

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

Отделение школы (НОЦ) НОЦ И. Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ЗА СЧЕТ ИНДУЦИРОВАНИЯ КОНВЕКЦИИ

УДК 681.51:66.063.8-911.4:621.785

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Журба Евгений Аркадьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, НОЦ И. Н. Бутакова, ИШЭ	Феоктистов Дмитрий Владимирович	К. Т. Н.		

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
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

**Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в
теплоэнергетике и теплотехнике**

Код компетенции и СУОС	Наименование компетенции СУОС
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, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы

	анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидродинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

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

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля ООП

Ю.К. Атрошенко

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Журба Евгений Аркадьевич

Тема работы:

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ЗА СЧЕТ ИНДУЦИРОВАНИЯ КОНВЕКЦИИ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.2023 35-15/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2023 года
--	------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Объектом автоматизации является стенд для исследования конвективных течений в слое жидкости при точечном нагреве, который включает в себя: – ячейку с жидкостью; – непрерывный лазер (533 нм, 3 Вт); – средства подачи жидкостей; – измерительные средства.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Введение 1. Описание стенда; 2. Исследовательская работа; 3. Разработка проектной документации; 4. Осуществление программного регулирования температуры технологической среды
Перечень графического материала вопросов <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема структурная АСР; 2. Схема функциональная АСР; 3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации; 4. Схема монтажная; 5. Схема электрическая щита автоматизации; 6. Перечень элементов щита автоматизации; 7. Общий вид щита автоматизации
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Ассистент ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Д.В. Феоктистов	к.т.н.		15.01.2023 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Журба Е. А.		15.01.2023 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 99 с., 28 рисунков, 35 таблиц, 2 приложения, 38 источников, 10 листов графического материала.

Ключевые слова: конвективные течения, микроперемешивание жидкостей, система автоматического регулирования, автоматизация, индуцированное излучение.

Объектом автоматизации является стенд, который включает в себя ячейку с жидкостью, лазер, осуществляющий локальный нагрев слоя жидкости, средства подачи жидкостей и управления положением луча, а также измерительные средства.

Цель работы: разработка системы автоматического регулирования (САР) процесса микроперемешивания жидкостей за счёт индуцированной лазерным нагревом конвекции.

Разработка данной системы позволит решить следующие задачи:

- сбор, хранение, обработку и передачу информации о ходе технологического процесса;
- предоставление возможности программного регулирования системы.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы, были проведены экспериментальные исследования, проведён анализ объекта автоматизации, спроектирована структурная и функциональная схемы АСУ ТП, а также выполнена разработка монтажной схемы, электрической схемы и перечня щита автоматизации, и общего вида щита автоматизации. Был произведён выбор необходимых приборов и технических средств, составлена заказная спецификация.

В результате выполнения исследования, была разработана система автоматического регулирования процесса микроперемешивания жидкостей за счёт индуцированной конвекции на основе современных технических средств автоматизации.

Кроме того, провели анализ вероятного отрицательного воздействия процесса микроперемешивания жидкостей в лабораторном помещении на человека и окружающую среду.

Оглавление

Введение.....	11
Раздел 1. Описание лабораторного стенда	12
Раздел 2. Исследовательская работа	14
Раздел 3. Разработка проектной документации	31
3.1 Объект автоматизации	31
3.2 Разработка структурной схемы САР.....	31
3.3 Разработка функциональной схемы САР	32
3.4 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации	33
3.4.1 Средства измерения температуры.....	33
3.4.2 Средства измерения расхода жидкости	38
3.4.3 Средства измерения мощности лазера.....	40
3.4.4 Средства управления положением луча	41
3.4.5 Средства управления подачи жидкости.....	42
3.4.6 Средства передачи информации о динамических характеристиках конвективных течений.....	44
3.4.7 Лазер	45
3.5 Разработка монтажной схемы САР	46
3.6 Разработка электрической схемы и перечня элементов щита автоматизации.....	48
3.7 Разработка общего вида щита автоматизации	50
Раздел 4. Расчет настройки регуляторов	51
4.1 Идентификация объекта	51
Раздел 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений	64
5.1.2 Матрица SWOT	66
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	67

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования работы	67
5.2.2 Структура работ в рамках научного исследования работы	68
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	74
5.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ	74
5.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	74
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	78
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
5.3.5 Накладные расходы.....	80
5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	81
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	81
5.5 Выводы по разделу.....	83
Раздел 6. Социальная ответственность	87
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
6.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	88
6.3 Производственная безопасность	89
6.3.1 Лазерное излучение	90
6.3.2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи и возможность поражения электрическим током	91
6.4 Экологическая безопасность.....	91
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
Список используемых источников.....	94
Приложение А	100
Приложение Б	101

Графический материал

ФЮРА.421000.008 С1

ФЮРА.421000.008 С2

ФЮРА.421000.008 СО

На отдельных листах

Схема структурная

Схема функциональная

Заказная спецификация

ФЮРА.421000.008 Э4

Схема электрическая
щита автоматизации

ФЮРА.421000.008 ПЭ4

Перечень элементов
щита автоматизации

ФЮРА.421000.008 С5

Схема монтажная

ФЮРА.421000.008 ВО

Общий вид щита автоматизации

Введение

Перемешивание малых объемов жидкостей является важным процессом в различных промышленных и биологических приложениях, где требуется достичь равномерного распределения компонентов смеси по объему. Одним из эффективных методов обеспечения микроперемешивания является индуцированная конвекция, которая возникает за счет формирования градиента температуры в слое жидкости. В зависимости от условий протекания процесса, течение жидкости может принимать различные пространственные конфигурации, в частности могут возникать устойчивые потоки в плоскости тонкого слоя жидкости, которые способствуют переносу массы, тепла и импульса в жидкости осуществляя микроперемешивание.

В данной работе рассмотрена проблема автоматизации процесса перемешивания жидкостей за счет индуцированной конвекции под действием точечного нагрева. Основными задачами, решаемыми в ходе разработки САР, были: анализ рабочего цикла стенда по исследованию конвективных течений в тонком слое жидкости, выбор средств автоматизации процесса и разработка логики работы САР согласно ГОСТ 21.208-2013.

Раздел 1. Описание лабораторного стенда

Для исследования процесса микроперемешивания жидкости, а также анализа конвективных течений, возникающих в жидкости при локальном нагреве, была спроектирована и создана экспериментальная установка.

Данный лабораторный стенд разработан для экспериментального исследования течений жидкости при различных конфигурациях нагрева, осуществляемого либо с помощью лазерного излучения, либо с применением контактного точечного или площадного нагрева. Подбирая параметры слоя жидкости (толщина), а также максимальную температуру на дне ячейки, с использованием данного стенда можно исследовать микроперемешивание жидкости. Добавление небольшого объема окрашенной жидкости к уже имеющемуся объему второго компонента смеси приводит к наблюдаемому визуально перераспределению окраски жидкости. До включения нагрева, запускающего конвекцию, окрашенная жидкость медленно распространяется по объему вследствие диффузии. После включения лазерного нагрева скорость перераспределения окрашенной фазы резко возрастает из-за воздействия конвективных течений.

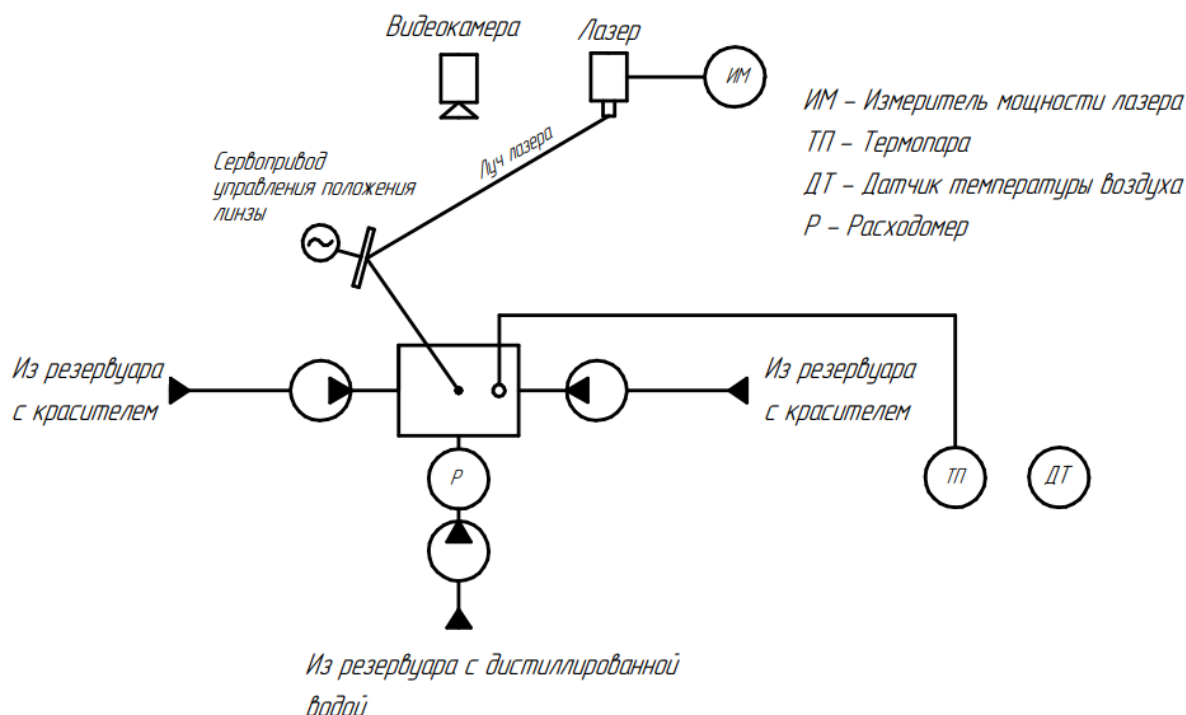


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда

Стенд состоит из цилиндрической ячейки с жидкостями, установленной на горизонтируемом держателе. Твердотельного лазера (Nd: YAG, 533 нм, 5 Вт) с оптической системой, позволяющей фокусировать пучок в любой точке дна ячейки с водой. В состав измерительного комплекса входят измеритель мощности лазерного излучения, термopара для измерения температуры воды на дне ячейки, датчик температуры воздуха, цветная видеокамера, компрессоры для подачи жидкостей с расходомером, а также тепловизор для измерения температуры свободной поверхности жидкости. Измерительный комплекс управляется компьютером.

Вода подается в ячейку через подводящий патрубок с помощью насоса. Расход контролируется расходомером, так, чтоб сформировать слой жидкости заданной толщины. Лазер включается в заданный момент времени, инициируя запуск конвективного течения. Окрашенная жидкость-добавка подается в заданную точку поверхности слоя с помощью второго подводящего патрубка. Второй компонент смеси может подаваться как до включения нагрева, так и после установления течения. Датчики температуры воздуха, а также воды вблизи зоны нагрева, датчик мощности излучения позволяют получать значения измеряемых параметров в произвольный момент времени либо потоком с частотой не менее 1 Гц. Слой жидкости подсвечивается мощным светодиодным источником, который позволяет различить малые изменения его окраски.

Для визуализации течения в воду добавляются частицы-трассеры, отслеживание движения которых производится методом PIV после анализа кадров видеозаписи. Исследование перемешивания жидкостей производится в условиях, когда конфигурация течений уже известна, поэтому трассеры не добавляются [1-2].

Контроль перемешивания компонентов смеси производится путем видеонаблюдения за распространением окраски по поверхности слоя жидкости.

Раздел 2. Исследовательская работа

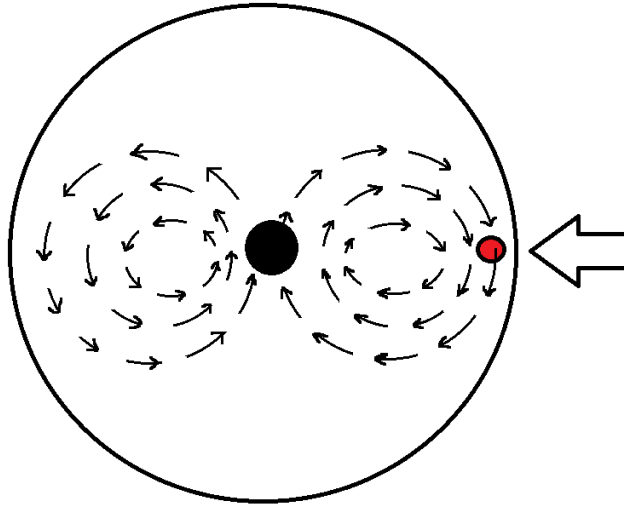
Задача исследовательской работы заключалась в проведении серии экспериментов для определения картины протекания процесса микроперемешивания жидкости для различной толщины слоя, а также выяснения зависимости протекания процесса перемешивания от положения точки нагрева внутри ячейки.

В держателе стенда устанавливалась ячейка, в которую наливалась дистиллированная вода, в объёме 400 мкл, что соответствует толщине слоя порядка 1,4 мм (без учета влияния мениска). На подложке ячейки (снаружи) нанесен тонкий слой светопоглощающего материала (дисковое пятно, $r \sim 0.5$ мм), который и выступал непосредственным нагревателем малой области в центре подложки за счет поглощения лазерного излучения. В ячейку с жидкостью подавалась капля подкрашенной родамином-Б воды, чтобы можно было визуально отслеживать процесс перемешивания жидкости.

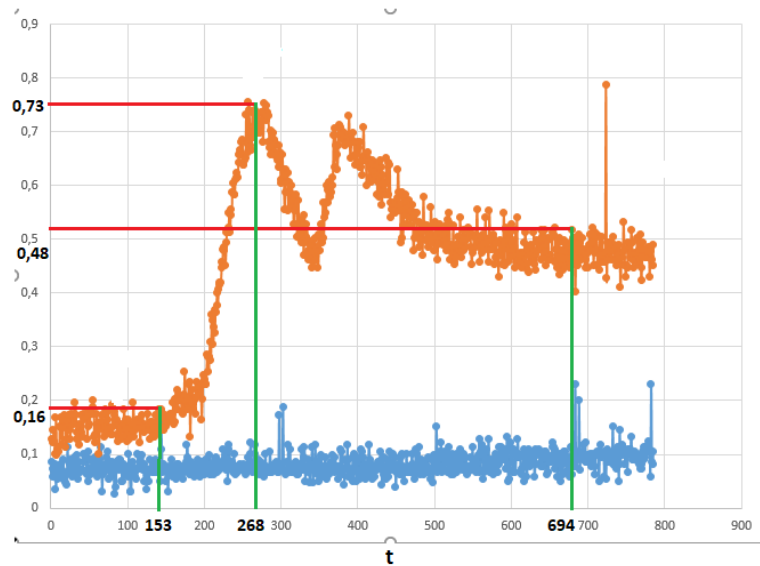
Концентрация родамина 0,0015 мг на 50 мл.

Всего с данным объёмом жидкости мы провели 5 серий опытов, каждый раз меняя место введения окрашенной порции воды. В зависимости от толщины слоя меняется картина конвекции и, соответственно, изменяется динамика распределения окраски слоя воды со временем.

Распределение окрашенной примеси по объёму слоя приводит к изменению его прозрачности. Согласно закону Ламберта-Бугера, прозрачность слоя линейно коррелирует с концентрацией красителя в поперечном сечении слоя [2-3]. Анализ прозрачности слоя производился в нескольких точках, выбранных в сечении ячейки (красная точка на приведенных схемах – Рис.2 (Б), 3 (Б), 4 (Б), 5 (Б), 6 (Б)). В данной точке измерялось значение интенсивности красного цветового канала, пропорциональное локальной концентрации красителя (Рис.2).



А



Б

Рисунок 2 - Введение окрашенной жидкости в правую область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=153$; $t_1 = 268$; $t_2=694$; $h_0=0,16$;

$h_1=0,73$; $h_2=0,48$.)

По кривой (Рис. 2 (Б)) видно, что при введении примеси в области большого вихря происходит ее захват течением, которое не позволяет основному объему примеси распространиться за пределы вихря. Так же видно, что со временем происходит утечка небольшого количества примеси.

Введём обозначения для простоты вычисления результатов.

$dt_1 = t_1 - t_0$ – время с момента впрыска красителя до начала процесса активного перемешивания.

$dt_2 = t_2 - t_0$ – время с момента впрыска красителя до момента установления равновесной концентрации.

$dh_1 = h_1 - h_0$ – величина прироста оптической плотности слоя

$dh_2 = h_2 - h_0$ – амплитуда модуляции оптической плотности в ходе перемешивания

где, t_0 – время на момент впрыска красителя, t_1 – время разгона процесса активного перемешивания жидкости, t_2 – время завершения перемешивания жидкости (установление однородного распределения окраски), h_0 – начальная оптическая плотность, h_1 – равновесная оптическая плотность, h_2 – максимальная оптическая плотность слоя, отмеченная в ходе конвективного перемешивания.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 268 - 153 = 115$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 694 - 153 = 541$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,48 - 0,16 = 0,22$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,73 - 0,16 = 0,57$$

2.1

Вывод: При внесении примеси на поверхность тонкого слоя воды в зоне большого вихря, происходит ее быстрое (в течение $dt_1 = 115$ с.) распределение по приповерхностному слою, ограниченному вихрем.

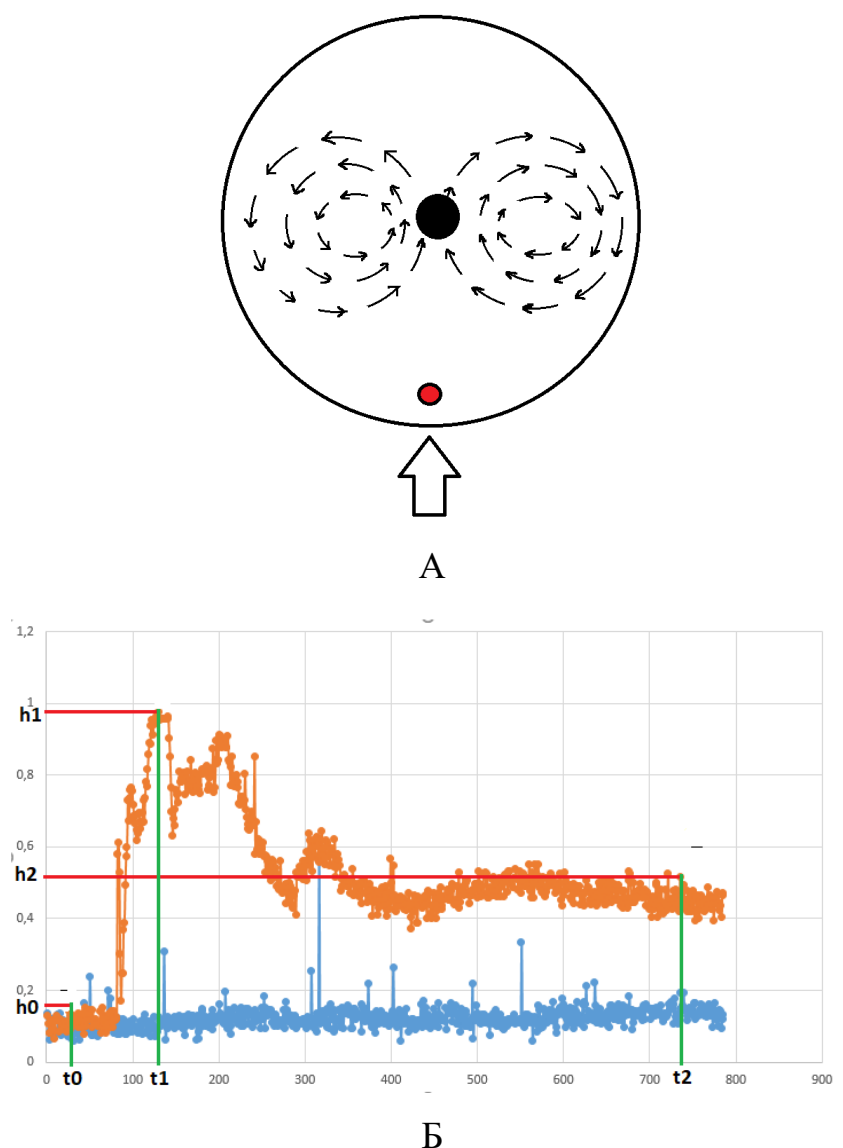


Рисунок 3 - Введение окрашенной жидкости в нижнюю область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=40$; $t_1 = 134$; $t_2=745$; $h_0=0,10$; $h_1=0,97$; $h_2=0,44$.)

По кривой (Рис. 3 (Б)) видно, что при введении примеси в область схождения вихревых потоков происходит ее захват двумя вихрями, которые в свою очередь разносят примесь по всему объёму кюветы. Так же видно, что со временем происходит полное смешивания примеси до равновесного состояния.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 134 - 40 = 94$$

2.2

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 745 - 40 = 705$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,97 - 0,10 = 0,87$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,44 - 0,10 = 0,34$$

Вывод: Внесение примеси в область схождения вихревых потоков приводит более равносному перемешиванию по сечению ячейки в течение $dt_2 = 704$ с.

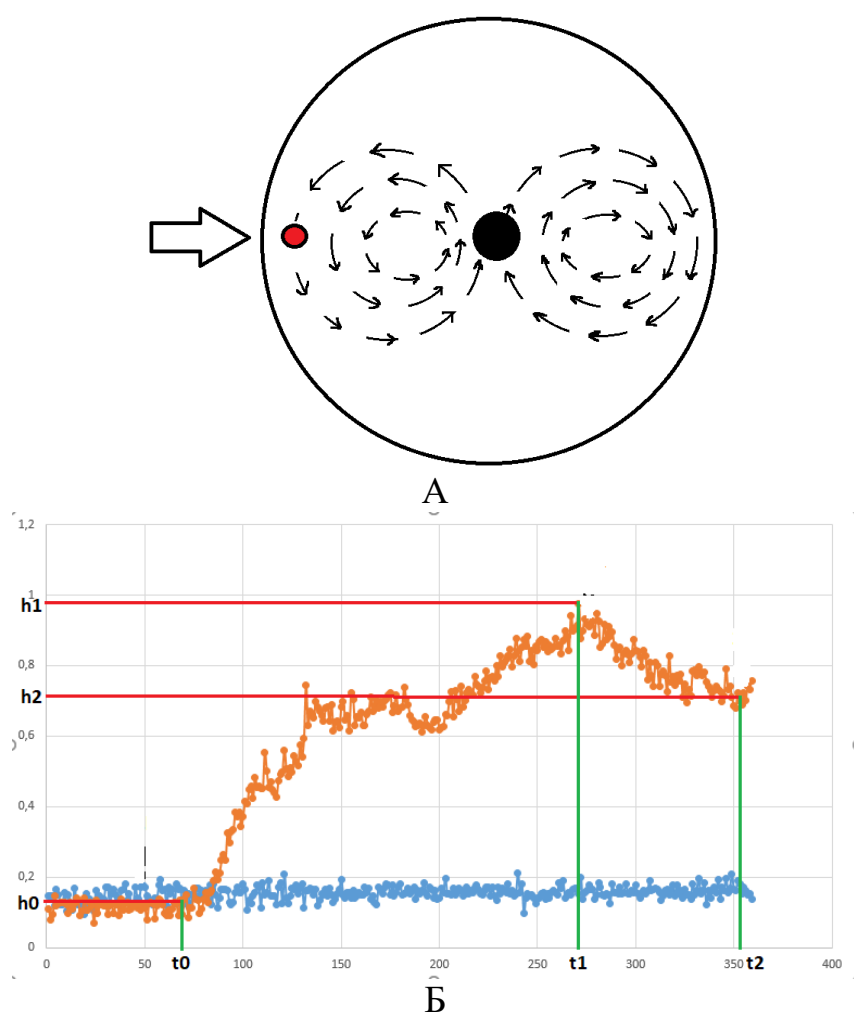


Рисунок 4 - Введение окрашенной жидкости в левую область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=73$; $t_1 = 271$; $t_2=357$; $h_0=0,11$; $h_1=0,97$; $h_2=0,70$.)

По кривой (Рис. 4 (Б)) видно, что при введении примеси в области большого вихря происходит ее захват течением, которое не позволяет основному объему примеси распространиться за пределы вихря. Так же видно, что со временем происходит утечка небольшого количества примеси.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 271 - 73 = 198$$

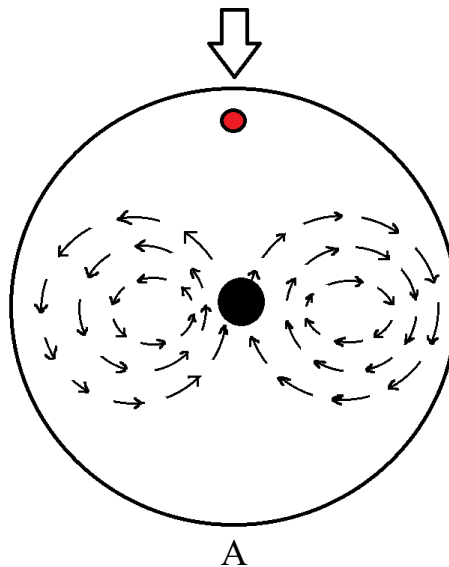
$$dt_2 = t_2 - t_0 = 357 - 73 = 284$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,97 - 0,11 = 0,86$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,70 - 0,11 = 0,59$$

2.3

Вывод: При внесении примеси на поверхность тонкого слоя воды в зоне большого вихря, происходит медленное (в течение $dt_1 = 271$ с.) распределение по приповерхностному слою, ограниченному вихрем.



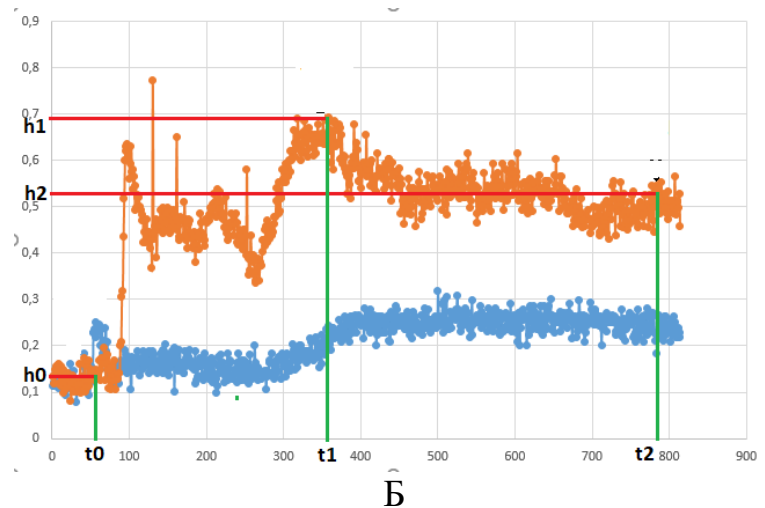


Рисунок 5. Введение окрашенной жидкости в верхнюю область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=49$; $t_1 = 318$; $t_2=787$; $h_0=0,12$; $h_1=0,69$; $h_2=0,51$.)

По кривой (Рис. 5 (Б)) видно, что при введении примеси в область схождения вихревых потоков происходит ее захват двумя вихрями, которые в свою очередь разносят примесь по всему объёму кюветы. Так же видно, что со временем происходит полное смешивания примеси до равновесного состояния.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 318 - 49 = 269$$

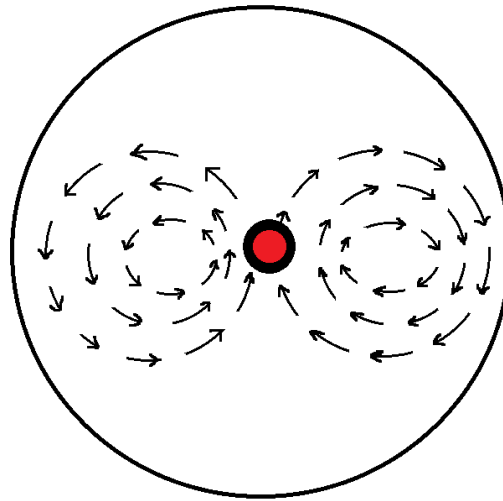
$$dt_2 = t_2 - t_0 = 787 - 49 = 738$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,69 - 0,12 = 0,57$$

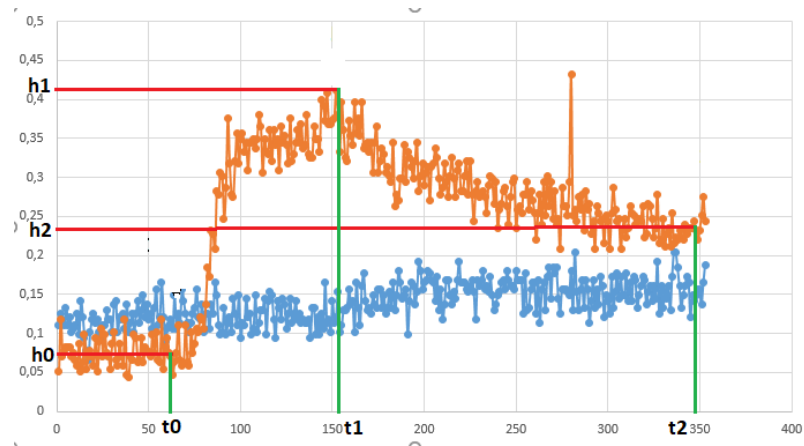
$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,51 - 0,12 = 0,39$$

2.4

Вывод: Внесение примеси в область схождения вихревых потоков приводит более равносному перемешиванию по сечению ячейки в течение $dt_2 = 738$ с.



А



Б

Рисунок 6 - Введение окрашенной жидкости в центр ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=49$; $t_1 = 318$; $t_2=787$; $h_0=0,12$; $h_1=0,69$; $h_2=0,51$.)

По кривой (Рис. 6 (Б)) видно, что при введении примеси в зону нагрева, где вихревые потоки пересекаются, происходит плавное, но не равномерное перемешивание по всей области ячейки.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 152 - 59 = 93$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 346 - 59 = 287$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,41 - 0,08 = 0,33$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,23 - 0,08 = 0,15$$

2.5

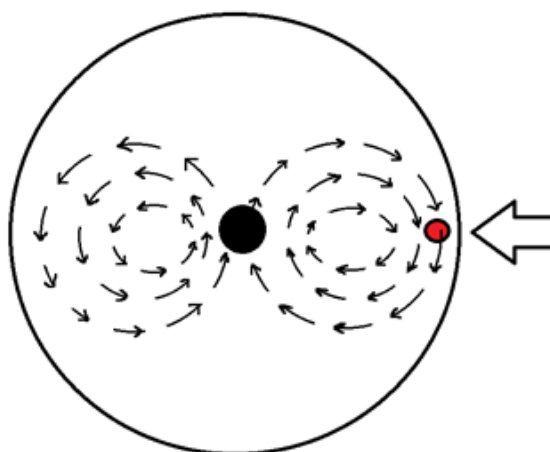
Вывод: Внесение примеси вблизи точки нагрева приводит к ее распределению за счет конвекции практически по всей поверхности ячейки, однако, распределение концентрации примеси становится сильно неоднородным.

Проведение серии экспериментов с толщиной слоя жидкости 5,12 мм, где так же в держателе стенда устанавливалась ячейка, в которую наливалась дистиллированная вода, в объёме 1463 мкл, что соответствует толщине слоя порядка 5,12 мм (без учета влияния мениска). На подложке ячейки (снаружи) нанесен тонкий слой светопоглощающего материала (дисковое пятно, $r \sim 0.5$ мм), который и выступал непосредственным нагревателем малой области в центре подложки за счет поглощения лазерного излучения. В ячейку с жидкостью подавалась капля подкрашенной родамином-Б воды, чтобы можно было визуально отслеживать процесс перемешивания жидкости.

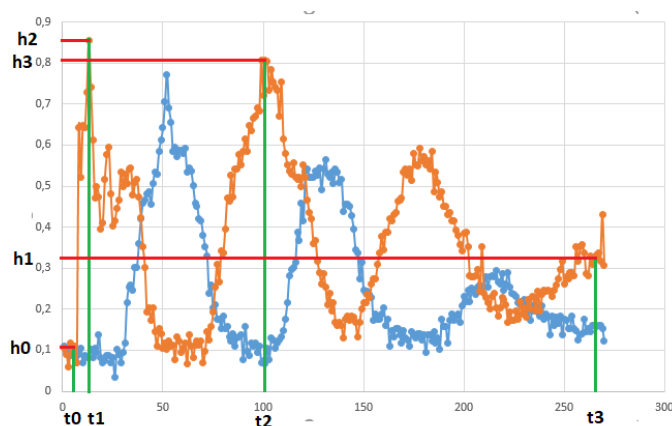
Концентрация родамина 0,0015 мг на 50 мл.

Всего с данным объёмом жидкости мы провели 5 серий опытов, каждый раз меняя место введения окрашенной порции воды. В зависимости от толщины слоя меняется картина конвекции и, соответственно, изменяется динамика распределения окраски слоя воды со временем.

Окраска слоя приводит к изменению его прозрачности по мере изменения распределения концентрации красителя. Согласно закону Ламберта-Бугера, прозрачность слоя линейно коррелирует с концентрацией красителя в поперечном сечении слоя. Анализ прозрачности слоя производился в нескольких точках, выбранных в сечении ячейки (красная точка на приведенных схемах – Рис.7 (А), 8 (А), 9 (А), 10 (А), 11 (А)).



А



Б

Рисунок 7 - Введение окрашенной жидкости в правую область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=9,3$; $t_1 = 13$; $t_2=100$; $t_3=260$; $h_0=0,12$; $h_1=0,32$; $h_2=0,86$; $h_3=0,8$.)

По кривой (Рис. 7 (Б)) видно, что при введении примеси в области большого вихря происходит ее захват течением, которое не позволяет основному объему примеси распространиться за пределы вихря. Так же видно, что со временем происходит утечка небольшого количества примеси.

Введём обозначения для простоты вычисления результатов.

$dt_1 = t_1 - t_0$ – время с момента впрыска красителя до процесса активного перемешивания;

$dt_2 = t_2 - t_0$ – время с момента впрыска красителя до момента активной фазы процесса перемешивания;

$dt_3 = t_3 - t_0$ – время с момента впрыска красителя до момента установления равновесной концентрации;

$dh_1 = h_1 - h_0$ – величина прироста оптической плотности слоя;

$dh_2 = h_2 - h_0$ – амплитуда модуляции оптической плотности в ходе перемешивания;

$dh_3 = h_3 - h_0$ – амплитуда модуляции оптической плотности в ходе перемешивания.

где, t_0 – время на момент впрыска красителя, t_1 – время процесса активного перемешивания жидкости, t_2 – время активной фазы перемешивания, t_3 – время завершения перемешивания жидкости (однородность), h_0 – начальная оптическая плотность, h_1 – равновесная оптическая плотность, h_2 – максимальная оптическая плотность слоя, отмеченная в ходе конвективного перемешивания, h_3 – оптическая плотность слоя, отмеченная в ходе активной фазы перемешивания.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 13 - 9,3 = 3,7$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 100 - 9,3 = 90,7$$

$$dt_3 = t_3 - t_0 = 260 - 9,3 = 250,7$$

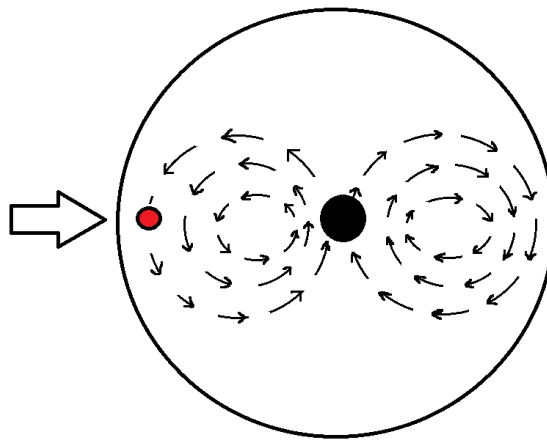
$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,32 - 0,12 = 0,20$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,86 - 0,12 = 0,74$$

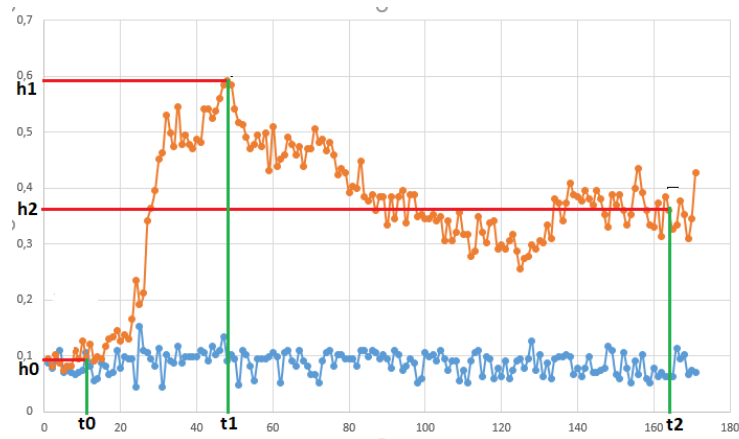
$$dh_3 = h_3 - h_0 = 0,8 - 0,12 = 0,68$$

2.6

Вывод: При внесении примеси на поверхность толстого слоя воды в зоне большого вихря, происходит ее медленное (в течение $dt_3 = 250,7$ с.) распределение по всему слою, ограниченному вихрем с утечкой небольшого количества примеси.



А



Б

Рисунок 8 - Введение окрашенной жидкости в левую область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=15$; $t_1 = 49$; $t_2=168$; $h_0=0,09$; $h_1=0,58$; $h_2=0,35$.)

По кривой (Рис. 8 (Б)) видно, что при введении примеси в области большого вихря происходит ее захват течением, которое не позволяет основному объему примеси распространиться за пределы вихря. Так же видно, что со временем происходит утечка небольшого количества примеси.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 49 - 15 = 34$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 168 - 15 = 153$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,58 - 0,09 = 0,49$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,35 - 0,09 = 0,26$$

2.7

Вывод: При внесении примеси на поверхность толстого слоя воды в зоне большого вихря, происходит медленное (в течение $dt_2 = 153$ с.) распределение по приповерхностному слою, ограниченному вихрем.

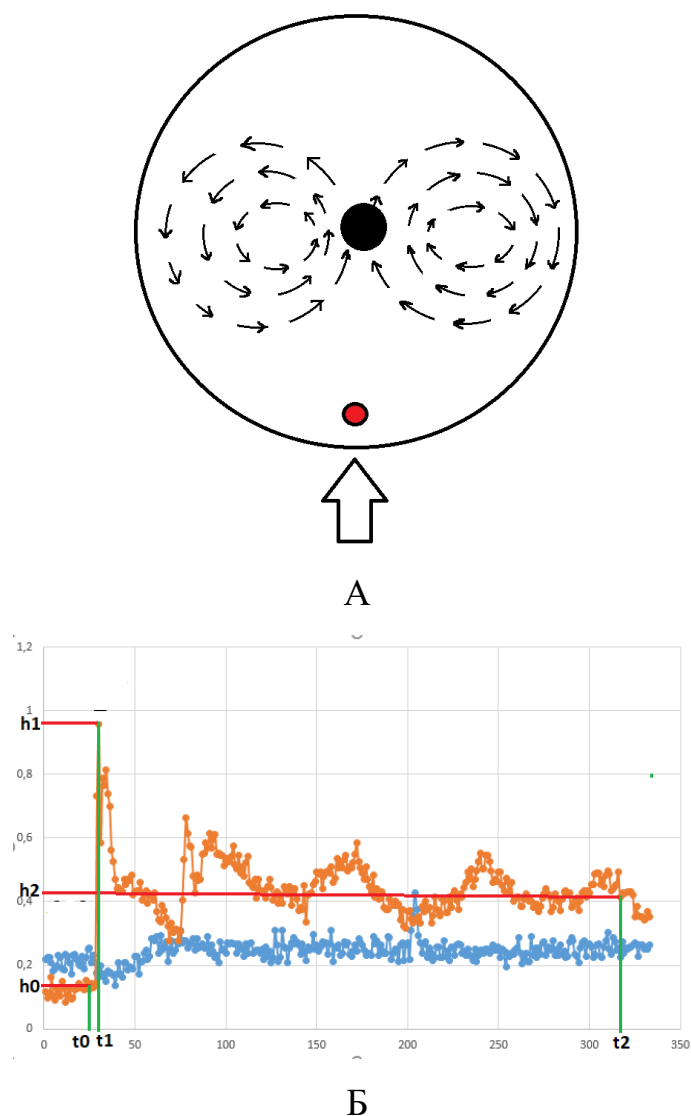


Рисунок 9 - Введение окрашенной жидкости в нижнюю область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=27$; $t_1 = 30$; $t_2=324$; $h_0=0,13$; $h_1=0,95$; $h_2=0,41$.)

По кривой (Рис. 9 (Б)) видно, что при введении примеси в область схождения вихревых потоков происходит крайне слабый захват примеси двумя

вихрями, что в свою очередь говорит о слабом вихревом течении в данной области при толстом слое жидкости.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 30 - 27 = 3$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 324 - 27 = 297$$

2.8

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,95 - 0,13 = 0,82$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,41 - 0,13 = 0,28$$

Вывод: Внесение примеси в область схождения двух вихревых потоков при толстом слое жидкости, приводит к слабой однородности примеси в течении $dt_2 = 297$ с.

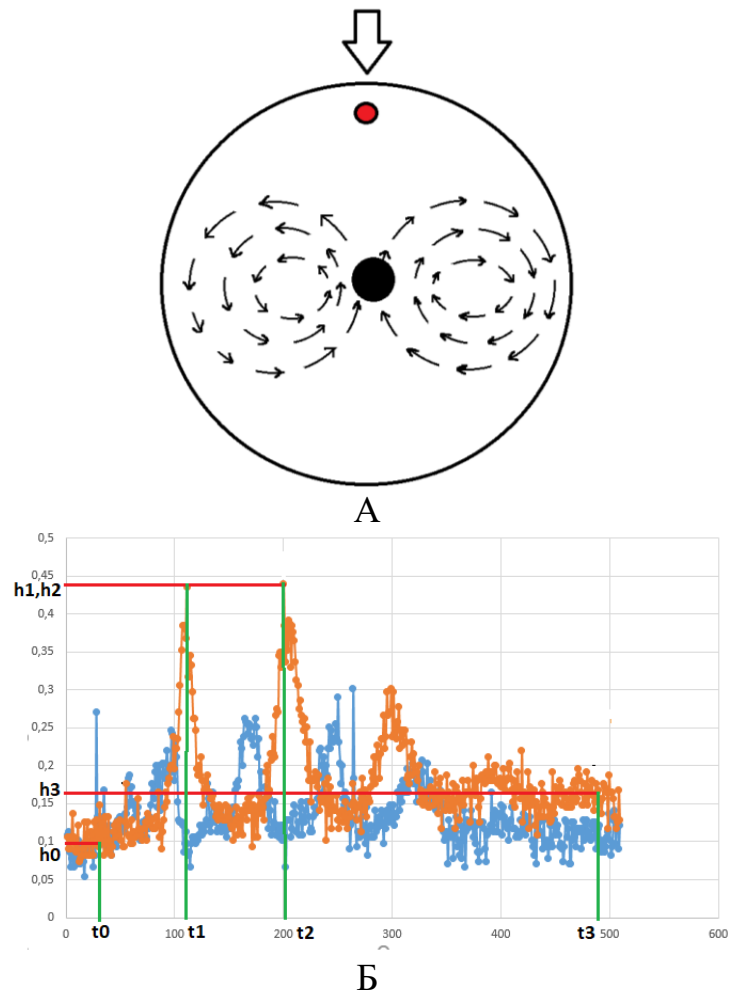


Рисунок 10 - Введение окрашенной жидкости в верхнюю область ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи

в точке измерения от времени (Б). ($t_0=32$; $t_1 = 117$; $t_2=200$; $t_3=484$;

$$h_0=0,09; h_1=0,43; h_2=0,43; h_3=0,16.)$$

По кривой (Рис. 10 (Б)) видно, что при введении примеси в область схождения вихревых потоков происходит крайне слабый захват примеси двумя вихрями, что в свою очередь говорит о слабом вихревом течении в данной области при толстом слое жидкости.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 117 - 32 = 85$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 200 - 32 = 168$$

$$dt_3 = t_3 - t_0 = 484 - 32 = 452$$

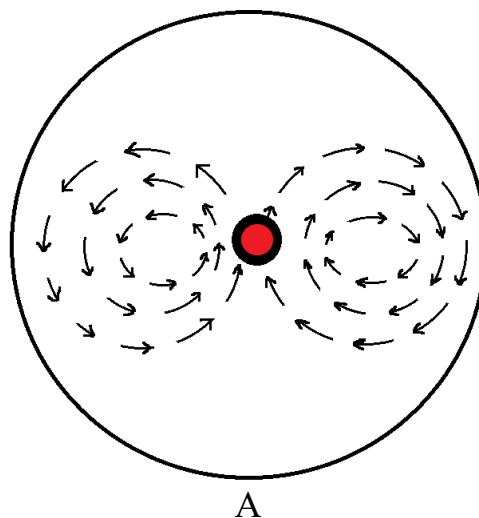
2.9

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 0,43 - 0,09 = 0,34$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,43 - 0,09 = 0,34$$

$$dh_3 = h_3 - h_0 = 0,16 - 0,09 = 0,07$$

Вывод: Внесение примеси в область схождения двух вихревых потоков при толстом слое жидкости, приводит к слабой однородности примеси в течении $dt_3 = 452$ с.



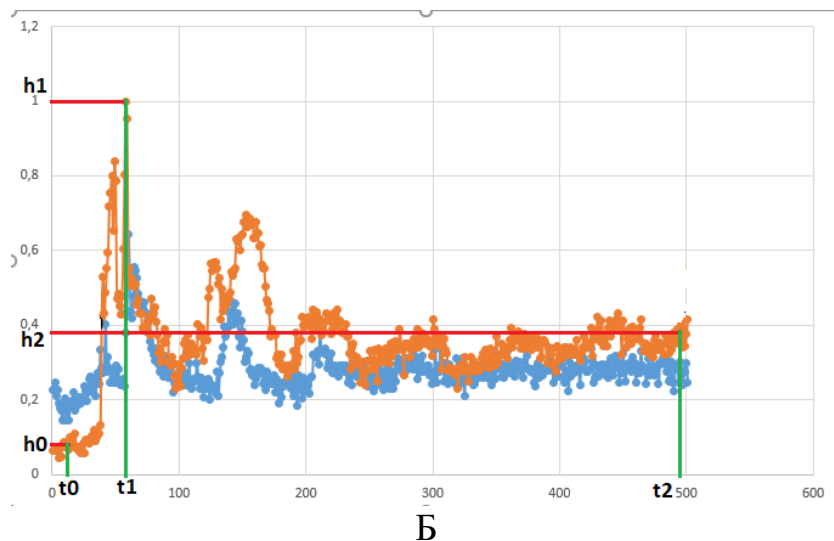


Рисунок 11 - Введение окрашенной жидкости в центр ячейки (А) и кривая интенсивности красного цветового канала видеозаписи в точке измерения от времени (Б). ($t_0=17$; $t_1 = 58$; $t_2= 491$; $h_0=0,07$; $h_1=1$; $h_2=0,34$.)

По кривой (Рис. 11 (Б)) видно, что при введении примеси в зону нагрева, где вихревые потоки пересекаются, происходит плавное и достаточно быстрое перемешивание примеси в толстом слое жидкости.

$$dt_1 = t_1 - t_0 = 58 - 17 = 41$$

$$dt_2 = t_2 - t_0 = 491 - 17 = 474$$

$$dh_1 = h_1 - h_0 = 1 - 0,07 = 0,93$$

$$dh_2 = h_2 - h_0 = 0,34 - 0,07 = 0,27$$

2.10

Вывод: Внесение примеси вблизи точки нагрева приводит к ее распределению за счет конвекции практически по всей поверхности ячейки за $dt_2 = 474$ с.

Был экспериментально исследован процесс перемешивания жидкости, в которую добавлялось небольшое количество примеси, под действием конвекции, индуцированный точечным нагревом. В ходе серии экспериментов использовались слои жидкости различной толщины. Показано, что основным фактором, влияющим на эффективность перемешивания жидкостей, является режим течения, определяемый толщиной жидкостного слоя.

Для тонкого слоя жидкости наблюдается интенсивное перераспределение примеси вблизи свободной поверхности. Это позволяет быстро распределить примесь по большей части сечения ячейки (как правило, в границах одного из доминирующих поверхностных вихрей). При этом примесь, захваченная вихрем, медленно распространяется по толщине слоя.

Для толстого слоя наблюдается относительно медленное перемешивание, так как в этом случае развивается сильное термо-гравитационное течение, обеспечивающее быстрый перенос примеси по всей толщине слоя жидкости. В результате, при достаточно длительной выдержке можно получить очень равномерное размешивание примеси по объему ячейки.

При различных положениях точки нагрева можно получить существенно разные конфигурации течения и, следовательно, различные распределения примеси в случае тонкого слоя, обеспечивая равномерное распределение по поверхности ячейки. В толстом слое смещение точки нагрева слабо влияет на однородность перемешивания, если время перемешивания превосходит 10 минут [5-6].

Раздел 3. Разработка проектной документации

3.1 Объект автоматизации

Объектом автоматизации в моей работе является стенд, который включает в себя ячейку с жидкостью и средства управления, которые обеспечивают контроль и регулирование основных параметров состояния жидкости, таких как температура и скорость потока.

Целью управления в данном случае служит достижение нужного качества перемешивания компонентов, контроль рабочих условий и безопасности, повышение эффективности и производительности работы системы и др. Для управления такой системой применяются алгоритмы автоматического управления, которые базируются на физических законах и технологических параметрах процесса. Система оборудована датчиками и измерительными приборами, которые обеспечивают сбор и обработку информации о параметрах системы, а также исполнительными механизмами, которые обеспечивают выполнение команд управления. Обработка и анализ данных, полученных от датчиков, осуществляется с помощью компьютерных программ и алгоритмов, которые обеспечивают контроль и управление техническим процессом.

3.2 Разработка структурной схемы САР

Структурная схема системы автоматического регулирования процесса микроперемешивания за счёт индуцированной конвекции приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 С1.

Объектом регулирования в работе является ячейка с жидкостями. Регулирование процесса микроперемешивания жидкостей будет осуществляться комплексом воздействующих на этот процесс приборов. Компьютер, расположенный на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора, является

управляющей системой, а также программируемый логический контроллер (ПЛК), через них мы и будем управлять процессом микроперемешивания.

От АРМ поступает три импульса, на лазер, на измеритель мощности и на управление сервоприводом. После того как мы подали на лазер импульс он излучает световой поток на отклоняемое зеркало и от неё луч уже падает на ячейку с жидкостями. Используется прибор для измерения мощности лазера, обеспечивающий точную передачу и обработку значений мощности. Сервопривод с шаговыми двигателями служит для изменения положения зеркала.

Управляющий сигнал от ПЛК поступает на мини-насосы, которые за определённое время, подают нужные порции жидкости в ячейку. Так же в ячейку погружена термopара, которая фиксирует температуру внутри ячейки и подаёт сигнал на ПЛК. Датчик температуры воздуха фиксирует температуру внутри стенда и так же подаёт сигнал на ПЛК. Так же измерительный сигнал на ПЛК поступает с микро-расходомера.

За протеканием процесса микроперемешивания жидкостей следит камера, которая передаёт сигнал на ПК.

3.3 Разработка функциональной схемы САР

Функциональная схема автоматизации является важным проектным документом, в котором определены функциональная структура и область автоматизации технических установок и промышленных агрегатов. Она содержит условные обозначения для средств и органов автоматизации, технического оборудования, коммуникаций и связей между компонентами автоматизационной системы. После того, как структура проекта определена, данная схема создается в виде чертежа и включает информацию о преобразователях, исполнительных устройствах и измерительных приборах. Она отображает положение прибора, его измерительный канал, функции, а также обозначение измеряемой величины и функционального признака прибора [7].

С учетом выбранного типа управления и используемых технических средств, а также в соответствии с требованиями технологического процесса в отношении объема и степени автоматизации, была разработана функциональная схема системы автоматического регулирования процесса микроперемешивания жидкости за счёт индуцированной конвекции, которая представлена на листе ФЮРА.421000.007 С2.

Канал 1 – предназначен для измерения температуры жидкости внутри ячейки. Канал 2 – предназначен для измерения температуры внутри стенда. Канал 3 – предназначен для измерения расхода воды подаваемую внутрь ячейки. Канал 4 – предназначен для передачи данных о поддержании постоянной величины мощности лазерного потока. Каналы 5,6,7 – предназначены для управления подачей определённой порции жидкости в ячейку. Канал 8 – предназначен для передачи данных о изменении отклоняемого зеркала. Канал 9 – предназначен для передачи данных о поддержании постоянной величины лазерного излучения. Канал 10 – предназначен для передачи изображения и последующей за ним обработки, с целью выявления характеристик конвективных течений.

3.4 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации

3.4.1 Средства измерения температуры

Для измерения температуры в системах автоматического регулирования используются различные преобразователи, включая термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи. В нашей работе мы фокусируемся на термоэлектрических преобразователях с минимальной толщиной проводников и без защитной оболочки, так как они легко используются, не требуют внешнего источника питания и являются наилучшим выбором для измерения быстро изменяющихся температур.

Для принятия обоснованного решения рассмотрим три датчика температуры и составим их характеристики:

1) Термопара проволоочная с кабельным выводом ДТПК014-00.25/0,2

Этот прибор предназначен для измерения температуры в различных средах, будь то твердые, жидкие или газообразные. Однако они подходят только для неагрессивных сред, которые не повредят материал термоэлектродов и защитную арматуру. Легкий монтаж обеспечивается кабельным выводом, однако он может ограничивать верхний предел измеряемых температур до 300-400 °С [8].

В таблице 1 приведены технические характеристики данной термопары.

Таблица 1 – Технические характеристики термопары ДТПК014-00.25/0,2

Модель	Параметры	Материал	Длина монтажной части L, мм
014	D = 5 мм	ДТПК, ДТПЛ Латунь (-40...+300°С)	25

2) Термопара проволоочная с кабельным выводом ДТПК011-0,3/4 1

Данные измерительные приборы предназначены для определения температуры поверхностей при помощи закладных деталей, которые можно использовать как в окислительных, так и в нейтральных газовых средах. Важно отметить, что в данной среде не должно быть веществ, которые могут вступать во взаимодействие с материалом термопар. Кроме того, окружающая среда не должна иметь влажность более 80%.

Таблица 2 – Технические характеристики термопары ДТПК011-0,3/4 1

Мо- дель	Диаметр термо- электрода	D, мм	D1, мм	Тип изоля- ции	Диапазон из- меряемых температур	Длина тер- мопары L, м	Длина ка- бельного вывода I, м
014	0,3 мм	1,8	2,2	Нить K11C6	ДТПК ДТПЛ (-40...+300°C)	0,2...100, кратно 0,01 м	-

3) Термопара проволоочная бескорпусная ДТПК021-0,5/6 2

Данные измерительные приборы предназначены для определения температуры поверхностей при помощи закладных деталей, которые можно использовать как в окислительных, так и в нейтральных газовых средах. Важно отметить, что в данной среде не должно быть веществ, которые могут вступать во взаимодействие с материалом термопар. Кроме того, окружающая среда не должна иметь влажность более 80%.

Таблица 3 – Технические характеристики термопары ДТПК021-0,5/6 2

Модель	Диаметр термо- элек- трода	D, мм	D1, мм	Тип изо- ляции	Диапазон из- меряемых тем- ператур	Длина тер- мо- пары L, м	Длина кабель- ного вы- вода I, м
014	0,3 мм	1,8	2,2	Нить K11C6	ДТПК ДТПЛ (-40...+300°C)	0,2...100, кратно 0,01 м	-

Так как наша ячейка с жидкостью малогабаритного размера и нам требуется термопара с минимальным диаметром термоэлектрода, а также высоким классом точности, то исходя из выше представленного списка, выбираем термопару проволоочную бескорпусную ДТПК011-0,3/4 1.

Так же к термопаре нужен универсальный нормирующий преобразователь, для возможности обработки сигнала в виде унифицированного токового. Выберем универсальный нормирующий преобразователь:

1) Нормирующий преобразователь НПТ – 1К.00.1.3

Универсальные нормирующие преобразователи сигналов ОВЕН НПТ применяется в различных вариантах конструкции, включая крепления на DIN-рейку и головки датчиков европейского и российского типа, в обще-промышленном и искрозащищенном исполнении. Использование нормированных сигналов сокращает электромагнитные помехи в цепи измерения температуры, облегчает подключение термодатчиков к контроллерам, уменьшает затраты путем замены специализированных термокомпенсационных кабелей обычными медными проводами, а также позволяет увеличить длину линии связи от датчика до измерительного прибора в несколько раз [9].

Таблица 4 – Технические характеристики НПТ – 1К.00.1.3.

Тип крепления	Тип датчика	Номинальный диапазон выходного сигнала преобразователя	Время отклика	Интерфейс
Для монтажа на DIN рейку	ТС, ТП	4...20, 0...20, 0...5 мА 0...10, 2...10, 0...5 В	1 сек	Micro USB

2) Нормирующий преобразователь НПТ – 2.01.1.2

Универсальные нормирующие преобразователи сигналов ОВЕН НПТ применяется в различных вариантах конструкции, включая крепления на DIN-рейку и головки датчиков европейского и российского типа, в обще-промышленном и искрозащищенном исполнении. Использование нормированных сигналов сокращает электромагнитные помехи в цепи измерения температуры, облегчает подключение термодатчиков к контроллерам, уменьшает затраты путем замены специализированных термокомпенсационных кабелей обычными медными проводами, а также позволяет увеличить длину линии связи от датчика до измерительного прибора в несколько раз.

Таблица 5 – Технические характеристики НПТ – 2.01.1.2

Тип крепления	Тип датчика	Номинальный диапазон выходного сигнала преобразователя	Время отклика	Интерфейс
Для монтажа в головку датчика отечественной конструкции	ТС, ТП	4...20 мА	2 сек	USB В

Исходя из технических характеристик, указанных в таблицах 4 и 5, мы определяем подходящим нормирующий преобразователь НПТ – 1К.00.1.3, поскольку он отвечает предъявляемым требованиям: крепление осуществляется непосредственно на DIN рейку, минимальное время отклика.

Для измерения температуры воздуха внутри стенда, используем датчик температуры воздуха с унифицированным токовым выходом 4...20 мА.

Для принятия обоснованного решения рассмотрим два датчика температуры воздуха и составим их характеристики:

1) Датчик температуры воздуха Т.п/п–420–Кл3-2

Датчик температуры Т.п/п–420–Кл3–2 с унифицированным токовым выходом 4–20 мА предназначен для контроля температуры воздуха и других измеряемых рабочих сред, химически неагрессивных и не разрушающих материал защитной арматуры термопреобразователя в чистых производственных и офисных помещениях [10].

Таблица 6 – Технические характеристики датчика температуры воздуха Т.п/п–420–Кл3-2

Напряжение питания, В	Номинальный диапазон выходного сигнала	Диапазоны преобразования температуры	Абсолютная погрешность
7,5...36	4...20 мА	От -40 до +50°С	Не более ±0,5%

2) Датчик температуры воздуха Т.п/п–420–Кл4-1

Датчик температуры с унифицированным токовым выходом 4-20 мА Кл4-1 предназначен для контроля температуры в воздуховодах и других измеряемых рабочих средах, химически неагрессивных и не разрушающих материал защитного корпуса датчика.

Таблица 7 – Технические характеристики датчика температуры воздуха Т.п/п–420–Кл4-1

Напряжение питания, В	Номинальный диапазон выходного сигнала	Диапазоны преобразования температуры	Абсолютная погрешность
7,5...36	4...20 мА	От -40 до +125°C	Не более $\pm 0,5\%$

Исходя из технических характеристик, указанных в таблицах 6 и 7, мы определяем подходящим датчик температуры воздуха Т.п/п–420–Кл3-2, поскольку другой датчик измерения воздуха больше подходит для промышленного назначения, чем для лабораторного.

3.4.2 Средства измерения расхода жидкости

Расход жидкости – это количество жидкости (обычно в единицах объема или массы), которое проходит через определенное сечение трубопровода или канала за единицу времени. Расход может быть постоянным или изменяться со временем. Он может измеряться с помощью специальных приборов - средств измерения расхода жидкости (например, расходомеров) и используется для контроля и управления жидкостными потоками в различных системах, таких как водоснабжение, канализация и промышленные производства. В своей работе я буду использовать микро-расходомер, в силу его способности обеспечивать точное измерение расхода жидкости в малых объёмах.

Для принятия обоснованного выбора рассмотрим два микро-расходомера и составим их характеристики:

- 1) Микро-расходомер жидкости FM-HL3012

Микро - расходомер жидкости - это устройство для измерения малых объемов потока жидкости. Данный тип расходомера обычно позволяет измерять расход от нескольких миллилитров в секунду до нескольких литров в час. Он используется в тех случаях, где необходимо обеспечить точный контроль за малыми объемами жидкости, таких как микродозирование в химической промышленности, медицине и биотехнологии, а также в научных исследованиях, где требуется высокая точность и устойчивость в измерениях.

Таблица 8 – Технические характеристики микро-расходомера жидкости FM-HL3012

Номинальное напряжение, В	Диапазон расхода	Точность	Диапазон температур
5...18	0,075...0,65 л/мин	$\pm 2\%$	-10...85°C

2) Микро-расходомер жидкости SEN-HZ06S

Микро - расходомер жидкости - это устройство для измерения малых объемов потока жидкости. Данный тип расходомера обычно позволяет измерять расход от нескольких миллилитров в секунду до нескольких литров в час.

Таблица 9 – Технические характеристики микро-расходомера жидкости SEN-HZ06S

Номинальное напряжение, В	Диапазон расхода	Точность	Диапазон температур
24	0,3...4,5 л/мин	$\pm 4\%$	-10...60°C

Исходя из технических характеристик, указанных в таблицах 8 и 9, мы определяем подходящим микро-расходомер жидкости FM-HL3012, поскольку нам нужен расходомер с наименьшим потоковым значением и высоким классом точности.

3.4.3 Средства измерения мощности лазера

Чтобы правильно регулировать лазерное излучение, нужно выбрать подходящий измеритель мощности. Для оптимальной работы системы, необходимо использовать датчик, который соответствует параметрам выбранного лазера.

Для принятия обоснованного решения рассмотрим два измерителя и составим их характеристики:

1) Круглый фотодиодный датчик для измерения мощности лазера Ophir PD300R-3W;

PD300R-3W — это круглый фотодиодный датчик для измерения лазера, способный измерять мощность до 3 Вт. Он имеет апертуру 10 мм и съемный фильтр. Без фильтра его спектральный диапазон: 350—1100 нм, а диапазон измерения мощности от 5 нВт до 100 мВт. С фильтром его спектральный диапазон: 430—1100 нм, а диапазон измерения мощности от 200 мкВт до 3 Вт. Датчик поставляется с 1,5-метровым кабелем для подключения к измерителю или интерфейсу компьютера [11].

Таблица 10 – Технические характеристики датчика Ophir PD300R-3W

Диапазон измерения, Вт	Спектральный диапазон, нм
0,0002...3	430-1100

2) Круглый фотодиодный датчик для измерения мощности лазера Laserpoint PD500-D9-VIS

Laserpoint PD500-D9-VIS — это круглый фотодиодный датчик для измерения лазера, способный измерять мощность до 0,05 Вт.

Таблица 11 – Технические характеристики датчика Laserpoint PD500-D9-VIS

Диапазон измерения, Вт	Спектральный диапазон, нм
0,0001...0,05	400-1100

Основываясь на таблицах 10 и 11, мы выбираем датчик Ophir PD300R-3W, так как он соответствует требованиям, указанным для лазера (выходная мощность излучения 2 Вт; длина волны излучения 532 нм).

Поскольку Ophir PD300R-3W работает совместно с виртуальным измерителем мощности лазера, в комплекте с ним идёт Ophir Juno [12] в качестве связующего звена между фотодиодным датчиком и компьютером.

3.4.4 Средства управления положением луча

Для управления положением луча используется отклоняемое в двух плоскостях зеркало, установленное на столике гониометра. При длине оптического пути от зеркала до объекта в 20 см, линейное смещение луча лазера в плоскости ячейки (на расстояния порядка сантиметра) пропорционально угловому смещению зеркала гониометром.

Так как нам нужен был прибор определённого типа, чтобы вращение осей производились по X-Y, был найден всего лишь один подходящий нам прибор.

1) Двухосевой гониометр 8-0031-МЭн2

Автоматическое и компактное решение обеспечивает точное вертикальное и горизонтальное вращение под разными углами по сравнению с ручными методами настройки. Система покрыта антиотражающим покрытием, что дает преимущество отсутствия нежелательных обратных отражений [13].

Таблица 12 – Технические характеристики двухосевого гониометра 8-0031-МЭН2

Диапазон вращения X	Диапазон вращения Z	Габариты
360°	360°	20...340 мм

Так же к двухосевому гониометру нужен двухосевой контроллер, для возможности управления шаговыми двигателями непосредственно с ПК подключаемый через USB-порт. Так как производитель один, в рекомендациях сразу указан нужный нам контроллер.

2) Двухосевой контроллер 8SMC5-USB-B9-2

Компактный контроллер с интерфейсом USB для шаговых двигателей и двигателей постоянного тока с внешним питанием. Единый интерфейс для двигателей любого типа.

Контроллер может работать с двигателями с током обмотки до 3 А. USB соединение обеспечивает легкость подключения и простоту работы с компьютером. Несколько контроллеров могут быть подключены к одному компьютеру через несколько USB-портов или с помощью специальной объединительной платы, поставляемой в составе многоосных систем. Контроллер совместим практически со всеми операционными системами (Windows, Mac OS X, Linux и т. д.). Программное обеспечение включает в себя поддержку скриптового языка [14].

Таблица 13 – Технические характеристики двухосевого контроллера 8SMC5-USB-B9-2

Источник питания, В	Шаговый двигатель	Интерфейс
12...48	35000 шагов/сек	USB, COM порт

3.4.5 Средства управления подачи жидкости

Для управления подачей жидкости в ячейку, используются мини-насосы, так как нам требуется точная и прецизионная подача жидкости.

Для принятия обоснованного выбора рассмотрим два мини-насоса и составим их характеристики:

1) Мини-перистальтический насос KPP2-B04-12

Мини-перистальтический насос KPP2-B04-12 - это компактный насос, который работает на постоянном токе 12 вольт. Он оснащен специальным роликом, который приводит в движение перистальтическую трубку и создает поток жидкости.

Таблица 14 – Технические характеристики мини-перистальтического насоса KPP2-B04-12

Рабочее напряжение, В	Диапазон расхода	Размеры трубок	Температура окружающей среды
12	12,5...25 мл/мин	2x4 мм	0...40°C

2) Мини-перистальтический насос KCM-B38

Мини-перистальтический насос KCM-B38 - это компактный насос, который используется для перекачивания жидкостей. Он имеет низкий уровень шума и эти насосы часто используются в медицинской технике и лабораториях.

Таблица 15 – Технические характеристики мини-перистальтического насоса KCM-B16

Рабочее напряжение, В	Диапазон расхода	Размеры трубок	Температура окружающей среды
12	160...420 мл/мин	4x7,2 мм	0...40°C

Исходя из технических характеристик, указанных в таблицах 12 и 13, мы определяем подходящий нам мини-перистальтический насос KPP2-B04-12, поскольку нам нужен минимальный диапазон расхода, так как мы работаем с очень маленькими объемами и маленькими трубками.

3.4.6 Средства передачи информации о динамических характеристиках конвективных течений

Для исследований динамических характеристик конвективных течений при локальном нагреве используются научные и промышленные видеокамеры с высоким разрешением и частотой кадров, которые могут передавать и обрабатывать сигналы.

Для принятия обоснованного выбора рассмотрим две научные видеокамеры и составим их характеристики:

1) Научная и промышленная видеокамера Thorlabs DCC3260C

Thorlabs DCC3260C - это высокоразрешающая цветная камера, которая может использоваться в различных научных и промышленных приложениях. Камера имеет современный дизайн и малый размер, что делает ее легкой и удобной в использовании [15].

Таблица 16 – Технические характеристики видеокамеры Thorlabs DCC3260C

Разрешение, пиксель	Частота кадров, кадр/с	Интерфейс
1936 x 1216	41	USB

2) 2-мегапиксельная CMOS-камера Tucsен GT 2.0

GT 2.0 использует технологию графического ускорения Tucsен и может быть самой быстрой доступной камерой USB 2.0 с частотой кадров в 5 раз выше, чем у обычных камер USB 2.0 [16].

Таблица 17 – Технические характеристики видеокамеры Thorlabs DCC3260C

Разрешение, пиксель	Частота кадров, кадр/с	Интерфейс
1920 x 1080	30	USB

С учетом технических характеристик двух рассмотренных видеокамер, выбираем Thorlabs DCC3260C, так как она обладает высоким разрешением,

быстротой кадров и удобным способом передачи сигнала на компьютер через USB интерфейс.

3.4.7 Лазер

Выбор лазерного оборудования зависит от конкретного применения и требуемых характеристик устройства. Некоторые важные факторы, которые могут влиять на выбор лазерного оборудования, включают:

- Тип лазера: Существует множество различных типов лазеров, таких как твердотельные лазеры, газовые лазеры, полупроводниковые лазеры и т. д., и каждый тип лазера имеет свои уникальные особенности и характеристики.
- Длина волны: Длина волны лазера может варьироваться от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона. Выбор длины волны зависит от конкретного применения и может варьироваться в зависимости от требуемой проникающей способности, энергии и точности.
- Мощность: Мощность лазера может оказывать влияние на скорость работы и эффективность процесса. Необходимо выбрать лазер с достаточной мощностью для выполнения задачи.
- Размеры и габариты: Размеры и габариты лазерного оборудования могут оказывать влияние на его установку, использование и хранение. Выбор лазерного оборудования также может зависеть от доступных пространств.
- Стоимость: Стоимость лазерного оборудования может быть существенным фактором при выборе. Стоимость может варьироваться в зависимости от типа, мощности и других характеристик лазера.

При выборе подходящего лазерного оборудования для исследования конвективных течений, мы остановились на твердотельных лазерах с длиной волны 532 нм и диодной накачкой. Эти лазеры широко распространены во

всем мире и легко юстируются благодаря видимому излучению. Для исследования конвективных течений мы выбрали лазер с выходной мощностью 1-2 Вт, так как для достижения необходимой температуры в точке нагрева слоя жидкости в 40-60°C это будет достаточно.

С учетом данных критериев, мы выбрали твердотельный одномодовый лазер с диодной накачкой (DPSS) и длиной волны 532 нм, модулируемый по TTL-сигналу, в качестве оптимального решения для нашей работы. Конкретно, мы выбрали модель KLM-532/h/2000 [17].

Таблица 18 – Технические характеристики лазера KLM-532/h/2000

Выходная мощность излучения, мВт	Длина волны излучения, нм	Вид модуляции
2000	30	TTL

Кроме модели KLM-532/h/2000 в комплекте также идет необходимое дополнительное оборудование. Оно включает в себя преобразователь TTL модуляции в USB порт, что даст возможность производить подключение к ПК. Более того, к лазеру поставляется синхронизатор сигналов, который позволит поддерживать необходимую мощность лазерного излучения в соответствии с нашими требованиями. Расширенный набор оборудования обеспечит точный и удобный контроль лазерного света в рамках проводимых экспериментов.

Решения по выбору ТСА приведены в заказной спецификации, представленной на листе с шифром ФЮРА.421000.007 СО.

3.5 Разработка монтажной схемы САР

На листе с шифром ФЮРА.421000.007 С4 представлена монтажная схема, которая включает в себя план расположения всех приборов и ТСА, а также связи между ними, в рамках системы автоматического регулирования процесса микроперемешивания жидкостей за счёт индуцированной конвекции.

Монтажная схема – это технический документ в виде чертежа. Эта схема является важной частью технической документации на изделие (установку) и используется для правильного монтажа и подключения всех его компонентов. В схеме соединений указываются также параметры проводов, жгутов, кабелей и трубопроводов, такие как длина, сечение, материал и другие характеристики. Это позволяет правильно подобрать необходимые элементы и обеспечить надежную и безопасную работу изделия (установки) [18].

В верхней части чертежа представлена таблица, которая показывает название параметра и места отбора импульса, обозначение чертежа установки, а также обозначение позиции, которые соответствуют функциональной схеме.

Под позиционными обозначениями в виде круга изображена термopapa ДТПК011-0,3/4 13. В виде прямоугольников изображены датчик температуры воздуха Т.п/п-420-Кл3-2, микро-расходомер жидкости FM-HL3012, а также датчик измерения мощности лазера PD300R-3W. Под датчиком измерения мощности лазера так же изображён переходник Juno. В нижней части чертежа представлен щит управления, который имеет прямоугольную форму. Внутри этого щита находится узел зажимов, где происходит подключение жил кабелей к клеммам колодки. Кроме того, неподалеку от щита управления расположен АРМ, который подключается через USB-порт.

В правой части чертежа также прямоугольниками изображены три мини-насоса KPP2-BO4-12, соединённые вместе клеммной коробкой KC-10. После насосов, так же в виде прямоугольника расположен двухосевой гониометр 8-0030-МЭн2, внизу его расположен двухосевой контроллер 8SMC5-USB-B9-2.

На втором листе монтажной схемы расположились лазер KLM-532/h/200, с комплектом поставляемого с этим оборудованием приборов в виде преобразователя и синхронизатора сигналов, которые так же на схеме изображены в форме прямоугольника. Рядом с лазером расположена видеокамера DCC3260C. В верхней части чертежа изображён силовой шкаф, который имеет форму прямоугольника. Внутри этого щита изображена сборка зажимов, а

также подключение жил кабелей к клеммам колодки, этот шкаф служит для питания датчиков током.

Марки проводов и кабелей для электропроводки в САР микроперемешивания жидкостей, мы выбираем в соответствии с рекомендациями и приводим характеристики выбранных кабелей и проводов в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристики кабелей и проводов электропроводки

№ линии	Марка	ГОСТ, ТУ	Число жил	Номинальное сечение, мм ²
1	-	ТУ 16.К71–310–2001	-	-
2	KBBГ		2	0,5
3	KBBГ		3	1,0
4	Mini USB- USB		-	-
5,6,7	KBBГ		2	1,5
8	KBBГ		6	1,5
9,10	DSub-DSub		-	-
11	USB type B-USB		-	-
12	-		-	-
13	PK 50-7-11		-	-
14	-		-	-
15	USB-USB		-	-
16	-		-	-
17	-		-	-
18	KBBГ		3	2,5

3.6 Разработка электрической схемы и перечня элементов щита автоматизации

На листе с шифром ФЮРА.421000.007 Э4 изображена схема электрических соединений щита автоматизации. А на листе с шифром ФЮРА.421000.007 ПЭ4 приведен перечень всех элементов, которые используются в этой электрической схеме.

Для подсистем электрического питания и микроклимата в щите автоматизации мы установим следующее оборудование: освещение, источник бесперебойного питания, аккумуляторный модуль, вентилятор, защиту от перенапряжений и другое дополнительное оборудование для работы системы.

Оборудование установлено на перфорированных DIN-рейках, произведенных компанией Phoenix Contact [19].

Реле используется для замыкания и размыкания участков электрических цепей, при 220 В напряжении на данном этапе работы.

Вентилятор в шкафу используется для охлаждения оборудования и улучшения его стабильности и ресурса. Был выбран вентилятор ВП-120 с защитой IP20 и габаритами 120x120x38 мм.

Для регулирования температуры в шкафу мы выберем термостат IND МТК-СТО с диапазоном показания регулировочной шкалы 0...25°C и рабочим напряжением 220 В. Размеры термостата составляют 60x33x43 мм.

Устройство защиты от перенапряжений призвано оберегать приборы, которые подключены к сети переменного тока 220 (230) В, от различных напряжений, возникающих из-за электромагнитных импульсов высокой энергии.

ИБП используется в качестве вторичного источника питания и выбирается в зависимости от нагрузки. Необходимо обращать внимание на параметры: входное напряжение 220В (230В); выходное напряжение 24В; размеры, не превышающие 62x132x137 мм и массу, которая не должна превышать 0,6 кг. Также ИБП должен использоваться не менее 10 лет.

Для корректной работы источника бесперебойного питания необходимо установить аккумуляторный модуль.

Для реализации автоматического включения и выключения освещения внутри шкафа автоматизации выберем концевой выключатель DKC R5MC01 из материала - пластик. Его размеры составляют 39x31x101.

Другим компонентом, который нам потребуется, является автоматический выключатель Schneider Electric однополюсный ВА47 2П 16А. Номинальный ток этого компонента равен 16А, а номинальное рабочее напряжение составляет 230В.

Как правило, в одном щите аккумуляторный модуль, источник бесперебойного питания и контроллер установлены в верхней части. В то время как остальные устройства размещаются ниже.

В схеме предусмотрено подключение микроклимата. Учитывая, что щит будет установлен в помещении, мы будем устанавливать максимальную температуру, при которой щит сможет работать. Если температура превысит значения более чем 25°C, то контакты реле К1 замкнутся, и включают вентилятор для охлаждения щита.

3.7 Разработка общего вида щита автоматизации

Промышленные и специальные щитовые помещения, такие как операторские, диспетчерские и аппаратные помещения, оборудуются щитами систем автоматизации. Они служат для установки парковки контроля и управления технологическими процессами, управляющей и контрольной аппаратуры, приборов для измерения и контроля, сигнальных детекторов, автоматического регулирования, защиты, блокировки и линий связи.

Для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования в операторском помещении, где важна степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, используется щит-шкаф малогабаритный (ЩШМ). На щите размещают контроллер и клеммные сборки для оперативного контроля за ходом технологического процесса.

Чертеж общего вида щита содержит вид спереди и перечень составных частей. Такой чертеж с шифром ФЮРА.421000.007 В0 представляет общий вид щита.

Раздел 4. Расчет настройки регуляторов

4.1 Идентификация объекта

Идентификация - это методы построения математических моделей динамической системы на основе данных наблюдений. Математическая модель представляет собой описание поведения системы или процесса во временной области. Существуют два типа идентификации: активная и пассивная.

Активная идентификация используется для вывода объекта исследования из равновесного состояния, используя специальные сигналы в качестве входных данных. Активная идентификация применяется при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах.

Пассивная идентификация используется для уточнения математической модели. В данной работе были произведены измерения температуры воды вблизи стенки ячейки по времени для получения кривой разгона.

В данной работе для получения кривой разгона были произведены измерения температуры воды вблизи стенки ячейки по времени.

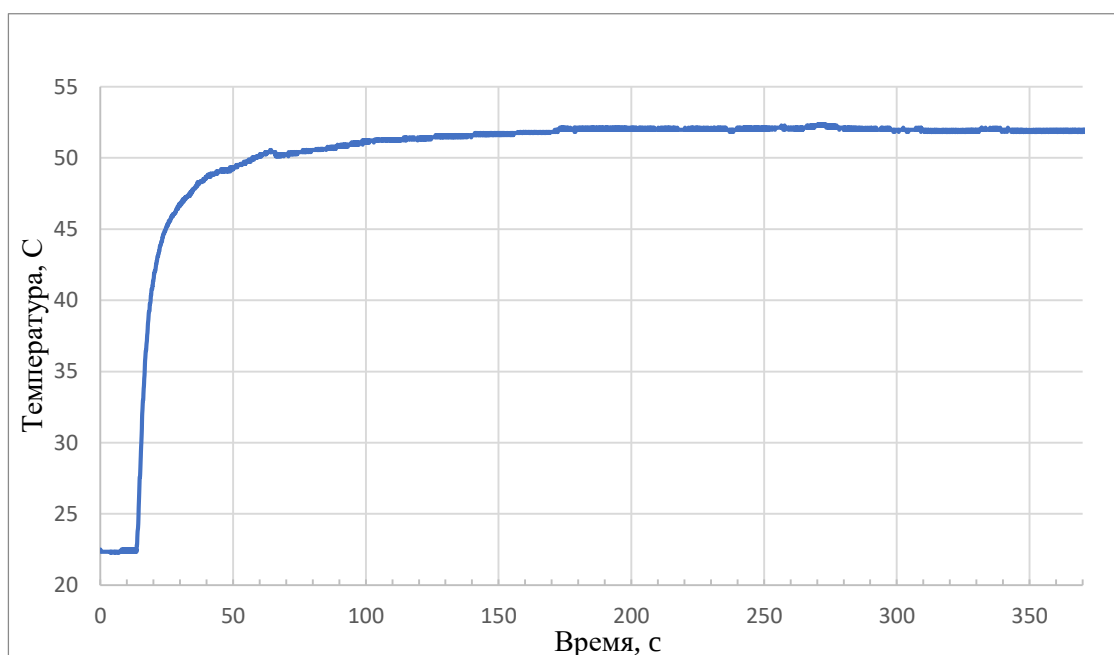


Рисунок 12 – Кривая разгона объекта управления

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта: коэффициент передачи K , постоянная времени T ; запаздывание τ .

Передаточная функция для кривой описывается аperiодическим звеном с запаздыванием:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P \cdot \tau}$$

где, K – коэффициент передачи;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Идентификация проходит графическим методом, где T определяется с помощью линии, которая проходит по касательной в точке перегиба.

Идентификация представлена на рисунке 13. Затем мы собираем все полученные данные в Таблицу 20.

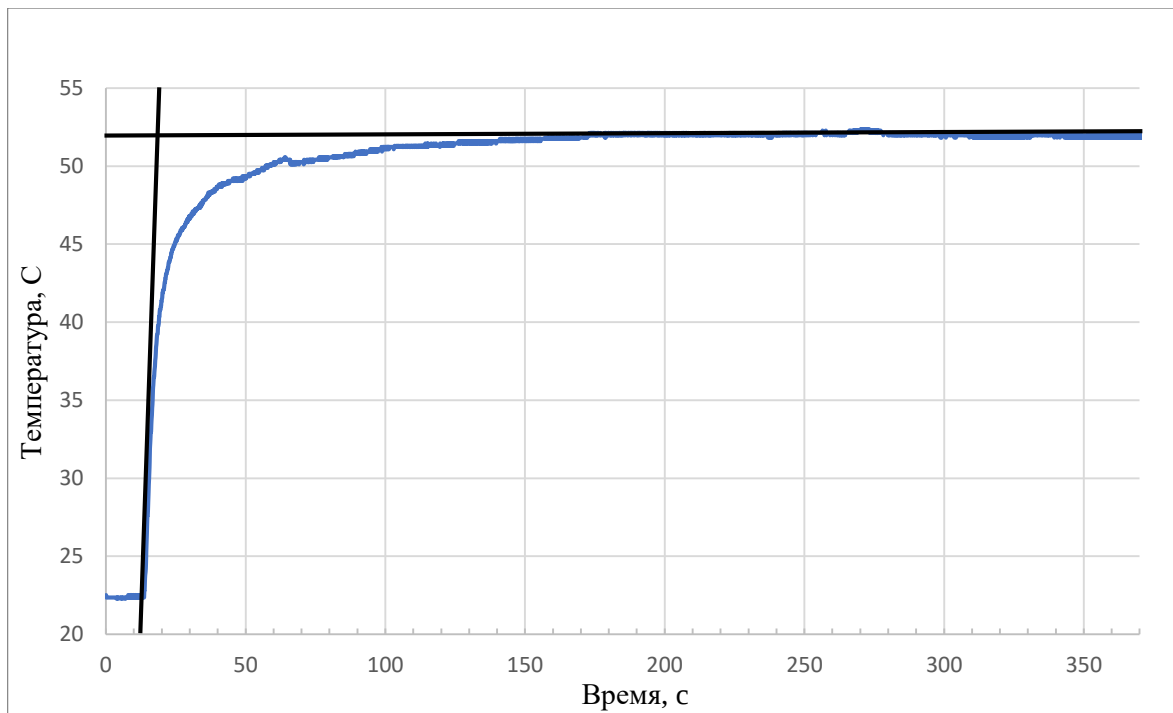


Рисунок 13 – Аппроксимирующая кривая разгона объекта регулирования

Таблица 20 – параметры объекта управления

Коэффициент передачи	$K = 2,26$
Постоянная времени	$T = 6$
Запаздывание объекта	$\tau = 11$
Порядок объекта	$n = 1$
Требуемая степень затухания переходных процессов в системе	0,9

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{об}(P) = \frac{2,26}{6 \cdot P + 1} \cdot e^{-P \cdot 11}$$

Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 14 представлена структурная схема системы регулирования.

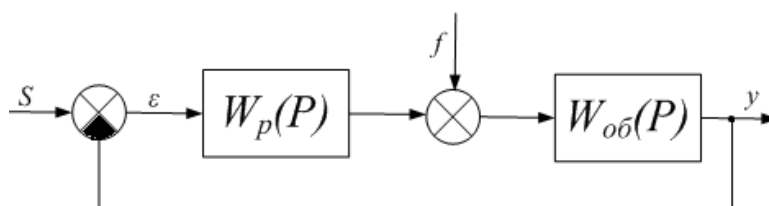


Рисунок 14 – Структурная схема системы регулирования

Определим границы заданной степени колебательности соответствующей степени затухания $\Psi=0,9$ (см. таблица 2):

$$m=0,366;$$

$$M=1,55.$$

Таблица 21 – Таблица соответствия оценок запаса устойчивости

Ψ	0	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,998	1
m	0	0,221	0,256	0,302	0,366	0,477	0,989	∞
M	∞	2,38	2,08	1,81	1,55	1,29	1	1

Передаточная функция объекта регулирования определяется по формуле:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P \cdot \tau} = \frac{2,26}{6 \cdot P + 1} \cdot e^{-P \cdot 11}$$

где P – оператор Лапласа.

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования. Расширенные частотные характеристики какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена $W(P)$ оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$, в выражениях для оператора Лапласа ω – частота, c^{-1} . В первом случае расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы m , а во втором – получение границы заданной степени устойчивости системы η в пространстве параметров настройки регулятора.

Произведем замену оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{2,26 \cdot e^{-11(-m\omega + i\omega)}}{[6(-m\omega + i\omega) + 1]}$$

регулирования рассчитываются по формулам при $m=0,366$:

Используя программу MathCad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 1 \text{ c}^{-1}$.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)).$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)).$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

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

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg \frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)} - k\pi, k = 0, 1, 2 \dots$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 20 в виде листинга расчета.

Таблица 22 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

ω, c^{-1}	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega), \text{рад}$
0	2,26	0,00	2,26	0,00
0,01	2,598	0,33	2,62	0,13
0,02	2,936	0,78	3,04	0,26
0,03	3,247	1,36	3,52	0,40
0,04	3,496	2,10	4,08	0,54
0,05	3,632	3,00	4,71	0,69
0,06	3,59	4,08	5,43	0,85
0,07	3,294	5,29	6,23	1,01
0,08	2,669	6,58	7,10	1,19
0,09	1,654	7,86	8,03	1,36
0,1	0,225	9,00	9,00	1,55
0,11	-1,593	9,85	9,98	-1,41
0,12	-3,712	10,30	10,95	-1,23
0,13	-6,002	10,25	11,87	-1,04
0,14	-8,313	9,67	12,75	-0,86
0,15	-10,507	8,60	13,58	-0,69
0,16	-12,476	7,11	14,36	-0,52
0,17	-14,152	5,28	15,10	-0,36
0,18	-15,503	3,19	15,83	-0,20
0,19	-16,521	0,93	16,55	-0,06
0,2	-17,215	-1,45	17,28	0,08
0,21	-17,599	-3,91	18,03	0,22
0,22	-17,689	-6,41	18,82	0,35
0,23	-17,501	-8,93	19,65	0,47
0,24	-17,044	-11,46	20,54	0,59
0,25	-16,325	-13,98	21,49	0,71
0,26	-15,348	-16,48	22,52	0,82
0,27	-14,11	-18,95	23,63	0,93
0,28	-12,607	-21,39	24,82	1,04
0,29	-10,834	-23,77	26,12	1,14
0,3	-8,782	-26,08	27,52	1,25
0,31	-6,441	-28,31	29,03	1,35
0,32	-3,801	-30,43	30,66	1,45
0,33	-0,852	-32,42	32,43	1,55
0,34	2,417	-34,26	34,34	-1,50
0,35	6,016	-35,91	36,41	-1,41
0,36	9,952	-37,34	38,64	-1,31
0,37	14,233	-38,51	41,06	-1,22
0,38	18,862	-39,38	43,66	-1,12

Продолжение таблицы 22

0,39	23,843	-39,90	46,48	-1,03
0,4	29,171	-40,03	49,53	-0,94
0,41	34,842	-39,70	52,82	-0,85
0,42	40,845	-38,86	56,38	-0,76
0,43	47,163	-37,45	60,22	-0,67
0,44	53,774	-35,40	64,38	-0,58
0,45	60,648	-32,64	68,88	-0,49
0,46	67,747	-29,10	73,73	-0,41
0,47	75,024	-24,71	78,99	-0,32
0,48	82,423	-19,37	84,67	-0,23
0,49	89,875	-13,02	90,81	-0,14
0,5	97,302	-5,58	97,46	-0,06
0,51	104,611	3,04	104,66	0,03
0,52	111,694	12,92	112,44	0,12
0,53	118,432	24,12	120,86	0,20
0,54	124,685	36,73	129,98	0,29
0,55	130,298	50,82	139,86	0,37
0,56	135,1	66,43	150,55	0,46
0,57	138,896	83,63	162,13	0,54
0,58	141,477	102,45	174,67	0,63
0,59	142,61	122,91	188,27	0,71
0,6	142,041	145,02	202,99	0,80
0,61	139,498	168,77	218,96	0,88
0,62	134,684	194,11	236,26	0,96
0,63	127,284	220,98	255,02	1,05
0,64	116,963	249,28	275,36	1,13
0,65	103,364	278,88	297,42	1,22
0,66	86,116	309,60	321,35	1,30
0,67	64,829	341,21	347,31	1,38
0,68	39,102	373,44	375,48	1,47
0,69	8,523	405,96	406,05	1,55
0,7	-27,325	438,38	439,23	-1,51
0,71	-68,86	470,24	475,25	-1,43
0,72	-116,497	500,99	514,36	-1,34
0,73	-170,637	530,03	556,82	-1,26
0,74	-231,666	556,66	602,94	-1,18
0,75	-299,938	580,07	653,03	-1,09
0,76	-375,772	599,40	707,45	-1,01
0,77	-459,435	613,63	766,57	-0,93
0,78	-551,136	621,69	830,81	-0,85
0,79	-651,001	622,36	900,63	-0,76
0,8	-759,07	614,32	976,51	-0,68
0,81	-875,269	596,15	1059,00	-0,60
0,82	-999,396	566,29	1149,00	-0,52
0,83	-1,13E+03	523,09	1246,00	-0,43
0,84	-1,27E+03	464,77	1352,00	-0,35
0,85	-1,42E+03	389,47	1468,00	-0,27

Продолжение таблицы 22

0,86	-1,57E+03	295,20	1593,00	-0,19
0,87	-1,72E+03	179,92	1729,00	-0,10
0,88	-1,88E+03	41,49	1878,00	-0,02
0,89	-2,04E+03	-122,27	2039,00	0,06
0,9	-2,19E+03	-313,58	2215,00	0,14
0,91	-2,35E+03	-534,67	2407,00	0,22
0,92	-2,49E+03	-787,72	2615,00	0,31
0,93	-2,63E+03	-1075,00	2841,00	0,39
0,94	-2,75E+03	-1398,00	3088,00	0,47
0,95	-2,86E+03	-1759,00	3357,00	0,55
0,96	-2,94E+03	-2160,00	3649,00	0,63
0,97	-3,00E+03	-2602,00	3968,00	0,72
0,98	-3,02E+03	-3087,00	4315,00	0,80
0,99	-2,99E+03	-3613,00	4692,00	0,88
1	-2,93E+03	-4183,00	5104,00	0,96

Построим РАФЧХ объекта регулирования (см. рисунок 15).

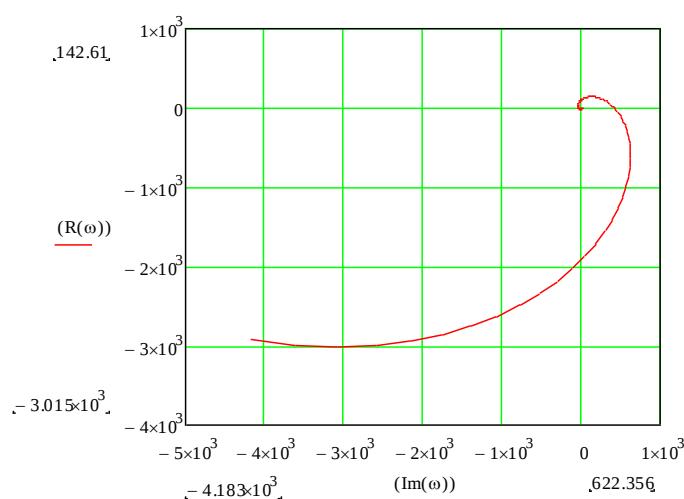


Рисунок 15 – РАФЧХ объекта регулирования

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)} ;$$

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{o\delta}(m, \omega) + Re_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)} ,$$

где K_p – коэффициент передачи ПИ-регулятора,

T_u – постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

Зададим диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,05 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$, определим настройки регулятора $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p в заданном диапазоне частот.

Результаты расчётов приведем в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчёта настройки ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0,00	0,442	0
0,01	0,361	-5,48E-04
0,02	0,287	-1,91E-03
0,03	0,222	-3,73E-03
0,04	0,164	-5,72E-03
0,05	0,114	-7,67E-03
0,06	0,071	-9,40E-03
0,07	0,035	-0,011
0,08	5,15E-03	-0,012
0,09	-0,019	-0,012
0,10	-0,038	-0,013
0,11	-0,052	-0,012
0,12	-0,062	-0,012
0,13	-0,069	-0,011
0,14	-0,073	-9,44E-03
0,15	-0,074	-7,94E-03
0,16	-0,073	-6,26E-03
0,17	-0,07	-4,46E-03
0,18	-0,067	-2,60E-03
0,19	-0,062	-7,31E-04
0,20	-0,056	1,11E-03
0,21	-0,05	2,87E-03
0,22	-0,043	4,52E-03
0,23	-0,037	6,04E-03
0,24	-0,03	7,39E-03
0,25	-0,024	8,58E-03
0,26	-0,018	9,58E-03
0,27	-0,013	0,01
0,28	-7,76E-03	0,011
0,29	-3,13E-03	0,011

Продолжение таблицы 23

0,30	1,01E-03	0,012
0,31	4,65E-03	0,012
0,32	7,80E-03	0,012
0,33	0,01	0,012
0,34	0,013	0,011
0,35	0,014	0,011
0,36	0,016	0,01
0,37	0,017	9,59E-03
0,38	0,017	8,90E-03
0,39	0,018	8,17E-03
0,40	0,018	7,40E-03
0,41	0,018	6,62E-03
0,42	0,017	5,82E-03
0,43	0,017	5,04E-03
0,44	0,016	4,26E-03
0,45	0,015	3,51E-03
0,46	0,014	2,79E-03
0,47	0,013	2,11E-03
0,48	0,012	1,47E-03
0,49	0,011	8,77E-04
0,50	0,01	3,33E-04
0,51	9,45E-03	-1,61E-04
0,52	8,46E-03	-6,02E-04
0,53	7,50E-03	-9,92E-04
0,54	6,58E-03	-1,33E-03
0,55	5,71E-03	-1,62E-03
0,56	4,89E-03	-1,86E-03
0,57	4,12E-03	-2,06E-03
0,58	3,41E-03	-2,21E-03
0,59	2,75E-03	-2,32E-03
0,60	2,16E-03	-2,39E-03

При частоте равной 0,035 найдены оптимальные настройки ПИ-регулятора объекта. На рисунке 15 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора.

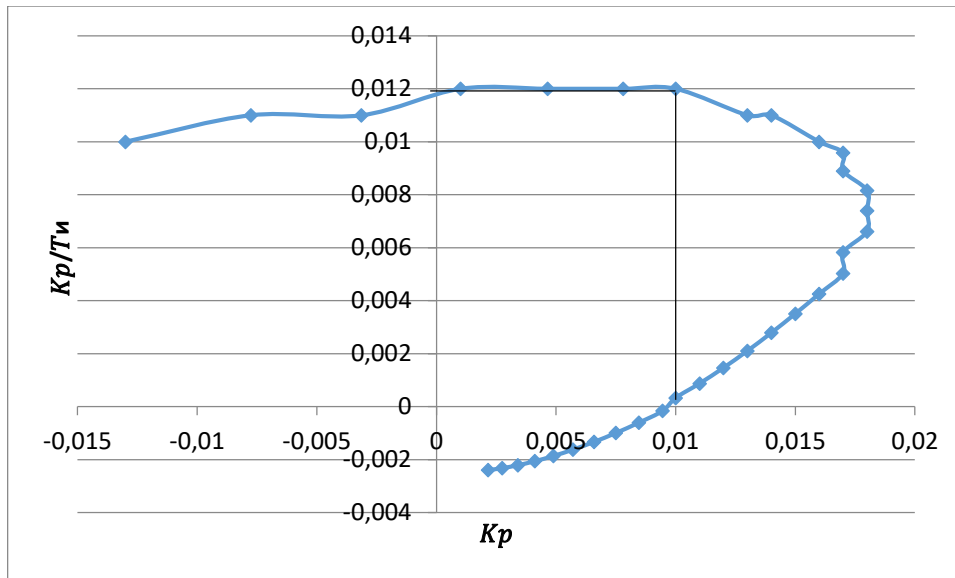


Рисунок 15 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

Полученная кривая является границей заданной степени затухания $\Psi_{\text{зад}}=0,9$ процесса регулирования, что соответствует степени колебательности ($m=0,366$). Таким образом, все значения $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания.

В качестве критерия оценки качества используется первая интегральная оценка. Минимальному значению этой оценки соответствует точка максимального значения $\frac{K_p}{T_u}$.

Из таблицы 23 определяем:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,012;$$

$$K_p = 0,01;$$

$$\text{резонансная частота } \omega = 0,33 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,01}{0,012} = 0,83 \text{ с}.$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 0,01 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,83 \cdot P}\right).$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия. Передаточная функция будет иметь вид:

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

где $W_{об}(P)$ — передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ — передаточная функция регулятора.

С помощью программы MathCad и предварительно задав диапазон изменения частоты $\omega=0 \dots 4 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega=0,01 \text{ с}^{-1}$, рассчитаем вещественную частотную характеристику замкнутой системы.

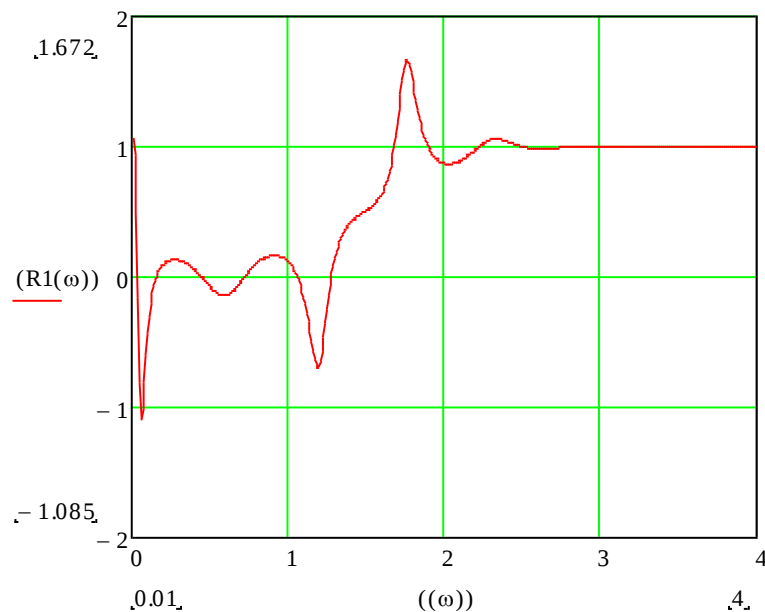


Рисунок 16 – Графическое изображение ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_{с,з}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega,$$

где $\omega_{с,з} = 2,5 \text{ с}^{-1}$ — частота среза, при которой график $Re(\omega)$ стремится к 0, данная частота определена графическим способом по рисунку 6.

На рисунке 17 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

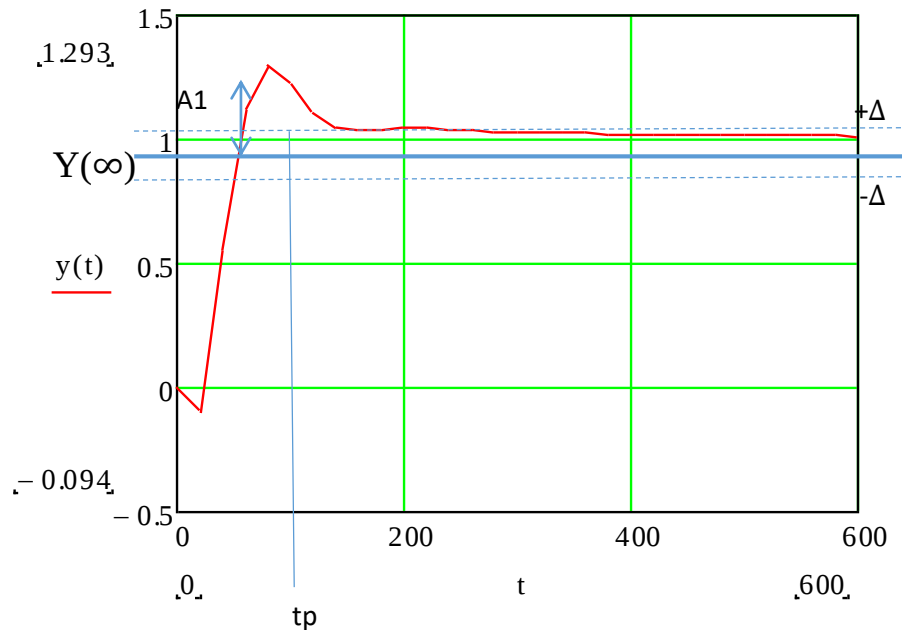


Рисунок 17 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Далее рассчитываем прямые оценки качества переходного процесса:

- Динамическая ошибка: $A_1 = 0,293$;
- Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{0,293 \cdot 100\%}{1} = 29,3\%$;
- Статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0$; где S – величина сигнала задания;
- Степень затухания: $\Psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,293 - 0}{0,293} = 1$, где A_2 – вторая амплитуда колебаний,
- Время регулирования $t_p = 125$ с.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Журба Евгений Аркадьевич

Школа	Инженерная школа энергетики	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	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 25%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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 ОСТН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Журба Евгений Аркадьевич		

Раздел 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Главная задача данного раздела заключается в том, чтобы проанализировать перспективы развития и оценить финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, который был представлен в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность продукта не ограничивается только лидерством его технических характеристик над конкурентами, но также зависит от разработчика, который должен решить следующие вопросы: будет ли продукт популярен на рынке, какова будет его стоимость, каков бюджет научных исследований и сколько времени потребуется на продвижение нового продукта на рынок.

В данном разделе будет рассмотрено несколько задач, включающих в себя:

- 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.

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

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были изучены два противоборствующих подхода к исследованию конвективных течений в слое жидкости:

1) Использование точечного нагрева лазером для исследования конвективных течений в слое жидкости;

2) Применение медного теплообменника для исследования конвективных течений в слое жидкости.

Необходим детальный анализ, так как характеристики конвективных течений в слое жидкости специфичны, а рассмотрение различных методов воздействия на эти течения с целью определения важных параметров для регулирования является значимым. Таблица 24 демонстрирует сравнение конкурентной разработки и данной разработки с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 24 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б ₁	Б ₂	Б ₁	Б ₂
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Актуальность исследования	0,2	5	3	1	0,6
2. Энергоэффективность	0,09	3	3	0,27	0,27
3. Уровень материалоемкости	0,05	4	3	0,2	0,15
4. Функциональная мощность	0,1	5	4	0,5	0,4
5. Простота эксплуатации	0,15	5	2	0,75	0,3
6. Ремонтопригодность	0,08	4	4	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,12	3	4	0,36	0,48
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,14	4	4	0,56	0,56
3. Стоимость обслуживания	0,07	4	3	0,28	0,21
Итого	1	37	30	4,24	3,29

Основываясь на анализе конкурентных технических решений, можно сделать вывод, что наше исследование является более перспективным в сравнении с другими.

Анализ конкурентных технических решений:

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

Где K – конкурентоспособность научного исследования; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл -го показателя.

$$K_1 = \sum B_i \cdot B_i$$

$$= 0,2 \cdot 5 + 0,09 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,12$$

$$\cdot 3 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 = 4,24;$$

$$K_2 = \sum B_i \cdot B_i$$

$$= 0,2 \cdot 3 + 0,09 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,08 \cdot 4 + 0,12$$

$$\cdot 4 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 3 = 3,29.$$

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что процесс микроперемешивания жидкостей с использованием точечного нагрева лазером является наиболее актуальной и перспективной, имеет конкурентоспособность.

5.1.2 Матрица SWOT

Для изучения окружающей среды научно-исследовательского проекта был применен метод SWOT-анализа, который позволил провести детальную оценку сильных и слабых сторон проекта, а также выявить возможности и угрозы.

На первом этапе была составлена матрица SWOT, в которой внимательно рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, а также выявлены возможности и угрозы для его реализации во внешней среде. Подробные данные описаны в таблице 25.

Таблица 25 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Высокая экологичность технологии С2. Простота эксплуатации	Слабые стороны: Сл1. Сложность настройки оптического оборудования Сл2. Привязка к конкретным параметр
Возможности В1. Значительное расширение географии применения технологии В2. Внедрение на отечественный рынок	СВ: 1. Высокая экологичность проекта даст повышенный спрос. 2. Использование дешёвых компонентов в исследовании даёт низкую себестоимость энергии.	СлВ: 1. Повышение спроса на установку приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.
Угрозы У1. Ограничения на экспорт технологии У2. Повышение стоимости компонентов системы	СУ: 1. Так как технология является экономичной и перспективной по сравнению с другими, значит, всегда будет привлекательна на рынке.	СлУ: 1. Сложности с настройкой и высокой стоимостью оборудования, приведет к отсутствию спроса на технологию.

SWOT-анализ помог выявить как сильные, так и слабые стороны научного исследования, а также имеющиеся возможности и угрозы для более эффективной его реализации.

Главными преимуществами этой системы является её экологичность и простота в эксплуатации, что оценивается как в России, так и за рубежом.

Тем не менее, система имеет некоторые недостатки, связанные в первую очередь с зависимостью от параметров объекта и сложностью настройки оптического оборудования. Однако также было выяснено, что эти недостатки можно устранить путем модернизации системы с использованием современных технологий.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования работы

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Обзор научной литературы	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Научный руководитель
	4	Подготовка лабораторной установки для проведения исследований	Инженер
	5	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение конвективных течений в слое жидкости	Инженер
	6	Обработка полученных данных	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
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

5.2.2 Структура работ в рамках научного исследования работы

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \text{ где } t_{ожі} - \text{ожидаемая трудоемкость выполнения } i\text{-ой}$$

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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{\chi_i},$$

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

χ_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 2023 году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в 2023 году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в 2023 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 27 укажем перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта

Таблица 27 – 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 лабораторной установки для проведения исследований	2	5	3,2	Инж.	-	3,2	-	5
Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик газификации угольного топлива.	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
Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	6	10	7,6	Инж.	-	7,6	-	11

Продолжение таблицы 27

Составление пояснительной записки	5	8	6,2	Инж.	-	6,2	-	9
Итого	71	114	88,2	-	17	80	24	118

Таблица 28 - График Ганта

№	Вид работы	Испол- нители	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 лабораторной установки для проведения исследований	Инж	5												
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик газификации угольного топлива.	Инж	22												
6	Обработка полученных данных	НР, инж	11												
7	Оценка эффективности результатов	НР	9												
8	Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита управления и мнемосхемы АСР.	Инж	33												
9	Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним.	Инж	18												

Продолжение таблицы 28

№	Вид работы	Испол- нители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	Оформление разделов «Соци- альная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ре- сурсоэффективность и ресур- сосбережение».	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.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ

Материальные затраты представляют собой расходы, которые организация делает на приобретение необходимых сырья и материалов для производства готовой продукции.

В данной части учитываются все затраты на материалы, которые использовались для получения исследуемого образца. Результаты расчета этих затрат можно увидеть в таблице 29.

Таблица 29 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода дистиллированная	л	0,0004	0,5	0,5
Родамин (краситель)	кг	0,000000015	100	100
Итого				100,5

5.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В исследовании используется специальное лабораторное оборудование:

- термopаpa ДТПК011-0,3/4 1;
- универсальный нормирующий преобразователь НПТ-1К.00.1.3;
- датчик температуры воздуха Т.п/п-420-Кл3-2;
- микро-расходомер жидкости FM-HL3012;
- датчик измерения мощности лазера PD300R-3W;
- виртуальный измеритель мощности лазера Juno;
- двухосевой гониометр 8-0031-МЭн2;
- двухосевой контроллер 8SMC5-USB-B9-2;
- мини-перистальтический насос KPP2-B04-12;

- лазер KLM-532/h/200;
- видеокамера DCC3260C;
- программируемый логический контроллер ПЛК154;

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для термопары ДТПК011-0,3/4 1:

$$H_A = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ \%}.$$

Норма амортизации для универсального нормирующего преобразователя НПТ-1К.00.1.3:

$$H_A = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ \%}.$$

Норма амортизации для датчика температуры воздуха Т.п/п-420-Кл3-2:

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

Норма амортизации для микро-расходомера жидкости FM-HL3012:

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

Норма амортизации для датчика измерения мощности лазера PD300R-3W:

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

Норма амортизации для виртуального измерителя мощности лазера Juno:

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

Норма амортизации для двухосевого гониометра 8-0031-МЭн2:

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

Норма амортизации для двухосевого контроллера 8SMC5-USB-B9-2:

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

Норма амортизации для мини-перистальтического насоса KPP2-B04-12 (3 шт):

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

Норма амортизации для лазера KLM-532/h/200:

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

Норма амортизации для видеокамеры DCC3260C:

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

Норма амортизации для программируемого логического контроллера ПЛК154:

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

Амортизация оборудования:

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

где И – итоговая сумма, тыс. руб.;

t время использования, мес.

Амортизация для термопары ДТПК011-0,3/4 1:

$$A = \frac{0,33 \cdot 233}{12} \cdot 3 = 19,2 \text{ руб.}$$

Амортизация для универсального нормирующего преобразователя НПТ-1К.00.1.3:

$$A = \frac{0,33 \cdot 5064}{12} \cdot 3 = 417,78 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика температуры воздуха Т.п/п-420-Кл3-2:

$$A = \frac{0,1 \cdot 3348}{12} \cdot 3 = 83,7 \text{ руб.}$$

Амортизация для микро-расходомера жидкости FM-HL3012:

$$A = \frac{0,2 \cdot 427}{12} \cdot 3 = 21,35 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика измерения мощности лазера PD300R-3W:

$$A = \frac{0,1 \cdot 11467}{12} \cdot 3 = 286,67 \text{ руб.}$$

Амортизация для виртуального измерителя мощности лазера Juno:

$$A = \frac{0,1 \cdot 450}{12} \cdot 3 = 11,25 \text{ руб.}$$

Амортизация для двухосевого гониометра 8-0031-МЭН2:

$$A = \frac{0,1 \cdot 137650}{12} \cdot 3 = 3441,25 \text{ руб.}$$

Амортизация для двухосевого контроллера 8SMC5-USB-B9-2:

$$A = \frac{0,1 \cdot 64273}{12} \cdot 3 = 1606,82 \text{ руб.}$$

Амортизация для мини-перистальтического насоса KPP2-B04-12 (3 шт):

$$A = \frac{0,2 \cdot 2498 \cdot 3}{12} \cdot 3 = 374,7 \text{ руб.}$$

Амортизация для лазера KLM-532/h/200:

$$A = \frac{0,1 \cdot 12756}{12} \cdot 3 = 318,9 \text{ руб.}$$

Амортизация для видеокамеры DCC3260C:

$$A = \frac{0,1 \cdot 333060}{12} \cdot 3 = 8326,5 \text{ руб.}$$

Амортизация для программируемого логического контроллера ПЛК154:

$$A = \frac{0,1 \cdot 43740}{12} \cdot 3 = 1093,5 \text{ руб.}$$

Таблица 30 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол- во ед.	Срок по- лезного исполь- зования	Цена обо- рудова- ния, тыс. руб.	Время исполь- зования, мес.	H_A , %	Амор- тиза- ция, руб.
1	Термопара ДТПК011-0,3/4 1	1	3	233	3	33	19,2

Продолжение таблицы 30

2	Универсальный нормирующий преобразователь НПТ-1К.00.1.3	1	3	5064	3	33	417,78
3	Датчик температуры воздуха Т.п/п-420-Кл3-2	1	10	3348	3	10	83,7
4	Микро-расходомер жидкости FM-HL3012	1	5	427	3	20	21,35
5	Датчик измерения мощности лазера PD300R-3W	1	10	11467	3	10	286,67
6	Виртуальный измеритель мощности лазера Juno	1	10	450	3	10	11,25
7	Двухосевой гониометр 8-0031-МЭн2	1	10	137650	3	10	3441,25
8	Двухосевой контроллер 8SMC5-USB-B9-2	1	10	64273	3	10	1606,82
9	Мини-перистальтический насос KPP2-B04-12	3	5	2498	3	20	374,7
10	Лазер KLM-532/h/200	1	10	12756	3	10	318,9
11	Видеокамера DCC3260C	1	10	333060	3	10	8326,5
12	Программируемый логический контроллер ПЛК154	1	10	43740	3	10	1093,5
Итого:							16001,62

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника:

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

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

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

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 3279,9 \cdot 17 = 55758,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 1638 \cdot 80 = 131040 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $З_{\text{м}}$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 31 – 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):

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

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{31590 \cdot 11,2}{216} = 1638 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31785 \text{ руб.}$$

Таблица 32 – Основная заработная плата

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
НР	39300	0,3	0,2	1,3	76635	3279,9	17	55758,3
Инж	16300	0,3	0,2	1,3	31785	1638	80	131040
Итого $З_{осн}$								186798,3

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (55758,3 + 6691) = 18734,8 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (131040 + 15724,8) = 44029,4 \text{ руб.}$$

5.3.5 Накладные расходы

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

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

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

Таблица 33 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	100,5
Затраты на оборудование	16001,62
Затраты на основную заработную плату	186798,3
Отчисления во внебюджетные фонды	62764,2
Накладные расходы	42590,7

5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 34 – Бюджет затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
Материальные затраты	100,5	15	Пункт 1.3.1
Затраты на оборудование	16001,62	33953,22	Пункт 1.3.2
Затраты на основную заработную плату	186798,3	186798,3	Пункт 1.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	62764,2	62764,2	Пункт 1.3.5
Накладные расходы	42590,7	45364,9	Пункт 1.3.6
Бюджет затрат НИР	308154,37	328895,62	Сумма ст. 1–6

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

1) Использование точечного нагрева лазером для исследования конвективных течений в слое жидкости;

2) Применение медного теплообменника для исследования конвективных течений в слое жидкости.

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.

$$\Phi_{p1} = 308154,37 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 328895,62 \text{ руб.},$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{308154,37}{328895,62} = 0,936,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{328895,62}{328895,62} = 1.$$

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 35 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2
1. Способствует росту производительности труда	0,15	5	5
2. Динамическая точность системы	0,2	5	4
3. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4
4. Надёжность	0,2	4	4
5. Качество регулирования	0,2	5	4
6. Простота наладки	0,15	5	5
Итого:	1	4,8	4,6

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

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,8}{0,936} = 5,13;$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,3}{1} = 4,3.$$

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

Таблица 36 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,936	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,8	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,13	4,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,867

Сравнивая полученные средние интегральные показатели, позволили сделать вывод о том, что текущее исследование (Исп.1) является наиболее финансово- и ресурсоэффективным.

Мы можем утверждать, что наше научное исследование превосходит конкурентов в эффективности.

5.5 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, основная заработная плата исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов. Произведен расчет бюджета затрат НИР, который составил 308154,37 руб.;

7) Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,936, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,8, интегральный показатель эффективности равен 5,13. При сравнении показателей нашего проекта с показателями другого, можно сделать вывод, что наш проект является финансово выгодным и более эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Журба Евгений Аркадьевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ЗА СЧЕТ ИНДУЦИРОВАНИЯ КОНВЕКЦИИ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение — Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. — Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	Объект автоматизации: Лабораторный стенд системы мониторинга процесса микроперемешивания жидкостей за счёт индуцированной конвекции Область применения: Фармакология, химия Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения: 20 м² Количество и наименование оборудования рабочей зоны: - термopapa (1); - универсальный нормирующий преобразователь температуры (1); - датчик температуры воздуха (1); - микро-расходомер жидкости (1); - датчик измерения мощности лазера (1); - двухосевой гониометр (1); - двухосевой контроллер (1); - твердотельный одномодовый непрерывный лазер (1); - научная видеокамера (1); - мини-насос (3); - программируемый логический контроллер (1); - персональный компьютер (1). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: мониторинг процесса микроперемешивания жидкостей в тонком и толстом слое жидкости, контроль параметров и исправности оборудования.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ; -ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:	Вредные факторы: - лазерное излучение (прямое, рассеянное или отраженное) Опасные факторы:

– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	- факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты: - оптические фильтры для работы с лазерным излучением; - изолирующие устройства и покрытия; - экранирование пучка.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:	Воздействие на атмосферу: - скопление пыли на рабочем месте. Воздействие на литосферу: - утилизация твердых бытовых отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации:	Возможные ЧС: - техногенные ЧС (пожары, угроза взрывов) 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	Журба Евгений Аркадьевич		

Раздел 6. Социальная ответственность

Данная выпускная квалифицированная работа по теме «Система автоматического регулирования процесса микроперемешивания жидкостей за счёт индуцирования конвекции» посвящена изучению возникновения конвективных течений в тонком и толстом слое жидкости, которые происходят из-за неравномерного распределения температур, и автоматизации процесса мониторинга с помощью лабораторного стенда. Для этого используется техника, такая как: термopара (1), универсальный нормирующий преобразователь (1), датчик температуры воздуха (1), микро-расходомер жидкости (1), датчик измерения мощности лазера (1), двухосевой гониометр (1), двухосевой контроллер (1), твердотельный одномодовый непрерывный лазер (1), научная видеокамера (1), мини-насос (3), программируемый логический контроллер (1), персональный компьютер (1). Рабочие процессы включают мониторинг конвективных течений, контроль параметров и исправности оборудования. Вся работа проводится в лаборатории площадью 20 квадратных метров.

В этом разделе будут рассмотрены ключевые аспекты социальной ответственности на всех этапах создания данного проекта.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно [20-21] работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;

- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;
- обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Для работы в должности инженера-оператора АСУ допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации и прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом [22]. Также необходимо пройти проверку знаний требований по безопасности труда и получить допуск к самостоятельной работе. Кроме того, инженер-оператор АСУ должен иметь группу по электробезопасности III уровня [23].

III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять 78 работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады [24].

Инженер-оператор АСУ должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [23].

6.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [24] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя:

1) конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [24];

2) рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [24].

Требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования установлены в [24]:

Показатели микроклимата производственных помещений регламентированы в [26] и должны обеспечивать: температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

6.3 Производственная безопасность

Производственная безопасность является комплексом мер, направленных на снижение рисков воздействия опасных производственных факторов, вредных эффектов технологических процессов, энергии, инструментов, условий и режимов труда на рабочий персонал до допустимого уровня. Важно выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникнуть при работе с лабораторным стендом. Установка относится к 3 классу по степени опасности лазерного излучения [27,28]. Согласно ГОСТ 12.0.003-2015, в таблице 35 перечислены возможные опасные и вредные факторы.

Таблица 37 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора лабораторного стенда системы мониторинга конвективных течений

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Лазерное излучение (прямое, рассеянное или отраженное)	ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения.
2. 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

6.3.1 Лазерное излучение

Лазерное излучение создается в оптических квантовых генераторах (лазерах), представляя собой когерентное оптическое излучение с высокой направленностью и большой плотностью энергии. Оно формируется в основном элементе лазера, который называется активной средой. Для создания активной среды используются различные методы, включая воздействие светом не лазерных источников, электрический разряд в газах, химические реакции, бомбардировку электрическим пучком и др.

Лазеры подразделяются на следующие классы по степени опасности лазерного излучения [28]: класс I - малоопасный (воздействие на глаза только от прямого и зеркально отраженного излучения), класс II - средней опасности (воздействие на глаза и кожу от прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения), класс III - опасный (воздействие на глаза и кожу от прямого, зеркально и диффузно отраженного излучения, а также другие опасности и вредные производственные факторы), и класс IV - высокой опасности (характерные для лазеров I-III классов опасности, а также ионизирующее излучение превышающее допустимые пределы). Работы с лазерами следует проводить в специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений.

Внутри помещений, оборудования и предметов не должно быть зеркально отражающихся поверхностей, если на них может падать прямой или отраженный луч лазера. Доступ в помещение или зону с действующими лазерными установками должен быть ограничен лицами, не имеющими отношения к работе с установками. Рекомендуется использовать защитные очки из специального стекла в качестве индивидуальных средств защиты.

6.3.2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи и возможность поражения электрическим током

На всех рабочих местах существует риск поражения электрическим током, который может вызвать термические, электролитические и биологические последствия для организма человека. Действие электрического тока может привести к местным электротравмам и электрическим ударам [31].

6.4 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность подразумевает приемлемый уровень негативного воздействия, как естественных, так и антропогенных факторов экологической опасности, на окружающую среду и человека.

Когда работают на лабораторном стенде, нет выброса вредных веществ, газов, аэрозолей, дыма и т. д. в воду, атмосферу или вентиляцию, а также нет выхода из рабочей зоны, который превышает допустимые уровни ПДК.

Поэтому, отрицательное влияние на атмосферу будет ограничиваться только наличием пыли на рабочем месте, а влияние на литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов, таких как бумага, краситель и т.д.

Для обеспечения экологической безопасности принимаются следующие решения:

Для атмосферы - на рабочем месте проводится ежедневная влажная уборка и проветривание помещения.

Для литосферы - твердые бытовые отходы удаляются, затем подвергаются переработке в соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85 [32].

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.07-95 [33], чрезвычайная ситуация - это ситуация, которая произошла на определенной территории в результате аварии, стихийного бедствия или опасного природного явления, которая может повлечь за собой человеческие жертвы или ущерб окружающей среде.

Возможными чрезвычайными ситуациями на данном объекте являются пожары и взрывы. Пожар может возникнуть на месте установки лазера из-за механического повреждения оборудования или несоблюдения мер безопасности при эксплуатации.

В случае возникновения пожара, персонал предприятия должен следовать последовательным действиям:

1. Если сотрудник заметил возгорание, ему следует немедленно сообщить об этом в пожарную службу.
2. Необходимо вывести не задействованный в тушении персонал с объекта пожара до прибытия спасателей.
3. Электричество должно быть отключено во всем здании, и все работы на объекте должны быть прекращены до начала тушения.
4. При поломке автоматической системы пожаротушения необходимо включить ее ручную.
5. Ответственный персонал должен использовать первичные средства пожаротушения и приступить к тушению возгорания.
6. Определяются сотрудники, которые будут встречать пожарные бригады и направлять их на место возгорания.

Вывод по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были изучены вопросы, связанные с обеспечением безопасности в вопросах права и организации, производственной и экологической безопасности, а также в условиях чрезвычайных ситуаций. Результаты исследования являются практически значимыми, поскольку соблюдение правил и норм позволяет добиться стабильности производственных процессов и исследований без угрозы для окружающей среды и персонала.

Этот раздел целенаправлен на обеспечение комфортных условий работы, соблюдение норм вредного воздействия на окружающую среду и персонал, а также на разработку методов предотвращения чрезвычайных ситуаций и определение порядка действий при их возникновении.

Отметим, что помещение, с точки зрения ПУЭ, относится к категории помещений с низким уровнем опасности [35].

Согласно [36], профессиональный инженер-оператор АСР должен быть отнесен к III категории по электробезопасности. Это дает ему возможность безопасно выполнять такие задачи, как отключение, переключение и выключение электрооборудования, участие в текущей эксплуатации и наблюдение за безопасностью других работников.

В соответствии с СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", трудность труда отнесена к категории 1б.

Согласно [37], категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности соответствует категории Г, которая охватывает негорючие вещества и материалы в состоянии нагрева, расплавления или раскаленности, процессы обработки которых сопровождаются выделением лучистого тепла, искр и пламени.

Кроме того, согласно [38], данный объект отнесен к IV категории объектов, имеющих умеренное отрицательное воздействие на окружающую среду.

Список используемых источников

1. Bodenschatz E., Pesch W., Ahler G., Recent development in Rayleigh-Benard convection // *Annu. Rev. Fluid Mech.* – 2000. – Vol. 790. – No. 1 - 709–778 с.
2. Alexeev A., Gambaryan-Roisman T., Stephan P., Marangoni convection and heat transfer in thin liquid films on heated walls with topography // *Experiments and numerical study.* – 2015. – Vol. 17. – No. 1 - 8-15 с.
3. Shevtsova V.M., Nepomnyashchy A.A., Legros J.C., Thermocapillary-buoyancy convection in a shallow cavity heated from the side // *Phys. Rev.* – 2003. – Vol. 263. – No. 2 – 136-216 с.
4. Weon B.M., Je J.H., Capillary force repels coffee-ring effect // *Phys. Rev.* – 2010. – Vol. 80. – No. 1 – 47-57 с.
5. Misyura S.Y., Egorov R.I., Morozov V.S., Zaitsev A.S., The behavior of heat transfers and entropy in a thin layer of liquid under laser heating // *International Journal of Thermal Sciences.* – 2023. – Vol. 185. – No. 1 – 34 - 81 с.
6. Misyura S.Y., The influence of characteristic scales of convection on non-isothermal evaporation of a thin liquid layer // *Sci. Rep.* – 2018. – Vol. 8. – No. 1 – 34 - 81 с.
7. ГОСТ 21.208-2013. Межгосударственный стандарт. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200108003>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Термопара с кабельным выводом ДТПК014-00.25/0,2. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pribor-x.ru/catalog/izmeriteli_parametrov_okruzhayushchey_sredy/termogigrometry_loggery/termopara_s_kabelnym_vyvodom_dtpk014_00_25_0_2/?ysclid=lib0or73ta530508065, свободный. – Загл. с экрана.

9. Нормирующий преобразователь НПТ – 1К.00.1.3. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/uploads/142/re_npt-1k.00.1.3_2815_a4.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
10. Датчик температуры воздуха Т.п/п–420–Кл3-2. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://relsib.com/product/datchik-temperature-vozduha-tp-420-kl3-2?ysclid=lxhff42ad3113419584>, свободный. – Загл. с экрана.
11. PD300R-3W. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ophiropt.com/laser--measurement/ru/laser-power-energymeters/products/Laser-Photodiode-Sensors/Round-Photodiode-Sensors/PD300R3W>, свободный. – Загл. с экрана.
12. Juno. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ophiropt.com/lasermeasurement/laserpowerenergymeters/products/pc-interface/juno>, свободный. – Загл. с экрана.
13. 8-0031 - Двухосевой гониометр. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lenlasers.ru/product/8-0031-dvuhosevoj-goniometr/?ysclid=lib28ensea422937948>, свободный. – Загл. с экрана.
14. 8SMC5-USB - Контроллер для DC и шаговых двигателей. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lenlasers.ru/product/8smc5-usb-kontroller-dlya-dc-i-shagovyh-dvigatlej/sku/78055/?ysclid=lib2bx8eth349612392>, свободный. – Загл. с экрана.
15. DCC3260C – High-Resolution USB 3.0 CMOS Camera, 1936 x 1216, Global Shutter, Color Sensor. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступ <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=DCC3260C>, свободный. – Загл. с экрана.
16. GT 2.0 – 2MP USB2.0 CMOS Camera with Frame Rate Greatly Improved. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступ <https://www.tucsen.com/gt-2-0-product/>, свободный. – Загл. с экрана.

17. ФТИ-ОПТРОНИК – KLM-532/h/2000. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fti-optronic.com/images/stories/pdfs/klm-532-h-2000.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

18. Основная схемотехническая проектная и конструкторская документация при разработке АСУ ТП / Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 101 с.

19. Phoenix Contact DIN-рейка, с перфорацией NS 35/ 7,5 PERF. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elevel.ru/shop/din-reyki/phoenix-contact-din-reyka-s-perforatsiey-ns-35-7-5-perf/>, свободный. – Загл. с экрана.

20. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

21. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.

22. КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) 93 опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

23. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://firedeclaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

25. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

26. СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

27. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. — 5-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2009. — 335 с.

28. ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200311>, свободный. – Загл. с экрана.

29. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования 94 безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.

30. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

31. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, которое может воздействовать на человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

32. ГОСТ 17.4.3.04-85. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200020658>, свободный. – Загл. с экрана.

33. ГОСТ Р 22.0.07-95. Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001514>, свободный. – Загл. с экрана.

34. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973>, свободный. – Загл. с экрана.

35. Министерство энергетики Российской Федерации. Приказ от 8 июля 2002 года N 204 «Об утверждении глав правил устройства электроустановок». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456072457>, свободный. – Загл. с экрана.

36. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок». [Электронный ресурс]. 95 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264184>, свободный. – Загл. с экрана.

37. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156>, свободный. – Загл. с экрана.

38. Правительство Российской Федерации. Постановление от 31 декабря 2020 года N 2398, «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III

и IV категорий». [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://docs.cntd.ru/document/573292854>, свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А

(обязательное)

Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Высокая экологичность технологии С2. Простота эксплуатации	Слабые стороны: Сл1. Сложность настройки оптического оборудования Сл2. Привязка к конкретным параметрам
Возможности В1. Значительное расширение географии применения технологии В2. Внедрение на отечественный рынок	СВ: 1. Высокая экологичность проекта даст повышенный спрос. 2. Использование дешёвых компонентов в исследовании даёт низкую себестоимость энергии.	СлВ: 1. Повышение спроса на установку приведет к повышению потребности в квалифицированном персонале.
Угрозы У1. Ограничения на экспорт технологии У2. Повышение стоимости компонентов системы	СУ: 1. Так как технология является экономичной и перспективной по сравнению с другими, значит, всегда будет привлекательна на рынке.	СлУ: 1. Сложности с настройкой и высокой стоимостью оборудования, приведет к отсутствию спроса на технологию.

Приложение Б

(обязательное)

Календарный план-график проекта

№	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 лабораторной установки для проведения исследований	Инж	5												
5	Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик газификации угольного топлива.	Инж	22												
6	Обработка полученных данных	НР, инж	11												
7	Оценка эффективности результатов	НР	9												

№	Вид работы	Испол- нители	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	33												
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.