot 62000}{12} \cdot 0,2 = 344 \text{ руб.}$$

Амортизация для криостата Kiss К6:

$$A = \frac{0,05 \cdot 248000}{12} \cdot 0,2 = 207 \text{ руб.}$$

Амортизация для верхнеприводной мешалки DC–1200RM:

$$A = \frac{0,1 \cdot 185000}{12} \cdot 0,2 = 308 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика температуры 2ТРМ1:

$$A = \frac{0,2 \cdot 6200}{12} \cdot 0,2 = 21 \text{ руб.}$$

Таблица 24 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во ед.	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использован-ия, мес.	$H_A$ , %	Амортизац-ия
1	Датчик температуры 2ТРМ1	2	5	12400	0,2	20	42
2	Криостат Kiss К6	1	20	248000	0,2	5	207
3	Верхнеприводная мешалка DC-1200RM	1	10	185000	0,2	10	308
4	Перистальтический насос ВТ100-1F	1	15	62000	0,2	7	344
Итого:							901 руб.

### 12.3.3 Основная заработная плата исполнителей

Основная заработная плата работника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (40)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3279,9 \cdot 13,4 = 43950,7 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1638 \cdot 84,8 = 138902,4 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (41)$$

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

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



при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5–дневная неделя;

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

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

Таблица 25 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Выходные/праздники	67	118
Отпуск/невыходы по болезни	55	31
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	216

Среднедневная заработная плата научного руководителя (6–дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_d} = \frac{76635 \cdot 10,4}{243} = 3279,9 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5–дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_d} = \frac{31590 \cdot 11,2}{216} = 1638 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (42)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

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

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 26 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3279,9	13,4	43950,7
Инж.	16200	0,3	0,2	1,3	31590	1638	84,4	138902,4
Итого $Z_{осн}$								182852,8

#### 12.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (43)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

Доп. заработная плата научного руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 43950,7 = 5274,1.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 138902,4 = 16668,3.$$

#### 12.3.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (44)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (43950,7 + 5274,1) = 14767,4 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (138902,4 + 16668,3) = 46671,2 \text{ руб.}$$

#### 12.3.6 Накладные расходы

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равен 0,16.

$$Z_{накл} = (Z_{мат} + Z_{обор} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot k_{нр} \quad (45)$$

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	350
Затраты на оборудование	901
Затраты на основную заработную плату	182852,8
Затраты на дополнительную заработную плату	21942,4
Отчисления во внебюджетные фонды	61438,6
Накладные расходы:	42797,6

12.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 28 – Бюджет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты	350	1700	2161,5
Затраты на оборудование	901	5913,6	6333,5
Затраты на основную заработную плату	182852,8	177257,4	175468,6
Затраты на дополнительную заработную плату	21942,4	23870,9	21056,3
Отчисления во внебюджетные фонды	61438,6	59190,7	58957,7
Накладные расходы	42797,6	48909,2	48263,1
Бюджет затрат НИИ	310282,4	316841,8	312240,7

12.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

- 1) органоводоугольное топливо;
- 2) мазутное топливо.

Интегральный показатель финансовой эффективности:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (46)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 310282,4 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 316841,8 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 312240,7 \text{ руб.},$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{310282,4}{316841,8} = 0,979,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{316841,8}{316841,8} = 1,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{312240,7}{316841,8} = 0,985.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности является 1 вариант исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (47)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,2	5	4	4

Продолжение таблицы 29

	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Удобство эксплуатации	0,1	4	4	4
Надежность	0,15	4	4	4
Динамическая точность	0,2	4	5	4
Стоимость обслуживания	0,05	4	3	3
Качество регулирования	0,1	5	5	5
Эффективность применения	0,2	5	4	4
Итого:	1	4,5	4,14	4

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,5,$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,25,$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,5}{0,979} = 4,597,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,25}{1} = 4,25,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,05}{0,985} = 4,112.$$

Сравнительную эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ) запишем в общую таблицу.

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,979	1	0,985
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,5	4,25	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	4,597	4,25	4,112
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,925	0,894

Наиболее эффективным является вариант с использованием ВУТ.

Подводя итоги по разделу отметим, что использование ВУТ является наиболее перспективным по сравнению с другими топливами. Также разработка АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе является перспективной, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон.

Бюджет на разработку АСР температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе составляет 310282,4 руб. При расчете затрат выяснилось, что наиболее экономичным и эффективным оказался вариант с использованием водоугольного топлива.



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

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5Б93		Чоботовой Владене Михайловне	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01. «Телоэнергетика и теплотехника»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объект исследования:</i> система топливоподачи от резервуара к форсунке;  <i>Область применения:</i> энергетика;  <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение;  <i>Размеры помещения:</i> 40 м<sup>2</sup>;  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> теплообменник (1), насос шнековый (1), электродвигатель (1), измерительный преобразователь температуры (2), расходомер (2).  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> регулирование температуры композиционного жидкого топлива после теплообменника; контролирование подачи воды в теплообменник; контролирование подачи КЖТ в теплообменник.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 N 197–ФЗ (ред. от 19.12.2022);</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>– ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования;</li> <li>– ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> </ul>

	<p>– повышенный уровень общей вибрации.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>– производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник;</p> <p>– производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты: противозащитные наушники, виброизолирующие перчатки, защитные каски, диэлектрические перчатки, устройства для обогрева и охлаждения, заземленные металлические конструкции.</p>
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<p>Воздействие на селитебную зону: нет;</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение почвы при утечке топлива;</p> <p>Воздействие на гидросферу: утечка топлива при его транспортировке;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы при сжигании.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС: возгорание, взрыв;</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	–		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Чоботова Владлена Михайловна		



### **13 Социальная ответственность**

ВКР по теме «Автоматическая система регулирования температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе» посвящена изучению процесса регулирования температуры КЖТ в транспортировочном трубопроводе. Объектом регулирования в исследовании является участок топливоподач КЖТ от резервуара к форсунке. Для предотвращения застывания топлива при его перекачки по трубопроводу, необходимо регулировать температуру. Рабочая зона: производственное помещение. Размеры помещения: 40 м<sup>2</sup>. Количество наименование оборудования рабочей зоны: теплообменник (1), насос шнековый (1), электродвигатель (1), измерительный преобразователь температуры (2), расходомер (2). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: регулирование температуры композиционного жидкого топлива после теплообменника; контролирование подачи воды в теплообменник; контролирование подачи КЖТ в теплообменник.

Основная задача исследования – регулирование температуры композиционного жидкого топлива после теплообменника посредством изменения расхода воды, подаваемой в теплообменник, для бесперебойной транспортировки КЖТ от резервуара к форсунке через трубопровод.

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

Работа в производственном помещении относится к 2 категории тяжести труда. Согласно ст. 91 ТК РФ [29] нормальная продолжительность рабочего времени для оператора АСУ не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно [29], есть несколько видов компенсаций для работников, занятых на работах с вредными и/или опасными условиями труда:

– Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам составляет 7 календарных дней;

– Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и/или опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере;

– Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и/или опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Так как предполагается проведение работ сидя, то необходимо отметить некоторые показатели, которые учитываются при такой работе. Согласно ГОСТ 12.2.032.78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [30], конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение работ в пределах зоны досягаемости моторного поля. Также при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать половую принадлежность работника.

Согласно ГОСТ 22269-76 «Система «Человек–машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» [31] взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Средства отображения информации необходимо группировать и располагать группы относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют.

### 13.2 Производственная безопасность

При выполнении работ оператора участка трубопровода согласно ГОСТ 12.0.003–2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [32] могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 31.

Таблица 31 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора участка трубопровода

Факторы	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	СНиП 23-03-2003 «Защита от шума. Актуализированная редакция»
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник	ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»; ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ 30331.4-95 «Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий»

### 13.2.1 Повышенный уровень шума

Источником шума может быть насос, расположенный на топливном тракте, либо какая-либо другая производственная машина. Согласно СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Актуализированная редакция [33] повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. Поэтому важно соблюдать некоторые меры для обеспечения безопасности от воздействия шума. Работник должен следовать установленным работодателем правилам безопасности ведения работ и применения средств индивидуальной защиты от шума. Со стороны работодателя должны быть сделаны следующие меры: использование малошумных машин; оптимальное размещение шумных машин, позволяющее минимизировать воздействие шума на рабочем месте; контроль правильности использования средств индивидуальной защиты от шума;

вовлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований с применением средств аудиометрии.

В таблице 32 приведены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления.

Таблица 32 – Уровни звукового давления

Наименование помещений или территорий	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука $L_A$ , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Рабочие помещения административно–управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами	107	95	87	82	78	75	73	71	69	95

13.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Недостаточная или неправильная освещенность установки и территории может привести к утомлению и напряженности. Плохое освещение рабочей зоны может являться причиной снижения производительности и качества труда, а также получения травм. Согласно СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" [34] в цехах с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования, а также дополнительно включаемые светильники общего и местного освещения для обеспечения необходимой освещенности при ремонтно–наладочных работах. В целях контроля за энергопотреблением устанавливаются требования к максимально допустимой удельной установленной мощности общего искусственного освещения помещений. Удельные установленные мощности общего искусственного освещения в производственных помещениях не должны превышать максимально допустимых значений, приведенных в таблице 3.

Таблица 33 – Максимально допустимые удельные установленные мощности искусственного освещения в производственных помещениях

Освещенность на рабочей поверхности, лк	Индекс помещения
750	1,25
500	
400	
300	
200	0,6...1,25
150	0,6...1,25
100	0,6...1,25

### 13.2.3 Повышенный уровень общей вибрации

Источником вибрации являются электродвигатель насоса,

вращающиеся части задвижки. Повышенный уровень вибрации может привести к увеличению кровяного давления, нарушению сна.

В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют:

- по виброускорению –  $0,145 \text{ м/с}^2$  (100 дБ);
- по виброскорости –  $0,12 \text{ м/с}$  (75 дБ).

Согласно ГОСТ 12.1.012-2004 [35] работодатель должен предпринимать меры, необходимые для снижения вибрационной нагрузки. К таким мерам относятся: использование машин с меньшей виброактивностью; использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека; контроль за правильным использованием средств виброзащиты; организацию профилактических мероприятий, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации. Также работник обязан соблюдать относящиеся к нему меры вибрационной защиты и правила, которые предписаны регламентом безопасного ведения работ.

13.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник

Источником поражения электрическим током является оборудование с напряжением 220 В, т.е. насос и электрозадвижка. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ [36] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 34.

Таблица 34 – напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	$U, В$	$I, мА$
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Согласно ГОСТ 12.1.019-79 [37] для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: безопасное расположение токоведущих частей; изоляцию рабочего места; предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземления; зануление; выравнивание потенциала; систему защитных проводов; малое напряжение; средства индивидуальной защиты.

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

В процессе транспортировки композиционного жидкого топлива происходит его нагрев до 140 °С вследствие чего нагревается трубопровод. Последствиями контакта с высоко нагретыми поверхностями являются ожоги.

Согласно ГОСТ 30331.4-95 [38] люди, стационарное оборудование и материалы, находящиеся вблизи электроустановок, должны быть защищены от опасных тепловых воздействий, в частности от получения ожогов. В таблице 35 приведены максимальные температуры допустимых для прикосновения частей электрооборудования при нормальных условиях работы.

Таблица 35 – Максимальные температуры допустимых для прикосновения частей электрооборудования при нормальных условиях работы

Доступные для прикосновения части электрооборудования	Материал доступных частей	Максимальные температуры, °С
Ручки управления	Металл	55
	Неметалл	65
Части, не предназначенные для удерживания руками	Металл	70
	Неметалл	80
Части, не предназначенные для прикосновения при нормальных условиях обслуживания	Металл	80
	Неметалл	90

Доступные для прикосновения части электрооборудования не должны достигать температур, способных вызывать ожоги, и их значения не должны превышать указанных в таблице 35. Также все части электроустановок, которые могут достигать при нормальном режиме работы электрооборудования, даже в течение короткого промежутка времени, температур, превышающих значения, указанные в таблице 35, должны быть защищены так, чтобы исключить случайный контакт с ними.

### 13.3 Экологическая безопасность

На данном рабочем месте выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу, гидросферу и атмосферу.

#### 13.3.1 Атмосфера



При сжигании водоугольного топлива происходят выбросы в атмосферу твердых частиц (ПДК = 280 мг/м<sup>3</sup>), оксида углерода (ПДК = 210 мг/м<sup>3</sup>), оксида азота (ПДК = 280 мг/м<sup>3</sup>), оксида серы (ПДК = 30 мг/м<sup>3</sup>), дымовых газов (60...70 г/м<sup>3</sup>), золы (ПДК = 261,4 мг/м<sup>3</sup>), углекислого газа (ПДК = 210 мг/м<sup>3</sup>).

Для снижения вышеперечисленных выбросов необходимо предпринять следующие методы и способы. Для очистки дымовых газов используют мокрые пылеуловители, рукавные фильтры и электрофильтры. Также уменьшению выбросов углекислого газа и оксида азота может способствовать изменение состава топлива (увеличение доли воды).

### 13.3.2 Гидросфера

При транспортировке топлива может произойти его утечка. Из-за чего топливо может попасть в близлежащие водоемы.

Для предотвращения такой ситуации, необходимо проводить проверку оборудования при транспортировке топлива.

### 13.3.3 Литосфера

При транспортировке топлива может произойти утечка топлива, что повлечет за собой загрязнение почвы. Также после сжигания образуется зола и шлак, которые засоряют почву. Чтобы этого избежать, необходимо вовремя утилизировать образуемые от топлива отходы.

## 13.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте выделяют возгорание и взрыв трубопроводов, а наиболее типичная ЧС – пожар.

Источниками возгорания могут быть электрооборудование и проводка. Из-за использования взрывоопасного топлива может произойти пожар. Следует придерживаться некоторых требований для трубопроводов, так как они также могут быть источником взрыва.

Согласно “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности” [39] в помещении должен находиться местный щит

управления (МЦУ). Трубопроводы жидкого топлива должны выполняться из стальных бесшовных труб. Зануление (заземление) электрооборудования установок переменного и постоянного тока должно выполняться в соответствии с ПУЭ. Трубопроводы с легковоспламеняющимися видами топлива должны быть надземными или наземными на несгораемых опорах и эстакадах. Предел огнестойкости колонн эстакад должен быть не менее 1 часа.

Не допускается прокладка трубопроводов с легковоспламеняющейся жидкостью через бытовые, административные и электротехнические помещения, вентиляционные камеры.

В качестве основного огнетушащего состава для пожаротушения резервуаров топливного хозяйства следует предусматривать воздушно-механическую пену.

При возникновении пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания. В цеху должны быть огнетушители и пожарные краны.

Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания. При появлении пожара, любой, увидевший пожар должен: незамедлительно заявить о данном в пожарную службу и заявить о происшествии начальнику.

Согласно [39] класс возможного пожара на объекте В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов. К категории В относятся помещения, в которых находятся горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы. К первичным средствам пожаротушения для класса пожара В относятся порошковые огнетушители.

### 13.5 Выводы по разделу

В процессе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная

безопасность, а именно произведен анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов, экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

В результате анализа можно сделать вывод, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Производственное помещение относится к 1 категории по электробезопасности.

Инженер–оператор АСУ должен иметь 3 группу по электробезопасности. Допуск персонала с 3 группой подразделяется на работу с сетями до и выше 1000 В, а также дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети до 1000 В.

Тяжесть труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории 1б [40].

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности соответствует категории В. Это помещения, в которых находятся горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы.

По воздействию на окружающую среду данный объект относится ко 2 категории, так как оказывает умеренное негативное воздействие.

## **Заключение**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана автоматическая система регулирования температуры композиционного жидкого топлива в транспортировочном трубопроводе. Объектом исследования является участок топливоподачи от резервуара к форсунке.

Также в ходе выполнения проекта спроектированы структурная, функциональная, монтажная и принципиальная электрическая схема; составлена заказная спецификация на приборы и средства автоматизации и перечень элементов для электрической схемы; разработан общий вид щита управления.

Произведен финансовый расчет научного исследования, а также рассмотрены вопросы о производственной и экологической безопасности при эксплуатации установки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bartholdy K. Statistical Review // *Econ. Transit.* 1993. Vol. 1, № 1. P. 123–134.
2. Gonzalez-Salazar M.A., Kirsten T., Prchlik L. Review of the operational flexibility and emissions of gas- and coal-fired power plants in a future with growing renewables // *Renew. Sustain. Energy Rev.* Pergamon, 2018. Vol. 82. P. 1497–1513.
3. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview // *Fuel Process. Technol.* Elsevier, 2015. Vol. 134. P. 136–158.
4. Vershinina K.Y. et al. Differences in the ignition characteristics of coal–water slurries and composite liquid fuel // *Solid Fuel Chem.* 2016. Vol. 50, № 2. P. 88–101.
5. Jianzhong L. et al. Pilot-scale investigation on slurring, combustion, and slagging characteristics of coal slurry fuel prepared using industrial wasteliquid // *Appl. Energy.* 2014. Vol. 115. P. 309–319.
6. Soedjanto P.H., Zhou Z. Application of coal water slurry in power generation // *Zhejiang Univ. Hangzhou, China.* 2008.
7. Wibberley L., Palfreyman D., Scaife P. Efficient use of coal water fuels. 2008.
8. Emulsions S.W. *AM & T.* 2019. № 2. P. 32–40.
9. Manfred R.K. Coal-water slurry: A status report // *Energy.* Pergamon, 1986. Vol. 11, № 11–12. P. 1157–1162.
10. Ma S. et al. Synthesis, characterization and application of polycarboxylate additive for coal water slurry // *Fuel.* 2013. Vol. 111. P. 648–652.
11. Nydick S.E., Porchet F., Steiger H.A. Continued Development of a Coal/Water Slurry-Fired Slow-Speed Diesel Engine: a Review of Recent Test Results. // *J. Eng. Gas Turbines Power.* 1987. Vol. 109, № 4. P. 465–476.
12. Cheng J. et al. Improvement of coal water slurry property through coal physicochemical modifications by microwave irradiation and thermal heat //

- Energy and Fuels. 2008. Vol. 22, № 4. P. 2422–2428.
13. Patton R., Steele P., Yu F. Coal vs. charcoal-fueled diesel engines: A review // *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 2010. Vol. 32, № 4. P. 315–322.
  14. Van den Heever E.M., Sutherland A.P.N., Haldenwang R. Influence of the rheological model used in pipe-flow prediction techniques for homogeneous non-newtonian fluids // *J. Hydraul. Eng. American Society of Civil Engineers*, 2014. Vol. 140, № 12. P. 4014059.
  15. Zhao J. et al. Effect of hydrothermal treatment on the low rank coal flotation // *Prepr. Pap. Am. Chem. Soc. Div. Fuel Chem.* 2012. Vol. 57. P. 205–206.
  16. Mrinal K.R., Samad A. Leakage flow correlation of a progressive cavity pump delivering shear thinning non-Newtonian fluids // *Int. J. Oil, Gas Coal Technol.* Inderscience Publishers (IEL), 2017. Vol. 16, № 2. P. 166–186.
  17. Chen R. et al. Preparation and rheology of biochar, lignite char and coal slurry fuels // *Fuel.* Elsevier, 2011. Vol. 90, № 4. P. 1689–1695.
  18. Volkov R., Valiullin T., Vysokomornaya O. Spraying of Composite Liquid Fuels Based on Types of Coal Preparation Waste: Current Problems and Achievements // *Energies.* Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. Vol. 14, № 21. P. 7282.
  19. Joshi T., Parkash O., Krishan G. CFD modeling for slurry flow through a horizontal pipe bend at different Prandtl number // *Int. J. Hydrogen Energy.* Elsevier, 2022. Vol. 47, № 56. P. 23731–23750.
  20. Martínez-Palou R. et al. Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review // *J. Pet. Sci. Eng.* Elsevier, 2011. Vol. 75, № 3–4. P. 274–282.
  21. Nunes L.J.R. Potential of coal-water slurries as an alternative fuel source during the transition period for the decarbonization of energy production: A review // *Appl. Sci.* 2020. Vol. 10, № 7.
  22. Saniere A., Hénaut I., Argillier J.F. Pipeline transportation of heavy oils, a strategic, economic and technological challenge // *Oil gas Sci. Technol. EDP*

- Sciences, 2004. Vol. 59, № 5. P. 455–466.
23. Chen L. et al. Slip flow of coal water slurries in pipelines // Fuel. Elsevier, 2010. Vol. 89, № 5. P. 1119–1126.
  24. An S.M., Lee S.Y. Maximum spreading of a shear-thinning liquid drop impacting on dry solid surfaces // Exp. Therm. Fluid Sci. Elsevier, 2012. Vol. 38. P. 140–148.
  25. Chun B.-H., Kang H.U., Kim S.H. Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system // Korean J. Chem. Eng. Springer, 2008. Vol. 25. P. 966–971.
  26. Arya H., Sarafraz M.M., Arjomandi M. Heat transfer and fluid flow of MgO/ethylene glycol in a corrugated heat exchanger // J. Mech. Sci. Technol. Springer, 2018. Vol. 32. P. 3975–3982.
  27. Автоматизация мазутного хозяйства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://leddv.com/oil/>. – Загл. с экрана.
  28. Ступников А. С. Автоматическая система регулирования температуры жидкого топлива водогрейного котла типа ДЕ-10-144ГМ-О. НИ Томский политехнический университет (ТПУ); Науч. рук. Ю. К. Атрошенко. — Томск, 2019. Ссылка: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/54>.
  29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022).
  30. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - Введ. 1979-01-01.
  31. ГОСТ 22269-76. Система “Человек-машина”. Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – Введ. 1978-01-01.
  32. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. – Введ. 2017-03-01.
  33. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – Введ. 2004-01-01.

34. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 2017-05-08.
35. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – Введ. 2008-07-01.
36. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – Введ. 1983-07-01.
37. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 1980-07-01.
38. ГОСТ 30331.4-95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий. – Введ. 1994-12-06.
39. “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 01.03.2023).
40. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».



# Приложение А

## (Обязательное)

### Программный код

```
1 IF ( auto = TRUE ) THEN
2 pump := TRUE;
3 END_IF;
4
5 IF ( auto = TRUE ) THEN
6 auto_zadv_water := TRUE;
7 END_IF;
8
9 IF ( pump = FALSE ) THEN
10 auto_zadv_water := FALSE;
11 END_IF;
12
13 IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
14 pump := FALSE;
15 END_IF;
16
17 IF ( pump = FALSE ) THEN
18 ras_top1 := 0;
19 END_IF;
20
21 IF ( pump = FALSE ) THEN
22 flowrate_pump := 0;
23 END_IF;
24
25 IF ( pump = FALSE ) THEN
26 auto_zadv := 0;
27 END_IF;
28
29 IF ( pump = FALSE ) THEN
30 auto_zadv_water := 0;
31 END_IF;
32
33 IF ( pump = FALSE ) THEN
34 temp_CLF_b := 0;
35 END_IF;
36
37 IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
38 temp_water:= 0;
39 END_IF;
40
41 IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
42 flowrate_pump := 0;
43 END_IF;
44
45 IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
46 auto_zadv := 0;
47 END_IF;
48
```

```

49: IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
50: ras_water := 0;
51: END_IF;
52:
53: IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
54: temp_CLF_af := 0;
55: END_IF;
56:
57: IF ( pump = TRUE ) THEN
58: flowrate_pump := ras_top1 / 10;
59: END_IF;
60:
61: IF ( auto_zadv_water = TRUE ) THEN
62: auto_zadv := ras_water / 0.04;
63: END_IF;
64:
65: IF ( pump = FALSE AND auto_zadv_water = FALSE ) THEN
66: temp_CLF_af := 0;
67: END_IF;
68:
69: IF ( pump = TRUE AND flowrate_pump > 0 ) THEN
70: flowrate_pump := ras_top1 + 0.1;
71: END_IF;
72:
73: IF ( pump = TRUE AND flowrate_pump >= 3 ) THEN
74: flowrate_pump := 3;
75: END_IF;
76:
77: IF ( pump = TRUE AND auto_zadv_water = TRUE ) THEN
78: temp_CLF_b := 40;
79: END_IF;
80:
81: IF ( auto_zadv_water = TRUE ) THEN
82: temp_water := 150;
83: END_IF;
84:
85: IF ( pump = TRUE AND auto_zadv_water = TRUE ) THEN
86: temp_CLF_af := 19.1784 * ras_water + 61.5253;
87: END_IF;
88:
89: IF ( temp_CLF_af ) > set1 THEN
90: WHILE temp_CLF_af = set1 - 2 DO
91: flowrate_pump := ras_top1 * 0.99;
92: END_WHILE;
93: END_IF;
94:
95: IF ( temp_CLF_af ) < set2 THEN
96: WHILE temp_CLF_af = set2 + 2 DO
97: flowrate_pump := ras_top1 * 0.99;
98: END_WHILE;
99: END_IF;
100:
101: IF ( temp_CLF_b < 40 ) THEN
102: pump := FALSE;
103: alarm1 := TRUE;
104: ELSE alarm1 := FALSE;
105: END_IF;
106:
107: IF ( temp_CLF_af > 140 ) THEN
108: auto_zadv_water := FALSE;
109: alarm2 := TRUE;
110: ELSE alarm2 := FALSE;
111: END_IF;
112:
113: IF ( pump = FALSE ) THEN
114: alarm3 := TRUE;
115: ELSE alarm3 := FALSE;
116: END_IF;
117:
118: IF ( auto_zadv_water = FALSE ) THEN
119: alarm4 := TRUE;
120: ELSE alarm4 := FALSE;
121: END_IF;
122:
123: IF ( temp_CLF_af < 60 ) THEN
124: alarm5 := TRUE;
125: ELSE alarm5 := FALSE;
126: END_IF;

```

---