



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

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АСР расхода водного раствора биополимера перед подачей в сопло микрофлюидного устройства

УДК 681.51:544.355:577.11:53.086

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Скорюпин Вячеслав Викторович		

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	Хомутов Никита Андреевич	-		

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	-		

Нормоконтроль

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

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 ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать 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
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, 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, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен к конструкторской деятельности
ПК(У)-2	Способен применять методы графического представления объектов энергетического машиностроения, схем и систем
ПК(У)-3	Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения
ПК(У)-4	Способен представлять техническую документацию в соответствии с требованиями единой системой конструкторской документации
ПК(У)-11	Способен использовать технические средства для измерения основных параметров объектов деятельности
ПК(У)-12	Способен проводить анализ работы объектов профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способен осуществлять монтажно-наладочные работы на объектах профессиональной деятельности
ПК(У)-14	Способен осуществлять сервисно-эксплуатационные работы на объектах профессиональной деятельности



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

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Атрошенко Ю.К.
(ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Скорюпин Вячеслав Викторович

Тема работы:

АСР расхода водного раствора биополимера перед подачей в сопло микрофлюидного устройства	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41-34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Объектом автоматизации является лабораторный стенд по смешению и подаче биополимера в сопло микрофлюидного устройства. В качестве жидкости использовался биополимер. Точное и надежное регулирование расхода потока раствора биополимера при подаче в сопло микрофлюидного устройства является критически важным с точки зрения многих аддитивных технологий и биоинженерных приложений. Регулирование происходит за счет изменения оборотов вала насоса.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Экспериментальные исследования; 2. Анализ объекта автоматической системы регулирования; 3. Разработка структуры КТС автоматической системы регулирования;

<p><i>исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>4. Разработка функциональной схемы системы регулирования и составление заказной спецификации; 5. Составление перечней входных и выходных сигналов; 6. Разработка принципиальной электрической схемы щита управления и составление перечня элементов; 7. Проектирование схемы монтажной; 8. Разработка общего вида щита управления; 9. Расчет параметров регулятора системы; 10. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы; 11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 12. Социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Структурная схема АСР; 2. Функциональная схема АСР; 3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации; 4. Схема монтажная внешних проводок; 5. Принципиальная электрическая схема щита управления; 6. Перечень элементов электрической схемы; 7. Общий вид щита управления.</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</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>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5Б93</p>	<p>Скорюпин Вячеслав Викторович</p>		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 с., 22 рис., 33 табл., 41 источник.

Ключевые слова: биополимер, микрогель, режимы гидродинамики, взаимодействие капель, многокомпонентные капли, автоматизированная система управления.

Объектом автоматизации является лабораторный стенд по смешению и подаче биополимера в сопло микрофлюидного устройства.

Цель работы – разработка АСУ ТП расхода биополимера перед подачей в микрофлюидное устройство.

В целях создания автоматизированной системы технологического процесса, в настоящей работе были проведены экспериментальные исследования объекта автоматизации, выполнен анализ его особенностей, а также проведена работа по составлению структурной схемы и разработке функциональной и электрической схем, включая выбор соответствующих приборов и технических средств автоматизации.

Ключевым преимуществом разработанной автоматизированной системы технологического процесса является наличие программно-оперативного комплекса, основанного на SCADA-системе, который обеспечивает эффективное разделение функций между системой автоматического управления и оперативным персоналом, способствуя тем самым повышению качества контролирования и оперативности системы. Более того, такой подход позволяет своевременно реагировать на любые сложные ситуации, возникающие в процессе эксплуатации системы, обеспечивая тем самым надежность и безопасность технологических процессов.

Определения, обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения и обозначения:

ДП – преобразователь давления;

К – контроллер;

УП – указатель положения;

ОУ – объект управления;

РП – преобразователь расхода.

ПИ-регулятор – пропорционально-интегрирующий регулятор

РТП – регулируемый технологический параметр (расход воды);

ПП1 – первичный преобразователь (расход биополимера);

ПП2 – первичный преобразователь (температура биополимера);

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПУ – пусковое устройство;

ИМ – исполнительный механизм;

РО – регулирующий орган;

АРМ – автоматизированное рабочее место.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

поршневой насос: Один из видов объёмных гидромашин, в котором вытеснителями являются один или несколько поршней, совершающих возвратно-поступательное движение.

центробежный насос: Один из двух типов динамических лопастных насосов, перемещение рабочего тела в котором происходит непрерывным потоком за счёт взаимодействия этого потока с подвижными вращающимися лопастями ротора и неподвижными лопастями корпуса.

расходомер: Прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества (объём, масса), проходящее через данное сечение потока.

сопло: Это канал переменного или постоянного поперечного сечения круглой, прямоугольной или иной формы, предназначенный для подачи жидкостей или газов с определённой скоростью и в требуемом направлении.

клапан: Механизм, предназначенный для открытия, закрытия или регулирования потока чего-либо при наступлении определённых условий.

регулирующий клапан: Один из конструктивных видов регулирующей трубопроводной арматуры.

трубопровод: Инженерно-техническое сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ, пылевидных и разжиженных масс, а также твёрдого топлива и иных твёрдых веществ в виде раствора под воздействием разницы давлений в поперечных сечениях трубы.

биополимер: Это различные высокомолекулярные природные соединения.

дросселирование: Гашение части напора, создаваемого насосом, с помощью искусственно вводимого в напорную или всасывающую линию гидравлического сопротивления.

байпасирование: Один способ изменения условий работы насоса на сеть т. е. установка регулируемого или нерегулируемого перепуска (байпаса) с напорной линии на всасывание.

регулируемый объект: Агрегат, механизм или устройство, в котором протекают процессы, приводящие к изменению регулируемой величины под воздействием внешней нагрузки или перемещения регулирующих органов.

регулируемая величина: Физический показатель, параметр, характеризующий состояние процесса, происходящего в регулируемом объекте.

регулируемый поток: Среда, энергия, подводимая к объекту (или отводимая от него), изменением количества которой поддерживается заданное значение регулируемой величины.

магнитная мешалка: Это лабораторное устройство, которое использует вращающееся магнитное поле, чтобы заставить мешалку,

погруженную в жидкость очень быстро вращаться, тем самым перемешивая ее.

контроллер: Это одно из важнейших технических устройств автоматизации в структуре производственных систем, которое работает в реальном масштабе времени.

structured Text (ST): Текстовый высокоуровневый язык общего назначения по синтаксису ориентирован на Паскаль.

functional Block Diagram (FBD): Графический язык. В нем используются функциональные блоки.

мнемосхема: Графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта, совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних связей контролируемого объекта.

идентификация систем: Объединение способов, с помощью которых строится математическая модель динамической системы по наблюдаемым данным.

математическая модель: Описание математическими методами поведения процесса или системы в частотной или временной области.

Содержание

1. Экспериментальные исследования	15
1.1. Материалы.....	15
1.2. Экспериментальный стенд	16
1.3. Результаты.....	18
1.3.1. Влияние концентрации полимера в растворе на капиллярное дробление микроструи.....	18
1.3.2. Влияние расхода водно-полимерного раствора на капиллярное дробление микроструи.....	19
1.4. Заключение.....	25
2. Выбор и анализ объекта автоматизации.....	26
2.1. Поиск и анализ информации об объекте автоматизации в соответствии с индивидуальным заданием.....	26
2.2. Описание назначений объектов автоматизации.....	27
2.3. Описание процессов, происходящих внутри объектов, а также процессов, в которых непосредственно задействованы рассматриваемые объекты.....	27
2.4. Сравнительный анализ найденных объектов автоматизации.....	28
2.5. Выбор объекта автоматизации.....	30
2.6. Перечень регулируемых и контролируемых параметров	31
2.7. Список возмущающих и регулирующих воздействий	31
3. Разработка структурной схемы АСР.....	31
3.1. Типовые структурные схемы АСР.....	31
3.2. Разработанная структурная схема АСР.....	34
4. Разработка функциональной схемы АСР	36
4.1. Технологическая схема	36
4.2. Разработанная функциональная схема АСР	37

4.3. Выбор оборудования	38
5. Разработка монтажной схемы АСР	42
5.1. Места установки технических средств АСР нижнего уровня	42
5.2. Выбор оборудования	42
6. Разработка электрической схемы и составление перечня элементов подсистем электрического питания и микроклимата щита управления	44
7. Разработка электрической схемы и составление перечня элементов подсистемы, ввода-вывода аналоговых сигналов щита управления	49
8. Разработка чертежа общего вида щита управления	51
8.1. Выбор шкафа для размещения оборудования	51
8.2. Описание общего вида щита управления	52
9. Расчет параметров настройки регулятора	53
9.1. Идентификация объекта управления	53
9.2. Расчет параметров настройки регулятора.....	57
10. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы.....	63
10.1. Описание программного кода	63
10.2. Описание графического изображения мнемосхемы.....	64
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	68
11.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	68
11.1.1. Анализ конкурентоспособности технических решений	68
11.1.2. Матрица SWOT	70
11.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	71
11.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	71
11.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	72

11.3.	Бюджет научно-технического исследования.....	78
11.3.1.	Расчет материальных затрат НТИ	78
11.3.2.	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	78
11.3.3.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	80
11.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей.....	82
11.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	82
11.3.6.	Накладные расходы.....	82
11.3.7.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	83
11.4.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	83
11.5.	Выводы по разделу.....	86
12.	Социальная ответственность	89
12.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90
12.2.	Производственная безопасность.....	91
12.2.1.	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего.....	92
12.2.2.	Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения	93
12.2.3.	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник.....	95
12.2.4.	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	96

12.3.	Экологическая безопасность	97
12.3.1.	Атмосфера	97
12.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
12.5.	Выводы по разделу	100
	Заключение	102
	Список использованных источников	104

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.019 С1	Схема структурная АСР
ФЮРА.421000.019 С2	Схема функциональная АСР
ФЮРА.421000.019 СП	Спецификация технических средств автоматизации
ФЮРА.421000.019 С5	Схема внешних проводок
ФЮРА.421000.019 Э4	Схема принципиальная электрическая щита управления
ФЮРА.421000.019 ПЭ4	Перечень элементов щита управления
ФЮРА.421000.019 ВО	Общий вид щита управления

Введение

В последнее время зарождается тенденция изучения капель, состоящих из двух и более несмешиваемых компонентов [1,2]. Различные подходы применяются для создания микроструйного потока, что обеспечивает упорядоченность микрокапли. Физическая нарезка струйного потока на монодисперсные капли с использованием режущего провода является одним из основных методов [3]. Тем не менее, он имеет недостаток в потере жидкости при нарезке потока. Вместе с тем, используются другие методы, такие как электростатическое и вибрационное воздействие на наконечник сопла [4,5,6], которые могут быть тонко настроены под конкретную жидкость, чтобы достичь монодисперсного распределения размеров капель. Так как капли можно использовать в качестве оболочек для транспортировки материала [7]. К ним, например, относятся капли со структурой «ядро-оболочка» и капли Януса. Термодинамическая устойчивость таких систем определяется наличием градиента поверхностного натяжения двух непрерывных фаз [8,9]. Разнообразные стратегии ионного и ковалентного сшивания посредством микрофлюидики определены Chen et al. [9] для производства микрогелей с возможностью варьирования химического состава, размеров, формы и внутренней структуры.

Допускается применение полимерных жидкостей со сложной структурой в ряде биомедицинских и промышленных технологий для увеличения их функциональных возможностей, а также в целях контролируемого формирования функционального полимерного слоя в рамках технологии трехмерной печати и биопечати воздушной микрофлюидике [10], микропроизводство биоматериалов [11] и безопасный транспорт лекарств и клеточных структур [12]. Их перспективное использование в различных областях аэрокосмической, текстильной, пищевой, биомедицинской и биопромышленной промышленности представляют значительный академический, экологический и социальный интерес [13].

Однако в настоящее время управление дроблением водных растворов биополимера мало изучено. Проблема управления дроблением водных растворов биополимеров заключается в том, что при необходимости дробления, раствор может стать сильно вязким и прилипнуть к инструментам, что затрудняет их работу.

Другая проблема связана с контролем размера и формы частиц биополимера после дробления. Очень мелкие частицы могут быть сложными для управления и мониторинга, а большие частицы могут привести к неравномерному распределению биополимера в растворе и использованию большого количества раствора.

Для решения этих проблем требуется разработка специального оборудования и методов управления дроблением водных растворов биополимеров. Также необходимо проводить исследования, направленные на определение оптимальных условий для дробления каждого типа биополимера, чтобы процесс производства был максимально эффективным и экономичным.

Данное исследование нацелено на управление дроблением водных растворов биосовместимых полимеров с использованием обратного пьезоэлектрического эффекта. Однако, для достижения этой цели изучались основные и спутниковые микрокапли, а также условия перехода между ними, что имеет научное и практическое значение для технологий аддитивного производства объемных модульных конструкций методами воздушной микрофлюидики.

Основными задачами исследования являются:

- 1) приготовление водно-полимерного раствора с использованием специального оборудования и эмульгаторов;
- 2) разработка методики экспериментальных исследований для идентификации режимов дробления потока раствора полимера;
- 3) монтаж экспериментального стенда на основе высокоскоростной регистрирующей аппаратуры;

- 4) планирование и проведение экспериментов;
- 5) исследование режимов управляемого дробления потока;
- 6) выделение особенностей и различий режимов дробления потока.

1. Экспериментальные исследования

1.1. Материалы

Для проведения контролируемого разрушения микроструктуры полимерной жидкости была использована экспериментальная установка, изображенная на рисунке 1. В работе, для увеличения плотности и регулирования вязкости применялись водные растворы альгината натрия без добавок и с добавкой гидроксиэтилцеллюлозы в соотношении 5:1, соответственно. Оба полимера растворимы в воде, не вызывают отторжения в биологических системах и способны к биоразложению. Альгинат натрия широко используется в биотехнологии, а гидроксиэтилцеллюлоза - в гидрогелях для регулирования скорости высвобождения влаги и улучшения биodeградability материала. Таблица 1 содержит основные свойства применяемых растворов, включая динамическую вязкость, коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела «жидкость-воздух» (σ) и плотность (ρ).

Таблица 1 – Компонентный состав водных растворов полимеров

№	Маркировка состава	Концентрация полимера в растворе, mg/ml	Массовое соотношение ALG : HEC	μ , mPa·s	σ , mN/m	ρ , kg/m ³
1	0,5 мг/мл ALG+HEC	0,5	5:1	4,68	52,95±0,22	955
2	2,5 мг/мл ALG+HEC	2,5	5:1	18,93	56,37±0,13	1003
3	5 мг/мл ALG	5	–	205	58,60±0,17	1021

Для измерения вязкости жидкостей использовался ротационный вискозиметр Brookfield DV3T LV. В таблице 1 представлены значения, полученные при скоростях сдвига 10 и 50 1/с. Коэффициент поверхностного натяжения был определен методом дю Нуи с использованием тензиометра Kruss K20. Плотность жидкостей была определена пикнометрическим методом. Проводилось не менее трех серий измерений для каждого образца при одинаковых условиях для уменьшения случайной погрешности.

1.2. Экспериментальный стенд

Для формирования контролируемого разрушения микроструи водно-полимерного раствора разработана система обратного пьезоэлектрического эффекта. Экспериментальный стенд приведен на рисунке 1.

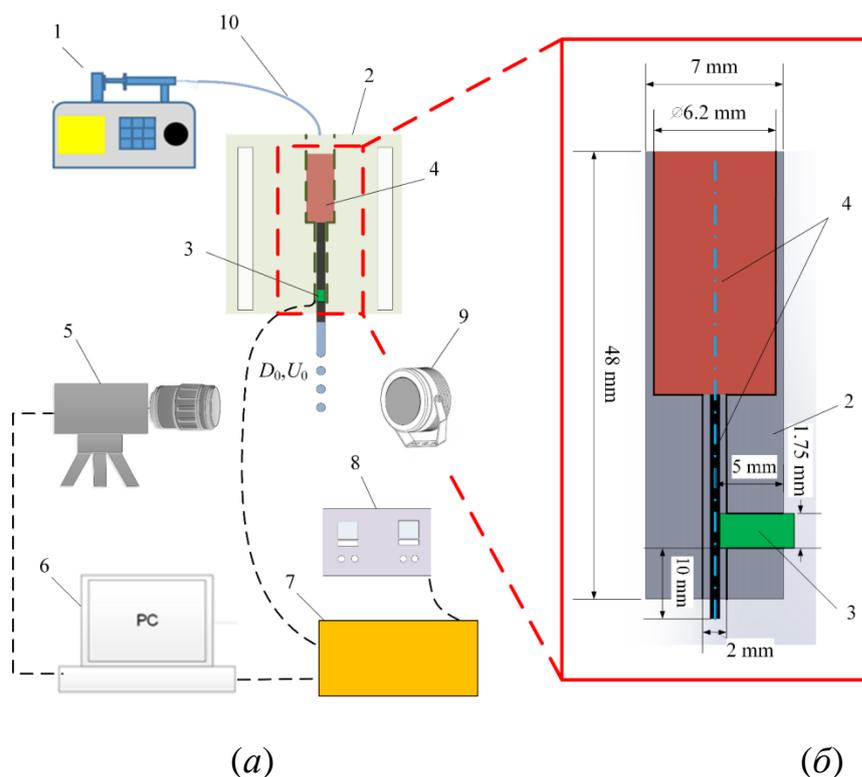


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда (а); вид сбоку на каркас для крепления иглы (б): 1 – шприцевой насос; 2 – каркас для крепления иглы; 3 – пьезоактюатор; 4 – сопло-полая игла; 5 – высокоскоростная видеокамера; 6 – ПК; 7 – система подачи сигнала и его усиления; 8 – источник питания; 9 – система освещения; 10 – шланг для перекачивания полимера

Насос 1 SPLab01 был использован для подачи полимера с возможностью установки Луер Лок-шприцов. Данный насос обладает высокой точностью дозирования ($\pm 0,5\%$) и низким расходом жидкостей. Шприцевая игла с тупым наконечником использовалась для подачи жидкости. Для крепления иглы был разработан каркас с технологическими отверстиями, который был напечатан на 3D принтере. Игла состояла из двух частей - пластмассовой и металлической. Фиксация пластмассовой части происходила в пазах каркаса, а металлическая часть помещалась в отдельный канал. Для установки пьезоактюатора было выполнено сквозное отверстие квадратной формы со стороной 1,75 мм, находившееся на расстоянии 10 мм от наконечника сопла внутри каркаса.

Создание капель водно-полимерного раствора одинаковой формы и размера, соединенных жидкостными мостиками, достигается благодаря многослойному пьезоэлектрическому приводу с размерами $1,75 \times 1,75 \times 5$ мм (максимальный ход рабочей части 0-3,8 мкм, диапазон рабочих напряжений $U=0-100$ В, Китай). Для управления пьезоэлементом и его усиления применялась система, состоящая из модуля АЦП, усилителя напряжения и буферного усилителя напряжения.

Для увеличения мощности сигнала с АЦП (5 В) применена мостовая схема с операционным усилителем, использующая микросхему LM 4766t (Texas Instruments). Схема позволяет подавать напряжение ± 30 В на пьезоактюатор, что даёт максимальный размах напряжения 60 В. Источник питания QJ3005G III обеспечивает выходное напряжение каждого канала от 0 до 30 В и выходной ток от 0 до 5 А с точностью установки 0,1 В и 0,01 А соответственно.

Для предотвращения короткого замыкания в модуле АЦП была разработана схема буферного усилителя, которая обеспечивает согласование выходного сопротивления источника сигнала с входным сопротивлением нагрузки. В системе буферного усилителя присутствуют стабилизаторы напряжения L7812CV и L7912CV (ST Microelectronics), которые гарантируют

постоянное выходное напряжение в пределах установленных значений, даже при изменении входного напряжения и выходного тока нагрузки. Кроме того, система включает микросхему TL072 (2-х канальный операционный усилитель с низким уровнем шума и входным каскадом на полевых транзисторах, Texas Instruments).

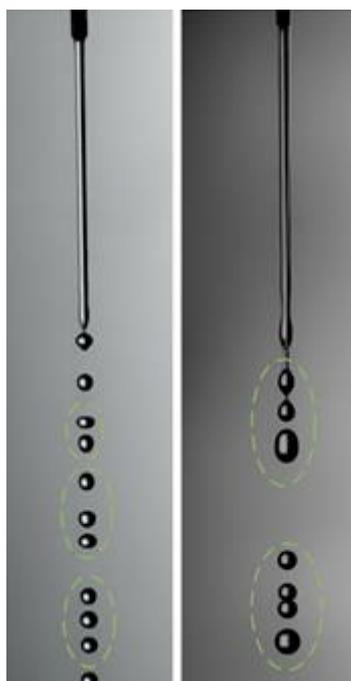
Дробление струи жидкости было записано на видео сбоку под углом 90° относительно оси струи с помощью высокоскоростной видеокамеры 5 Phantom Miro M310. Скорость съемки достигала 10000 кадров в секунду, а разрешение - 256×800 пикселей. Для высокоскоростной "теневого" видеосъемки использовалась система фоновой подсветки, включающая блок питания 8 GSVITEC MultiLED G8 и прожектор 9 GSVITEC MultiLED QT с диффузорами для рассеяния света.

1.3. Результаты

1.3.1. Влияние концентрации полимера в растворе на капиллярное дробление микроструи

В ходе экспериментов определено влияние концентрации водно-полимерного в раствор (Таблица 1) на процесс управляемого дробления микроструи при воздействии внешней вибрации. Расход жидкости был постоянным и составил 5 мл/мин, а частота воздействия составила 1000 Гц.

На рисунке 2 показан процесс дробления микроструи полимерного раствора.



(a) (б)

Рисунок 2 – Визуализация процесса дробления микроструи полимерного раствора при управляемой неустойчивости Рэлея-Плато (режим «группами»):

(a) – 2,5 мг/мл ALG, (б) – 5 мг/мл ALG

В ходе экспериментального исследования показано, что при использовании раствора ALG+HEC с концентрацией 2,5 мг/мл и воздействии вибрации, длина разрушения микроструи сокращается на 5%. В отличие от этого, замечено уменьшение длины на 20% для раствора ALG 5 мг/мл ALG. Общей особенностью является дробление микроструи группами по 2-4 основных микрокапли, однако для раствора ALG+HEC не образуются жидкостные перемиčky (Рисунок 2), между микрокаплями в рамках группы, в то время как для раствора ALG такие перемиčky формируются и замедляют дробление микроструи на монодисперсные микрокапли. При этом отсутствие внешнего воздействия потока жидкости вызывает неустойчивое поведение для обоих растворов.

1.3.2. Влияние расхода водно-полимерного раствора на капиллярное дробление микроструи

Были проведены эксперименты с тремя водно-полимерными растворами, чтобы исследовать, как изменение расхода жидкости влияет на поведение микроструи. Эксперименты проводились при расходах жидкости от 5 до 26 мл/мин при заданной частоте тока ($f = 1000$ Гц) внешнего возмущения. В результате были определены три режима течения микроструи, которые были наблюдаемы при различных расходах жидкости. На рисунке 3 изображены типичные снимки для этих режимов для раствора, содержащего 2,5 мг/мл ALG+HEC.

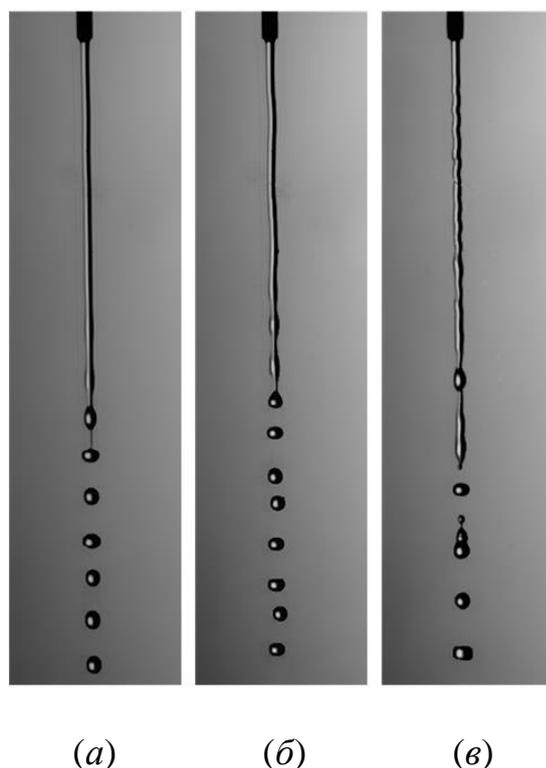


Рисунок 3 – Режимы разрушения микроструи полимерного раствора 2,5 mg/ml ALG+HEC при внешнем возмущающем воздействии и следующих расходах жидкости: (а) – 5-8 мл/мин, (б) – 9-11 мл/мин, (в) – 12-26 мл/мин

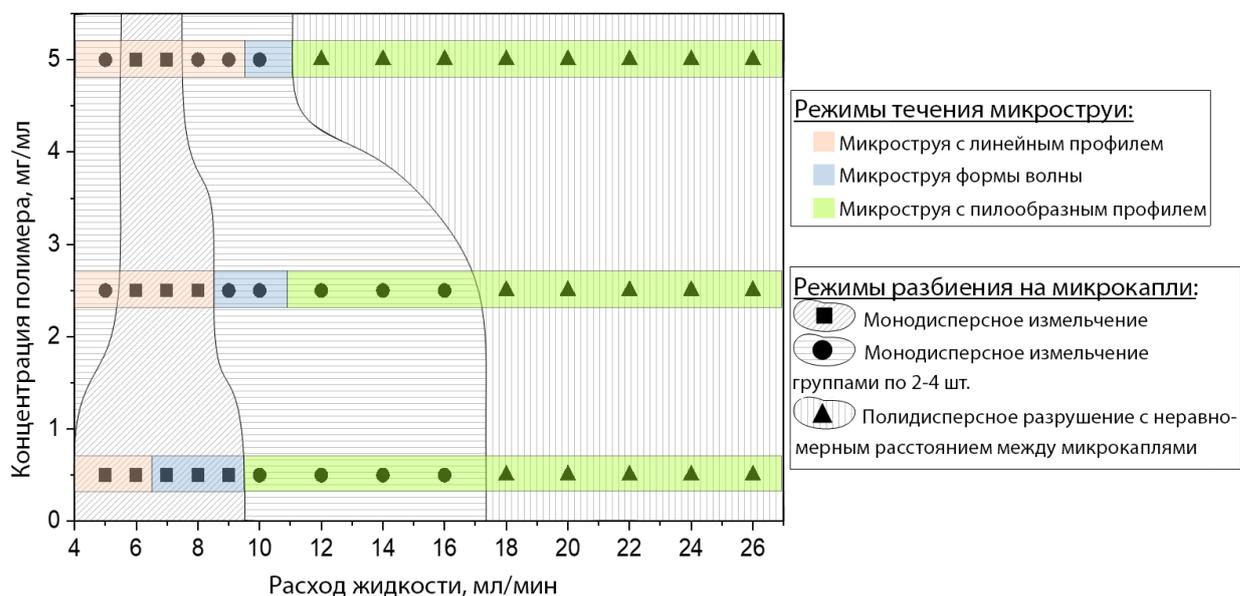
При использовании небольшого количества жидкости (5-8 мл/мин) происходит ламинарный поток микроструи с почти линейным профилем и минимальной кривизной относительно оси потока, что можно увидеть на рисунке 3а. Если жидкость используется в большем количестве (9-11 мл/мин), кривизна микроструи будет прогрессировать и профиль станет волнообразный, с большей амплитудой и длиной волны, как показано на

рисунке 3б. При дальнейшем увеличении расхода жидкости до 12-26 мл/мин, амплитуда и длина волны возмущений значительно уменьшатся. Это приводит к тому, что профиль микроструи будет иметь форму пилообразного профиля (рисунок 3в) с периодической переменной.

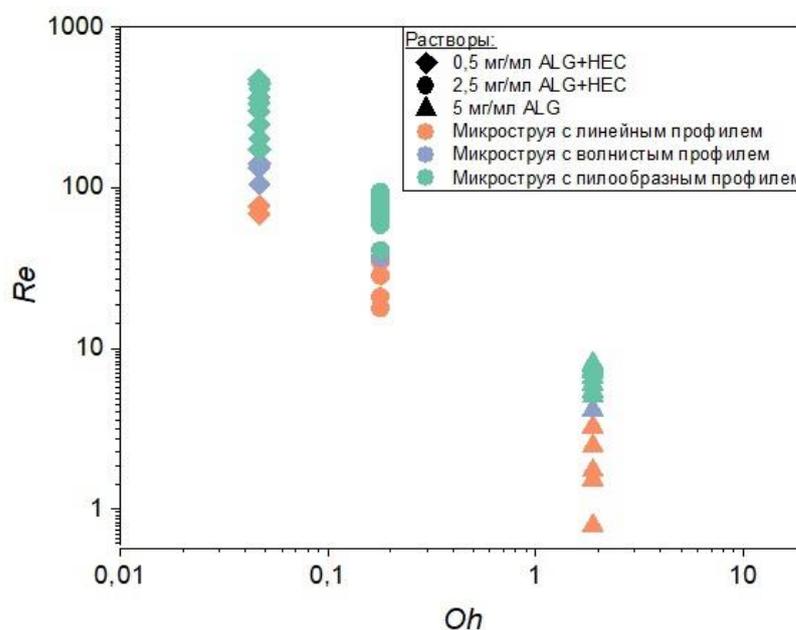
Изменение поведения микроструи при воздействии внешнего возмущения сильно влияет на формирование микрокапель, которые образуются после дробления. Проведенное исследование расходов жидкости показало, что для раствора 0,5 мг/мл ALG+HEC при расходе жидкости от 5 до 9 мл/мин происходит монодисперсное дробление на капли, которые двигаются на равном расстоянии друг от друга на более чем 15–20 диаметров от места разрушения микроструи. Для растворов с более высокой концентрацией и другой составляющей происходит дробление на несколько микрокапель, которые затем образуют монодисперсные капли при более высоком расходе жидкости. При использовании расходов от 5 до 8 мл/мин, средний диаметр формируемых микрокапель является наибольшим в сравнении с более высокими расходами. При увеличении расхода происходит монодисперсное дробление на микрокапли, которые двигаются на равном расстоянии друг от друга на большом расстоянии от места разрушения микроструи. Однако, увеличение расхода до определенного предела (11 мл/мин) вызывает не регулярное, но предсказуемое поведение микрокапель, смещение траектории и нерегулярное расположение микрокапель в потоке. При более высоких (12-26 мл/мин) расходах жидкости, происходит нарушение механизма отделения микрокапель, что приводит к условию полидисперсного дробления и неоднородного пространства между микрокаплями в полете.

На рисунке 4а представлена карта режимов течения микроструи до и после их дробления на микрокапли, для исследования морфологических изменений ламинарного потока водно-полимерных растворов. Области разного цвета на карте представляют различные режимы течения, а заштрихованные области с геометрическими символами – границы

дробления на микрокапли. Карта построена на основе расходов жидкости в диапазоне от 5 до 26 мл/мин и определенной частоте тока ($f = 1000$ Гц) внешнего возмущения.



(а)



(б)

Рисунок 4 – Карта режимов течения микроструи и дробления на микрокапли с указанием границ переходов между ними, представленная через расходы жидкости и концентрации полимера в растворе (а) и через безразмерные критерии подобия Oh и Re (б)

Из анализа режимов течения микроструи (Рисунок 4а) обнаружилось, что, при увеличении концентрации линейный профиль микроструи наблюдается в более широком диапазоне расходов. Это объясняется усиливающимся проявлением вязкоупругих свойств жидкости при увеличении молекулярной массы полимера в растворе. При этом профиль микроструи практически не деформируется (Рисунок 3а), что свидетельствует о снижении времен релаксации для возвращения полимерной системы в равновесное состояние. Результаты экспериментов показали, что для раствора 5 мг/мл ALG наблюдается микроструя с линейным профилем, при расходах жидкости 5–9 мг/мин. Также для раствора 0,5 мг/мл ALG+НЕС. Что нельзя сказать про расход жидкости 5–6 мг/мин. Кроме того, на рисунке 3а видно, что проявление остальных режимов течения микроструй также связано с расходом и концентрацией водно-полимерного раствора. Для более теоретического обобщения морфологических наблюдений была построена карта режимов течения микроструи (Рисунок 4б) с использованием безразмерных критериев подобия – числа Онезорге $Oh = \frac{\mu}{\sqrt{\sigma\rho D}}$ и числа Рейнольдса $Re = \frac{\rho U_j D}{\mu}$, где D – диаметр микроструи, м, U_j – скорость микроструи, м/с, оцененная по скорости первой микрокапли, отделившейся вследствие неустойчивости микроструи. В целом, выявлена зависимость сил вязкости, роста чисел Рейнольдса и последующей сменой режимов течения. Увеличение сил вязкости увеличивает рост чисел Re и происходит смена течения (Рисунок 5).

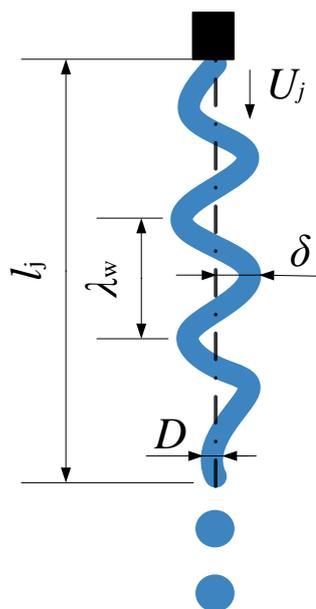


Рисунок 5 – Схема течения микроструйного ламинарного потока с указанием анализируемых физических параметров

При изучении способов микродробления раствора ALG с концентрацией 0,5 мг/мл на микрокапли было выявлено, что монодисперсное разрушение возможно при расходах жидкости в диапазоне от 5 до 9 мг/мл. В таком случае, форма микроструи до капиллярного разрушения может быть как линейной, так и волнообразной, и зависит от интенсивности вибрационного возбуждения и расхода жидкости. Однако, для жидкостей с вязкоупругими свойствами настройка параметров внешнего возбуждения играет важную роль в определении границ между режимами дробления. При увеличении концентрации полимера в растворе диапазон расходов жидкости сужается, что также влияет на процесс дробления. Кроме того, существует формирование структур типа «бусины-на-нити», а при росте расхода жидкости происходит коалесценция спутниковых микрокапель, что влияет на полидисперсность микрокапель в потоке.

Была произведена попытка определить взаимосвязь между скоростью U_j и длиной разрушения микроструи (l_j), как показано на рисунке 5. Было выявлено, что при росте скорости U_j , увеличивается значение l_j при $f = 1000$ Гц. При использовании концентрации полимера в растворе до 5 мг/мл удалось достичь значительного увеличения (до 50%) значений l_j при

повышенных расходах (15 и 20 мл/мин), что обусловлено увеличением вязкоупругих свойств жидкости и времени релаксации.

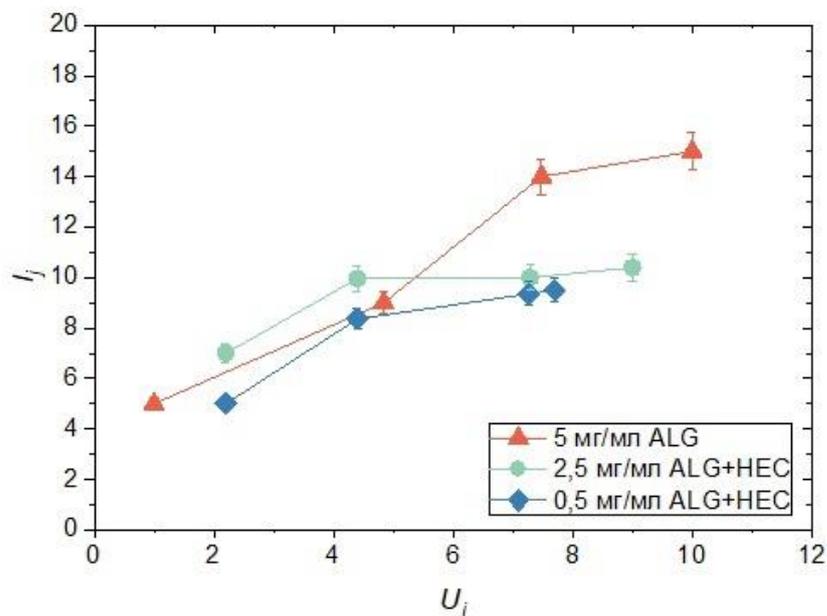


Рисунок 6 – Зависимость скорости микроструи U_j от длины разрушения микроструи l_j для трех исследуемых жидкостей при расходах жидкости 5, 10, 15 и 20 мл/мин (соответствуют расположению точек в рамках кривых слева направо)

1.4. Заключение

Было установлено, что увеличение концентрации полимера в растворах ALG+HEC до 2,5 мг/мл и ALG до 5 мг/мл приводит к образованию группированных микрокапель в потоке после капиллярного разрушения микроструи. В случае раствора ALG с концентрацией 5 мг/мл также возникают структуры "бусины-на-нити", которые могут нарушать дробление микроструи.

Были отмечены три режима течения микроструи при расходах жидкости от 5 до 26 мл/мин, частоте тока внешнего возмущения 1000 Гц и числах Oh от 0,046 до 1,88 и Re от 0,7 до 470: линейный профиль, волнообразная деформация профиля и пилообразная деформация профиля с перестраивающимся периодом колебания.

Определены три режима дробления ламинарного микроструйного потока на микрокапли при расходах жидкости от 5 до 26 мл/мин, частоте тока внешнего возмущения 1000 Гц: капиллярное дробление на монодисперсные микрокапли, монодисперсное дробление с группировкой основных микрокапель в потоке по 2-4 штуки и полидисперсное дробление с неоднородным пространством между микрокаплями в полете.

2. Выбор и анализ объекта автоматизации

2.1. Поиск и анализ информации об объекте автоматизации в соответствии с индивидуальным заданием

Регулирование расхода является необходимым при автоматизации почти каждого непрерывного процесса. Системы автоматизации технологических процессов могут включать АСР расхода, которые стабилизируют материальные потоки. Расход в гидравлике и аэродинамике определяется количеством вещества, проходящего через сечение потока в единицу времени. Расход может быть массовым, объемным или весовым в зависимости от единиц измерения. Системы регулирования расхода характеризуются малой инерционностью объекта регулирования и наличием высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода. Регулирование расхода газа, жидкости или пара в системе производится путем дросселирования потока при открытии регулирующего клапана или использовании одного из трех способов изменения расхода: дросселирование, изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии или байпасирование. Кроме того, расход водного раствора биополимера зависит от его вязкости, при более высокой вязкости предполагается меньший расход.

2.2. Описание назначений объектов автоматизации

Поршневой насос в отличие от многих других объёмных насосов, не является обратимым, то есть, он не может работать в качестве гидродвигателя из-за наличия клапанной системы распределения.

В центробежном насосе переносное движение рабочего тела происходит за счёт центробежной силы и протекает в радиальном направлении, то есть перпендикулярно оси вращения ротора. Они одинаково применимы как для жидкостей, так и для газов.

Расход биополимера измеряется с помощью расходомера. Если прибор имеет интегрирующее устройство (счётчик) и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счётчиком-расходомером.

Биополимер проходит через микрофлюидное устройство (сопло) к месту исследования его свойств. Принцип действия сопла основан на истечении жидкости или газа за счёт перепада их давлений по длине канала сопла.

В данной работе используется ПИ-регулятор так как, его точности достаточно, и он более простой, чем ПИД-регулятор.

Исследуемая жидкость протекает по трубопроводу, который предназначен для микрофлюидных устройств.

2.3. Описание процессов, происходящих внутри объектов, а также процессов, в которых непосредственно задействованы рассматриваемые объекты

Биополимер подаётся с помощью поршневого насоса в трубопровод, где измеряется его температура, с помощью датчика температуры, биополимер проходит расходомер, затем попадает в вискозиметр и проходит через запорно-регулирующий клапан, с помощью клапана происходит изменение расхода, биополимер попадает в сопло с заданным расходом. На

клапан подаётся сигнал с регулирующего устройства. Регулирующее устройство сравнивает полученную величину расхода с расходомера. Затем рассчитывает разницу между измеренным и заданным значениями расхода и передаёт воздействующий сигнал на исполнительный механизм. Происходит изменение числа оборотов вала насоса, что в свою очередь меняет расход биополимера.

Поршневой насос вытесняет биополимер путём возвратно поступательного движения поршня.

Расходомер, предназначенный для измерения объемного или массового расхода жидкостей, в основе работы которого лежит закон электромагнитной индукции Фарадея. Получил распространение для измерения расхода воды, водных растворов и суспензий. Через этот прибор будет проходить биополимер, будет измеряться расход и выдавать сигнал на регулятор расхода.

ПИ-регулятор оказывает воздействие на регулируемый орган пропорционально отклонению и интегралу отклонения регулируемой величины. У ПИ-регулятора регулирующее воздействие перемещает затвор пропорционально отклонению параметра и интегралу отклонения.

2.4. Сравнительный анализ найденных объектов автоматизации

Так как не было найдено типовых объектов автоматизации мы можем выбрать только по методу. Существует 3 способа регулирования:

1. Дросселирование;

Обычно дросселирование достигается частичным закрытием задвижки на напорном трубопроводе насоса. Данный способ является наиболее экономичным, а также простым и распространенным, что является значительным плюсом.

Регулирование расхода после центробежного насоса осуществляется регулирующим клапаном, устанавливаемым на нагнетательном трубопроводе (Рисунок 7).

Регулируемый участок трубопровода, ограниченный датчиком расхода и регулирующим клапаном, является безынерционным усилительным звеном. Динамическая характеристика данной части АСР зависит от свойств датчика расхода и регулирующего органа. Для достижения желаемой величины расхода используются ПИ-регуляторы, обеспечивающие минимальное отклонение.

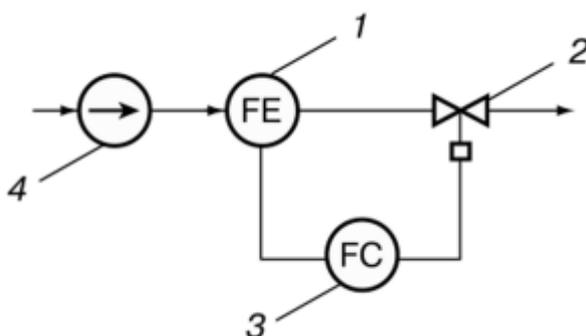


Рисунок 7 – Схема регулирования расхода после центробежного насоса:
1 – измеритель расхода; 2 – регулирующий клапан; 3 – регулятор расхода;
4 – насос.

2. Изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии;

Второй способ является оптимальным с точки зрения экономии энергоресурсов, а для привода насосов часто используются асинхронные электродвигатели, которые отличаются доступной стоимостью, надежностью и простотой в эксплуатации. Однако изменение числа оборотов таких двигателей может быть сложным и требует значительных затрат. Чтобы изменить число оборотов вала, можно использовать несколько способов, таких как переключение обмотки статора на различное число пар полюсов, введение реостата в цепь ротора двигателя, изменение частоты питающего

тока или применение регулируемых муфт скольжения между насосом и асинхронным двигателем.

3. Байпасирование приводит к снижению напора и подачи, что смещает рабочую точку круто вниз. Как результат, в потребительской сети можно получить меньший напор и меньшую подачу, где энергия жидкости идет на сброс (Рисунок 8).

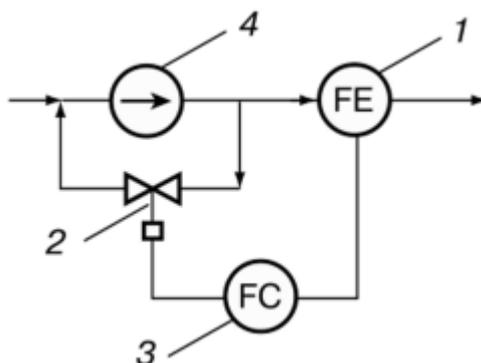


Рисунок 8 – Схема регулирования расхода после поршневого насоса:

1 – измеритель расхода; 2 – регулирующий клапан; 3 – регулятор расхода;
4 – насос.

2.5. Выбор объекта автоматизации

Исходя из проведенного анализа в п.3, можно сделать вывод, что объектом автоматизации станет расход методом изменения оборотов вала насоса.

Основным характеристиками, определяющими выбор метода, являются:

- надёжность;
- компоновка датчиков;
- простота конструкции;
- меньшие затраты энергоресурсов.

Первое на что стоит обратить внимание – простота конструкции и надёжность. Так как наш объект будет задействован в экспериментальной

установке, нам нужно заложить в него высокую точность, чем меньше приборов, тем меньше погрешность.

Таким образом, выбирая между различными методами, выбираем метод изменения оборов вала насоса.

2.6. Перечень регулируемых и контролируемых параметров

Базовый перечень регулируемых и контролируемых параметров представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень регулируемых и контролируемых параметров

Регулируемый параметр		Контролируемый параметр	
Номинальное значение	Диапазон изменения	Номинальное значение	Диапазон изменения
1. Расход биополимера		1. Температура биополимера	
10 мл/мин	8... 20 мл/мин	20 °С	15 °С... 25 °С
		2. Частота оборов вала	
		5 Об/мин	0,1...720 Об/мин

2.7. Список возмущающих и регулирующих воздействий

Задача системы автоматического регулирования состоит в стабилизации на заданном значении расхода биополимера на выходе регулируемого пакета. Регулирующим воздействием при этом является изменение числа оборов вала на насосе.

На регулируемый пакет пароперегревателя действует ряд возмущений: изменение температуры окружающей среды на начальном участке трубопровода f_t , изменение вязкости f_μ .

3. Разработка структурной схемы АСР

3.1. Типовые структурные схемы АСР

Найдем типовые структурные схемы АСР расхода жидкости в транспортировочном трубопроводе.

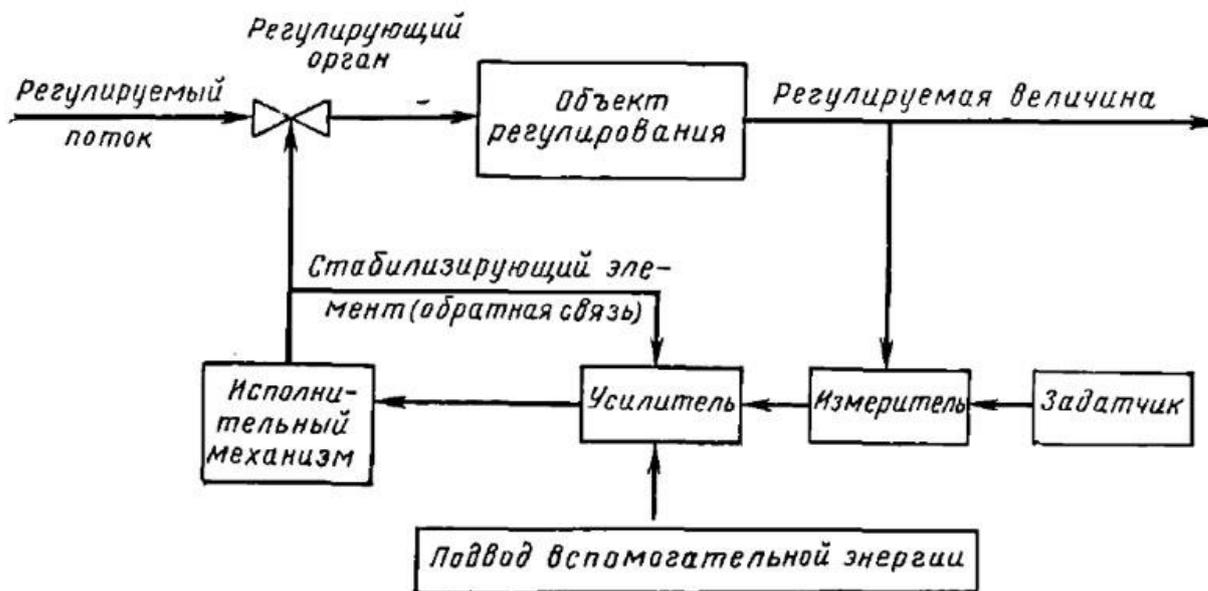


Рисунок 9 – Структурная схема автоматической системы регулирования расхода топлива [14].

Для внесения корректив в работу регулируемых объектов, таких как дизель, котел, теплообменный аппарат, используются регулируемые величины, такие как частота вращения дизеля, температура воды, масла, топлива, давление масла, уровень и вязкость топлива и т.д. Они влияют на параметры работы объектов и позволяют поддерживать требуемый уровень их функционирования.

Чувствительный элемент, измеритель и регулирующий орган используются для обеспечения нужного значения регулируемой величины. Они работают таким образом, что измеритель измеряет текущее значение величины и сравнивает его с заданной величиной. Если значение отличается от заданного, то измеритель выдаёт выходной сигнал, который пропорционален отклонению от заданного значения. Регулирующий орган, получив этот сигнал, изменяет количество регулируемого потока таким образом, чтобы восстановить заданную величину.

Регулирующий орган может менять своё положение за счёт энергии, развиваемой измерителем, или за счёт энергии от постороннего источника,

которая называется вспомогательной энергией. Чтобы управлять подводом вспомогательной энергии к исполнительному механизму, используется усилительный элемент или усилитель. Он управляет подачей вспомогательной энергии пропорционально величине и знаку выходного сигнала чувствительного элемента.

Для поддержания требуемой частоты вращения дизель-генератора при изменении нагрузки используется регулируемый поток, который достигается изменением количества подаваемого в цилиндры дизеля топлива.

В системах автоматического управления существуют различные компоненты, которые обеспечивают корректную работу системы. Один из таких компонентов – исполнительный механизм. Он отвечает за управление положением регулирующего органа на основе сигнала, полученного от усилителя.

На практике применяются различные типы исполнительных механизмов, в том числе сервомоторы. Они способны преобразовывать потенциальную энергию (представленную в виде давления рабочей среды) в механическую энергию для выполнения определенных действий.

Для определения значения регулируемой величины используется задающее устройство, также называемое задатчиком. Оно определяет желаемое значение величины, которое должен поддерживать регулятор.

Другой важный компонент – стабилизирующий элемент. Он обеспечивает дополнительную связь между различными элементами регулятора, что способствует повышению его устойчивости в работе.

Таким образом, регулирующая система позволяет обеспечивать работу регулируемых объектов с заданными параметрами за счет использования регулируемых величин, измерителя, регулирующего органа и усилителя. Она является неотъемлемой частью многих технических систем, где требуется стабильность и точность в работе [15].

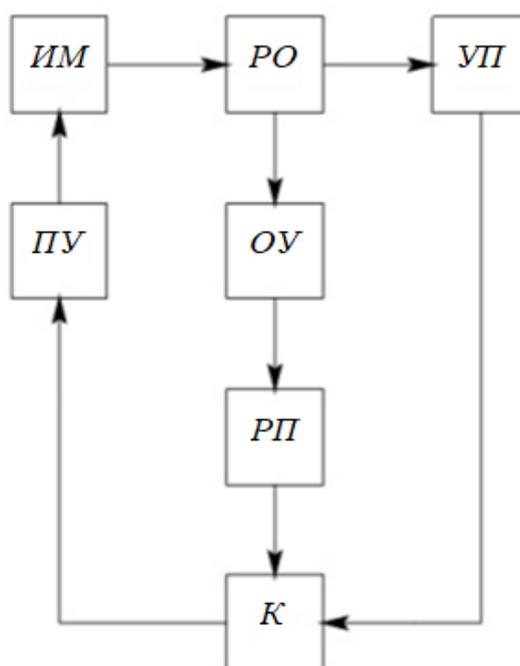


Рисунок 10 – Структурная схема автоматической системы регулирования расхода топлива.

Измерительные преобразователи расхода передают информацию о расходе жидкости на всем участке трубопровода. Датчики расхода непрерывно контролируют значения расхода и, при необходимости, контроллер выдает управляющее воздействие, чтобы вернуть значения обратно к установленной уставке. Регулятор начинает работать, если сигнал рассогласования превышает заданную величину, которая рассчитывается как разность между уставкой и текущим расходом. Управляющий сигнал передается на пусковое устройство, которое запускает исполнительный механизм. Механизм преобразует электрический сигнал в механическое перемещение регулирующего органа.

3.2. Разработанная структурная схема АСР

На базе найденных схем была разработана структурная схема АСР расхода биополимера в трубопроводе.

На рисунке 11 представлена структурная схема регулирования расхода биополимера в трубопроводе.

В системе происходит регулирование расхода воды за счет изменения частоты оборотов перистальтического насоса. Биополимер подается по трубопроводу за счет насоса. После чего происходит измерение расхода биополимера и его температуры в трубопроводе. Сигналы, которые поступают на ПЛК, обрабатываются. В случае расхождения значений вырабатывается управляющее воздействие, передающееся на насос. Для регулирования расхода используется расходомер. Также с помощью термоэлектрических преобразователей измеряется температура жидкости. При достижении заданных значений расхода биополимера путем подачи насосом, происходит поддержание заданного значения расхода биополимера.

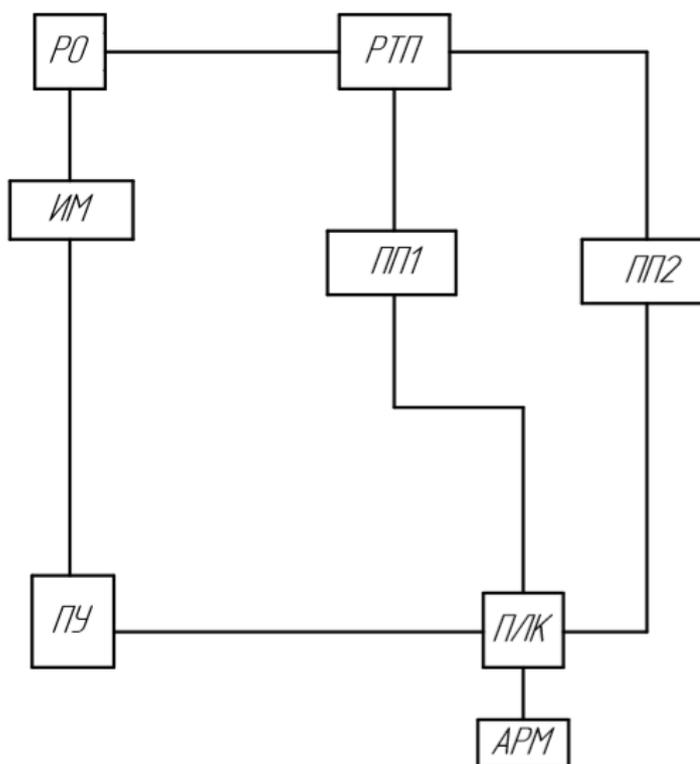


Рисунок 11 – Структурная схема АСР расхода биополимера в трубопроводе.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.006 С2.

4. Разработка функциональной схемы АСР

4.1. Технологическая схема

Функциональная схема технологического оборудования представлена в упрощенном виде, где показывается взаимосвязь каждой части цепи, ее принцип действия и взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации. Регулирующая арматура на трубопроводах изображена только там, где она непосредственно участвует в работе автоматизированной системы. Техническим средствам автоматизации на схеме присвоены позиционные обозначения.

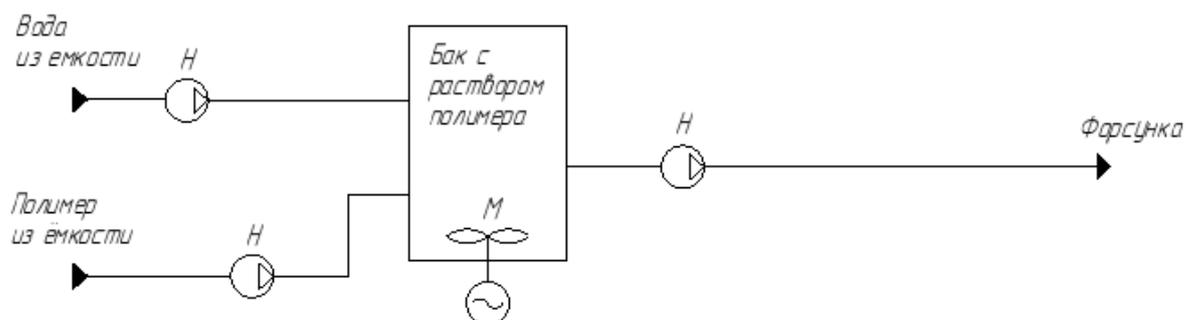


Рисунок 12 – Технологическая схема

Из резервуаров подается насосами вода и полимер в бак (Б), где жидкости перемешиваются с помощью мешалки (М). Эмульсия подается из бака к форсунке с помощью насоса. Для регулирования подачи воды и полимера используются насосы.

Регулируемые параметры:

- расход полимера в трубопроводе (8...20 мл/мин);
- расход воды в трубопроводе (8...20 мл/мин);
- расход эмульсии в трубопроводе (8...20 мл/мин).

Контролируемые параметры:

- уровень воды в баке (10...100 мл);
- температура эмульсии после бака (0...50 °С).

4.2. Разработанная функциональная схема АСР

На чертеже разработанной функциональной схеме АСР изображено:

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

FE – первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту.

TE – первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту.

NS – пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т.д.) [16].

Изображение первичных преобразователей, исполнительных механизмов представляет собой окружность, от которой отходит линия связи с присвоенным ей номером. От них отводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала. Все эти линии затем ведутся в шкаф автоматизации, в котором находится контроллер. После прохождения сигналов через контроллер, происходит поступление их на АРМ оператора.

На данном этапе были определены измерительные каналы (1-3, 5, 7, 9, 11) и каналы регулирования (4, 5, 8, 10). Измерительный канал 1 служат для передачи сигнала о величине температуры эмульсии от термопреобразователя сопротивления с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. По каналу 2 на контроллер передается значение расхода эмульсии с помощью электромагнитного преобразователя расхода. Измерительный канал 3 служит для передачи сигнала о значении уровня эмульсии в баке унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. Каналы 5, 7, 9, 11 используются для определения положения насоса. По каналам 4, 5, 8, 10 передаются управляющие сигналы на пускательные устройства.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.019 С2.

4.3. Выбор оборудования

1. Выбор датчиков температуры

В качестве датчиков температуры используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом [17].

Таблица 3 – Технические характеристики датчика Метран - 274

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4-20 мА
Длина монтажной части	60...1250 мм
Класс допуска	2
Диапазон преобразования температуры	0...50°C
Средний срок службы	Не менее 5 лет

Таблица 4 – Технические характеристики Метран-276

Характеристика	Величина
Диапазон унифицированного сигнала	4-20 мА
Длина монтажной части	60...1250 мм
Класс допуска	2
Диапазон преобразования температуры	0...+300 °C
Характеристика	Величина
Средний срок службы	Не менее 5 лет

Технические характеристики данных измерительных преобразователей температуры примерно схожи и удовлетворяют требованиям, однако, диапазон измеряемых температур у Метран-274 меньше, а значит погрешность измерений будет меньше. Таким образом, он удовлетворяет большому количеству запросов, поэтому выбираем его в количестве 1 шт.

2. Выбор датчика расхода

В процессе поиска расходомеров был найден расходомер с кориолисным принципом измерения массового расхода, его преимущество

заключается в том, что он с высокой точностью измеряет расходы жидкостей с высокой вязкостью:

Таблица 5 – Технические характеристики mini CORI FLOW M13

Характеристика	Величина
Выходные сигналы	4–20 мА, цифровой Modbus RTU, RS232 и FLOW-BUS
Условный проход трубопровода	6 мм
Рабочая температура	0...+70 °С
Диапазон измерения	1,3–66,6 мл/мин
Погрешность измерения	± 0,2% по част. и цифр. выходу

Так как расходомер полностью удовлетворяет требованиям системы, а аналогов не было найдено, выбираем mini CORI FLOW M13. Выбираем один кориолисовый расходомер (с условным диаметром 6 мм для измерения расхода раствора полимера) [18].

3. Выбор датчика уровня

В качестве датчика уровня было найдено 2-а датчика удовлетворяющие наши требования, технические характеристики которых приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики ДТУ-3 и ОБЕН ПДУ-RS.250.5

Характеристика	ДТУ-3	ОБЕН ПДУ-RS.250.5
Диапазон уровня, мм	3-260	0-250
Интерфейс	RS 485	RS 485
Степень защиты	IP54	IP65
Потребляемая мощность, Вт	2	0,28
Температура рабочей среды	-40...+50	-60...+120
Средней срок службы, лет	10	12

Выбираем датчик ОБЕН ПДУ-RS.250.5 так как он проще, менее затратный по стоимости в 3 раза, а также датчик ДТУ-3 измеряет дополнительные параметры (плотность, температура), которые не являются важными в технологии процесса [19].

4. Выбор насоса

Для бесперебойной подачи раствора полимера от резервуара к форсунке, на проектируемой АСР было принято решение по установке перистальтического насоса ВТ101L с форсункой DG10-1 [20]. При выборе насоса необходимо было, в первую очередь, обращать внимание на небольшой размер трубки и маленький расход жидкости. Главное преимущество перистальтических насосов заключается в обеспечении максимально точной дозировки жидкости стабильной скорости перекачки потоков с различной степенью плотности и вязкости. Технические характеристики насоса представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики перистальтического насоса ВТ101L/DG10-1

Характеристика	Величина
Напряжение, В	240
Размер трубки, мм	0,8-1
Расход, мл/мин	0,0001-41
Коммуникация	RS 485
Частота оборотов, об/мин	0,1-150

Выбираем его в количестве 1 шт.

5. Выбор магнитной мешалки

Преимущества магнитной мешалки:

- вихревой поток происходит при помощи магнитного якоря, соединенного с мотором магнитным полем. Это дает возможность проводить перемешивание в герметически закрытой лабораторной посуде;
- отсутствует процесс взаимодействия с перемешиваемым химическим составом;
- простой и удобный процесс эксплуатации;
- легкость, малогабаритность, бесшумность.

Принцип работы магнитной мешалки: необходимый химический реактив помещается в лабораторную посуду из стекла, после чего их кладут на специальную платформу с подогревом магнитной мешалки. Устанавливается определенное значение частоты оборотов и температуры,

после чего якорь, находящийся в емкости, приводится в движение магнитами на двигателе. Так происходит процесс перемешивания.

В таблице 8 представлен выбор магнитной мешалки.

Таблица 8 – Технические характеристики магнитной мешалки с подогревом

Название	Нагрев до, °С	Частота вращения, об/мин	Макс. объем, л	Размер рабочей поверхности
US-1500A	340	100–1500	20	Ø135
ОНАUS с подогревом HSMNHP4CAL	500	150–2000	10	102x102
MS-H380-Pro +PT1000	380	200–1500	5	140x140

Технические характеристики всех вариантов схожи, однако у мешалки US-1500A, есть возможность подключения через RS-232, поэтому выбираем эту мешалку [21].

6. Выбор ПЛК

Контроллер выполняет различные функции управления в соответствии с информацией, получаемой от датчиков. В данной работе рассматривались два контроллера (Таблица 9).

Таблица 9 – Технические характеристики SIMATIC-S7-200 и Элси-ТМК

Характеристика	SIMATIC-S7-200	Элси-ТМК
Напряжение питания	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц
Количество DI	6	До 64
Количество AI	6	От 2 до 24
Количество DO	10	До 64
Количество АО	1	До 8

Так как контроллер Элси-ТМК более доступен и универсален, значит выберем его [22].

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.019 СО в количестве 1 листа.

5. Разработка монтажной схемы АСР

5.1. Места установки технических средств АСР нижнего уровня

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

5.2. Выбор оборудования

Кабели выбираются по количеству жил и размеру сечения. Кабель КРВГЭ – контрольный экранированный кабель, с медной жилой, изоляцией из резины, оболочкой из ПВХ. Предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 В или постоянным напряжением до 1000 В.

Кабель КВВГЭ – контрольный экранированный кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ. Назначение у данного кабеля такое же, как и у КРВГЭ [23].

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.

Сведем кабели в таблицу 10.

Таблица 10 – Кабели, использованные в схеме

Номер измерительного канала	Наименование кабеля
1-3	КВВГ
4-6	КВВГЭ
7-11	ВВГ

Клеммные коробки предназначены для соединения и разветвления кабелей. Они выбираются по числу клемм. Для датчиков температуры и расхода, а также для электрозадвижки выберем соединительные клеммные коробки КС-10 с 10 клеммами, с сечением жил до 4 мм², IP65.

У датчиков температуры и расхода на выходе унифицированный токовый сигнал. У датчика уровня коммутационный сигнал через RS 485.

На чертеже между шкафом автоматизации и датчиками 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. Под каждой позицией датчиков располагаются датчики температуры и расхода. Исходя из руководства по эксплуатации, датчики температур и расхода двухпроводные. Провода обозначаются, начиная со 101, и соединяются в кабели. В окружности на кабеле приводится маркировка измерительного канала. Кабели № 1–3 сводятся в клеммную коробку через 3 сальника М20, из коробки выходит кабель № 4 через сальник М20 на щит автоматизации.

С ЩСУ кабели 7–9 идут на насосы и от насосов кабелем 5 в щит автоматизации. Мешалка питается от ЩСУ кабелем 10, и сигнал от неё идет в щит автоматизации с помощью кабеля 6.

Внизу чертежа изображен шкаф автоматизации. Он соединяется кабелем № 11 с щитом силового управления, который расположен справа в верхней части чертежа.

6. Разработка электрической схемы и составление перечня элементов подсистем электрического питания и микроклимата щита управления

Электрические схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на следующие типы:

– *схема электрическая структурная (Э1)*. На структурной схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и взаимосвязи между ними;

– *схема электрическая функциональная (Э2)*. На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемой схемой, и связи между этими частями. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой;

– *схема электрическая принципиальная (полная) (Э3)*. Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении;

– *схема электрическая соединений (монтажная) (Э4)*. На схеме соединений следует изображать все устройства и элементы, входящие в состав изделия, их входные и выходные элементы (соединители, платы, зажимы и т.д.), а также соединения между этими устройствами и элементами. Расположение графических обозначений устройств и элементов на схеме

должно примерно соответствовать действительному размещению элементов и устройств в изделии;

– *схема электрическая подключения (Э5)*. На схеме подключения должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (соединители, зажимы и т.д.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей (многожильных проводов, электрических шнуров) внешнего монтажа, около которых помещают данные о подключении изделия (характеристики внешних цепей и (или) адреса);

– *схема электрическая общая (Э6)*. На общей схеме изображают устройства и элементы, входящие в комплекс, а также провода, жгуты и кабели (многожильные провода, электрические шнуры), соединяющие эти устройства и элементы. Расположение графических обозначений устройств и элементов на схеме должно примерно соответствовать действительному размещению элементов и устройств в изделии;

– *схема электрическая расположения (Э7)*. На схеме расположения изображают составные части изделия, а при необходимости связи между ними – конструкцию, помещение или местность, на которых эти составные части будут расположены.

– *схема электрическая объединения (Э8)*. На данном виде схем изображают элементы различных типов схем одного вида.

Оборудование и элементы, изображаемые на электрических схемах:

– *блоки зажимов* используются для присоединения и ответвления проводников из меди и алюминия в цепях электроустановок;

– *реле* необходимы для умножения сигналов и для гальванической развязки;

– *контакторы* нужны для частых дистанционных включений и выключений силовых электрических цепей в нормальном режиме работы;

– *автоматический выключатель* предназначен для защиты электрической цепи от перегрузки и токов короткого замыкания;

- *тумблер* используется для переключения схем переменного и постоянного тока;
- *резисторы* отвечают за линейное преобразование силы тока в напряжение и наоборот, а также для ограничения тока и поглощения электрической энергии;
- *конденсаторы* нужны для накопления заряда и энергии электрического поля;
- *преобразователь* служит для преобразования напряжения и частоты переменного тока в напряжение с заданной амплитудой и частотой;
- *контроллеры* нужны для контроля состояния устройств ввода и принятия решения на основе пользовательской программы для управления состоянием выходных устройств;
- *блок питания* предназначен для преобразования питания из сети в стабильное питание постоянного тока.

Маркировки, применяемые в электрической схеме, играют важную роль в ее понимании и использовании. Существует несколько видов маркировок, которые используются для обозначения элементов схемы, участков цепей и выводов аппаратов.

Первый вид маркировок – позиционные обозначения. Каждый элемент схемы должен иметь обозначение, которое представляет собой сокращенное наименование элемента и может отражать его функциональное назначение. Например, реле времени может иметь обозначения КТ1, КТ2, а автоматический выключатель – QF1 и т.д.

Второй вид маркировок – маркировка участков цепей. Каждый участок цепи между двумя элементами схемы должен быть промаркирован. Марка может состоять из цифр или букв и цифр, что позволяет оператору легко идентифицировать нужный участок схемы.

Третий вид маркировок относится к схемной маркировке выводов аппаратов. Она определяется маркой присоединенного провода и в некоторых случаях может не совпадать с заводской маркировкой места

вывода аппарата. Это позволяет облегчить процесс маркировки внутри соединительных коробок или на больших объектах.

Четвертый вид маркировок – нумерация цепей и участков. Нумерация цепей по порядку сверху вниз позволяет быстро и эффективно описывать схему и делать ссылки в тексте на номера цепей. Нумерация участков цепей соответствует нумерации цепей, но может объединять несколько цепей в один блок, что упрощает понимание схемы.

Таким образом, правильная маркировка в электрической схеме существенно облегчает ее понимание и эксплуатацию. Необходимо учитывать все виды маркировок и следовать определенным правилам, чтобы обеспечить эффективную работу устройства.

Таблица 11 - Позиционные обозначения элементов на электрических схемах:

Название элемента	Буквенное обозначение
Блок зажимов	XT
Лампа осветительная	EL
Выключатель автоматический	QF
Реле	K
Выключатель кнопочный	SB
Выключатель или переключатель	SA
Выключатель автоматический	SF
Тумблер	SH
Источник питания	GB
Предохранитель плавкий	FU
Розетка	XS
Защита от перенапряжений	Z
Выключатель концевой	SQ
Вилка	XP
Резистор	R
Конденсатор	C

В щит автоматизации для подсистем электрического питания и микроклимата установим освещение, источник бесперебойного питания,

аккумуляторный модуль, вентилятор, защиту от перенапряжений, а также дополнительное оборудование для работы всей системы.

Реле предназначено для замыкания и размыкания различных участков электрических цепей. Так как на данном этапе работы напряжение 220 В.

В схеме предусмотрено подключение микроклимата. Так как щит будет стоять в здании, значит предусмотрим только максимальную температуру, при которой будет функционировать щит. Когда температура превысит 50 °С, контакты реле К1 замкнутся и подадут питание на вентилятор.

Термостат предназначен для регулирования температуры в шкафу путем коммутации нагревателей. Выберем термостат TCR111. Диапазон показания регулировочной шкалы: 0...60°С. Рабочее напряжение 230 В. Размеры: 60x33x43 мм.

Вентиляторы используются для охлаждения шкафа, тем самым способствуя улучшению стабильности работы и увеличению ресурса оборудования.

Выберем вентилятор. Степень защиты у вентилятора IP54. Габариты устройства – 150x150 мм.

Устройство защиты от перенапряжений предназначено для защиты оборудования, подключенного к линиям электропитания переменного тока 220 (230) В, от напряжений, вызванных электромагнитными импульсами высоких энергий.

Источник бесперебойного питания используется в качестве источника вторичного питания.

ИБП выбирается по нагрузке. Входное напряжение: 220В (230В); выходное напряжение: 24В. Размеры: не более 87x137x137 мм, масса: не более 1,1 кг. Срок службы не менее 15 лет.

Для источника бесперебойного питания необходимо поставить аккумуляторный модуль.

Как правило, аккумуляторный модуль, источник бесперебойного питания и контроллер располагаются в верхней части щита. Ниже размещаются остальные необходимые устройства.

Был выбран концевой выключатель ДКС R5MC01. Размеры: 39x31x101. Материал: пластик.

Розетка – ДКС Viva.

Вилка – МС 1,5/5-STGF-3,81.

Автоматический выключатель фирмы Schneider Electric однополюсный ВА63 1П 16А. Номинальный ток – 16А. Номинальное рабочее напряжение – 230В.

К шине заземления подключается установленное в шкафу оборудование, требующее заземления.

Ниже схемы в области 2А показана шина заземления. Правее заземляющей шины указана диаграмма работы контакта термореле КК1. Также на листе внизу приведен список технических требований к электрической схеме.

Также в верхней части схемы предусмотрены резервные клеммы.

7. Разработка электрической схемы и составление перечня элементов подсистемы, ввода-вывода аналоговых сигналов щита управления

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов оформляют в виде таблицы по ГОСТ 2.701 [24]. Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают, как правило, над основной надписью. Для электронных документов перечень элементов оформляют отдельным документом.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей

одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп – и между элементами.

Перечень элементов приведен на чертежах с шифром ФЮРА.421000.019 ПЭ4 в количестве 2 листов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов щита управления содержит модуль аналогового ввода и вывода, разделительные преобразователи и блоки зажимов.

Выберем модуль питания TP 712 024 DC. Напряжение на входе модуля – 24 В. Количество поддерживаемых модулей: до 10. Размер: 38x193x143.

Процессорный модуль выберем TC 711 A8-100 2ETH.

Размер: 139x50x193.

Коммутационная панель – ТК 711 6. Количество подключаемых модулей: 1 модуль питания, 1 модуль процессорный, 6 модулей интерфейсных.

Коммутационный модуль – TN 713 2 485 2M. От насоса и уровнемера идёт токовый сигнал через RS-485 на коммутационный модуль. Предусмотрена защита между RS и коммутационным модулем.

Для модуля требуется установить следующие кабели: KN713-X-22-1,5 и KN713-X-23-1,5.

Коммутационный модуль – TN 713 2COM 921. От мешалки идёт токовый сигнал через RS-232 на коммутационный модуль. Предусмотрена защита между RS и коммутационным модулем.

Размер: 50x193x146.

Для модуля требуется установить следующие кабели: KN713-X-19-1,5 и KN713-X-20-1,5.

Модуль аналогового ввода выберем ТА 716 8I DC с 8 входами. Размер: 143x25x193.

На 3 листе в области 5А представлена таблица с расположением модулей на панели контроллера. На 2 листе в области 4В изображены 2 модуля – модуль питания А1 и процессорный модуль А2, которые крепятся к коммутационной панели S1. Модуль А1 питается от клемм с блока зажимов ХТ02, указанных на листе 1/1В. Модули А3 и А4 расположены на 2 листе в области 4А. На 3 листе изображен модуль аналогового ввода А4.

Для модуля требуется установить следующие кабели: КА716-Х-31-1,5.

На электрической схеме соединения элементов и устройств электрической схемы подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов выполнены с помощью проводов. Также нанесены маркировка соединений и позиционные обозначения элементов и устройств.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81 [25]. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

Разработанная электрическая схема автоматизированной системы представлена на листах 1–3 с шифром ФЮРА.421000.019 Э4.

8. Разработка чертежа общего вида щита управления

8.1. Выбор шкафа для размещения оборудования

Шкафы предназначены для размещения приборов, средств автоматики, систем обогрева и вентиляции и вспомогательного оборудования. Шкафы представляют собой сварную конструкцию, выполненную из углеродистой, стали с полимерным покрытием. С передней стороны шкаф имеет открывающуюся дверь с прозрачным окном.

Был выбран компактный распределительный ЩМП-4-0 800х650х250мм У1 IP65 GARANT IEK с монтажной панелью, так как этот щит предназначен для размещения оборудования небольших АСР. Характеристики шкафа приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики ЩМП-4-0 800х650х250мм IP65 с монтажной панелью (TITAN 5)

Характеристики	ЩМП-4-0 800х650х250
Материал	сталь
Способ монтажа	навесной
Степень защиты, IP	65
Размер, мм	
Ширина:	650
Высота:	800
Глубина:	250
Ввод кабеля	снизу

8.2. Описание общего вида щита управления

Средства контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительные приборы, сигнальные устройства, аппаратура управления, автоматическое регулирование, защита, блокировка, линии связи могут быть размещены на щитах систем автоматизации. Щиты предназначены для установки в производственных и специальных помещениях, в том числе операторских, диспетчерских и аппаратных.

Целью данного этапа является разработка комплекта чертежей для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и обеспечения эффективной эксплуатации. В операторском помещении рекомендуется использовать ЩМП для монтажа средств автоматизации, учитывая конструктивные особенности и степень защиты от прикосновения к токоведущим частям. Для оперативного контроля и наблюдения за технологическим процессом на щите необходимо разместить контроллер и сборки зажимов в достаточном количестве.

В данном случае для размещения средств автоматизации использовался щит с монтажной панелью, высотой 800 мм, шириной 650 мм и глубиной 250 мм – ЩМП 800x650x250.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

Верхней части чертежа располагаются коммутационная панель, на которой закреплены модули контроллера А1-А5 на горизонтальной панели щита управления. Правее панели находится блок питания, а также бесперебойный источник питания. Ниже располагается розетка XS1, автоматический выключатель, защита от перенапряжений, термореле, правее аккумулятор, который соединяется с ИБП. Посередине слева расположены 2 преобразователя аналоговых сигналов, а также релейные модули на 24В. В нижней части щита слева расположены блоки зажимов XT1.

При разработке электрической схемы было определено количество и тип оборудования, которые находятся в щите управления. Также для разработки чертежа общего вида были найдены габаритные размеры каждого оборудования, их особенности монтажа.

В верхней части шкафа расположен концевой выключатель (SQ1) и лампа (EL1).

Оборудование размещается на DIN-рейке. Прокладка соединений предусмотрена в закрытых коробах.

На двери шкафа размещены вентилятор и ручка.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.019 ВО.

9. Расчет параметров настройки регулятора

9.1. Идентификация объекта управления

Для выделения различных подходов и методов идентификации исследуемых объектов часто используется классификация по типам. В

данном случае мы имеем дело с двумя видами идентификации – активной и пассивной.

Активная идентификация обычно применяется для разработки новых технологий, используя действующие промышленные объекты. Для ее проведения исследуемый объект выводится из нормального рабочего режима, и на входы ему подаются специальные сигналы. Такое исследование позволяет получить точные данные о поведении объекта в различных условиях и на основе этого разработать новые технологии.

Пассивная идентификация, в свою очередь, используется для уточнения математической модели объекта, исследуемого на практике. Она не требует вывода объекта из рабочего режима, а оценивает параметры системы только на основе выходных данных. Пассивная идентификация позволяет получить более точные значения параметров системы и использовать эту информацию для усовершенствования моделей.

В данной работе была применена методика динамической моделирования изменения расхода биополимера с целью получения кривой разгона. Полученные данные на экспериментальном стенде были использованы в качестве основы для составления кривой разгона. Такой метод позволил получить точные данные о характеристиках системы и использовать их для более глубокого анализа и дальнейшей работы над усовершенствованием технологий. Кривая разгона приведена на рисунке 13.

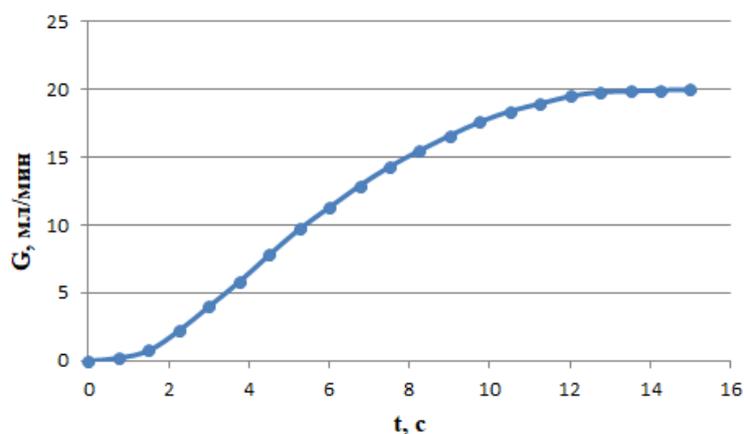


Рисунок 13 – Кривая разгона объекта управления: G – расход, t – время

Необходимо построить переходную характеристику для определения динамических параметров объекта, такие как: запаздывание t , постоянная времени T и коэффициент передачи K .

Передаточная функция представляет собой аperiodическое звено запаздывания:

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

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (2)$$

Получаем два неизвестных значения время запаздывания τ и постоянную времени T . Коэффициент усиления:

$$k = \frac{h(T_y)}{A} \quad (3)$$

где A – выходное воздействие, при единичном воздействии $k = h(T_y)$.

Время чистого запаздывания заранее выделяется из $h(t)$. На кривой разгона изображаем две точки А и Б. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка Б имеет ординату $0,7 k$.

Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (4)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (5)$$

где t_A и t_B – значение времени при соответствующих точках на кривой;
 h_A и h_B – значение ординат при точках А и Б.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

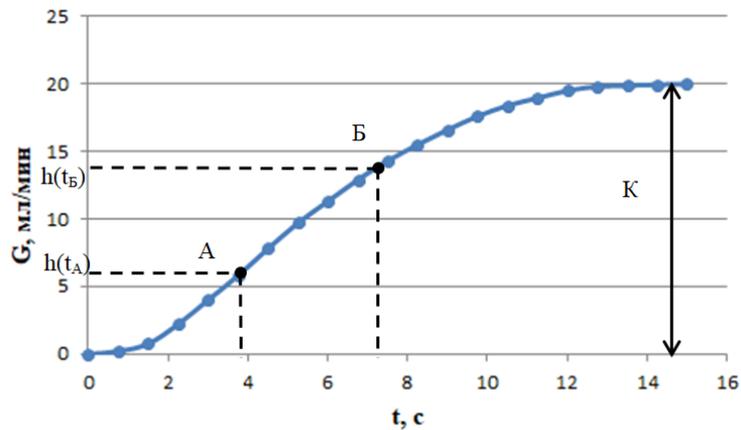


Рисунок 14 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора, где t – время, G – температура

Для заданной кривой разгона по методу Орманса производится аппроксимация. Для этого определяется время t_B по переходной функции. Функция является корнем уравнения $h(t_B)$. По такому же принципу определяется второе значение времени t_A и её функция $h(t_A)$. Далее вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B); \tag{6}$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \tag{7}$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 3,9 - 7,2) = 2,25 \text{ c}; \tag{8}$$

$$T = 1,25(7,2 - 3,9) = 4,125 \text{ c} \tag{9}$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{20}{(4,125P + 1)} e^{-2,25P}. \tag{10}$$

9.2. Расчет параметров настройки регулятора

Вид структурной схемы системы регулирования представлен на рисунке 15.

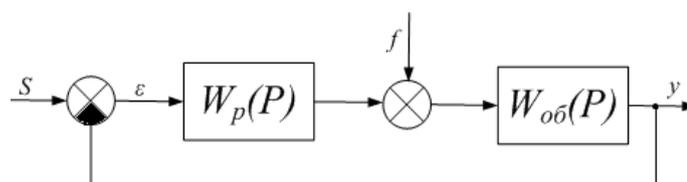


Рисунок 15 – Структурна схема системы регулирования

Степень устойчивости для расчета система была задана равной $\psi=0,75$.

Значение степени колебательности определяется формулой:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (11)$$

Значение передаточная функция объекта регулирования имеет вид:

$$W(P) = 20 / ((4,125P + 1))e^{(-2,25P)}. \quad (12)$$

Для наглядного представления значений расширенных частотных характеристик был выбран диапазон частот от $0,0001$ до $0,58 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте $0,02 \text{ с}^{-1}$ представленный в виде листинга расчета в таблице 13.

Таблица 13 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	20	0	20
0,02	19,77096	-2,5308	19,93228
0,04	19,10239	-4,94947	19,73318
0,06	18,04635	-7,15828	19,41422
0,08	16,67894	-9,08464	18,99257
0,1	15,08795	-10,6859	18,48877
0,12	13,361	-11,9483	17,92425
0,14	11,57666	-12,8819	17,31938
0,16	9,79933	-13,513	16,69219
0,18	8,077626	-13,878	16,05762

Продолжение таблицы 13

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{o\sigma}(m, \omega)$	$\text{Im}_{o\sigma}(m, \omega)$	$A_{o\sigma}(m, \omega)$
0,20	6,44523	-14,0166	15,42747
0,22	4,9231	-13,9684	14,81052
0,24	3,522187	-13,7697	14,21302
0,26	2,246041	-13,4529	13,63908
0,28	1,093093	-13,0454	13,09113
0,30	5,84E-02	-12,5703	12,5704
0,32	-0,8648	-12,0462	12,07715
0,34	-1,68453	-11,4882	11,61103
0,36	-2,40899	-10,9084	11,17122
0,38	-3,04636	-10,3163	10,75664
0,40	-3,60446	-9,71919	10,36603
0,42	-4,09062	-9,12293	9,998055
0,44	-4,51163	-8,53192	9,65134
0,40	-4,87365	-7,9495	9,324535
0,48	-5,18229	-7,37821	9,01633
0,5	-5,44262	-6,81995	8,72547
0,52	-5,65917	-6,27609	8,450769
0,54	-5,83604	-5,7476	8,191112
0,56	-5,9769	-5,23517	7,945459
0,58	-6,08504	-4,73922	7,71284

Параметры настройки регулятора рассчитываются по формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o\sigma}(m, \omega)}{A_{o\sigma}^2(m, \omega)}, \quad (13)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o\sigma}(m, \omega) + \text{Re}_{o\sigma}(m, \omega)}{A_{o\sigma}^2(m, \omega)}. \quad (14)$$

где T_u – постоянная интегрирования регулятора,

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Чтобы найти значения параметров настройки был взят диапазон частот от 0 до 0,58 с⁻¹, с шагом в 0,02 с⁻¹. Полученные значения в виде листинга расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0	-0,05	0
0,02	-0,047	0,000131
0,04	-0,044	0,000516
0,06	-0,04	0,001138
0,08	-0,036	0,001978
0,1	-0,031	0,003018
0,12	-0,027	0,004237
0,14	-0,022	0,005611
0,16	-0,017	0,007118
0,18	-0,012	0,008733
0,20	-0,0061	0,01043
0,22	-0,00054	0,01219
0,24	0,005119	0,01397
0,26	0,011	0,01576
0,28	0,017	0,01753
0,30	0,022	0,01925
0,32	0,028	0,02089
0,34	0,034	0,02243
0,36	0,04	0,02384
0,38	0,045	0,0251
0,40	0,051	0,02619
0,42	0,056	0,02708
0,44	0,061	0,02775
0,40	0,066	0,02817
0,48	0,071	0,02834
0,5	0,075	0,02823

Продолжение таблицы 14

ω, c^{-1}	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0,52	0,08	0,02782
0,54	0,084	0,0271
0,56	0,087	0,02606
0,58	0,091	0,02469

По полученным значениям строится график запаса устойчивости, по которому будут определены оптимальные параметры настройки регулятора (Рисунок 16).

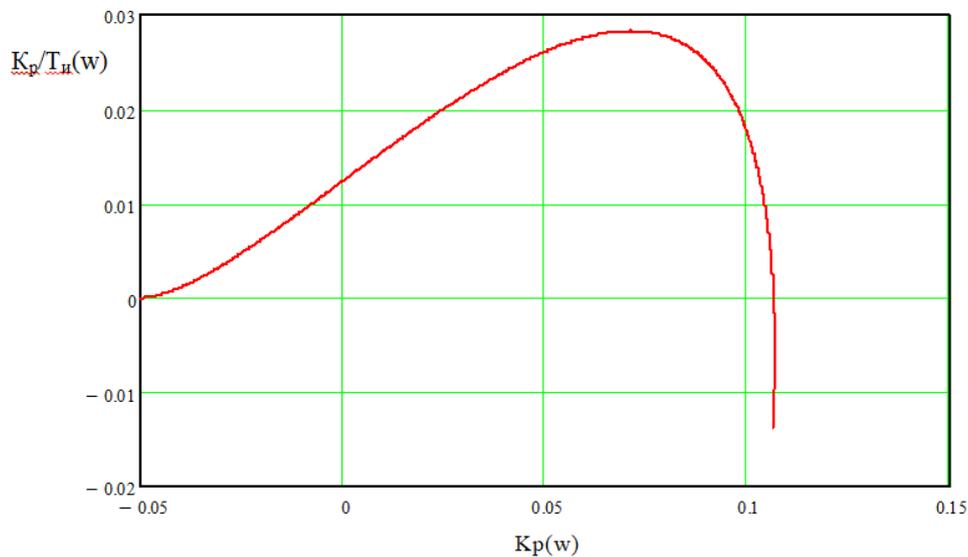


Рисунок 16 – График запаса устойчивости

Используем первую интегральную оценку качества для определения постоянной интегрирования и коэффициента передачи. По графику видно что максимальное значение $\frac{K_p}{T_u}$ соответствует оптимальным параметрам настройки.

Из таблицы 2 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 0,02834, \quad K_p = 0,071, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,48 \text{ c}^{-1}.$$

Определим значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = 2,505 \text{ c} \tag{15}$$

По каналу регулирования необходимо провести оценку качества переходного процесса замкнутой системы. Для этого это запишем передаточную функцию как:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (16)$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора;

$W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта.

Определяем вещественную частотную характеристику, после чего рассчитываем переходный процесс для регулятора. График вещественной частотной характеристики изображен на рисунке 17.

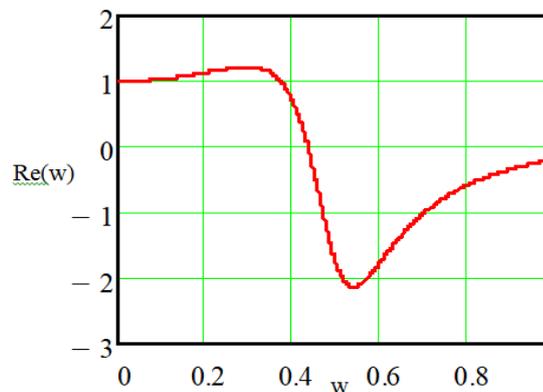


Рисунок 17 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Для связи вещественной частотной характеристики с переходным процессом применяется следующее выражение:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega \quad (17)$$

где $Re(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы;

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для верхнего предела интегрирования выбираем точку пересечения вещественной характеристики и нуля. Это сделано для того, чтобы обеспечить заданную точность расчета регулирования.

Уравнение принимает вид:

$$y(t) = \frac{2 \cdot 20}{\pi} \cdot \int_0^{0,44} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (18)$$

Переходный процесс замкнутой системы по каналу задания изображен на рисунке 18. Данный переходный процесс позволит дать оценку качества регулирования, насколько система удовлетворяет заданным требованиям.

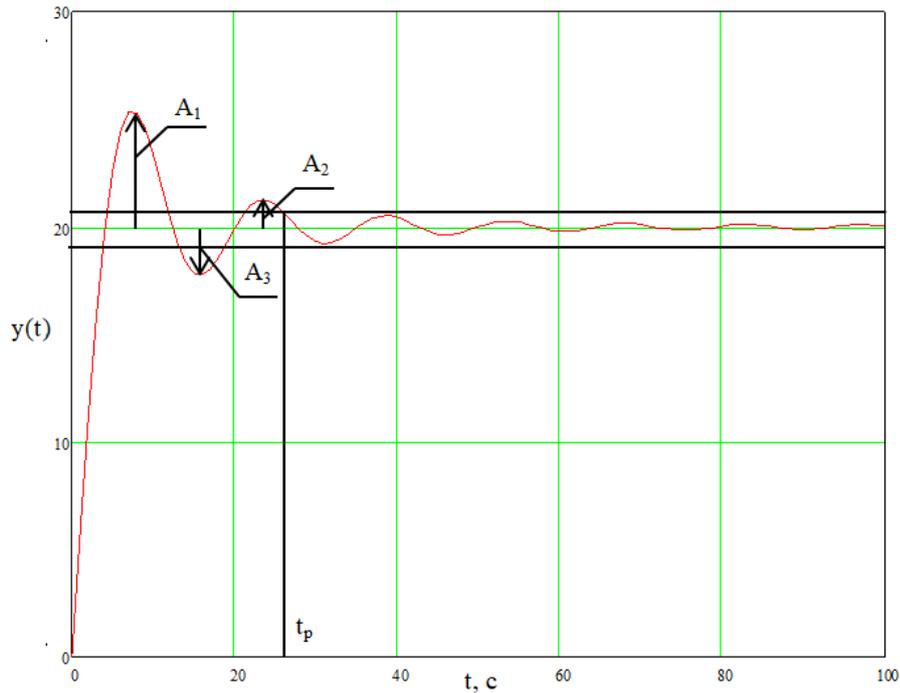


Рисунок 18 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

С помощью графика переходного процесса определим прямые оценки качества:

1. Динамическая ошибка: $A_1 = 0,266$;
2. Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0,113}{0,266} \cdot 100 = 42,5$,

где $A_3 = 0,113$ – первое минимальное отклонение регулируемой величины;

3. Динамический коэффициент регулирования R_d :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,266 + 1}{20} \cdot 100 = 6,33 \%,$$

где $K_{об} = 20$ – коэффициент передачи объекта;

4. Степень затухания:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,061}{0,266} = 0,77,$$

где $A_2 = 0,061$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

5. Статическая ошибка регулирования:

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

6. Время регулирования: $t_p = 25$ с.

10. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

10.1. Описание программного кода

Для программной реализации требуется написание алгоритма работы программы на языке Structured Text (ST) и Functional Block Diagram (FBD) с последующей связью этого алгоритма с мнемосхемой SCADA-системы. Для написания кода программы была использована среда программирования MasterSCADA.

На рисунках 19-20 представлена логика работы программы.

```
1 IF Работа_всего = TRUE THEN;
2 насос1 := TRUE;
3 END_IF;
4
5 IF Работа_всего = TRUE THEN;
6 насос2 := TRUE;
7 END_IF;
8
9 IF Работа_всего = TRUE THEN;
10 насос3 := TRUE;
11 END_IF;
12
13 IF Работа_всего = TRUE THEN;
14 мешалка := TRUE;
15 END_IF;
16
17 IF насос1 = TRUE THEN;
18 насос2 := TRUE;
19 END_IF;
20
21 IF Работа_всего = FALSE THEN ;
22 Q := 0;
23 END_IF;
24
25 IF Работа_всего = TRUE THEN;
26 L := 15.242 * Q - 104.21;
27 END_IF;
28
29 IF (насос1 = TRUE AND насос2 = TRUE) THEN;
30 T := 4.8046 * EXP(0.0916 * Q);
31 END_IF;
```

Рисунок 19 – Часть программы на ST

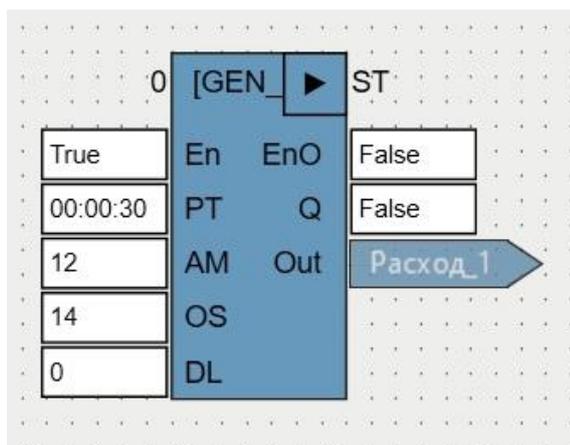


Рисунок 20 – Часть программы на FBD

10.2. Описание графического изображения мнемосхемы

В настоящее время мнемосхема используется как источник информации о состоянии системы и ее процессах. Она помогает оператору контролировать и управлять объектом. В дополнение к основной мнемосхеме, вспомогательный и справочный материал могут быть представлены в дополнительных формах отображения, что позволяет оператору быстро извлечь необходимую информацию на экран.

Требования к мнемосхеме могут изменяться в зависимости от предприятия и его потребностей, но разработка схемы в соответствии с общими требованиями может помочь улучшить ее функциональность и удобство использования. Согласно общим требованиям мнемосхема должна быть проста в использовании и понимании, без лишних элементов. А также иметь различие элементов по цвету размеру и форме, для лучшего восприятия информации оператором. Каждый, кто будет использовать мнемосхему, должен понимать предназначение отдельных элементов или её групп.

Для обеспечения удобства использования, мнемосхема может также включать дополнительные функции, такие как возможность зумирования для более детального просмотра определенных элементов, а также возможность

выбора различных представлений в зависимости от того, какой аспект объекта наиболее важен в данный момент.

Исходя из вышеизложенных требований, в программном обеспечении MasterSCADA была разработана мнемосхема АСУ ТП приготовления и подачи биополимера, которая приведена на рисунке 21.

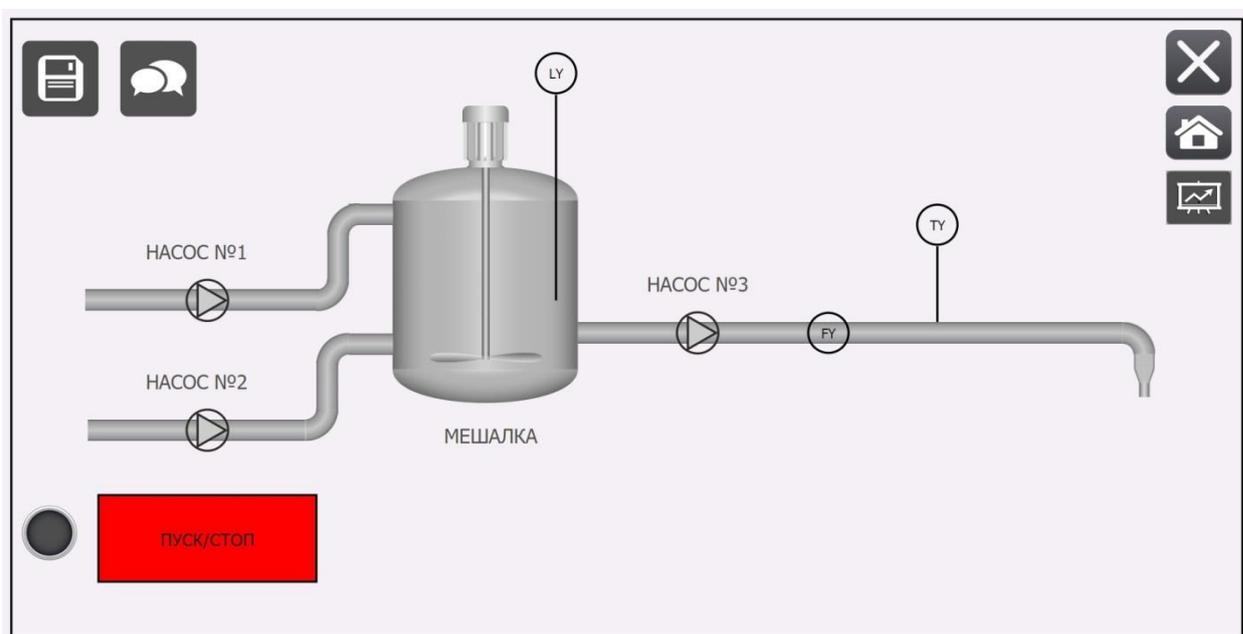


Рисунок 21 – Главное окно мнемосхемы

На мнемосхеме используется лампа и индикация объектов. Серый цвет обозначает отключенное состояние, зеленое включенное.

Управление процессом приготовления и подачи биополимера осуществляется оператором. Управление осуществляется путём нажатия кнопок.

Проведём проверку работоспособности программного обеспечения. Запустим все оборудования и посмотрим протекания процесса с помощью графика зависимости расхода от температуры (Рисунок 22).

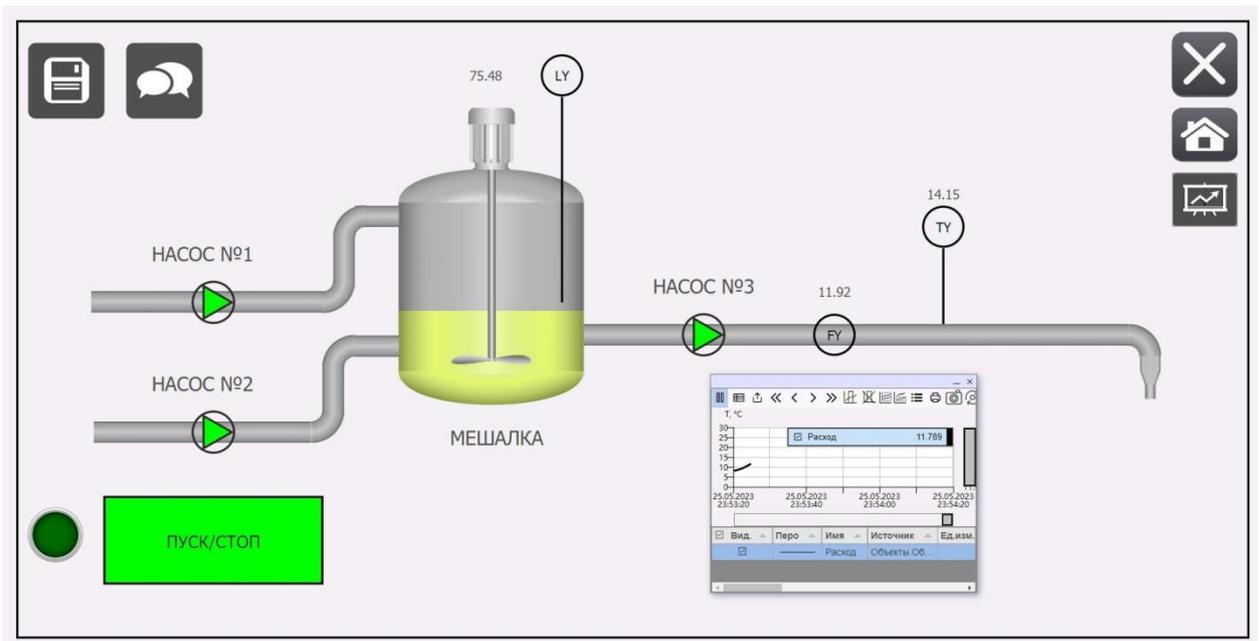


Рисунок 22 – Тестирование главного окна мнемосхемы

По данным на рисунке 22 можно судить об успешной работе системы.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
5Б93	Скорюпин Вячеслав Викторович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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 – 0,12; - норма амортизации – 7-20% - накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий режим налогообложения. 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 потенциальных потребителей, 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. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Скорюпин Вячеслав Викторович		

11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – произвести расчет нормативной продолжительности выполнения работ согласно теме ВКР и представить календарный график работ с расчетом отдельных статей сметы.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование и формирование бюджета;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

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

11.1.1. Анализ конкурентоспособности технических решений

Анализ конкурентных технических решений проводится для изучения конкурирующих разработок, имеющихся на рынке. Результаты данного анализа могут вносить коррективы в научные исследования с целью повышения их конкурентоспособности. Для анализа применяется вся имеющаяся информация об иных разработках. Этот анализ позволяет, среди прочего, оценить, насколько эффективна научная разработка, и определить направление дальнейшего развития.

Проведем сравнение эффективности разработок существующих на рынке технологий, чтобы оценить сильные и слабые стороны с помощью оценочной карты (таблица 15). Проведем сравнение разработанной

технологии по внедрению биополимера на основе альгината, хлорида кальция, этилового спирта и воды (индекс «а») с биополимером в присутствии кукурузного крахмала и уксусной кислоты (индекс «к») и с биополимером на основе полигидроксиалканоатов (индекс «п»). В таблице 15 показано сравнение различных технологий и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 15 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		А	К	П	А	К	П
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экологичность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
Возможность применения технологии на производстве	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
Удобство эксплуатации	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Актуальность исследования	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
Качество регулирования	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Эффективность применения	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Стоимость обслуживания	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Срок эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Цена	0,05	5	5	2	0,25	0,25	0,2
Итого	1	45	43	33	4,6	4,35	3,6

По итогам анализа конкурентоспособности технических решений, можно сделать вывод, что наше исследование является наиболее перспективным по сравнению с другими.

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot Б_i,$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – балл показателя.

$$\begin{aligned} K_{\text{ВУТ}} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \\ &\cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,6, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{ОВУТ}} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \\ &\cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,35, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{МТ}} &= \sum B_i \cdot Б_i \\ &= 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \\ &\cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 2 = 3,6. \end{aligned}$$

11.1.2. 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 16 приведена итоговая матрица SWOT.

Таблица 16 – Матрица SWOT анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Экологичность установки.</p> <p>С2. Большой срок эксплуатации</p> <p>С3. Высокая экономичность проекта</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Повышение потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>Сл2. Новизна технологии.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Повышенный спрос на установку.</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 приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.</p> <p>2. Новизна технологии может привести к внедрению технологии на отечественный рынок.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на установку</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 высокий уровень экологичности, 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, что свидетельствует большое количество сильных сторон.

11.2. Планирование научно-исследовательских работ

11.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

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

Таблица 17 – 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 биополимера для проведения исследований	Инженер
	5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик биополимера.	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
	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

11.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

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

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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1,476.$$

В таблице 18 укажем перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 18 – 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	5	7	5,8	Инж.	-	5,8	-	9
Календарное планирование работ	1	2	1,4	НР	1,4	-	2	-
Подготовка биополимера для проведения исследований	2	5	3,2	Инж.	-	3,2	-	5
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик биополимера.	12	20	15,2	Инж.	-	15,2	-	22
Обработка полученных данных	6	10	7,6	НР, инж.	7,6	7,6	11	11
Оценка эффективности результатов	5	7	5,8	НР	5,8	-	9	-
Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР	18	28	22	Инж.	-	22	-	33
Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним	10	15	12	Инж.	-	12	-	18

Продолжение таблицы 18

Этап	Трудоемкость работ, дни			Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}		Длительность работ в кал. днях T_{ki}	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	6	10	7,6	Инж.	-	7,6	-	11
Составление пояснительной записки	5	8	6,2	Инж.	-	6,2	-	9
Итого	71	114	88,2	-	16,2	79,6	24	118

Таблица 19 - 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	9													
3	Календарное планирование работ	НР	2													
4	Подготовка биополимера для проведения исследований	Инж	5													
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик биополимера.	Инж	22													
6	Обработка полученных данных	НР, инж	11													
7	Оценка эффективности результатов	НР	9													

Продолжение таблицы 19

№	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		
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инж															
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	18														
10	Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	Инж	11														
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.

11.3. Бюджет научно-технического исследования

11.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции (в нашем случае для производства биополимера).

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	1	40	40
Альгинат	г	250	759	759
Хлорид кальция	г	500	400	400
Этиловый спирт	мл	100	27,7	27,7
Итого				1226,7

11.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Необходимым оборудованием для проведения работ в рамках исследования является перистальтического насоса ВТ101L, магнитной мешалки US1500A, расходомера mini Cori-Flow M13. Данное оборудование будет учитывать по величине амортизации, которая определяется с учётом нормы амортизации и дней использования.

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для перистальтического насоса ВТ101L:

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

Норма амортизации для магнитной мешалки US1500A:

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

Норма амортизации для расходомера mini Cori-Flow M13:

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

Амортизация оборудования:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.;

m время использования, мес.

Амортизация для перистальтического насоса ВТ101L:

$$A = \frac{0,07 \cdot 43353}{12} \cdot 0,2 = 51 \text{ руб.}$$

Амортизация для магнитной мешалки US1500A:

$$A = \frac{0,2 \cdot 24420}{12} \cdot 0,2 = 82 \text{ руб.}$$

Амортизация для расходомера mini Cori-Flow M13:

$$A = \frac{0,1 \cdot 371542}{12} \cdot 0,2 = 620.$$

Таблица 21 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во ед.	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Амортизация
1	Расходомер mini Cori-Flow M13	1	10	371542	0,2	0,1	620

Продолжение таблицы 21

2	Магнитная мешалка US1500A	1	5	24420	0,2	0,2	82
3	Перистальтический насос BT101L	3	15	43353	0,2	0,07	153
Итого:							855 руб.

11.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

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

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2186,6 \cdot 17 = 37172,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1092 \cdot 80 = 87360 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

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 22 – 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):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51090 \cdot 10,4}{243} = 2186,6 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{21060 \cdot 11,2}{216} = 1092 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}},$$

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

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

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 39300 \cdot 1,3 = 51090 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot 1,3 = 21060 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
НР	39300	1,3	51090	2186,6	17	37172,2
Инж	16200	1,3	21090	1092	80	87360
Итого $Z_{\text{осн}}$						124532,2

11.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}},$$

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

Доп. заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 37172,2 = 4460,7.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 87360 = 10483,2.$$

11.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (37172,2 + 4460,7) = 12489,9 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (87360 + 10483,2) = 29352,96 \text{ руб.}$$

11.3.6. Накладные расходы

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

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

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{мат}} + З_{\text{обор}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}$$

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	1226,7

Продолжение таблицы 24

Наименование статьи	Сумма, руб.
Затраты на оборудование	855
Затраты на основную заработную плату	124532,2
Затраты на дополнительную заработную плату	14943,9
Отчисления во внебюджетные фонды	41842,9
Накладные расходы:	29327,8

11.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 25 – Бюджет затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты	1226,7	985	5827,4	Пункт 1.3.1
Затраты на оборудование	855	1461	7332,4	Пункт 1.3.2
Затраты на основную заработную плату	124532,2	122713	183751	Пункт 1.3.3
Затраты на дополнительную заработную плату	14943,9	14725,6	22050,1	Пункт 1.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	41842,9	41231,6	61740,3	Пункт 1.3.5
Накладные расходы	29327,8	28978,6	44912,2	Пункт 1.3.6
Бюджет затрат НИИ	212626,5	210094,8	325613,4	Сумма ст. 1–6

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

1) АСР температуры гелеобразного топлива в системе топливоподдачи;

2) АСР температуры микроэмульсионного топлива.

Интегральный показатель финансовой эффективности:

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

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 212626,5 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 210094,8 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 325613,4 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{212626,5}{325613,4} = 0,653,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{210094,8}{325613,4} = 0,645,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{325613,4}{325613,4} = 1.$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент	Исп1	Исп2	Исп3
Возможность применения технологии на производстве	0,2	5	5	4
Удобство эксплуатации	0,1	5	5	3
Надежность	0,15	4	4	4
Динамическая точность	0,2	5	4	4
Стоимость обслуживания	0,05	4	4	3
Качество регулирования	0,1	5	5	4
Эффективность применения	0,2	5	4	4
Итого:	1	4,8	4,6	3,85

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,8;$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,6;$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,85.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,8}{0,653} = 7,35,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,6}{0,645} = 7,13,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп3}}} = \frac{3,85}{1} = 3,85.$$

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

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,653	0,645	1
2	Интегральный ресурсоэффективности показатель	4,8	4,6	3,85

Продолжение таблицы 27

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
3	Интегральный показатель эффективности	7,35	7,13	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,97	0,524

Наиболее эффективным является наш вариант исследования.

11.5. Выводы по разделу

В данном разделе:

- 1) проведен анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке;
- 2) составлен SWOT-анализ для нашего исследования, в котором были выявлены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы;
- 3) приведена таблица с перечнем этапов, работ и распределением исполнителей;
- 4) определена трудоемкость выполнения работ;
- 5) Построена диаграмма Ганта;
- 6) Произведены расчеты: материальных затрат, затрат на оборудование, основной и дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов. Произведен расчет бюджета затрат НИР, который составил 212626,5 руб.

Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,653, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,8, интегральный показатель эффективности равен 7,35. При сравнении показателей нашего проекта с показателями других, то можно сделать вывод, что наш проект является финансово выгодным и более эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа		ФИО	
5Б93		Скорюпин Вячеслав Викторович	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

АСР расхода биополимера перед подачей в микрофлюидное устройство

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объектом исследования является система контроля расхода биополимера перед подачей</i></p> <p><i>Область применения:</i> Энергетика, пищевая промышленность, медицина;</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория;</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 40 м²;</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Перистальтический насос ВТ101L – 3шт, магнитная мешалка с подогревом US-1500A – 1шт.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Поддержание заданного значения расхода внутри трубопровода, проведение экспериментов.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя</p> <p>– Федеральный закон от 24.07.1998N125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»;</p> <p>– ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения;</p> <p>– ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023);</p> <p>– ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Опасные факторы:</p> <p>1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</p> <p>Вредные факторы:</p> <p>1. Отсутствие или недостаток необходимого</p>

	искусственного освещения; 2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; Требуемые средства коллективной защиты от выявленных факторов: зануление электроустановок, изоляция электропроводов и теплоизоляция установок.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на селитебную зону: отсутствует. Воздействие на литосферу: отсутствует. Воздействие на гидросферу: отсутствует. Воздействие на атмосферу: тепловые выбросы при работе установки; выбросы вредных веществ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: - возникновение пожара. - взрыв оборудования. Наиболее типичная ЧС: пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Скорюпин Вячеслав Викторович		11.05.2023

12. Социальная ответственность

ВКР по теме «Автоматическая система регулирования расхода биополимера перед подачей в микрофлюидное устройство» посвящена изучению процесса регулирования расхода биополимера в транспортировочном трубопроводе. Точное и надежное регулирование расхода потока раствора биополимера при подаче в сопло микрофлюидного устройства является критически важным с точки зрения многих аддитивных технологий и биоинженерных приложений. Пользователи решения: научная группа Томского Политехнического университета, а так же студенты. Географическое положение места выполнения работ: лаборатория Томского Политехнического Университета корпус №8.

Актуальность: разработка и усовершенствование технологии производства биополимеров позволит без особого труда использовать этот материал в медицине в качестве имплантатов и хирургических нитей, фармацевтике для производства лекарств, 3D-печати.

Объектом регулирования в исследовании является участок трубопровода от резервуара к форсунке. Рабочая зона: лаборатория. Размеры помещения: 40 м². Количество наименование оборудования рабочей зоны: мешалка магнитная (2), насос перистальтический (3), измерительный преобразователь температуры (1), расходомер (1), датчик уровня. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: регулирование расхода биополимера перед подачей в микрофлюидное устройство; контролирование подачи воды в резервуар; контролирование подачи биополимера в резервуар.

Основная задача исследования – регулирование расхода биополимера после резервуара посредством изменения расхода, для бесперебойной транспортировки биополимера от резервуара к микрофлюидному устройству через трубопровод.

12.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работа в производственном помещении относится к 2 категории тяжести труда. Согласно ст. 91 ТК РФ [26] нормальная продолжительность рабочего времени для оператора АСУ не может превышать 40 часов в неделю.

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» [27], 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 Федеральному закону от 24.07.1998N125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [28] обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний подлежат физические лица, выполняющие работу на основании трудового договора, заключенного со страхователем;

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний является видом социального страхования.

Согласно ГОСТ 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения» [29]. Обучение безопасности труда направлено на формирование, закрепление и развитие мотивации и навыков безопасного поведения, навыков выполнения безопасных приемов труда. Обучение безопасности труда является постоянным процессом, сопровождающим занятого трудом человека всю его

жизнь, направленным на предотвращение преждевременной смертности и ухудшения качества жизни из-за травм и (или) заболеваний, связанных с трудовой деятельностью. Обучение безопасности труда работающих лиц проводится, как правило, непосредственно на работе силами и средствами субъекта права.

Согласно ГОСТ 22269-76 «Система «Человек-машина» [30]. Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

12.2. 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» [31] могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 28.

Таблица 28 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте в лаборатории

Факторы	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

Продолжение таблицы 28

Факторы	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»

12.2.1. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего

Микроклимат помещений создается искусственно с целью создания благоприятных условий для людей. Микроклимат в рабочей зоне определяется сочетанием температуры, влажности и скорости потока воздуха, действующих на человеческое тело, а также температуры окружающих поверхностей. В лаборатории при проведении исследований процесса взаимодействия капли эмульсии с нагретой поверхностью нагрев подложки проводится до заданной температуры, что может привести к повышению температуры воздуха в помещении.

При отклонении фактических параметров микроклимата от норм происходит нарушение терморегуляции. Накопление тепла в организме приводит к расстройствам нервной системы, секреторной деятельности желудка, печени, нарушению обмена веществ. Состояние микроклимата в рабочем помещении описано в ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [32] Установленные гигиенические нормативы для помещений для категории работы 1а приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 120 ккал/ч)	22-24	20-24	40-60	0,1
Теплый		23-25	21-25		

12.2.2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения

Недостаточная освещенность на рабочем месте значительно снижают зрительное восприятие, вызывают раздражение. У человека появляются головные боли, которые влияют на эмоциональное состояние, возникает усталость центральной нервной системы в результате усилий, прилагаемых для распознавания объектов различения, в том числе и на экране монитора компьютера. Это вызывает повышенное напряжение органа зрения, а в последующем и развитие близорукости, снижение концентрации внимания и работоспособности.

Согласно СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" [33] в цехах с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования. В целях контроля над энергопотреблением устанавливаются требования к максимально допустимой удельной установленной мощности общего искусственного освещения помещений. Нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения электропомещения и лабораторий приведенных в таблице 30 (Таблица Л.1, Таблица Л.2 СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение").

Таблицы 30 – Нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения электропомещения

Помещения	Плоскость (Г – горизонтальная, В - вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Искусственное освещение				Естественное освещение		Совмещенное освещение	
			Освещенность рабочих поверхностей, лк		Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более	КЕО e^H , %		КЕО e^H , %	
			при комбинированном освещении	при общем освещении			При верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Пульты, щиты управления: а) в помещениях: -с измерительной аппаратурой -без измерительной аппаратуры б) вне зданий	Г - 0,8 В - 1,5 - шкала приборов Г - 0,8; В - 1,5 - рычаги, рукоятки В - 1,5 - рычаги, рукоятки	IV _Г **	–	200	–	20	–	–	–	–
		VI	–	200	–	20	–	–	–	–
		XII	–	100	–	–	–	–	–	–
Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории высших учебных заведений	Г – 0,8	A-2	-	400	21	10	3,5	1,2	2,1	0,7

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

Источниками опасности являются устройства, машины, технологическое оборудование и приборы, использующие для своей работы электрический ток.

Воздействие электрического тока на организм человека проявляется в травмах и профессиональных заболеваниях. К травмам относятся ожоги, судороги, затруднение дыхания, паралич сердца и паралич дыхания. Профессиональные заболевания проявляются в нарушениях функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем, раздражительности, головной боли, нарушение сна, снижение аппетита, а также нарушение репродуктивной функции.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ [34] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 31.

Таблица 31 – напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, B	I, mA
	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 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [35]. 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 нетоковедущим

частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземления; зануление; выравнивание потенциала; систему защитных проводов; малое напряжение.

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

Источниками опасности являются устройства, машины, технологическое оборудование и приборы, использующие для своей работы нагревательный элемент. В данном случае магнитная мешанка с нагревом.

Воздействие теплового излучения на организм человека проявляется в травмах и профессиональных заболеваниях. К травмам относятся ожоги разных степеней. Профессиональные заболевания проявляются в изменении тонуса вегетативной нервной системы и функциональном состоянии центральной нервной системы: образуются специфические биологически активные вещества типа гистамина, холина, усиливается секреторная функция желудка, поджелудочной и слюнных желез, уменьшается нервно-мышечная возбудимость и т. д.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты рабочих. Общие требования и классификация» [36] люди, стационарное оборудование и материалы, находящиеся вблизи электроустановок, должны быть защищены от опасных тепловых воздействий, в частности от получения ожогов. В таблице 32 приведены максимальные температуры допустимых для прикосновения частей электрооборудования при нормальных условиях работы.

Таблица 32 – Максимальные температуры допустимых для прикосновения частей электрооборудования при нормальных условиях работы

Доступные для прикосновения части электрооборудования	Материал доступных частей	Максимальные температуры, °С
1	2	3
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 32. Также все части электроустановок, превышающих значения, указанные в таблице 32, должны быть защищены так, чтобы исключить случайный контакт с ними.

12.3. Экологическая безопасность

На данном рабочем месте в лаборатории выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на атмосферу.

12.3.1. Атмосфера

По результатам анализа вредных выбросов при эксплуатации экспериментальной установки установлено, что в число выбросов вредных веществ, выбрасываемых при эксплуатации, входят: оксид углерода CO, оксиды азота NO_x, углекислый газ CO₂. При нагреве и фрагментации капель при контакте с нагретой средой выделяет множество веществ и ПДВ. Согласно требованиям по СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и

требования к безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» составлена таблица 33.

Таблица 33 – Нормы ПДВ

Наименование вещества	Формула	Предельно допустимые концентрации, мг/м ³	Класс опытности
Азот (2) оксид (Азот монооксид)	NO	0,06	3
Азот диоксид (Двуокись азота, пероксид азота)	NO ₂	0,04	3
Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	CO	3,0	4
Углерода диоксид (двуокись углерода, углекислый газ)	CO ₂	3	4
Этанол (Этиловый спирт, метилкарбинол)	C ₂ H ₆ O	5	4

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

Тепловое загрязнение атмосферы – изменение температуры окружающей среды, нарушающее естественные процесс экосистемы, превышающее естественный диапазон ее температурной изменчивости. Повышенная температура приводит к увеличению потребления энергии кондиционированием воздуха в зданиях. Дополнительное потребление энергии приводит к большему загрязнению воздуха. Для предотвращения такой ситуации, необходимо оптимально использовать оборудование и не допускать лишнего перегрева.

12.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории с экспериментальным стендом наибольшую опасность представляет возгорание.

Источниками возгорания могут быть электрооборудование, проводка. Из-за несоблюдения правил пожарной безопасности так же может произойти пожар.

Согласно “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности” в помещении должен находиться местный щит управления (МЩУ). Зануление (заземление) электрооборудования установок переменного и постоянного тока должно выполняться в соответствии с ПУЭ.

Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания.

В качестве мер пожаротушения следует применять следующие меры:

- в лаборатории должны быть средства пожаротушения, средства связи;
- электрооборудование и электроприборы должны быть в рабочем состоянии;
- для всех сотрудников нужно периодически проводить мероприятия по технике безопасности.

При случае пожара разработан план действий:

- в случае возникновения пожара сообщить ответственному за ПБ, попытаться ликвидировать источник возгорания имеющимися силами, используя основные средства тушения пожара (порошковый, углекислотный огнетушитель);
- сообщить о пожаре в пожарную службу по телефону 01, 101 или 112, сообщите адрес, место и причину пожара;
- эвакуировать людей;
- встретить пожарную команду, при необходимости предоставить всю необходимую информацию и оказать помощь в выборе оптимального маршрута к месту пожара.

Рабочее помещение, в котором проводился эксперимент, оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности, которые были описаны в данном разделе. На основании Федерального закона от 22.07.2008

№ 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [37] установлен класс возможного пожара – Е, а также определены первичные средства пожаротушения – порошковый, углекислотный огнетушители.

12.5. Выводы по разделу

Как известно, энергетика является наиболее опасной производственной отраслью. Последствия аварий на электростанциях и на производствах могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде и человечеству. Социальная роль экспериментального исследования заключается в устранении и предупреждении опасностей при использовании эмульсионного топлива и его утилизации.

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. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ п. 1.1.13. является без повышенной опасности [38].

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [39] помещение относится к категории Г.

Инженер-оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III 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" [40] относится к категории 1б.

Согласно постановлению от 31 декабря 2020 года № 2398 [41] категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду – II.

Заключение

В ходе работы над выпускной квалификационной работой была создана система автоматизированного управления расхода биополимера перед подачей в микрофлюидное устройство, которая основывается на лабораторном стенде и контакте капель микрогеля с твердой поверхностью.

В рамках проекта была разработана проектная документация, включающая структурную, функциональную и принципиальную схемы электрического щита управления, схемы проводок, чертежи сборки щита и мнемосхема проекта в программе MasterSCADA.

Также был создан стенд для экспериментальных исследований влияния свойств биополимера на капли при столкновении с гидрофобной и гидрофильной поверхностями и зависимости результатов столкновения от различных параметров.

При проведении экспериментов были построены карты режимов взаимодействия капель и получены следующие результаты:

1. Было установлено, что увеличение концентрации полимера в растворах ALG+HEC до 2,5 мг/мл и ALG до 5 мг/мл приводит к образованию группированных микрокапель в потоке после капиллярного разрушения микроструи;

2. Были отмечены три режима течения микроструи: линейный профиль, волнообразная деформация профиля и пилообразная деформация профиля с перестраивающимся периодом колебания;

3. Определены три режима дробления ламинарного микроструйного потока на микрокапли: капиллярное дробление на монодисперсные микрокапли, монодисперсное дробление с группировкой основных микрокапель в потоке по 2-4 штуки и полидисперсное дробление с неоднородным пространством между микрокаплями в полете.

Подробные описания выбора основного оборудования, разработки конструкторской документации и расчета параметров настройки регулятора представлены в пояснительной записке. Также рассмотрены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] N. Blanken, M.S. Saleem, M.-J. Thoraval, C. Antonini, Impact of compound drops: a perspective, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 51 (2021) 101389.
- [2] A.V. Demidovich, S.S. Kropotova, M.V. Piskunov, N.E. Shlegel, O.V. Vysokomornaya, The impact of single-and multicomponent liquid drops on a heated wall: Child droplets, *Appl. Sci.* 10 (2020).
- [3] U. Prüße J. Dalluhn, J. Breford, K.-D. Vorlop. *Chem. Eng. Technol.* 23, 1105–1110 (2000).
- [4] C. W. Visser, T. Kamperman, P.L. Karbaat, D. Lohse, M. Karperien. *Sci. Adv. American Association for the Advancement of Science.* 4 (2018).
- [5] N. Blanken, M.S. Saleem, M.-J. Thoraval, C. Antonini. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 51, 101389 (2021).
- [6] V. Nedović, V. Manojlović, U. Pruesse, B. Bugarski, J. Djonlagić, K. Vorlop. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.* 12, 53 – 57 (2006).
- [7] Mashaghi, S.; Abbaspourrad, A.; Weitz, D.A.; van Oijen, A.M. *Droplet Microfluidics: A Tool for Biology, Chemistry and Nanotechnology. TrAC Trends Anal. Chem.* 2016, 82, 118–125.
- [8] X. Yu, N. Jiang, X. Miao, F. Li, J. Wang, R. Zong, S. Lu, Comparative studies on foam stability, oil-film interaction and fire extinguishing performance for fluorine-free and fluorinated foams, *Process Saf. Environ. Prot.* 133 (2020) 201–215.
- [9] M.-R. Sung, H. Xiao, E.A. Decker, D.J. McClements, Fabrication, characterization and properties of filled hydrogel particles formed by the emulsion-template method, *J. Food Eng.* 155 (2015) 16–21.
- [10] M. Chen, G. Bolognesi, G.T. Vladisavljević, Crosslinking strategies for the microfluidic production of microgels, *Molecules.* 26 (2021).
- [11] E. Jambon-Puillet, T.J. Jones, P.T. Brun, Deformation and bursting of elastic capsules impacting a rigid wall, *Nat. Phys.* 16 (2020) 585–589.

[12] X. Ye, D. Van Der Meer, Hydrogel sphere impact cratering, spreading and bouncing on granular media, J. Fluid Mech. 929 (2021) 1–22.

[13] Y. Son, C. Kim, Spreading of inkjet droplet of non-Newtonian fluid on solid surface with controlled contact angle at low Weber and Reynolds numbers, J. Nonnewton. Fluid Mech. 162 (2009) 78–87.

[14] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirmarine.net/component/content/article/63-ponyatie-o-printsipakh-avtomaticheskogo-regulirovaniya?layout=blog&Itemid=&catid=46>

[15] Волошенко, А. В. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автоматизация технологических процессов и производств (энергетика)" (направление подготовки дипломированных специалистов "Автоматизированные технологии и производства") / А. В. Волошенко, Д. Б. Горбунов ; А. В. Волошенко, Д. Б. Горбунов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Нац. исслед. Томский политехнический ун-т". – 2-е изд.. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. – 103 с. – ISBN 978-5-98298-860-7. – EDN OVZLNK.

[16] Волжанова О.А. Схемы электрические принципиальные: учеб.-метод. пособие / Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 43 с.

[17] Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pea.ru/docs/fileadmin/files/emerson/datch_temp/THAU_Metran-271_TSMU_Metran-274_TSPU_Metran-276.pdf свободный. – Загл. с экрана.

[18] Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bronkhorst.nt-rt.ru/images/manuals/mini-Cori-Flow_rus.pdf свободный. – Загл. с экрана.

[19] Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/product/pdu_rs_urovnemer_rs485/documentation свободный. –

Загл. с экрана.

[20] Каталог насоса BT101L. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://analitika.millab.ru/catalog/laboratorное-oborudovanie/peristalticheskie-nasosy/odnokanalnye-nasosy/peristalticheskiy-nasos-bt101/> свободный. – Загл. с экрана.

[21] Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ulab.nt-rt.ru/images/manuals/us-1500a-d.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

[22] Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.elesy.ru/index.php/s/nLr6Wa9DfZTRQ4o?dir=undefined&path=%2FРуководство%20по%20эксплуатации&openfile=219304> свободный. – Загл. с экрана.

[24] ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. ГОСТ 21.408-2013 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов, 2014.

[25] РМ4-6-84 «Проектирование электрических и трубных проводок систем автоматизации. Часть I. Электрические проводки».

[26] Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) // Сборник законодательства РФ. – 07.01.2002 – № 1 (ч. 1). – Ст. 91.

[27] ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – Москва: Государственный комитет стандартов, 1986. – 152 с.

[28] Федеральный закон "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" [Текст]: от 24.07.1998 N 125-ФЗ // Сборник законодательства РФ. – 07.01.2002 – № 1 (ч. 1). – Ст. 91.

[29] ГОСТ 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения»: дата введения 01-03-2017. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2019. – 42 с.

[30] ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования: дата введения 01-01-1978. – Москва: Государственный комитет стандартов, 1989. – 4 с.

[31] ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 01-03-2017. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2019. – 16 с.

[32] ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 01-01-1989. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2008. – 4 с.

[33] СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: дата введения 08-05-2017. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2016. – 135 с.

[34] ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 30-06-1983. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 1988. – 7 с.

[35] ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: дата введения 30-06-1980. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2000. – 7 с.

[36] ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация: дата введения 30-06-1990. – Москва: ИПК издательство стандартов, 2004. – 8 с.

[37] Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": дата введения 01-03-2023. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2008. – 114 с.

[38] Правила устройства электроустановок: дата введения 01-01-2003. – Москва: Министерство энергетики Российской Федерации, 2003 – 17 с.

[39] СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: дата введения 2009-05-01. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2009. – 31 с.

[40] СанПиН 1.2.3685-21: дата введения 30-12-2022. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2021. – 469 с.

[41] Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».