

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизированная система управления процессом приготовления проб для лабораторной установки

УДК 681.51:543.054:542.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Кралинова Светлана Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Жданова Алена Олеговна	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Крапиновой Светлане Сергеевне

Тема работы:

Автоматизированная система управления процессом приготовления проб для лабораторной установки	
Утверждена приказом директора №	3703/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом автоматизации является процесс приготовления проб для лабораторной установки, предназначенной для измерения теплофизических характеристик. Производство проб для установки представляет собой периодический процесс, который состоит из совокупности дискретных процессов. Управление процессом осуществляется путем управления сменой функциональных состояний оборудования периодического действия. При разработке системы управления процессом приготовления проб для лабораторной установки предусмотреть возможность регулирования расхода жидкого азота, необходимого для охлаждения установки. Использовать современные микропроцессорные технические средства автоматизации для реализации функций управления процессом приготовления проб для лабораторной установки.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Обзор литературы, связанной с методами измерения теплофизических характеристик. 2 Определение теплофизических характеристик лесного горючего материала. 3 Проектирование АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки 4 Разработка щита управления АСУ. 5 Расчет параметров настройки регулятора. 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.18
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Жданова А.О.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Кралинова Светлана Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 104 с., 14 рис., 22 табл., 66 источников.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, теплофизические характеристики, лесной горючий материал, метод лазерной вспышки, автоматизированная система управления, дискретный процесс, микропроцессорные технические средства автоматизации, проектирование.

Объектом автоматизации является процесс приготовления проб для лабораторной установки, предназначенной для определения теплофизических характеристик веществ.

Цель работы – определение теплофизических характеристик лесного горючего материала (ЛГМ) как объекта распространения низового пожара, формирование базы данных теплофизических характеристик типичных ЛГМ наиболее пожароопасных регионов РФ в характерном для низового пожара диапазоне температур, а также проектирование автоматизированной системы управления процессом приготовления проб для лабораторной установки по определению теплофизических характеристик.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки, проектирование функциональной схемы, принципиальной электрической и монтажной схем, а также разработка чертежа общего вида щита автоматизации, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления процессом приготовления проб для лабораторной установки по определению теплофизических характеристик на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Оглавление

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	11
1 Методы измерения теплофизических характеристик	14
1.1 Системы определения температуропроводности	15
1.1.1 Определение температуропроводности методом лазерной вспышки.....	15
1.1.2 Архитектура системы приборов по анализу температуропроводности...	17
1.2 Методы определения теплопроводности.....	18
1.2.1 Метод сравнительного продольного теплового потока	20
1.2.2 Метод горячей охранной зоны.....	21
1.2.3 Метод греющих плит	22
1.2.4 Метод горячей проволоки	22
1.2.5 Сравнение методов определения теплопроводности	23
2 Определение теплофизических характеристик ЛГМ при оценке скорости распространения импульса тепла в толще образца	26
3 Проектирование АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки.....	30
3.1 Выбор структуры автоматизированной системы управления.....	32
3.2 Разработка функциональной схемы АСУ	36
3.3 Выбор технических средств.....	38
3.3.1 Выбор технических средств измерения расхода	39
3.3.2 Выбор уровнемера.....	39
3.3.3 Выбор датчика движения	41
3.3.4 Выбор регулирующего органа	42
3.3.5 Выбор ПЛК	43
3.4 Выбор технологического оборудования.....	46
3.4.1 Выбор роторной мельницы	46
3.4.2 Выбор пресса	47
3.4.3 Выбор исполнительного механизма.....	48
3.4.4 Выбор средств измерения массы.....	50
3.5 Проектирование принципиальной электрической схемы АСУ	51
3.6 Проектирование монтажной схемы АСУ	53

3.7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ	56
4 Расчет параметров настройки регулятора	57
4.1 Идентификация объекта управления	57
4.2 Расчет параметров настройки регулятора	60
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
5.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	73
5.2 Смета затрат на проект	74
5.2.1 Материальные затраты	75
5.2.2 Затраты на амортизацию	75
5.2.3 Затраты на заработную плату	75
5.2.4 Затраты на социальные нужды	76
5.2.5 Прочие затраты.....	77
5.2.6 Накладные расходы.....	77
5.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	78
6 Социальная ответственность	82
6.1 Профессиональная социальная ответственность.....	83
6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	83
6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	84
6.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	85
6.2 Экологическая безопасность.....	86
6.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	87
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	87
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	88
6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	88
6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	89
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	90

6.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)	
правовые нормы трудового законодательства	90
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	91
6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	92
Заключение	93
Список использованных источников	95
Приложение А	103
Приложение В.....	104
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.007 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.007 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.007 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.007 ВО	Общий вид щита автоматизации

Обозначения и сокращения

ЛГМ – лесные горючие материалы;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ – автоматизированная система управления.

Введение

Лесными пожарами называется стихийное неконтролируемое горение растительности на лесной площади. Лесные пожары наносят вред глобального характера на экологические, экономические и социальные сферы деятельности жизни многих стран мира [1–3]. Пожары представляют угрозу жизни и здоровью человека, животных, уничтожают собственность, оказывают негативное влияние на состояние окружающей среды. В результате пожаров снижаются защитные, водоохранные и другие полезные свойства леса, уничтожается фауна, сооружения, а в отдельных случаях и населенные пункты. Именно поэтому очень важно дать точный прогноз возникновения лесных пожаров. Это позволит сосредотачивать силы и средства пожарных в предполагаемые зоны возгорания.

Проблема лесных пожаров для нашей страны весьма актуальна, так как бореальная зона лесов России занимает лидирующее место в мировом сообществе [4, 5]. В 2015 году на территории Дальневосточного, Сибирского и Уральского федеральных округов России пришлось около 95 % всей пройденной огнем площади [4]. При этом зарегистрированы [4] все возможные категории лесных пожаров: низовые, верховые, смешанные. Известно [6, 7], что по большей части основной участок леса сгорает в режиме низового пожара – более 80 %. Как показывает практика, количество вспышек лесных пожаров с каждым годом не уменьшается даже при усовершенствовании систем прогноза лесной пожарной опасности. Так, по данным МЧС России в 2016 году чрезвычайная обстановка была объявлена на территории Дальневосточного, Сибирского и Уральского федеральных округов. Негативная статистика лесопожарных происшествий во многом обусловлена отсутствием в настоящее время теоретических положений, которые могли бы стать основой высокоэффективных методик прогноза лесной пожарной опасности.

Лесные пожары не только уничтожают запасы древесины, но и влияют на биоценозы в целом. Ярус травянистой растительности оказывает влияние на биоразнообразие экосистем [8]. Проанализировано [9] влияние пожара на

бобовые культуры в лесных экосистемах, а также [10] проведена оценка потенциала восстановления грибов после лесных пожаров.

Как известно, низовое возгорание бореальной зоны чаще всего становится причиной верхового пожара (беглого или устойчивого) [5–7]. Ликвидация стихийных бедствий такого характера сопровождается рядом трудностей [5–7]. В первую очередь, погодные условия оказывают определяющее влияние на процесс подавления реакции термического разложения лесных горючих материалов (ЛГМ) [5]. Также немаловажным фактором является суточный цикл развития пожара [11]. Вследствие достаточно частых засух, продолжительного отсутствия осадков, высоких температур для ряда регионов мира (особенно, в Австралии, США, Канаде, Португалии, России и других странах) благоприятные для подавления горения погодные условия маловероятны. Необходимы эффективные технологии пожаротушения.

Для прекращения пламенного горения и пиролиза лесной подстилки, как правило, предпринимаются попытки применить авиацию (самолеты и вертолеты) [12]. Организация процессов сдерживания или замедления распространения фронта горения, тушения и ликвидации возгораний традиционно предполагает локальный сброс тушащей жидкости с борта летательного аппарата в зону горения [13, 14]. Результаты исследований [13] показали, что основная масса сброшенной таким образом жидкости проходит в грунт на малых площадях поверхности и не подавляет реакцию пиролиза в слоях бореального массива. Установлено [13-15], что лишь 5–7 % от общего объема водяного массива, израсходованного для снижения температуры разлагающегося ЛГМ, может испариться в условиях прекращения пламенного горения и пиролиза лесного горючего материала.

Как показывает практика, предупредить возникновение пожара не всегда предоставляется возможным, однако по характеристикам очага возгорания, по составу его горючих материалов и рельефа местности можно прогнозировать распространение пожара. Процессы зажигания лесных горючих материалов (ЛГМ) в условиях природных и техногенных катастроф исследованы численно

[16] и экспериментально [17]. Также эмпирически установлены [18] предельные условия потухания ЛГМ при постоянных и переменных воздействиях потока инертного газа в зону горения.

При этом важной составляющей в условиях возгорания надпочвенного покрова являются не только физические аспекты процесса горения, но и химия стадий деструкции ЛГМ [19], его теплофизические свойства, а также кинетика пиролиза горючего материала [20]. Выяснено также, что теплофизические свойства горючих материалов необходимы для решения задач воспламенения, зажигания и проведения расчетов в процессе проектирования прогностических моделей разложения и подавления реакции пиролиза в слоях лесного массива [21]. Данные характеристики также необходимы для использования их в качестве входных параметров в математических моделях распространения и возникновения лесных пожаров для численного решения уравнений [21-24]. В связи с этим возникает необходимость сформировать базу исходных данных таких характеристик.

Однако целенаправленные и систематические исследования теплофизических свойств лесных горючих материалов не проводились, в связи с этим опубликовано недостаточно данных по влиянию теплофизических свойств ЛГМ на процесс прекращения его термического разложения в условиях температур, сопоставимых с реальными при низовом пожаре.

В данной работе будет рассмотрен измерительный комплекс для измерения теплофизических характеристик ЛГМ, основанный на методе лазерной вспышки.

Несмотря на многочисленные достоинства метода, на практике возникает ряд трудностей, затрудняющих процесс проведения экспериментальных исследований: затрачивается длительное время на настройку оборудования, появляется необходимость вручную вносить коррективы в работу системы во время проведения эксперимента. Например, контролировать и поддерживать необходимое количество расхода азота, необходимого для охлаждения установки во время ее функционирования. Кроме

того, для измерения система требует определенную геометрию используемых образцов, так как минимальное отклонение от требований системы приводит к большим погрешностям. Эти факторы негативно влияют на качество и точность полученных результатов.

При этом увеличивается длительность проведения экспериментов и затрудняется использование установки, поэтому целесообразно автоматизировать процесс производства проб для установки, а также отдельные участки комплекса, чтобы свести данные недостатки к минимуму.

Цель данной работы – определение теплофизических характеристик лесного горючего материала как объекта распространения низового пожара, формирование базы данных теплофизических характеристик типичных лесных горючих материалов наиболее пожароопасных регионов РФ в характерном для низового пожара диапазоне температур, а также проектирование автоматизированной системы управления процессом приготовления проб для лабораторной установки по определению теплофизических характеристик ЛГМ.

1 Методы измерения теплофизических характеристик

Условия возникновения и распространения лесных низовых пожаров во многом будут определяться пожарно-техническими (воспламеняемость, распространение пламени по поверхности) и теплофизическими (температуропроводность, теплопроводность, теплоемкость) характеристиками лесных горючих материалов, поэтому наличие информации о теплофизических характеристиках ЛГМ является необходимым условием для разработки адекватной математической модели его зажигания и подавления термического разложения [23,24].

Рассмотрим подробнее существующие методы измерения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости.

1.1 Системы определения температуропроводности

1.1.1 Определение температуропроводности методом лазерной вспышки

Температуропроводность – это теплофизическая характеристика вещества, определяемая как отношение теплопроводности к объемной теплоемкости. В системе единиц СИ она имеет размерность $\text{см}^2/\text{с}$. Наиболее популярным методом измерения температуропроводности является метод лазерной вспышки (лазерного импульса). Его преимуществом является возможность быстрого измерения параметра с высокой точностью и воспроизводимостью.

Метод лазерной вспышки для измерения температуропроводности предполагает однородную засветку передней поверхности небольшого образца коротким импульсом энергии (излучения). Динамика роста температуры задней поверхности записывается по данным высокоскоростного твердотельного оптического датчика с очень быстрым тепловым откликом, а значение температуропроводности определяется по временной термограмме задней поверхности. Данный метод в начале шестидесятых изобрели Паркер, Радкин и Дженкинс [25].

Сигнал, получаемый на тыльной стороне образца, соответствует уравнению:

$$\alpha = 0,1388 \cdot \frac{L^2}{t_{1/2}},$$

где α – температуропроводность, $\text{см}^2/\text{с}$;

L – толщина образца, см;

$t_{1/2}$ – интервал времени, в течении которого температура задней поверхности образца достигает половины максимума температуры, с.

Следовательно, коэффициент температуропроводности можно определить, зная толщину образца и время в секундах, необходимое для того, чтобы температура его задней поверхности достигла половины.

Температуропроводность определяется на основе полученной термограммы (рисунок 1). На основе полученного значения и зная значение плотности образца, можно рассчитать теплоемкость и теплопроводность [26]:

$$C_p = \frac{Q}{T_{\max} \cdot m};$$

$$\lambda = \alpha \cdot C_p \cdot \rho ,$$

где α – температуропроводность, $\text{см}^2/\text{с}$;

ρ – плотность образца, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_p – удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

λ – теплопроводность, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$;

$T_{\max}$ – максимальная температура образца, К ;

m – масса образца, кг .

Графическая интерпретация метода лазерной вспышки представлена на рисунке 1.

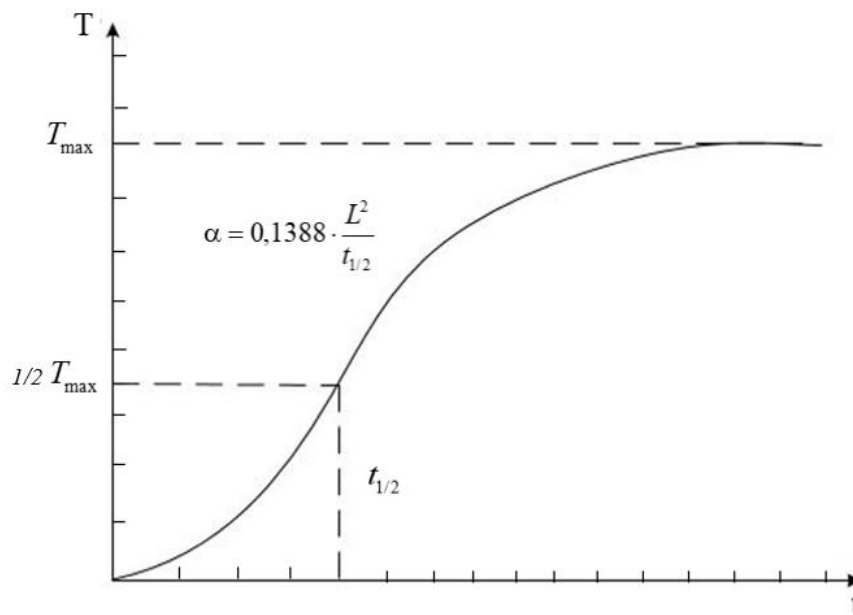


Рисунок 1 – Зависимость температуры задней поверхности образца от интервала времени

Преимуществами этого метода по сравнению с прямым методом измерения теплопроводности являются простые формы и малые размеры образцов, большой диапазон измерений, высокая точность и воспроизводимость.

Кроме того, измерение времени относительного повышения температуры является более эффективным и точным по сравнению с измерением абсолютной разности температур [27].

Подробно описана процедура определения теплопроводности методом лазерной вспышки прибором для исследования твердых и жидких тел LFA 427 фирмы NETZSCH. Приведены результаты пробных испытаний композиционных материалов, иллюстрирующие возможности данного метода и доказывающие его эффективность [28].

1.1.2 Архитектура системы приборов по анализу температуры теплопроводности

Существуют определенные требования, предъявляемые приборам, предназначенным для анализа теплопроводности:

1. Равномерное засвечивание импульсом лицевой стороны образца подразумевает определенные требования к держателю образцов и положению лазера. При этом существуют только три направления для входа луча в термостат: сверху, снизу и сбоку (горизонтально). Каждая такая конфигурация реализуется в доступных на рынке приборах. Вход луча сверху позволяет размещать образец горизонтально, при этом тыльная сторона образца располагается сверху и полностью доступна для детектора. При размещении лазера снизу эти требования несколько нарушаются, так как суппорты, на которых помещается образец в держателе, могут препятствовать засветке части нижней поверхности образца. Подобная ситуация возникает и тогда, когда ввод луча в термостат происходит сбоку (горизонтально). Очевидно, что положение лазера сверху над образцом является наиболее эффективным.

2. Следующим требованием для измерения теплофизических характеристик является быстрое размещение, загрузка и извлечение образцов. Приборы с термостатом с горизонтальным вводом луча являются наиболее медленными в этом плане, так как вся камера должна разбираться для смены

образцов. Системы с держателем образца, который вставляется в термостат автоматически, без лишних действий, являются наиболее удобными.

3. Для точных измерений необходимо, чтобы термостат обеспечивал измерения с заданной температурой.

Чрезвычайно важно также подготовить образец по необходимым размерам. Образец должен точно подходить к отверстию держателя. Если диаметр образца немного превышает размер отверстия ячейки, во время эксперимента может иметь место дополнительная теплопередача от жестко зажатого образца к держателю, что может негативно сказаться на точности измерения температуропроводности. Если диаметр образца значительно меньше размера отверстия ячейки, то световой пучок может воздействовать на ИК-детектор в обход образца, вызывая искажение термоотклика или даже повреждение детектора.

Расчетная температуропроводность пропорциональна квадрату толщины образца. Неточность определения толщины образца из-за грубой обработки приведет к погрешности (ошибке) в определении значения температуропроводности [29]. Слишком толстые образцы сложно тестировать из-за низкого уровня сигнала температурного отклика и замедления реакции на лазерный импульс вследствие влияния тепловых потерь образца. Слишком тонкие образцы могут не дать истинные характеристики материала и склонны к увеличению доли погрешности. Так, в [29-31] проведена оценка масштабов погрешности определения теплофизических характеристик методом лазерной вспышки, связанных с толщиной образца.

1.2 Методы определения теплопроводности

Теплопроводность – это процесс переноса энергии в виде тепла через тело с конечной массой при наличии градиента температуры. В соответствии со вторым началом термодинамики, тепловой поток всегда направлен в сторону уменьшения температуры.

Теплопроводность определяется как [32]:

$$K = \frac{Q / A}{\Delta T / \Delta L},$$

где Q – количество теплоты, проходящее через поперечное сечение образца A и приводящее к образованию разницы температур ΔT на участке ΔL , Q / A – тепловой поток, вызывающий образование температурного градиента $\Delta T / \Delta L$.

Таким образом, определение теплопроводности всегда подразумевает измерение теплового потока и разницы температур.

Во всех случаях тепловой поток должен проходить по одной оси исследуемого образца. Радиальные потери при этом минимизируются теплоизоляционной оболочкой вокруг образца.

На сегодняшний день существует несколько методов измерения теплопроводности – метод GHP (метод горячей охранной зоны), HFM (метод теплового потока), HWM (метод горячей проволоки) и метод лазерной вспышки.

Для анализа волоконных материалов или вакуумных изоляционных панелей обычно применяют приборы для измерения теплового потока и приборы с горячей охранной зоной [33]. Для пористых материалов или материалов с высокой теплопроводностью, металлов или алмазных композитов применяются другие методы, например, метод лазерной вспышки, который позволяет получить более точные результаты. Преимуществом этого метода также является возможность быстрого измерения параметра с высокой точностью и воспроизводимостью.

Теплопроводность в методе HFM определяется путем измерения электрического напряжения – функции теплового потока при заданной разнице температур, проникающего через образец заданной толщины. Полученное значение напряжения используется для расчета скорости теплового потока. По скорости теплового потока рассчитывается значение теплопроводности. HFM-приборы требуют регулярной калибровки, для чего необходим калибровочный образец со значением теплопроводности, близким к ожидаемому значению у

исследуемых образцов. Калибровка должна производиться по нескольким точкам в интервале значений теплопроводности образца ввиду отсутствия линейной зависимости между измеренным напряжением, теплопроводностью и толщиной образца. Поэтому, помимо теплопроводности, калибровочный образец должен также иметь толщину, близкую к той, которую имеет исследуемый образец. Чем больше различий между калибровочным и исследуемым образцами (по толщине и теплопроводности), тем ниже точность измерения. Калибровка GHP-прибора не требуется, результат всегда получается наиболее точным.

Рассмотрим каждый из методов наиболее подробно.

1.2.1 Метод сравнительного продольного теплового потока

Данный метод представляет собой стационарный сравнительный метод, с помощью которого определяют теплопроводность твердого образца за счет использования двух идентичных эталонных образцов с известными тепловыми свойствами. В основном, неизвестный образец помещается между двумя известными образцами – сравнительными образцами (рисунок 2) [34].

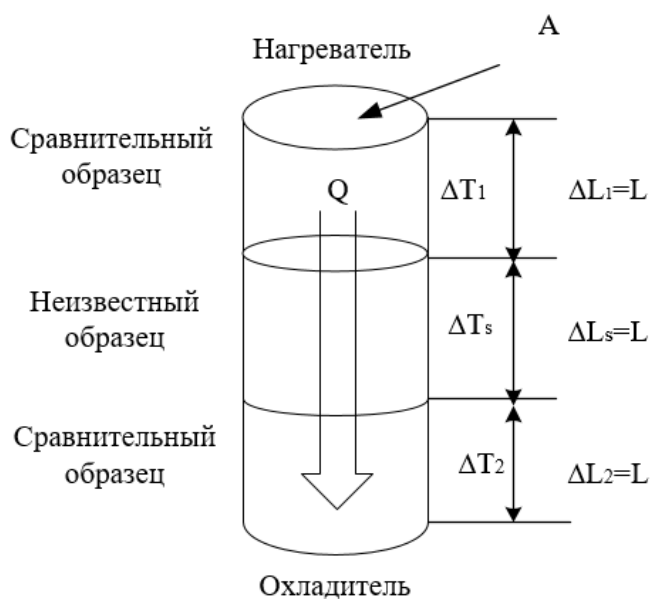


Рисунок 2 – Метод продольного теплового потока

После достижения стационарного состояния, теплопроводность образца определяют путем сравнения перепада температур по его высоте с перепадом в эталонном материале. Метод требует больших временных затрат.

Теплопроводность неизвестного образца K_S может быть определена из следующего равенства :

$$\frac{Q}{A} = K_S \cdot \frac{\Delta T_S}{L} = K_R \cdot \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \cdot \frac{1}{L},$$

где K_S – теплопроводность неизвестного образца, Вт/м·К;

K_R – теплопроводность сравнительных образцов, Вт/м·К;

Q – количество теплоты, проходящее через поперечное сечение образца, Вт;

ΔT_S – разница температур неизвестного образца на участке L , К;

ΔT_1 и ΔT_2 – разница температур сравнительных образцов на участке L , К.

1.2.2 Метод горячей охранной зоны

В приборах с данным методом происходит измерение и поддержание заданной температуры образца по обе стороны. Теплопроводность материала определяется по количеству затрачиваемой энергии на поддержание стабильного потока при измеряемых прибором толщине материала и разнице температур между верхней и нижней пластинами.

В этом методе используется датчик (измеритель) теплового потока. Измеритель монтируется на сравнительном образце. Теплопроводность неизвестного образца K_S определяется из следующего равенства [32]:

$$K_S = K_R \cdot \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \cdot \frac{1}{\Delta T_S},$$

где K_S – теплопроводность неизвестного образца, Вт/м·К ;

K_R – теплопроводность сравнительных образцов, Вт/м·К;

ΔT_S – разница температур неизвестного образца, К;

ΔT_1 и ΔT_2 – разница температур сравнительных образцов, К.

Данный метод в основном используется в приборах для анализа образцов с очень низкой теплопроводностью, таких как строительные изоляционные материалы. В [35] математически оценена точность измерения и показано, что такой метод является в достаточной степени надежным.

1.2.3 Метод греющих плит

Принцип измерения основан на прохождении тепла через образец, находящийся между горячей и холодной пластинами (система Пельтье).

Теплопроводность по методу НФМ может быть рассчитана с использованием уравнения теплового потока Фурье:

$$K = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \Delta T},$$

где K – теплопроводность испытуемого образца, Вт/м·К;

Q – тепловой поток, Вт;

d – толщина испытуемого образца, м;

S и ΔT – площадь поперечного сечения и разность температур по образцу соответственно [32].

1.2.4 Метод горячей проволоки

Метод горячей проволоки – это абсолютный метод определения теплопроводности, основанный на измерении увеличения температуры линейного источника (метод пересеченной проволоки, ISO 8894-1) или на измерении увеличения температуры на некотором расстоянии от линейного источника тепла (метод параллельной проволоки, ISO 8894-2) [36].

Горячую проволоку и термоэлемент размещают между двумя образцами, которые в совокупности представляют собой измеряемый объект. Возрастание температуры с момента начала нагрева после включения электрического питания проволоки является мерой теплопроводности испытуемой пробы.

1.2.5 Сравнение методов определения теплопроводности

Представленные методы определения теплопроводности отличаются друг от друга главным образом материалом и погрешностью измерения, размерами и геометрией образцов, используемых для тестирования. Размеры и геометрия образцов для каждого метода приведена в таблице 1. Основные характеристики методов представлены в таблице 2.

Таблица 1– Сравнение методов определения теплопроводности

	Метод лазерной вспышки	Метод GHP	Метод HFM	Метод HWM
Форма образцов	Круглые или прямоугольные	Квадратные	Круглые или прямоугольные	Прямоугольные
Диаметр и/или длина сторон	6 мм – 25,4 мм	300 × 300 мм	150 × 150 мм	200 × 100 мм
Максимальная толщина	6 мм	100 мм	100 мм	76 мм
Минимальная толщина	0,01 мм	1 мм	5 мм	50 мм

Таблица 2 – Сравнение методов определения теплопроводности

Метод определения	Параметр			
	Температура, °C	Материал	Теплопроводность, Вт/м·К	Погрешность измерения, %
Метод теплового потока	-30...100 °C	Вакуумная изоляция, микропористая изоляция, пенопласт	0,001-0,1	±1...3 %

Продолжение таблицы 2

Метод определения	Параметр			
	Температура, °C	Материал	Теплопроводность, Вт/м·К	Погрешность измерения, %
Метод защитных горячих пластин	-160...250 °C	Вода, бетон, стекло, огнеупорная глина, пористая керамика	0,001-5	±10 %
Метод горячей проволоки	25...2500 °C	Огнеупорные материалы	0,01-10	±10 %
Метод лазерной вспышки [13]	-125...2800 °C	Многослойные и пористые образцы, материалы с высокой теплопроводностью	0,001-1000	±5 %

В данной работе на основании анализа методов измерения теплофизических характеристик для определения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоёмкости ЛГМ в лабораторных условиях был выбран метод лазерной вспышки.

Прошло более сорока лет с тех пор, как Паркер и Дженкинс [25], работающие в лаборатории радиологической защиты ВМФ США, выпустили свою технику, измерения которой основаны на методе лазерной вспышки. С тех пор этот фототермический экспериментальный метод был распространен по всему миру и стал самым популярным методом измерения температуропроводности твердого вещества.

Основными преимуществами данного метода по сравнению с другими, являются: простота и эффективность измерения, точность и надежность результатов, возможность применения в широком диапазоне условий эксперимента и материалов, возможность измерения одновременно всех теплофизических характеристик. Кроме того, исследование теплопроводности методом лазерной вспышки занимает меньше времени, чем остальными

методами. Тот факт, что метод вспышки получил стандартный статус во многих странах признает его универсальность.

В работе для измерения была выбрана установка DLF-1200 TA Instruments (рисунок 3), принцип действия которой основан на оценке скорости распространения импульса тепла в толще образца. Система позволяет проводить измерения при температурах в термостате до 1200 °С. Предел систематической погрешности определения коэффициентов температуропроводности составляет $\pm 2,3 \%$, теплоемкости $\pm 4 \%$, теплопроводности $\pm 5 \%$.



Рисунок 3 – Схема установки для определения теплофизических характеристик веществ

Система DLF-1200 TA Instruments состоит из двух основных блоков: термостата и блока генерации лазерного импульса (лазерный излучатель на неодимовом стекле подает импульсы коллимированного монохроматического излучения длительностью 450 пс).

2 Определение теплофизических характеристик ЛГМ при оценке скорости распространения импульса тепла в толще образца

Подготовка образцов происходила в несколько этапов. Для измельчения ЛГМ использовалась быстроходная роторная мельница Pulverisette 14 (скорость вращения ротора 6000–20000 об/мин). Средний размер частиц составил около 200 мкм.

Таким образом подготавливалась навеска порошков исследуемых материалов массой около 0,20–0,25 г и при помощи гидравлического пресса навески спрессовывались в образцы цилиндрической формы. Размеры образцов соответствовали требованиям, предъявляемым используемой измерительной системе (диаметр 12,5 мм, высота не более 3 мм).

Далее образцы при помощи держателя и специализированной тележки помещались в термостат. Рабочий объем термостата для охлаждения ИК-датчика заполняется жидким азотом.

Для проведения измерений обязательно наличие калибровочного образца, загружаемого в модуль термостата одновременно с тестируемыми образцами. В качестве калибровочного образца использовался материал (Рутех7740) с известными теплофизическими характеристиками. Система DLF-1200 TA Instruments позволяет единовременно загружать в термостат один калибровочный и три тестируемых образца. Значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, удельная теплоемкость определяются при помощи программного обеспечения системы DLF-1200 TA Instruments на основе скорости распространения импульса лазерного излучателя в толще образца. Единовременно в термостат загружались калибровочный образец и 3 образца ЛГМ одной марки. Для каждого образца проводилось 5 измерений, результаты которых усреднялись.

Для готовых образцов перед помещением в термостат определялись масса, высота, диаметр основания и плотность. Эти данные заносились в программное обеспечение системы DLF-1200 TA Instruments.

На рисунке 4 – 6 соответственно представлены полученные в результате экспериментальных исследований значения теплофизических характеристик для образцов Сибирского (Томской области), Дальневосточного (г. Владивосток) и Центрального (г. Москва) Федеральных округов в диапазоне температур от 25 до 150 °С.

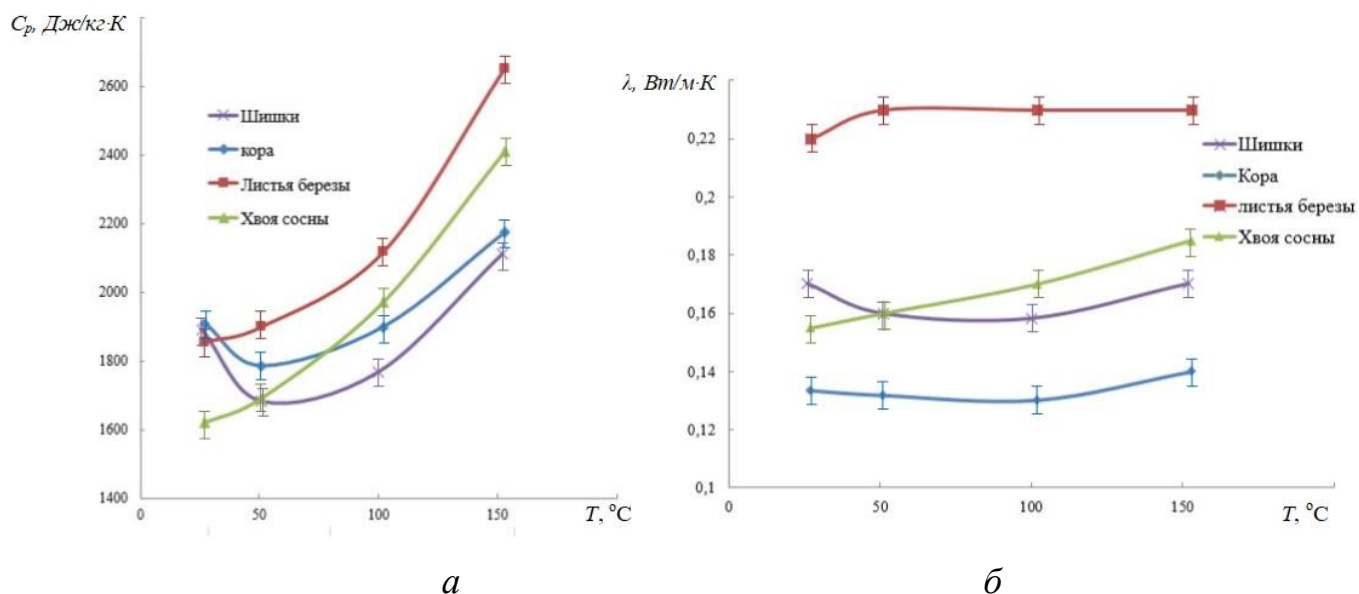


Рисунок 4 – Зависимость удельной теплоемкости (а), коэффициента теплопроводности (б) образцов хвой сосны, листьев березы, шишек хвойных пород деревьев и коры от температуры

Из рисунка 4 видно, что наибольшее значение удельной теплоемкости имеют листья березы. Наибольший коэффициент теплопроводности также наблюдается у листьев березы. Разница между наибольшим и наименьшим значением этого коэффициента (для образцов коры) составляет 42 %.

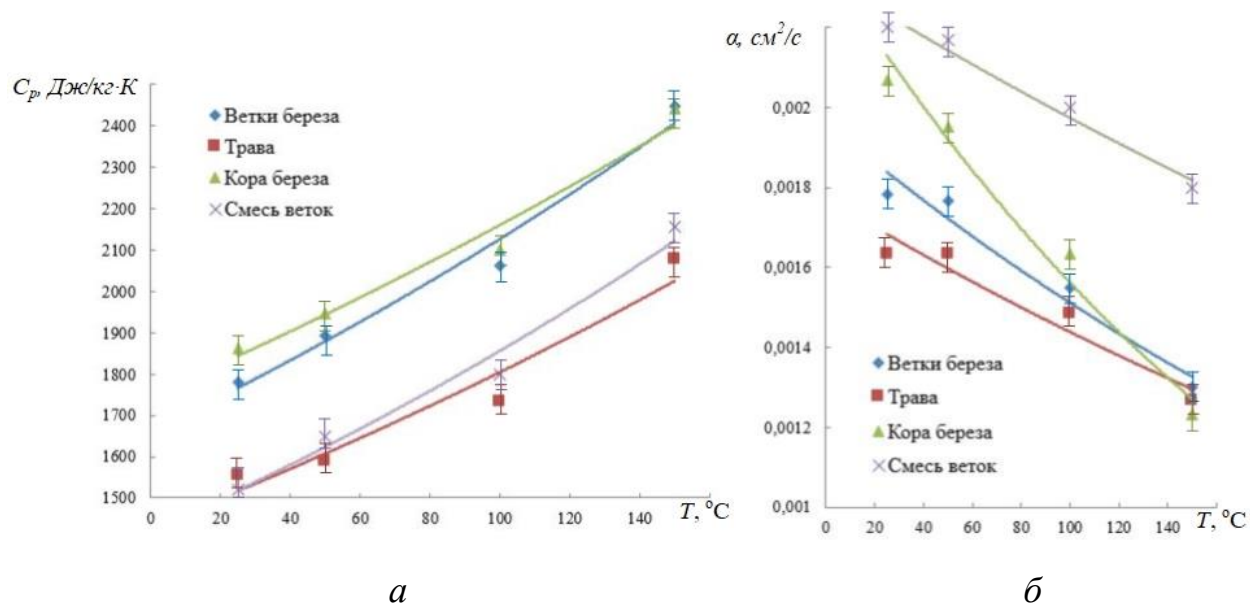


Рисунок 5 – Зависимость удельной теплоемкости (а), коэффициента температуропроводности (б) образцов травы, коры и веток березы, смеси веток лиственных пород деревьев от температуры

Анализируя представленные на рисунке 5 зависимости, можно заметить значительное превышение удельной теплоемкости коры березы удельной теплоемкости травы. Это превышение составляет 23 %.

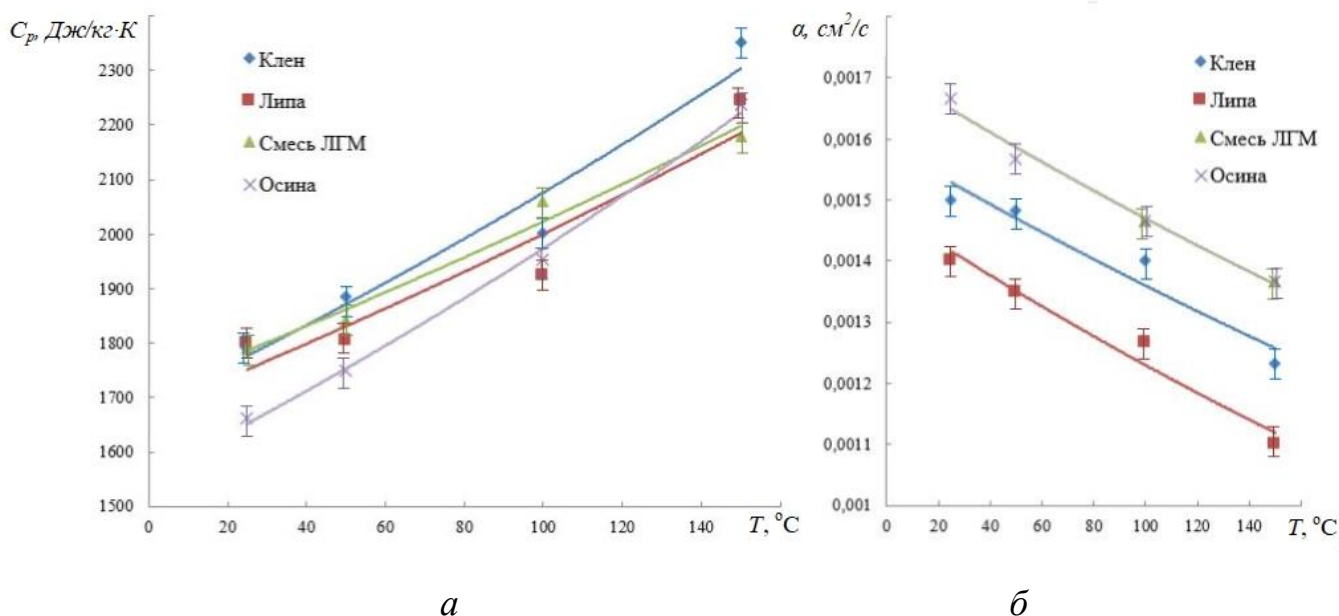


Рисунок 6 – Зависимость удельной теплоемкости (а), коэффициента температуропроводности (б) образцов листьев клена, липы, осины и смеси ЛГМ от температуры

При обработке результатов измерений для определения доверительного интервала использовался коэффициент Стьюдента для $\alpha=0,95$.

Для всех рассмотренных ЛГМ заметен существенный рост удельной теплоемкости (рисунок 4 – 6) с увеличением температуры.

В таблице 3 приведены результаты измерения теплофизических характеристик наиболее пожароопасных регионов РФ.

Таблица 3 – Теплофизические характеристики ЛГМ

	Тип ЛГМ	Экспериментальные данные в диапазоне температур 25-150 °С		
		λ , Вт/(м·К)	C_p , Дж/(кг·К)	α , см ² /с
Сибирский ФО	Хвоя сосны	0,15–1,18	1618–2409	0,0008-0,0007
	Листья березы	0,22–0,23	1856–2651	—
	Солома	0,15–0,17	1546,5–2103,33	0,0013-0,0012
	Ветки (50 % ветки березы, 50% ветки ели)	0,15–0,16	1546,5–2410,06	0,0011-0,0008
	Шишки	0,14–0,17	1681–2112	0,0009-0,00075
	Кора березы	0,12–0,14	1774–2173	0,001-0,0007
Центральный ФО	Листья клена	0,236–0,245	1791,5–2350,38	0,0015-0,0012
	Листья липы	0,236–0,246	1799,73–2243,55	0,0014-0,0011
	Листья осины	0,24–0,25	1663–2237,9	0,0017-0,0014
	Смесь ЛГМ (25% веток можжевельника, 35% веток хвой, 15% листья осины, 25% листья рябины)	0,236–0,221	1790,13–2179,83	0,0026

Продолжение таблицы 3

	Тип ЛГМ	Экспериментальные данные в диапазоне температур 25-150 °С		
		λ , Вт/(м·К)	C_p , Дж/(кг·К)	α , см ² /с
Южный ФО	Смесь веток (50% орешника, 35% тополя, 15% ивы)	0,24–0,21	1987,26–2260,71	0,0016-0,0012
	Смесь листьев (50% орешника, 35% тополя, 15% ивы)	0,25–0,24	1622,13–2105,7	0,002-0,0016
Дальневосточный ФО	Ветки березы	0,236–0,231	1779,33–2448,33	0,0018-0,0013
	Кора березы	0,3–0,25	1862,6–2441,8	0,002-0,0012
	Смесь веток (60% ветки ели, 40% ветки ольхи)	0,243–0,266	1520,23–2157,73	0,0022-0,0018
	Трава	0,213–0,216	1555,63–2079,56	0,0016-0,0013

3 Проектирование АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки

Процесс измерения и анализа теплофизических параметров, связанный с предварительной подготовкой проб для лабораторной установки, является весьма трудоёмким и требует много рутинной работы. Кроме того, ручная подготовка проб к испытаниям не приводит к необходимой точности результатов.

В связи с этим встает вопрос автоматизации процесса приготовления проб для установки по исследованию теплофизических свойств ЛГМ. Основой модернизируемого стенда является установка DLF-1200 TA Instruments, принцип действия которой основан на оценке скорости распространения импульса тепла

в толще образца. Система позволяет проводить измерения при температурах в термостате до 1200 °С. Предел систематической погрешности определения коэффициентов температуропроводности составляет $\pm 2,3$ %, теплоемкости ± 4 %, теплопроводности ± 5 %.

Большая доля ручного труда делает необходимым наличие на испытаниях не менее трех операторов и существенно повышает длительность процесса испытаний. Автоматизация процесса приготовления проб для установки по измерению теплофизических параметров позволит значительно снизить затраты времени на проведение измерений, повысит безопасность работы персонала и улучшит условия труда, уменьшит количество ошибок оператора.

Суть проекта автоматизации заключается в следующем. Для расширения функциональности стенда предусматривается система автоматического регулирования расхода жидкого азота, предназначенного для охлаждения установки при проведении измерений.

Следующей задачей проекта является автоматизация процессов по производству проб для лабораторной установки путем введения специализированного оборудования, осуществляющего подготовку материала, прессование проб необходимой геометрии, а также использование робота-манипулятора, осуществляющих перемещение материала.

Программное обеспечение ЭВМ позволит определять отклонение измеряемых характеристик от требуемых параметров и выводить отчеты об испытаниях.

Реализация проекта обеспечит следующие преимущества перед имеющейся системой испытаний: лучшая повторяемость, снижение числа повторных исследований, безопасность проведения измерений, быстрое выполнение испытаний и подготовка отчетов, что позволит сократить количество операторов до одного человека и приведет к эффективному использованию рабочего времени научного сотрудника.

3.1 Выбор структуры автоматизированной системы управления

Для выбора структурной схемы системы управления процессом приготовления проб необходимо также проанализировать технологический процесс их производства, который представляет собой дискретный процесс и состоит из отдельных операций и агрегатов. В связи с этим возникает задача связать эти элементы в единую систему, обеспечить определённую последовательность работы, переход из одного режима в другой при определённых условиях. В качестве устройства управления дискретным технологическим процессом применяют программируемый логический контроллер.

Технологический процесс производства проб можно разделить на несколько основных этапов: подготовка порошков, получение массы для таблеточной формы и готовой формы. На каждом этапе производственного процесса используется определенный тип оборудования. Этап подготовки порошков включает измельчение материала на шаровой, роторной, стержневой или вертикальной шаровой мельнице. Этап получения массы и таблеточной формы осуществляется посредством таблеточного пресса.

В настоящее время существуют три основных технологических процесса получения формы готовых образцов: путем прямого прессования веществ, через сухое гранулирование и через влажное гранулирование [37].

Метод влажного гранулирования, или гранулирование продавливанием, применяется в том случае, когда порошки обладают плохой сыпучестью и недостаточной способностью к сцеплению между частицами [37].

Сухая грануляция применяется в тех случаях, когда вещества после процесса влажной грануляции плохо сжимаются.

В данной работе рассматривается метод прямого прессования. Прямое прессование основано на прессовании негранулированных порошков и получении пробы минуя стадию грануляции. Прямое прессование позволяет исключить из производственного процесса 3-4 технологические операции. Весь

процесс работы разделен на следующие действия: заполнение порошком, сжатие порошка, выталкивание готовой пробы.

Метод прямого прессования по сравнению с остальными методами обладает рядом преимуществ. Он позволяет достичь высокой производительности труда, значительно сокращает время технологического цикла за счет упразднения ряда операций и стадий, позволяет исключить использование нескольких позиций оборудования, уменьшить производственные площади, снизить потери энергии и трудозатраты. С помощью прямого прессования можно получить пробы из влажно-несовместимых веществ. К недостаткам прямого прессования относятся возможность расслаивания таблеточной массы, необходимость использования высокого давления [37].

В производстве проб задействовано разнообразное технологическое оборудование, которое работает в различных режимах.

Управление технологическим процессом производства проб можно организовать следующим образом: на нижнем уровне выполняется контроль параметров технологических режимов: давления, скорости измельчения, и т.д.

На среднем уровне осуществляется управление сменой функциональных состояний оборудования периодического действия. Основной функцией среднего уровня является управление последовательностью выполнения технологических операций оборудования периодического действия (ротаторная мельница, таблеточный пресс, и т.д.).

На верхнем уровне осуществляется управление процессом взаимодействия технологического оборудования.

К АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки предъявляются следующие требования:

- система должна иметь трехуровневую архитектуру;
- ввод в действие АСУ должен приводить к полезным технико-экономическим и социальным результатам: снижению численности

управленческого персонала и обеспечению безопасности работы персонала, повышению качества измерения;

Комплекс технических средств АСУ должен быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций АСУ (так как в системе одним из регулируемых параметров является расход криогенной жидкости с критически низкой температурой (-196°C), то особые требования приводятся для технического обеспечения системы):

- в качестве датчика расхода необходимы датчики в криогенном исполнении с возможностью измерения в критических средах при экстремально низких температурах;
- предел основной допускаемой погрешности регулирования $\pm 5\%$;
- требование к максимальной надежности и безопасности;
- система должна быть основана на микропроцессорной технике;
- для измельчения ЛГМ использовать мельницу со степенью измельчения не менее, чем 200 мкм с возможностью установки времени размола;
- необходимо осуществление непрерывного регулирования, обеспечивающего автоматическое поддержание технологических параметров вблизи заданного значения;
- технические средства АСУ необходимо размещать с соблюдением требований, отраженных в технической, эксплуатационной документации на них, и таким образом, чтобы их использование было удобным при функционировании АСУ и выполнении технического обслуживания;
- общие эргономические требования, которые регламентируют организацию рабочего места, взаимное расположение средств отображения информации, органов управления и средств связи в пределах рабочего места - по ГОСТ 22269-76, в том числе пультов - по ГОСТ 23000-78;
- соединения в щите выполнить кабелем ПВ-1;
- система должна быть выгодна с экономической точки зрения.

Разработанная структурная схема системы управления процессом производства проб для лабораторной установки показана на рисунке 7.

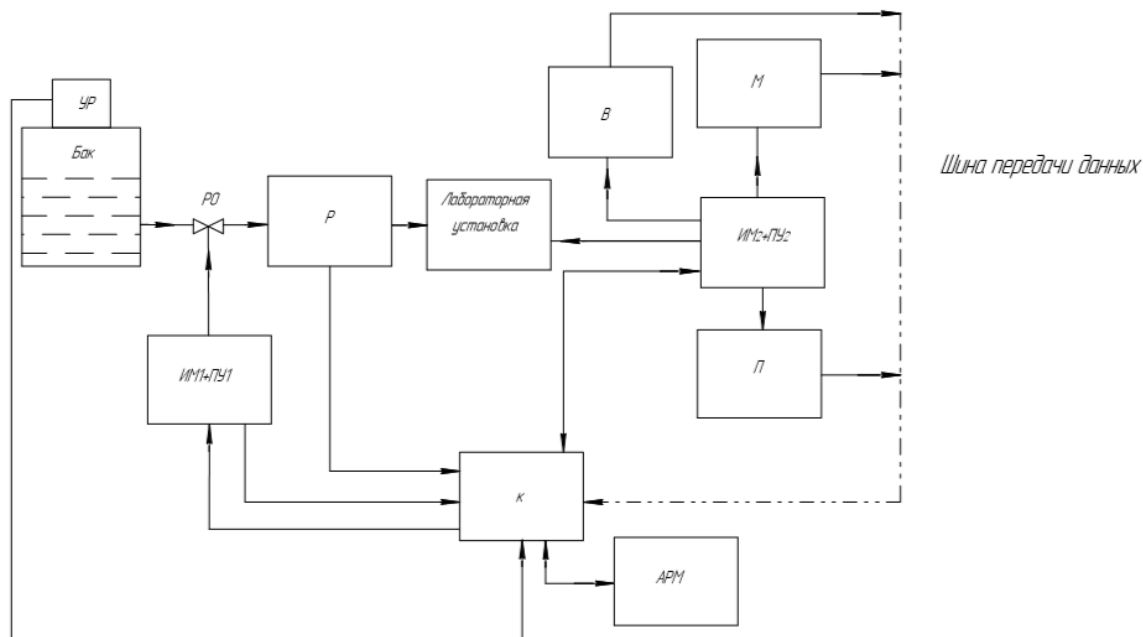


Рисунок 7 – Структурная схема автоматизированной системы управления процессом производства проб для лабораторной установки: УР – уровнемер; ИМ1+ПУ1 – исполнительный механизм со встроенным пускателем; ИМ2+ПУ2 – робот; К – контроллер; РО – регулирующий орган; В – весы; М – мельница; П – пресс

Значение расхода с расходомера Р поступает в контроллер К, где сравнивается с заданным значением. При отклонении расхода от заданного значения контроллер формирует сигнал рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным значением, после чего происходит преобразование сигнала рассогласования по типовым законам регулирования.

Далее в пусковом устройстве ПУ сигнал усиливается по мощности. Пусковое устройство осуществляет пуск исполнительного механизма ИМ, в котором электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение регулирующего органа РО. После чего регулирующий орган открывает или прикрывает регулирующий клапан до тех пор, пока регулируемая величина не будет равна заданному значению.

Оператор вводит значения параметров координат позиционирования робота. Производится опрос датчиков для получения текущих значений управляемых параметров (координат). Текущие значения поступают в контроллер, где происходит их сравнение с заданными. В микроконтроллере на основе разности между значениями управляемых параметров вырабатывается управляющий сигнал пускателям робота, поворачивающим исполнительные механизмы робота (специализированные захваты) в нужном направлении (программа, реализованная в ПЛК, рассчитывает угол поворота для каждого привода).

3.2 Разработка функциональной схемы АСУ

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов представляет собой основной технический документ, который определяет структуру и характер системы, а также отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения их приборами и средствами автоматизации. Объектом управления является совокупность основного и вспомогательного оборудования.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов должны быть решены следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- составление перечня контролируемых параметров технологического процесса;
- определение местоположения точек отбора измерительной информации;
- определение предельных рабочих значений контролируемых параметров.

Технологическое оборудование и коммуникации функциональной схемы изображены упрощенно и дают четкое представление о принципе ее работы и

взаимодействии со средствами автоматизации. Техническим средствам автоматизации присвоены позиционные обозначения, содержащие цифру и строчную букву.

В процессе разработки функциональной схемы по структурной схеме были определены точки отбора измерительной информации – расхода и уровня жидкого азота, сжимающего усилия таблеточного пресса, скорости вращения роторной мельницы, координат положения робота.

Разработанная функциональная схема автоматизированной системы управления процессом приготовления проб для лабораторной установки представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 С2.

На первом этапе разработки функциональной схемы определены информационно-измерительные каналы (1– 4, 6, 7, 9 и 10) и каналы управления (5 и 8).

Для измерения нагрузки таблеточного пресса используется канал 1. Осуществляется регулирование расхода жидкого азота, идущего на охлаждение установки, измеряемого при помощи измерительного канала 2 расходомером. Измерительный канал 2 преобразует значения расхода жидкого азота, которые поступают к регулируемому устройству в виде унифицированного токового сигнала 4–20 мА с вихревого расходомера 2а. Контроллер формирует дискретный регулирующий сигнал, который приводит в действие электрический привод исполнительного механизма. При помощи канала 3 осуществляется измерение уровня азота в баке.

Канал 4 предназначен для предоставления информации о положении робота в пространстве трех координат. Эта информация передается на персональный компьютер. Оператор вводит значения параметров координат позиционирования. Система передает значения управляемых параметров (заданных и текущих) в микроконтроллер. В микроконтроллере на основе разности между значениями управляемых параметров вырабатывается управляющий сигнал пускателям робота, поворачивающим исполнительные механизмы робота (специализированные захваты) в нужном направлении

(программа, реализованная в ПЛК, рассчитывает угол поворота для каждого привода).

Канал 10 используется для измерения скорости вращения роторной мельницы. При помощи канала 7 регистрируется присутствие человека вблизи оборудования, что удовлетворяет требованиям техники безопасности. Канал 9 передает на контроллер информацию о массе пробы для дальнейшего расчета ее плотности. Канал 6 информирует о работе заслонки.

На втором этапе разрабатывалась нижняя часть функциональной схемы. В этой части изображались приборы, установленные по месту, пусковой щит аппаратуры и щит управления. В щите управления установлен контроллер 5а.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403–80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785–70, первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.208-2013.

3.3 Выбор технических средств

При разработке АСУ процессом приготовления проб для установки по измерению теплофизических свойств ЛГМ предпочтение отдавалось серийно выпускаемым техническим средствам автоматизации. При этом учитывались такие параметры как взаимозаменяемость, наличие унифицированных сигналов и легкость в эксплуатации.

Для создания АСУ необходим выбор следующих технических средств: расходомера для контроля расхода азота, идущего на охлаждение установки, уровнемера, осуществляющего измерение уровня азота в баке, датчика движения, необходимого для предотвращения попадания человека в зону работы оборудования, задвижку на трубопровод с жидким азотом и программируемый логический контроллер.

Необходим также выбор следующего технологического оборудования: роторной мельницы для измельчения ЛГМ, пресса для прессования порошка навески ЛГМ в образцы цилиндрической формы, робота-манипулятора,

осуществляющего передачу материала от мельницы к прессу и от пресса к лабораторной установке, а также автоматические весы для измерения массы испытуемых образцов.

3.3.1 Выбор технических средств измерения расхода

В разрабатываемой автоматизированной системе необходим контроль расхода азота, идущего на охлаждение установки. Измерение происходит при очень низких температурах (температура жидкого азота составляет $-195,75^{\circ}\text{C}$). Поэтому основное требование, предъявляемое расходомерам – возможность измерения расхода при подобных температурах.

Выбираем турбинный расходомер KEM Küppers HM компании ООО «Вексон» [38].

Технические характеристики расходомера сведены в таблицу 4. Цена расходомера составляет 25000 руб.

Таблица 4 – Технические характеристики расходомера KEM Küppers HM

Диапазоны температур	от -273°C до $+350^{\circ}\text{C}$
Диаметр, мм	15
Погрешность измерения	$\pm 0,5\%$ от значения измеряемой величины
Питание, В	24
Рабочий диапазон, л/мин	от 0,01 до 0,8
Выходные сигналы	аналоговый токовый 4 – 20 мА

3.3.2 Выбор уровнемера

В данной системе необходимо непрерывное измерение уровня азота в резервуаре в диапазоне низких температур. Рассмотрим уровнемеры, работающие в диапазоне низких температур и предназначенных для измерения уровня жидкого азота – Дискретный уровнемер LEVMET NL3-02 и

микроимпульсный уровнемер Levelflex MFMP45 компании ООО «Редукторные механизмы».

Дискретный уровнемер LEVMET NL3-02 контролирует текущий уровень жидкого азота [39]. Зонд дискретного уровнемера выполнен в виде тонкостенной перфорированной стальной трубки, внутри которой расположена линейка термодатчиков – резисторов TBO-0.125 470 Ом. Испытательный ток нагревает резисторы, которые не погружаются в жидкий азот, в то время как резисторы, находящиеся в криогенной жидкости не нагреваются. Таким образом, повышенное сопротивление резистора указывает на то, что он расположен выше уровня жидкого азота. Данный прибор предназначен для непрерывного измерения уровня жидкостей в экстремальных условиях.

Принцип работы микроимпульсного уровнемера Levelflex основан на работе с электромагнитными импульсами высокой частотности, которые проходят полностью по длине зонда для измерений [40]. Прибор измеряет время, которое прошло от непосредственного излучения и получения отраженного импульса, на основе анализа этого времени происходит расчет значения уровня. Основное преимущество Levelflex заключается в том, что приборы способны подавлять любые помехи извне. Характеристики уровнемеров сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Характеристики уровнемеров

Наименование характеристик	LEVMET NL3-02	Levelflex M FMP45
Вещество	Жидкий азот	Жидкости и сыпучие материалы
Электропитание, В	~220 В, 50 Гц	~220 В, 50 Гц
Принцип измерений	Датчики уровня – резисторы TBO-0.125 470 Ом	Микроимпульсный принцип измерения
Рабочая температура	-196 °С	Исполнение для экстремальных температур: -200 °С ... 280 °С Высокотемпературное исполнение: -200 °С ... 400 °С

Продолжение таблицы 5

Наименование характеристик	LEVMET NL3-02	Levelflex M FMP45
Токовый выход	4-20 мА;	4-20 мА;
Рабочий диапазон, м	до 4	от 0,1 до 4
Цена, руб	23000	25000

Так как характеристики вышеперечисленных уровнемеров схожи, выбираем уровнемер Levelflex MFMP45 исходя из экономических соображений.

3.3.3 Выбор датчика движения

Так как в процессе проведения экспериментов используется перемещение роботом порошкообразной массы навески и проб, то для предотвращения нарушения координации роботов, а также для обеспечения безопасности работы необходим датчик движения, позволяющий предотвратить попадание человека в зону работы оборудования. При срабатывании датчика сигнал поступает в ПЛК, который, в свою очередь, выдает сигнал, не позволяющий запустить оборудование.

Принцип действия инфракрасного датчика движения основан на обнаружении изменения теплового излучающего действия окружающих объектов. При передвижении людей, излучение по очереди фокусируется линзами прибора на сенсоре, что служит посылом для выполнения установленной в датчике функции.

Преимущества инфракрасного датчика движения по сравнению с датчиками другого вида заключаются в том, что он не представляет опасности для людей, от него не исходят излучения. Рассмотрим несколько вариантов инфракрасных датчиков (таблица 6) [41].

Таблица 6 – Характеристики датчиков движения

Наименование характеристик	IEK ДД 024	IEK ДД 010	HC-SR501
Угол обнаружения	360 °	360 °	до 120 °-140 °

Продолжение таблицы 6

Наименование характеристик	IEK ДД 024	IEK ДД 010	HC-SR501
Мощность, Вт	0,45	0,45	0,45
Радиус действия, м	6 м	9	3-7
Рабочая температура	от -25 до +35 °С	от -25 до +45 °С	-20 – +80 °С
Стоимость, руб	429	399	405

Выбираем инфракрасный датчик движения IEK ДД 010 исходя из экономических соображений.

3.3.4 Выбор регулирующего органа

Для контроля и регулирования расхода азота в разрабатываемой автоматизированной системе в качестве регулирующего органа рассматривается задвижка. Упор делается на задвижки, предназначенные для эксплуатации в экстремальном диапазоне температур (температура жидкого азота составляет -195,75°С), а также соответствующие диаметру трубопровода 15 мм.

Для эксплуатации при подобных температурах используются криогенные материалы.

Рассмотрим криогенные задвижки, эксплуатируемые при температуре -200 °С (таблица 7).

Таблица 7 – Характеристики криогенных задвижек

Наименование характеристик	Задвижка клиновая API 600 [42]	Задвижка AP-GA-FL [43]
Диаметр, мм	15	15
Рабочая температура, °С	-200 °С ... +560 °С	-210 °С ... +840 °С
Температура окружающей среды t, °С	-60 °С ... +60 °С	-50 °С ... +60 °С

Продолжение таблицы 7

Наименование характеристик	Задвижка клиновая API 600 [42]	Задвижка AP-GA-FL [43]
Управление	Маховик, редуктор, электропривод, пневмопривод.	Комплект: электропривод серии: HQ, НМ (маркировкой взрывозащиты 1Ex d IIB T4 Gb); пневмопривод серии: ET, HP; механизм ручного управления серии HGO; концевой выключатель серии : APL; ответные фланцы.
Цена, руб	17400	16200

Выбираем задвижку AP-GA-FL на диаметр трубопровода 15 мм, эксплуатируемую в диапазоне низких температур и имеющую электропривод серии HQ, подходящий разрабатываемой автоматизированной системе. Задвижка с электроприводом серии HQ имеет встроенный пускатель поэтому в отдельном пусковом устройстве нет необходимости.

3.3.5 Выбор ПЛК

В качестве регулирующего устройства используется программируемый логический контроллер. В данной работе рассмотрены несколько контроллеров различных производителей: «Schneider Electric», «ВЭСТ» и «ОВЕН». Компания «ВЭСТ» разработала контроллер ВЭСТ-02 для автоматизации процессов в тепловой промышленности [44]. Контроллер имеет бесплатное программное обеспечение АКИАР. Цена ПЛК составляет 15000 рублей. Технические характеристики контроллера приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики контроллера ВЭСТ-02

Напряжение питания	~220 В, 50 Гц
Аналоговых входов	8 шт.
Цифровых входов	5 шт.

Продолжение таблицы 8

Симисторных выходов	6 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс	RS – 232, RS – 485
Средняя наработка на отказ	50000 ч
Средний срок службы	10 лет

Контроллер ОВЕН ПЛК63 предназначен для локальных систем автоматизации [45]. Цена составляет 12390 рублей. Характеристики контроллера приведены в таблице 9.

Имеется возможность управлять технологическим процессом непосредственно с лицевой панели контроллера с помощью встроенного текстового монохромного дисплея - для конфигурирования вывода и задания значения параметров программы, информации о ходе процесса и сигнализации и 9 кнопок управления - для управления индикацией задания значения параметров.

Встроенная батарея бесперебойного питания позволяет выполнять программу при отключении питания, а также переводить выходные элементы в безопасное состояние.

Имеются универсальные входы для подключения широкого спектра датчиков и встроенные интерфейсы RS – 485, RS – 232.

Таблица 9 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК63

Центральный процессор	32-разрядный RISC процессор 50 МГц на базе ядра ARM7
Напряжение питания	~220 В, 50 Гц; 24 В

Продолжение таблицы 9

Потребляемая мощность, для переменного тока, Вт	18
Параметры встроенного вторичного источника питания, выходное напряжение, В	24±3
Количество дискретных входов	8
Количество аналоговых входов	8
Интерфейсы	RS-485, RS-232

Рассмотрим ПЛК фирмы «Schneider Electric» с маркировкой M221, цена которого составляет 16400 рублей. Контроллер применяется для решения задач малых систем автоматизации. Исполнение контроллера блочное. Технические характеристики Modicon M221 приведены в таблице 10 [46].

Таблица 10 – Технические характеристики ПЛК Modicon M221

Напряжение питания	100-220 В переменного тока, 24 В постоянного тока
Логические входы, шт.	9, приемник/ источник, 24 В
Логические выходы, шт.	7 релейных
Аналоговые входы, шт.	2, 0...10 В
Модули расширения ввода-вывода	7 и 14 модулей TM3 или TM2
Встроенные средства связи	1 порт Ethernet, 1 последовательный порт RS232/485 с питающим напряжением + 5 В, SD карта памяти и USB порт
Управление процессом	ПИД-регулирование
Программирование	ПО SoMachine Basic

Выбираем контроллер фирмы «ОВЕН», так как он подходит для реализации поставленной задачи и имеет все необходимые характеристики, а также имеет наименьшую стоимость.

Решения по выбору технических средств автоматизации приведены в заказной спецификации, представленной в приложении А.

3.4 Выбор технологического оборудования

3.4.1 Выбор роторной мельницы

В разрабатываемой автоматизированной системе для производства порошка навески ЛГМ, то есть для его измельчения необходимо применение мельницы.

Предпочтение отдавалось мельницам сравнительно небольшого размера, имеющим разъемы для подключения к ПЛК, возможность работать в автоматическом режиме. Рассмотрим роторные мельницы фирм «Pulverisette», «Restch» и мельницу компании Химтест.

Лабораторная мельница «ЛМТ– 2» компании «Химтест» предназначена для измельчения сельскохозяйственных культур и обеспечения размола навески массой до 100 г со стабильным заданным размером частиц [47]. Планетарная шаровая мельница «РМ 100» компании «Restch» используются для обеспечения высокой степени измельчения за короткое время [48]. Основными преимуществами данной модели являются возможность задания времени начала измельчения, а также встроенная память, позволяющая хранить комбинации параметров измельчения. Работа мельницы «Pulverisette 14» основана на принципе действия ударного ротора и размольного сита. Мельница «Pulverisette 14» позволяет хранить программы измельчения и работать без участия оператора в автоматическом режиме [49]. Характеристики мельниц сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Характеристики лабораторных мельниц

Наименование характеристик	«ЛМТ– 2»	«РМ 100»	«Pulverisette 14»
Объем загрузочного бункера, мл	200	220	250
Число размольных мест	1	1	1
Частота вращения, об/мин	10200	100 - 650	400
Степень измельчения, мкм	100	–	200
Время размола навески, с	40	Установка времени размола	Установка времени размола
Электропитание, В	220	220	220

Продолжение таблицы 11

Наименование характеристик	«ЛМТ– 2»	«PM 100»	«Pulverisette 14»
Установленная мощность, Вт	550	750	750
Интерфейс	–	RS 232	RS 232
Габаритные размеры, см:			
Длина	34	42	31
Ширина	178	64	48
Высота	300	48	47
Цена, руб	40000	450000	390000

Лабораторная мельница «ЛМТ–2» несмотря на сравнительно низкую цену не имеет необходимых интерфейсов подключения. Сравнивая «PM 100» и «Pulverisette 14», выбираем роторную мельницу «Pulverisette 14», которая удовлетворяет предъявляемым требованиям: имеет наименьшие габариты и наибольший объём загрузки.

3.4.2 Выбор прессы

Пресс в автоматизированной системе необходим для спрессовывания навески порошка ЛГМ в образцы цилиндрической формы.

Предпочтение отдается автоматическому лабораторному устройству. Лабораторный пресс используют во всех случаях, когда требуется спрессовать порошок в таблетки для их дальнейшего физико-химического исследования. Весь процесс работы такого прессы может быть разделен на следующие действия: заполнение порошком, сжатие порошка, выталкивание готовой таблетки. Рассмотрим лабораторные автоматические прессы «Таблетпресс 6000» компании «Минипресс» и пресс «T40 Automatic» компании ООО «Техоборудование».

«Таблетпресс 6000» прессует таблетки в автоматическом и ручном режиме в лабораторных условиях [50]. Пресс «Т40 Automatic» предназначен для выполнения прессования с высокой степенью автоматизации без участия оператора [51]. Характеристики данных моделей сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Рабочие характеристики лабораторных прессов

Наименование характеристик	«Таблетпресс 6000»	«Т40 Automatic»
Максимальное усилие прессования, т	15	40
Максимальный диаметр таблеток, мм	13	200
Минимальный диаметр таблеток, мм	3	5
Максимальная высота таблеток, мм	До 11	До 20
Диаметр верхнего упора (прессующей плиты), мм	—	32
Диаметр поршня, мм	—	100
Интерфейс	—	RS-232
Цена, руб	190000	150000

Выбираем автоматический пресс «Т40 Automatic», так как данная модель обладает дополнительными по сравнению с «Таблетпресс 6000» возможностями: организация циклического прессования.

3.4.3 Выбор исполнительного механизма

В качестве исполнительного механизма в разрабатываемой автоматизированной системе используется робот. Робот необходим для передачи материала от мельницы, автоматического пресса и лабораторных весов до установки, предназначенной для измерения теплофизических свойств ЛГМ.

Преимущество отдается высокоточным роботам – манипуляторам небольших размеров, способных осуществлять манипуляции высокой точности по всем плоскостям в радиусе действия 30-100 см. Роботы – манипуляторы предназначены для воспроизведения функций человеческой руки и призваны решать задачи, освобождающие человека от выполнения многократно

повторяющихся однотипных действий, а также действий, происходящих в неблагоприятных для человека условиях.

Промышленные координатные роботы не рассматриваются из-за габаритов, несоизмеримых с остальным оборудованием. Рассмотрим несколько моделей роботов.

«Aubo-i5» предназначен для работы на небольших площадях (радиус действия 880 мм) с весом до 5 кг по сборке и манипуляции, требующей высокой точности. Перемещение мелких деталей – основное назначение данного робота [52]. Данная модель получила распространение в медицине и лабораториях научных исследований. Робот «uArm Swift» представляет собой универсальную машину, предназначенную для выполнения сверхточной работы [53]. «Niryo One» – модель, особой специализацией которой также является сбор и перемещение деталей [54].

Все модели оснащены захватами и универсальными держателями, которые используются для дозирования пресс-порошков: необходимое для запрессовки количество материала отбирается с помощью сосуда или бункера известного объема. Характеристики данных моделей представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики роботов

Наименование характеристик	«Aubo-i5»	«uArm Swift»	«Niryo One»
Электропитание, В	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц
Радиус действия, мм	880	50-320	440
Максимальная полезная нагрузка, кг	До 5	0,5	0,5
Вес, кг	24	1,2	3,2
Обмен данными	RS-485, CAN-Bus, TCP/IP 100M, Modbus RTU	USB	Ethernet , Wi-Fi, Bluetooth, USB
Цена	230000	26500	27000

Выбираем модель «Aubo-i5», так радиус действия данной модели является оптимальным для решения поставленной задачи. Кроме того, предусмотрено управление координатами по интерфейсу RS-485, что также удовлетворяет требованиям системы.

3.4.4 Выбор средств измерения массы

Измерение массы проб в рассматриваемой системе необходимо для дальнейшего определения их плотности. Диаметр и высота пробы при прессовании в автоматическом прессе изменяться не будут. Плотность рассчитывается по следующему соотношению:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где m – масса пробы;

V – объём пробы.

Объём пробы:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h,$$

где r – радиус основания пробы;

h – высота пробы.

Для определения массы с высокой точностью необходимо использование лабораторных весов. Весы ВК-150 предназначены для измерений массы в лабораториях различных отраслей промышленности, оборудованы ветрозащитным корпусом [55]. Лабораторные весы ВК-300 имеют следующие особенности: процентное взвешивание, счетный режим [56]. Модель серии CJ (Vibra) имеет следующие дополнительные заводские опции: интерфейс RS-485 и звуковой сигнал [57]. Сравнительные характеристики весов сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Технические характеристики лабораторных весов

Наименование характеристик	BK-150	BK-300	CJ (Vibra)
Наибольший предел взвешивания, г	150	300	220
Наименьший предел взвешивания, г	0,1	0,1	0,2
Интерфейс	RS-232	RS-232	RS-485
Питание	220 В	220 В	220 В
Габариты, мм	180×220×85 мм	180×220×85	310×208×87
Цена, руб	13220	15500	13390

Для разрабатываемой автоматизированной системы выбираем лабораторные весы серии CJ (Vibra). Преимуществом является наличие интерфейса RS-485.

3.5 Проектирование принципиальной электрической схемы АСУ

Принципиальные схемы предназначены для разработки рабочих монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия. Эти схемы также отображают принцип действия системы. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Линии связи состоят из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

Прописные буквы и цифры присвоены элементам схемы в зависимости от их назначения. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов (приложение В).

В данном разделе разработана схема электрическая принципиальная АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки.

Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Обозначения располагают в последовательности сверху вниз в направлении слева направо. Для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 100, для цепей питания 101 - 200.

Электропитание технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц. Расходомер В1 и уровнемер В2 получает питание в виде постоянного напряжения 24 В от блока питания G1, который в свою очередь получает питание от сети переменного напряжения 220 В.

Турбинный расходомер В1 и микроимпульсный уровнемер В2 преобразуют измеряемые величины в унифицированные токовые сигналы 4 – 20 мА, которые поступают на соответствующие входы контроллера А3, подключение средств измерения осуществлено в соответствии с требованием производителя [58]. Подключение уровнемера В1 и расходомера В2 производится с помощью прецизионных сопротивлений R1-R2, сопротивление которых 500 Ом.

Контроллер А5 обрабатывает информацию, полученную с датчиков В1, В2. В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления механизмом коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма М1, обеспечивая его вращение в соответствующем направлении. Унифицированный токовый сигнал 4...20 мА с датчика положения выходного вала ИМ поступает на вход контроллера, что обеспечивает контроль положения вала ИМ. Также к контроллеру А5 подключен датчик движения В3. По результату его сигналов контроллер вырабатывает воздействие на робот А7, осуществляя прекращение его работы.

Контроллер А5 также обрабатывает информацию, полученную с мельницы А3, весов А6, робота А7 и таблеточного пресса А8. Это оборудование

подключается последовательно посредством цифрового интерфейса RS-485, с помощью которого осуществляется удалённое управление функциональными состояниями и опрос оборудования. Определённая последовательность работы оборудования реализуется в программе ПЛК.

Подключение оборудования с интерфейсом RS-232 (A1, A3 и A9) в сеть RS-485 производится через автоматический преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485 ОВЕН АС3-М. Для согласования линии используют терминальные (концевые) резисторы R4 и R5. Для систем промышленной автоматики сопротивление согласующего резистора выбирается равным 120 Ом, мощность – 0,25 Вт. Резистор ставят на конце или в начале линии.

Схем приведена на первом листе с шифром ФЮРА.421000.007 ЭЗ.

3.6 Проектирование монтажной схемы АСУ

Монтажная документация необходима для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ.

Монтажные схемы показывают, каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных:

- 1) на конструкции;
- 2) за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- 1) функциональная схема;
 - 2) принципиальная электрическая схема;
 - 3) техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств:
- техническое описание;
 - инструкция по эксплуатации.
- 4) общие виды щитовых и других конструкций.

В данной работе необходимо разработать монтажную схему АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) нанести на монтажную схему технические средства автоматизации в соответствии с принятыми обозначениями;
- 2) выбрать проводки для соединения технических средств;
- 3) выполнить подключение средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

Слева в верхней части чертежа находится таблица с наименованием измеряемых параметров, местами отбора информационного сигнала, информацией об измеряемой среде, а также позиционное обозначение приборов, присвоенное им в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Под таблицей с поясняющими надписями находятся изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, которые устанавливаются непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

В виде прямоугольников изображены исполнительный механизм со встроенным пусковым устройством, внутри которых указаны номера зажимов и показаны соединения между ними, а также все остальное оборудование: DLF 1200 TA Instruments, мельница, весы, робот и таблеточный пресс.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа. Первичные преобразователи, внешитовые приборы и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей и проводов.

Проводки, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

Выбор марок проводов и кабелей производим в соответствии с рекомендациями, приведенными в [59].

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением 2,5 мм² [60]. Для информационных линий выбираем кабели с

сечением медных жил 1 мм² типа КРВГ [61]. Для промышленного интерфейса RS-485 выбираем кабель одиночной прокладки типа КИПЭВ [62]. Выбираем кабель для интерфейса RS-232 типа TC-D9P/D9S-15 [63].

В щите автоматизации для соединения сборки зажимов, контроллера и блока питания используем провод марки ПВ–1.

Технические характеристики выбранных кабелей представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ

№ линии	Марка	Количество жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
2,3,6,7,14,11,10,15,18 21,23,25,27	АКРВБГ	4	2,5	15,8
5,8,9,12	КРВГ	4	1	10,7
19	КРВБГ	7	1	15,2
16,20,22,24,26	КИПЭВ	2	0,6	6,2
28	КИПЭВнг(А)-LS	12	0,6	13,6

Контроллер 5а изображен условно в виде упрощенного контура с теми клеммами, которые используются. В щите автоматизации расположена клеммная сборка зажимов ХТ2, в которую входят проводки, передающие сигнал от:

- 1) уровнемера в баке с жидким азотом;
- 2) расходомера, установленного на трубопроводе с жидким азотом;
- 3) инфракрасного датчика движения.

Эти технические средства подключаются сначала к соединительной коробке КСК-8 с помощью кабелей КРВГ 4×1, после чего собираются в единый кабель КРВБГ 7×1, который затем подключается в щит автоматизации.

В клеммную сборку зажимов ХТ2 также входят проводки, передающие сигнал от исполнительного механизма и проводки, передающие сигнал от промышленного интерфейса.

К соединительной коробке КСК-16 подключаются преобразователи интерфейсов с помощью кабелей КИПЭВ 2×0,6, где собираются в один общий

кабель КИПЭВнг(А)-LS 6×2, который подключается в щит автоматизации через сборку зажимов ХТЗ.

Схема монтажная внешних электрических проводок представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 С4.

3.7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСУ

На щитах систем автоматизации размещают средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, сигнальные устройства, аппаратуру управления, автоматического регулирования, защиты и блокировки линий связи между ними.

Щиты систем автоматизации устанавливают в производственных и специализированных помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.д.

Общие виды щитов должны быть выполнены в объеме, позволяющем изготовить оборудование на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, необходимыми для установки приборов, средств автоматизации и вводов проводок.

В данной работе для размещения средств автоматизации используем шкафной щит одиночный RITTAL KS 500×500×300 [64]. Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

Чертеж общего вида единичного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей и таблицу надписей.

Вид спереди выполнен в масштабе 1:5. На нем показаны контуры лицевых панелей щита с расположенным на них ПЛК, преобразователями интерфейсов и сборкой зажимов ХТ2. В нижней части панели щита расположен блок питания. Общий вид щита представлен на чертеже ФЮРА.421000.007 ВО.

4 Расчет параметров настройки регулятора

4.1 Идентификация объекта управления

Идентификация объекта предназначена для получения математической модели объекта управления.

Идентификацию подразделяют на активную и пассивную. В инженерной практике используют активную идентификацию, которая предусматривает подачу на объект специализированного входного воздействия, после чего по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель.

На начальном этапе идентификации строится кривая разгона. В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода.

Кривая разгона снимается следующим образом. Подается скачок путем изменения положения регулирующего органа на 10 %. Изменение расхода азота будет являться выходной величиной объекта. Дискретность времени – 5 секунд. Полученные данные сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Изменение расхода жидкого азота

Время, с	Расход, м ³ /ч
0	0
5	0,00002
10	0,00006
15	0,0001
20	0,00018
25	0,00026
30	0,00036
35	0,0005
40	0,00058
45	0,00062
50	0,00066
55	0,00068
60	0,0007

Кривая разгона приведена на рисунке 8.

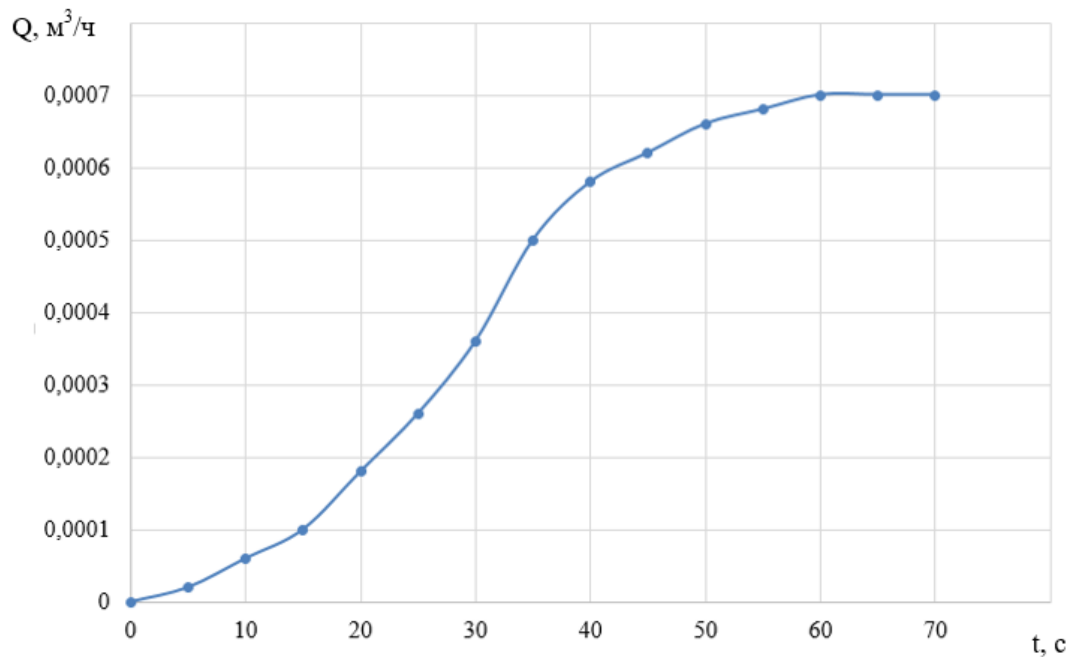


Рисунок 8 – Кривая разгона объекта управления

Далее на полученной переходной характеристике необходимо определить динамические параметры объекта: постоянную времени T , запаздывание τ , коэффициент передачи K .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} \cdot e^{-P\tau}, \quad (4.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения 5.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (4.2)$$

Получаем два неизвестных значения: время запаздывания τ и постоянную времени T . Коэффициент усиления $k = \frac{h(T_y)}{A}$, где A - выходное воздействие при единичном воздействии $k = h(T_y)$. Время чистого запаздывания заранее выделяется из $h(t)$. На кривой разгона строится две точки: А и Б. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка Б имеет ординату $0,7 k$. Постоянная времени T и время запаздывания τ определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}; \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (4.4)$$

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

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

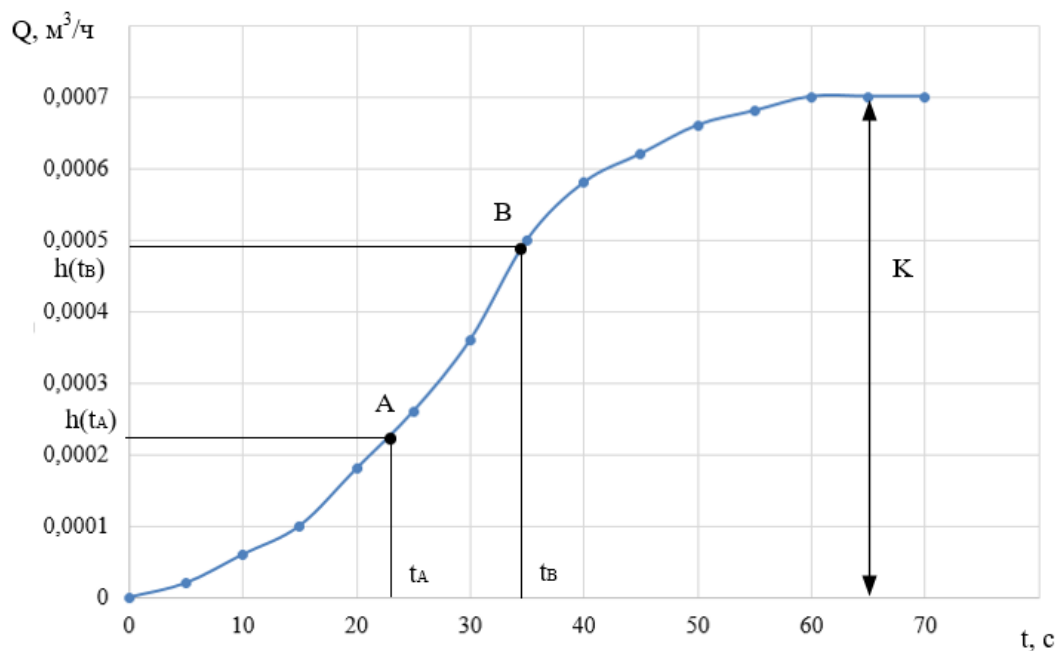


Рисунок 9 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Орманна.

Определяется время t_B по нормированной переходной функции $H(t)$, которое является корнем уравнения $h(t_B)$ и время t_A и $h(t_A)$. Затем вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (4.5)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (4.6)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 22,5 - 35) = 16,25 \text{ с}, \quad (4.7)$$

$$T = 1,25(35 - 22,5) = 15,625 \text{ с}. \quad (4.8)$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{0,0007}{(15,625 \cdot P + 1)} \cdot e^{-16,25P}. \quad (4.9)$$

4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 10 представлен вид структурной схемы системы регулирования, где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора, $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта.

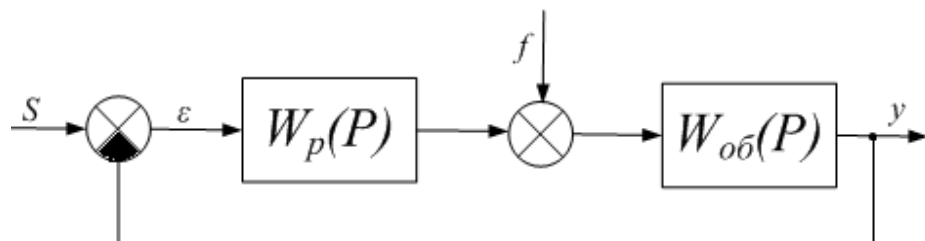


Рисунок 10 – Структурная схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной $\psi=0,75$.

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,9) = 0,221. \quad (4.10)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W_{об}(P) = \frac{0,0007}{(15,625 \cdot P + 1)} \cdot e^{-16,25P}. \quad (4.11)$$

Расширенные частотные характеристики объекта получаем, используя программу MathCad.

Полученные значения представлены в таблице 17 в виде листинга расчета для диапазона частот от 0 до 0,04 с⁻¹.

Таблица 17- Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0	0.0007	0	0.0007
0.001	0.0007	-0.00002	0.0007
0.002	0.00071	-0.00005	0.00071
0.003	0.00071	-0.00007	0.00071
0.004	0.00071	-0.00009	0.00072
0.005	0.00071	-0.00012	0.00072
0.021	0.0006	-0.00048	0.00077
0.022	0.00058	-0.0005	0.00077
0.023	0.00057	-0.00052	0.00077
0.024	0.00055	-0.00054	0.00077
0.025	0.00053	-0.00056	0.00077
0.026	0.00051	-0.00058	0.00077
0.027	0.00049	-0.00059	0.00077
0.028	0.00048	-0.00061	0.00077
0.029	0.00046	-0.00062	0.00077
0.03	0.00044	-0.00064	0.00077
0.031	0.00042	-0.00065	0.00077
0.032	0.00039	-0.00066	0.00077
0.033	0.00037	-0.00067	0.00077

Продолжение таблицы 17

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{06}(m, \omega)$	$\text{Im}_{06}(m, \omega)$	$A_{06}(m, \omega)$
0.038	0.00026	-0.00072	0.00076
0.039	0.00024	-0.00072	0.00076
0.04	0.00022	-0.00073	0.00076
0.021	0.0006	-0.00048	0.00077
0.022	0.00058	-0.0005	0.00077
0.023	0.00057	-0.00052	0.00077
0.024	0.00055	-0.00054	0.00077
0.025	0.00053	-0.00056	0.00077
0.026	0.00051	-0.00058	0.00077
0.027	0.00049	-0.00059	0.00077
0.028	0.00048	-0.00061	0.00077
0.029	0.00046	-0.00062	0.00077
0.03	0.00044	-0.00064	0.00077
0.031	0.00042	-0.00065	0.00077
0.032	0.00039	-0.00066	0.00077
0.033	0.00037	-0.00067	0.00077
0.034	0.00035	-0.00068	0.00077
0.035	0.00033	-0.00069	0.00076
0.036	0.00031	-0.0007	0.00076
0.037	0.00029	-0.00071	0.00076
0.038	0.00026	-0.00072	0.00076
0.039	0.00024	-0.00072	0.00077
0.04	0.00022	-0.00073	0.00077
0.026	0.00051	-0.00058	0.00077
0.027	0.00049	-0.00059	0.00077

Продолжение таблицы 17

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0.028	0.00048	-0.00061	0.00077
0.029	0.00046	-0.00062	0.00077
0.03	0.00044	-0.00064	0.00077
0.031	0.00042	-0.00065	0.00077
0.032	0.00039	-0.00066	0.00077
0.033	0.00037	-0.00067	0.00076
0.034	0.00035	-0.00068	0.00076
0.035	0.00033	-0.00069	0.00076

Далее производится расчёт параметров настройки ПИ-регулятора. ПИ-регулятор является наиболее распространенным на практике и обладает рядом преимуществ:

- 1) обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования;
- 2) достаточно прост в настройке, так как настраиваются только два параметра: коэффициент усиления K_p и постоянная интегрирования T_i ;
- 3) обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования.

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}; \quad (4.12)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (4.13)$$

где T_u – постоянная интегрирования регулятора;

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Расчет производится с использованием программы MathCad. Для нахождения значений параметров использовался диапазон частот от 0 до 0,084 с^{-1} . Полученные значения представлены в таблице 18 в виде листинга расчета.

Таблица 18 – Значение параметров ПИ – регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0	-1428.57143	0
0.002	-1386.4625	0.18894
0.004	-1340.75158	0.74691
0.006	-1291.60449	1.65968
0.008	-1239.19044	2.9118
0.01	-1183.68167	4.48667
0.012	-1125.2531	6.3666
0.016	-1000.3479	10.96599
0.018	-934.23168	13.64538
0.02	-865.91585	16.54985
0.022	-795.58393	19.65747
0.024	-723.42017	22.9457
0.026	-649.60926	26.39147
0.028	-574.33599	29.97125
0.03	-497.78499	33.66111
0.032	-420.14036	37.43685
0.034	-341.58544	41.27403
0.036	-262.30249	45.14807
0.038	-182.4724	49.03431
0.04	-102.27443	52.90811
0.042	-21.88592	56.74489
0.044	58.51796	60.52025
0.046	138.76444	64.20998

Продолжение таблицы 18

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.048	218.68348	67.79019
0.05	298.10791	71.23734
0.052	376.87374	74.52832
0.054	454.82034	77.6405
0.016	531.79068	80.55182
0.018	607.63152	83.24083
0.016	682.19362	85.68675
0.018	755.33194	87.86954
0.02	826.90577	89.76992
0.022	896.77897	91.36947
0.024	964.82008	92.65062
0.026	1030.90249	93.59676
0.028	1094.90458	94.19222
0.03	1156.70987	94.42236
0.032	1216.2071	94.27359
0.034	1273.29039	93.73338
0.036	1327.85931	92.79034
0.038	1379.81899	91.4342
0.04	1429.0802	89.65588
0.042	1475.55941	87.44747
0.044	1519.17889	85.68675
0.046	1559.86673	87.86954
0.048	1597.55688	89.76992
0.05	1632.18922	91.36947
0.052	1663.70956	92.65062
0.054	1692.06966	93.59676
0.056	1717.22725	94.19222

Продолжение таблицы 18

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.058	1739.14601	94.42236
0.06	1757.79555	94.27359
0.062	1773.15142	93.73338
0.064	1785.19508	92.79034
0.066	1793.91382	91.4342
0.068	1799.30076	89.65588
0.07	1801.35477	87.44747
0.072	1800.08042	84.80229
0.074	1795.4879	81.71488
0.076	1787.59297	78.18102
0.078	1793.91382	74.19775
0.08	1799.30076	69.76336
0.082	1801.35477	64.87743
0.084	1800.08042	91.4342
0.066	1793.91382	91.4342

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров (рисунок 11). Полученная на рисунке 11 кривая является линией для степени затухания, равной 0,75. Все значения параметров настройки, расположенные на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

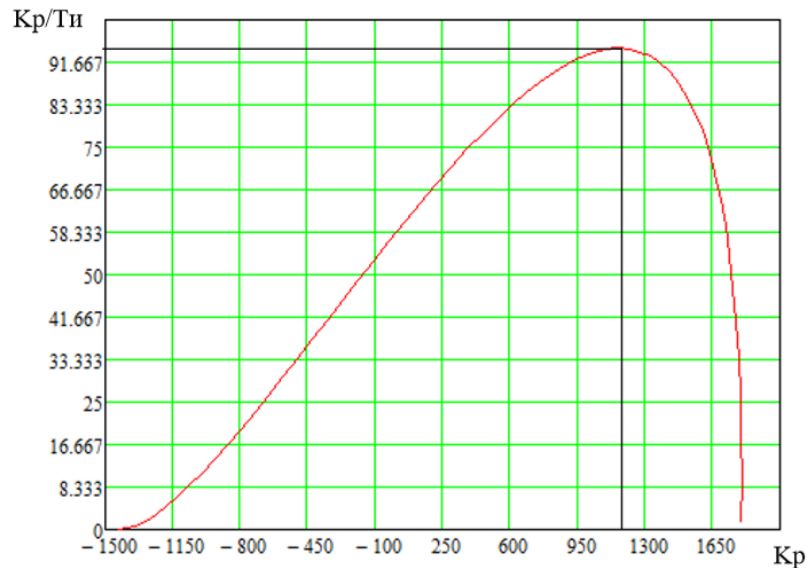


Рисунок 11 – Параметры настройки ПИ-регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения K_p/T_u на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 18 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 94,42236, \quad K_p = 1156,7098, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,03 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = 12,25 \text{ с.} \quad (4.14)$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (4.15)$$

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

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

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой 4.11. Передаточная функция ПИ-регулятора :

$$W_p(P) = K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P} \quad (4.16)$$

Подставляем формулу 4.16 в формулу 4.15 и получаем выражение для передаточной функции замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot (K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P})}{1 + W_{об}(P) \cdot (K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot P})} = \frac{K_p \cdot W_{об}(P) \cdot (T_u \cdot P + 1)}{T_u \cdot P + K_p \cdot W_{об}(P) \cdot (T_u \cdot P + 1)} \quad (4.17)$$

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. Для этого получим выражение для АФЧХ замкнутой системы путем замены оператора P на $i\omega$.

На рисунке 12 представлен график вещественной частотной характеристики.

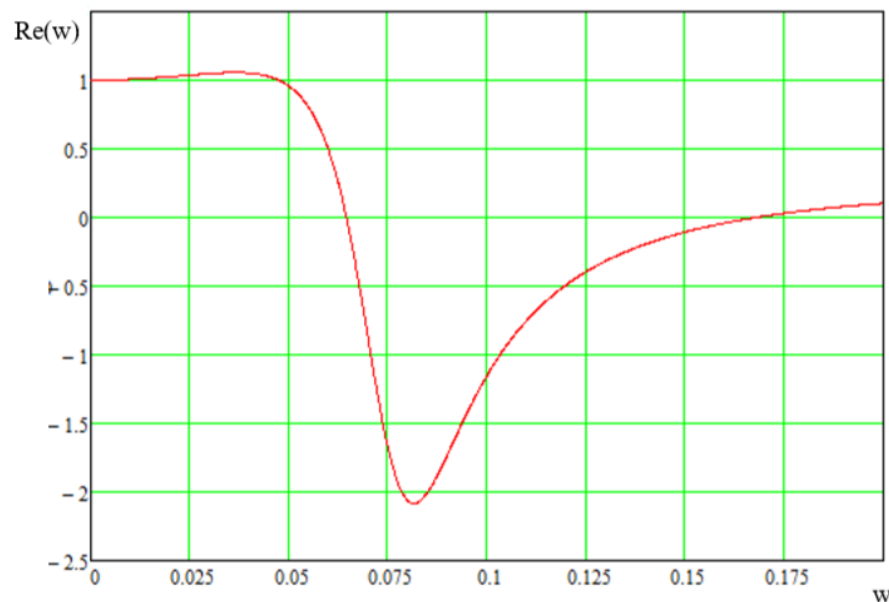


Рисунок 12 – Графическое представление вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \text{Sin}(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (4.18)$$

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

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется значение частоты среза (частоты, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к нулю). Из рисунка 12 определяем частоту среза $\omega_{\text{ср}} = 0,175 \text{ с}^{-1}$.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,175} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \text{Sin}(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (4.19)$$

На рисунке 13 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволяет сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям при предъявленных к системе ограничениях.

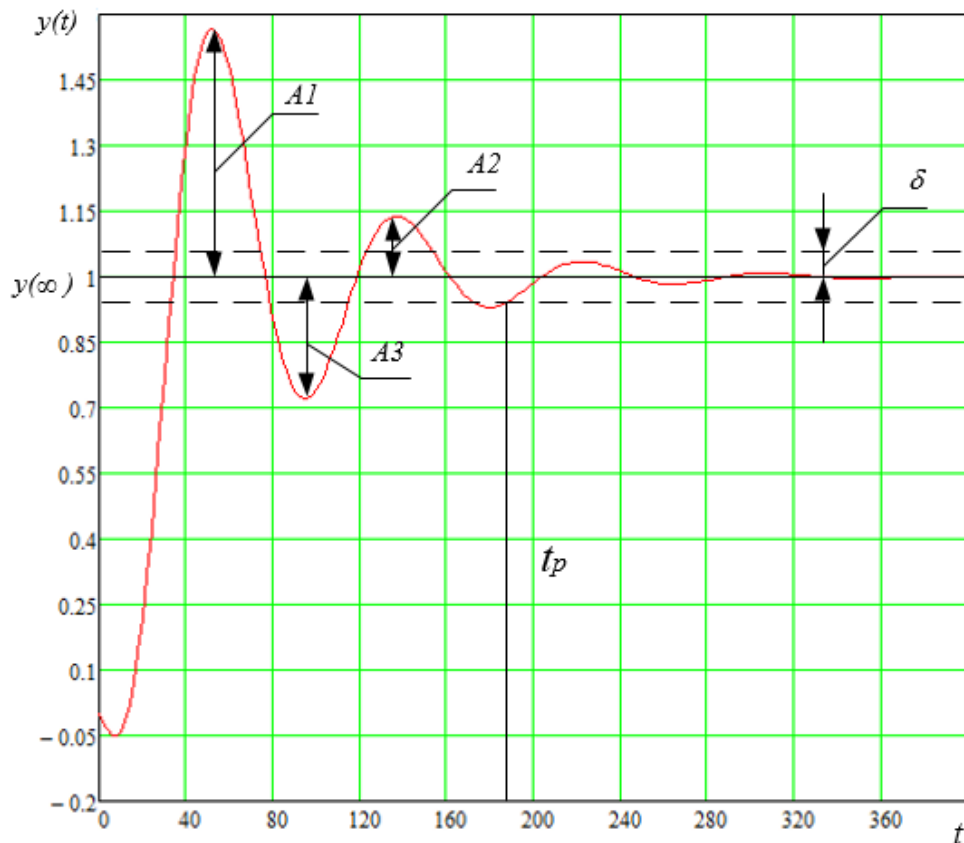


Рисунок 13 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

С использованием рисунка 13 определяются прямые оценки качества:

1) максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0,57$;

2) перерегулирование, % :

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,57}{1} \cdot 100 = 57,$$

где $y(\infty)$ – установившееся значение регулируемой величины;

3) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,139}{0,57} = 0,756,$$

где A_2 - вторая максимальная динамическая ошибка;

4) статическая ошибка:

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

где S – сигнал регулирующего воздействия $1(t)$;

5) время регулирования, с:

$$t_p = 187 \text{ при величине } \delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05.$$

Под оптимальным процессом регулирования понимают процесс, удовлетворяющий требованиям запаса устойчивости системы. Поиск оптимальных параметров настройки осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования до достижения экстремума принятого критерия качества. В качестве критерия качества был принят первый интегральный критерий.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Кралиновой Светлане Сергеевне

Учебное подразделение	ИШЭ	Образовательный центр	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 научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад инженера – 17000 руб., научного руководителя (НР) – 19500 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 30 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30 % от фонда оплаты труда (ФОТ)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Смета затрат на оборудование 4. Оценка экономической эффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Кралинова Светлана Сергеевна		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Социальная роль разработки автоматизированной системы управления процессом производства проб для лабораторной установки – повышение эффективности проведения экспериментальных исследований за счет безопасности и точности проведения измерений. Появляется возможность проведения большего числа экспериментов, уменьшается длительность проведения испытаний.

Целью написания данного раздела выпускной квалификационной работы является расчет разработки АСУ процессом производства проб для лабораторной установки.

Для выполнения данной цели необходимо:

- 1) составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- 2) составить смету затрат на проект;
- 3) составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта.

5.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Для оценки времени выполнения проекта необходимо составить перечень всех выполняемых работ и время, затраченное на выполнение работ.

В таблице 19 представлены все виды выполняемых работ и сроки их выполнения.

Таблица 19 – Перечень работ и сроки их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дни
Получение задания	Научный руководитель;	1
	Инженер	1
Обзор литературы, связанной с приборами для измерения теплофизических характеристик	Инженер	6

Продолжение таблицы 19

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дни
Обзор литературы, связанной с экспериментами по определению теплофизических характеристик	Инженер	3
Проведение экспериментальных исследований по определению теплофизических характеристик лесных горючих материалов	Научный руководитель; Инженер	6 26
Анализ результатов исследования	Инженер	6
Разработка структурной и функциональной схем, выбор оборудования	Инженер	15
Разработка монтажной и принципиальной схем	Научный руководитель; Инженер	2 15
Разработка щита управления САУ	Научный руководитель; Инженер	1 6
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	23
Итого	Инженер	101
	Научный руководитель	10

5.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (5.1)$$

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

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

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

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

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

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

5.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, затраченных на канцелярские товары. Величину затрат принимаем 1000 руб.

5.2.2 Затраты на амортизацию

Амортизация оборудования – это постепенный перенос стоимости основной части финансов организации и ее активов нематериального значения по уровню их морального и физического износа на итоговую цену выпускаемых товаров.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается в руб./год как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{101}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1383,56 \text{ руб./год.}$$

5.2.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}}^{\phi} + 3П_{\text{нр}}^{\phi}, \quad (5.3)$$

где $3П_{\text{инж}}^{\phi}$ – фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^{\phi}$ – заработная плата научного руководителя.

Рассчитаем месячную заработную плату инженера и научного руководителя:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (5.4)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.5)$$

где $ЗП_{инж}^м$ – месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^м$ – месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ – месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 19500 руб.);

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 – районный коэффициент равен 1,3 (10%).

$$ЗП_{инж}^м = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{нр}^м = 19500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 27885 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (5.6)$$

где $ЗП_{мес}$ – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} – фактическое число дней в проекте.

$$\text{Инженер: } ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 101 = 116919,52 \text{ руб.}$$

$$\text{Научный руководитель: } ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{27885}{21} \cdot 10 = 13278,57 \text{ руб.}$$

$$K_{з/пл} = 116919,52 + 13278,57 = 130198,09 \text{ руб.}$$

5.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального страхования в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников

по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3 ; \quad (5.7)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 130198,09 \cdot 0,3 = 39059,43 \text{ руб.}$$

5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1; \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= (1000 + 1383,56 + 130198,09 + 39059,43) \cdot 0,1 = \\ &= 17164,108 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание лаборатории и управление процессом экспериментов, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \quad (5.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 130198,09 \cdot 2 = 260396,18 \text{ руб.}$$

В таблице 20 представлена смета затрат на проект.

Таблица 20 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1383,56
Затраты на заработную плату	130198,09

Продолжение таблицы 20

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Затраты на социальные нужды	39059,43
Прочие затраты	17164,108
Накладные расходы	260396,18
Итого	449201,37

5.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 21 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 21 – Смета затрат на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК ОВЕН 63	12390	1
Мельница Pulverisette 14	390000	1
Блок питания БП15	2000	1
Пресс T40 Automatic	150000	1
Робот Aubo	230000	1
Расходомер КЕМ НМ	25000	1
Уровнемер Levelflex M FMP45	25000	1
Весы CJ (Vibra)	13390	1
Задвижка	16200	1
Датчик движения IEK ДД 010	399	1
Преобразователь интерфейсов AC3 M	2100	3
кабель USB	1500	1
Кабель TC-D9P/D9S-15	2000	1
Кабель КИПЭВнг(А)-LS	1380	1
Кабель КИПЭВ	3800	1
Кабель КРВГ 4x1	600	1
Кабель КРВГ 7x1	40	1
Кабель АКРВБГ 4x2.5	2800	1
Компьютер	25000	1
Итого	907149	21

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 20 % от суммы затрат на технические средства и рассчитываются в рублях:

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot I_{\text{обор}}, \quad (5.10)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование;

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 907149 = 181429,8 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I_{\text{итог}} = I_{\text{обор}} + I_{\text{монт}} = 907149 + 181429,8 = 1088578,8 \text{ руб.}$$

5.4 Оценка экономической эффективности проекта

При использовании автоматизации проведение экспериментов проходит быстрее, что позволяет сэкономить время работы оператора в среднем на 240 минут для измерения теплофизических характеристик одного типа ЛГМ. В месяце в среднем 21 рабочий день, следовательно, в месяц будет сэкономлено $240 \cdot 21 = 5040$ минут. Это 4 рабочих дня. В 2018 году 247 рабочих дня, следовательно, за год экономия времени составит $240 \cdot 247 = 59280$ минут. Это 42 рабочих дня. Расчет экономии на заработную плату оператора приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на заработную плату оператора

Исполнитель	Оклад, руб/мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Экономия смен, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб
Оператор	17000	809,52	42	$K = K_1 \cdot K_2 = 1,1 \cdot 1,3 = 1,43$	48619,77
Итог					48619,77

В результате модернизации стенда мы получим экономию на заработную плату оператора в сумме 48619,77 руб. в год.

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, такие как монтаж и покупка технических средств, автоматизация процесса приготовления проб для лабораторной установки является весьма целесообразной задачей. Как видно из таблицы 21, наибольшие затраты приходятся на оборудование, однако выбор других технических средств и большая доля ручного труда не приведет к необходимой точности расчетов. Кроме того, внедрение разработанной автоматизированной системы позволит значительно сократить длительность процесса испытаний и количество операторов до одного человека, что, соответственно, приведет к сокращению расходов на заработную плату.

Таким образом, за счет внедрения автоматизированной системы возможно повысить эффективность проведения экспериментов.

Прямого аналога разработанной системе нет. Особенностью системы является ее универсальность и многофункциональность. Также есть высокая вероятность внедрения системы на производство и в учебные заведения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Крапиновой Светлане Сергеевне

Учебное подразделение	ИШЭ	Образовательный центр	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Создание автоматизированной системы управления процессом приготовления проб для лабораторной установки, предназначенной для определения теплофизических характеристик лесных горючих материалов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов, которые может создать объект исследования 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при исследовании и разработке проекта	В результате выполненной работы были выявлены следующие вредные факторы при разработке и эксплуатации системы: - повышенная запыленность; - повышенная загазованность. Возможные опасные факторы: - поражение электрическим током; - пожаро- и взрывоопасность.
2. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на атмосферу, определение решений по обеспечению экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Крапинова Светлана Сергеевна		

Введение

Концепция социальной ответственности используется инвесторами при выборе компаний, которые наиболее подходят их сотрудникам, не загрязняют при этом окружающую среду и не производят оружия, а изготавливают нужную людям продукцию. Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность подразумевает учить организацию интересов общества путем возложения на себя ответственности за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Индивидуальная ответственность – ответственность за деяние одного человека.

К социальным вопросам на производстве относят работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях [65].

В данной работе была спроектирована система управления процессом производства проб для лабораторной установки, предназначенной для измерения теплофизических характеристик лесного горючего материала.

Практическая значимость автоматизации лабораторного комплекса заключается в повышении эффективности и безопасности проведения экспериментов, снижении времени настройки оборудования и, как следствие, появлении возможности проведения большего количества экспериментов, а также обучении большего количества студентов работе на данном лабораторном стенде. Комплекс состоит из установки по определению теплофизических характеристик, участка трубопровода с азотом, идущим на охлаждение установки, а также оборудования, предназначенного для приготовления проб для данной установки.

Система состоит из следующих компонентов:

- 1) рабочая станция (персональный компьютер);
- 2) роторная мельница;
- 3) таблеточный пресс;

- 4) лабораторные весы;
- 5) робот – манипулятор;
- 6) бак с криогенной жидкостью (жидким азотом);
- 7) лабораторная установка для определения теплофизических характеристик;
- 8) технические средства автоматизации (контроллер).

Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать процесс эксперимента и производить обслуживание системы.

При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы:

- 1) повышенная загазованность воздуха;
- 2) повышенное содержание пыли (мелких частиц).

6.1 Профессиональная социальная ответственность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Для реализации измерений теплофизических характеристик необходимо использование жидкого азота. Жидким азотом называют криогенную жидкость без запаха и цвета. Температура жидкого азота – 196 °С. Жидкий азот получают из атмосферного воздуха при помощи глубокого охлаждения и дальнейшей его ректификации с разделением на фракции. Марки жидкого азота классифицируют в соответствии с ГОСТ 9293-74.

Во время проведения эксперимента подразумевается работа с данной криогенной жидкостью и емкостью, в которую она помещена. Поэтому при работе персонала возможны следующие опасные и вредные факторы:

- обмораживание открытых участков тела в результате контакта с охлажденными поверхностями или попадании жидкого азота на кожу;

- головокружение, обморок или удушье в результате снижения концентрации кислорода в воздухе при испарении большой массы жидкого азота;

- конденсация на охлажденных жидким азотом поверхностях кислорода воздуха с последующим возгоранием при контакте с горючими материалами.

Также, в процессе проведения экспериментов по определению теплофизических характеристик лесного горючего материала осуществляется измельчение неживого лесного компонента, в результате чего часть частиц подвергается уносу за пределы лаборатории.

6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Жидкий азот в помещении может быть опасен тем, что при его испарении образуется газообразный азот с низкой температурой, при этом плотность его больше, чем у воздуха. Азот после испарения может накапливаться вначале на нижнем уровне помещения, а затем постепенно создавать повышенную концентрацию во всем помещении. Это приводит к понижению концентрации кислорода в воздухе и когда ее величина становится ниже 18%, человек в таком помещении подвергается серьезной опасности - происходит нарушение ритма дыхания, учащается пульс, затем - нарушение сознания, снижение чувствительности, теряется способность двигаться, появляется тошнота и рвота, отключается сознание, и через несколько минут наступает смерть. Особая опасность заключается в том, что это происходит безболезненно и человек не осознает свое состояние.

Ощутимый вред от жидкого азота можно получить при попадании его на кожу человека. При попадании на кожу жидкий азот может вызвать «холодный ожог».

При вдыхании пыли, образующейся при измельчении неживого компонента, так называемого опада веток, хвоинок и листьев в носовых проходах уменьшается чистота реснитчатого эпителия и ослабляется обонятельная чувствительность. Это может привести к раздражению, частому чиханию, носовым кровотечениям и инфекции носовых пазух.

Попадание пыли в глаза может вызывать раздражение, а скопление ее в складках кожи при воздействии пота способно привести к раздражению и инфекции. Эти эффекты могут быть уменьшены применением вакуумных пылесборников, защитных масок и одежды, а также соблюдением правил личной гигиены.

Некоторые породы деревьев и растений содержат химические вещества, обладающие раздражающим действием. Некоторые виды могут вызывать аллергический контактный дерматит (например, западный можжевельник, тополь, розовое дерево, тик, африканское красное дерево и другие "экзотические" породы). Доказано, что западный можжевельник виргинский, розовое дерево, красное дерево и другие экзотические породы деревьев могут стать причиной астмы.

Также при монтаже технических средств автоматизации и всего используемого оборудования важна электробезопасность, так как действие электрического тока на организм человека может вызывать поражение двух типов: электрический удар и электрический ожог [66].

6.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Для того чтобы защитить оператора от действия опасных и вредных факторов, перечисленных выше, при проведении экспериментов следует выполнять ряд обязательных мероприятий:

- 1) обращаться с сосудами, наполненными жидким азотом необходимо осторожно. При падении, ударах, резких толчках может произойти нарушение их целостности.

2) при переливе жидкого азота важно не допускать попадания капель жидкости на внешнюю поверхность сосуда. Если жидкий азот все-таки пролился, через 24 часа необходимо проверить и убедиться, что на горловине отсутствует обледенение перед тем, как использовать сосуд снова, и перед установкой оборудования для перелива криогенного продукта.

3) персонал, работающий с жидким азотом, обязан надевать защитные очки, перчатки или рукавицы. Одежда не должна иметь карманы, брюки должны закрывать верх обуви. Необходимо использовать свободные рукавицы, чтобы при необходимости их можно было быстро и без замедления сбросить. При попадании жидкого азота на кожу пораженный участок немедленно обильно обмыть водой.

4) при работе с измельченными веществами необходимо применять респиратор для предотвращения попадания частиц в дыхательные пути, а также защитные очки;

5) в лаборатории всегда необходимо работать только при наличии исправной приточно-вытяжной вентиляции, оборудованных вытяжных шкафов с хорошей тягой.

6) по окончании работы необходимо отключить электроприборы и другое использовавшееся оборудование, привести в порядок рабочее место.

6.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – состояние защищенности жизненно важных экологических интересов человека, прежде всего его прав на чистую, здоровую, благоприятную для жизни окружающую природную среду, возникающее при достижении сбалансированного сосуществования окружающей природной среды и хозяйственной деятельности человека, когда уровень нагрузки на природную среду не превышает ее способности к самовосстановлению.

6.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Так как проведение экспериментов сопровождается работой вытяжной вентиляции, часть частиц пыли, образующихся в результате производства проб, уносится за пределы лаборатории.

Из-за небольших размеров частицы способны проникать в пищеварительную и дыхательную системы человека и аккумулироваться в клетках органов и тканей. Многочисленные исследования подтверждают зависимость между возникновением заболеваний (астма, аллергия, проблемы со зрением) и продолжительным воздействием частиц пыли на организм.

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для предотвращения уноса мелких частиц за пределы лаборатории и, как следствие, возникновения негативных последствий, необходимо с осторожностью проводить эксперименты.

При размещении для измельчения новой порции лесного горючего материала, необходимо убедиться в том, что окна и двери лаборатории плотно закрыты, чтобы избежать уноса частиц в соседние аудитории и в окружающую среду.

При возникновении ситуации, когда частицы в большом количестве начинают циркулировать в помещении лаборатории, необходимо сразу остановить эксперимент, не открывая окна и двери, произвести уборку помещения. Персонал должен находиться в помещении в спецодежде, респираторах и защитных перчатках.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Расположение оборудования экспериментального стенда в лаборатории устроено таким образом, что в случае возникновения пожароопасной обстановки, он не затруднит путь для эвакуации людей из аудитории.

Во избежание возникновения короткого замыкания в неактивный период времени, щит автоматизации стенда отключается от линии питания. Время включения и выключения щита записывается в журнал лаборатории.

6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании установки по определению теплофизических характеристик существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного электрического прибора. Так как установка работает при высоких температурах, одним из таких рисков является перегрев блока термостата выше температуры, рассчитанной для его стабильной работы, что может привести к воспламенению экспериментального стенда, а вследствие и лаборатории. Для предотвращения появления такой ситуации необходимо тщательно следить за изменением температуры в термостате и следить за тем, чтобы азот на охлаждение постоянно поступал к установке. Также, причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с возгоранием помещения, может послужить короткое замыкание в проводке экспериментального стенда. Поэтому, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи. В операторской должны находиться: порошковый

огнетушитель типа ОП–5, план эвакуации при пожаре (рисунок 14) и в доступном месте – пожарный щит.



Рисунок 14 – План эвакуации

6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Во избежание вышеперечисленных ситуаций необходимо осуществлять:

- 1) качественный монтаж технических средств автоматизации;
- 2) подбор кабелей нужного сечения;
- 3) произвести заземление оборудования;
- 4) при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

Рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя. Средства индивидуальной и коллективной защиты работников - технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и (или) опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

Требования охраны труда – государственные нормативные требования охраны труда, в том числе стандарты безопасности труда, а также требования охраны труда, установленные правилами и инструкциями по охране труда (часть десятая введена Федеральным законом от 30.06.2006 N 90-ФЗ) (в ред. Федерального закона от 24.07.2009 N 206-ФЗ).

Профессиональный риск – вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим кодексом, другими федеральными законами. Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по

регулированию социально-трудовых отношений (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

Также необходимо соблюдать временной режим работы персонала при проведении экспериментов. Время проведения экспериментов не должно превышать 4 часов. В противном случае возможно снижение внимательности и работоспособности персонала.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

- 1) проход слева, справа и спереди от стола должен составлять 500 мм;
- 2) расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
- 3) окраска дизайна ПЭВМ должна быть выполнена в спокойных мягких тонах;
- 4) корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики;
- 5) конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
- 6) все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Социальная роль разработки автоматизированной системы управления процессом производства проб для лабораторной установки – повышение эффективности проведения экспериментальных исследований за счет уменьшения времени настройки оборудования под требуемые параметры, повышение безопасности и точности проведения измерений. Появляется возможность проведения большего числа экспериментов, а, следовательно, увеличивается число студентов, обучающихся и работающих с данным комплексом.

В заключение всего вышесказанного можно выделить основную задачу, поставленную перед данным разделом – формирование у индивида социальной ответственности перед окружающей средой обитания и социумом, а также необходимости выполнения всех требуемых мероприятий, направленных на улучшение условий существования окружающего мира.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- 1) в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- 2) произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов при эксплуатации проектируемого решения;
- 3) описаны средства борьбы с выявленными факторами и методики;
- 4) описаны возможные чрезвычайные ситуации и меры для их предупреждения и оповещения;
- 5) отражены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Разработанная автоматизированная система оказывает незначительное воздействие на окружающую среду и повышает безопасность работы персонала при проведении экспериментальных исследований.

Разработанная автоматизированная система позволит с высокой точностью и воспроизводимостью проводить измерения теплофизических характеристик лесных горючих материалов, что, в свою очередь поспособствует сосредотачивать силы и средства пожарных в предполагаемые зоны возгорания.

Достоверные данные по теплофизическим характеристикам ЛГМ могут использовать службы МЧС, а также лесничие хозяйства.

Заключение

В рамках выполнения дипломной работы была разработана автоматизированная система управления процессом приготовления проб для лабораторной установки, предназначенной для определения теплофизических характеристик.

Разработанная автоматизированная система позволит с высокой точностью проводить измерения теплофизических характеристик ЛГМ и использовать эти данные в прогностических моделях разложения и подавления реакции пиролиза в слоях лесного массива, что, в свою очередь поспособствует сосредотачивать силы и средства пожарных в предполагаемые зоны возгорания.

Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики расхода, уровня, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы.. На среднем уровне располагается контроллер. На верхнем уровне – АРМ оператора.

В ходе выполнения дипломной работы был разработан комплект конструкторской документации: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита автоматизации.

Пояснительная записка к дипломной работе содержит подробное описание выбора основного оборудования, приборов и технических средств автоматизации, а также результаты экспериментальных исследований определения теплофизических характеристик ЛГМ наиболее пожароопасных

районов Российской Федерации. Выбор оборудования осуществлялся с использованием сайтов производителей и каталогов продукции.

В работе представлены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В последнем рассчитана общая сумма затрат на реализацию проекта (847,378 тыс. руб.).

Основные публикации автора бакалаврской работы:

1. Shlegel N. E. , Zhdanova A. O. , Kralinova S. S. , Voytkov I. S. Suppression of forest fuel thermal decomposition under the influence of liquid aerosol and water droplets with additives // MATEC Web of Conferences . - 2017 - Vol. 141, Article number 01017. - p. 1-5

Список использованных источников

1. Dimitrakopoulos A., Gogi C., Stamatelos G., Mitsopoulos I. Statistical analysis of the fire environment of large forest fires (>1000 ha) in Greece. *Pol. J. Environ. Stud.* 2011. Vol. 20. P. 327–332.
2. Catry F.X., Rego F.C., Moreira F., Bacao F. Characterizing and modelling the spatial patterns of wildfire ignitions in Portugal: Fire initiation and resulting burned area. *1st International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires*. 2008. Vol. 119. P. 213–221.
3. Klyde D.H., Alvarez D.J., Schulze P.C., Cox T.H., Dickerson M. Limited handling qualities assessment of very large aerial tankers for the wildfire suppression mission. *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*. 2010. Code 97625.
4. Атлас риска пожаров на территории Российской Федерации – Москва: ООО «Издательско-продюсерский центр» «Дизайн. Информация. Картография», 2010. – 639 с
5. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2015 году.– М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016
6. Гришин А.М., Якимов А.С. Математическое моделирование возникновения и распространения торфяных пожаров. *Инженерно-физический журнал*. 2011. Т.85, №5. С. 972–980.
7. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Shvartsberg V.M., Chernov A.A., Yakimov S.A., Koutsenogii K.P., Makarov V.I. Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology. *Fire Safety Journal*. 2012. Vol. 51. P. 102-109.
8. Малиновских А.А. Динамика встречаемости видов растений сосновых лесов после пожара 1997 года // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. №8. С. 34-38. 6.

9. Reverchon F., Xu Zh., Blumfield T.J., Chen Ch., Abdullah K.M. Impact of global climate change and fire on the occurrence and function of under storey legumes in forest ecosystems // *Journal Soils Sediments*. 2012. Vol. 12. P. 150–160. 7.
10. Bellgard S.E., Whelan R.J., Muston R.M. The impact of wildfire on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their potential to influence the re-establishment to frost fire plant communities // *Mycorrhiza*. 1994. Vol. 4. P. 139-146.
11. Танков Д.А., Жамурина Н.А., Танков А.А. Некоторые особенности сезонной и суточной динамики лесных пожаров на территории Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2013. №1 (39). С. 195– 197.
12. Картеничев А.Ю., Сукочев А.Ю., Васильева О.Э. Применение авиации для тушения пожаров: история и современность. *Пожарная безопасность*. 2015. №2. С. 107–112.
13. Копылов Н.П., Хасанов И.Р., Кузнецов А.Е., Федоткин Д.В., Москвилин Е.А., Стрижак П.А., Карпов В.Н. Параметры сброса воды авиационными средствами при тушении лесных пожаров. *Пожарная безопасность*. 2015. № 2. С. 49–55.
14. Пиджаков, А.Ю., Решецкий Ф.Н., Гаврилова О.В. Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров. *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. 2011. №1. С. 68–71.
15. Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А., Хасанов И.Р., Федоткин Д.В. О возможности тушения лесных и торфяных пожаров полидисперсными водяными потоками. *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. №2. С. 49–66.
16. Гришин А.М., Перминов В.А. Зажигание лесных массивов под действием высотного источника лучистой энергии // *Физика горения и взрыва*. – 1996. – Т.32, №5. – С. 107-115.
17. Гришин А.М., Зима В.П., Кузнецов В.Т., Скорик А.И. Зажигание лесных горючих материалов потоком лучистой энергии // *Физика горения и взрыва*. – 2002. – Т. 38, № 1. – С. 30-35.

18. Гришин А.М., Голованов А.Н. О потухании лесных горючих материалов при постоянных и переменных воздействиях потока инертного газа на зону горения. *Физика горения и взрыва*. 2001. № 5. – С. 75-80.

19. Палецкий А.А., Гончикжапов М.Б., Коробейничев О.П. Исследование пиролиза лесных горючих материалов методом зондовой молекулярно-пучковой масс-спектрометрии. *Сиббезопасность-Спассиб*. 2011. № 1. С. 97-98.

20. Гончикжапов М.Б., Палецкий А.А., Коробейничев О.П. Кинетика пиролиза лесных горючих материалов в инертной/окислительной среде при быстром и медленном темпах нагрева. // *Сиббезопасность-Спассиб*. – 2012. – № 1. – С. 38-44.

21. Барановский Н. В. Упрощенная детерминированная математическая модель зажигания деревянного строения от фронта лесного пожара [Электронный ресурс] = Simplified deterministic mathematical model of wood building ignition from forest fire front / Н. В. Барановский, А. В. Сагалаков // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1. — [8 с.]

22. Baranovskiy, Nikolay Viktorovich. Mathematical Modeling of Thermal Influence from Forest Fire Front on a Coniferous Tree Trunk [Electronic resource] / N. V. Baranovskiy, V. B. Barakhnin, K. N. Andreeva // European Physical Journal Web of Conferences (EPJ Web of Conferences). — 2016. — Vol. 110 : Thermophysical Basis of Energy Technologies. — [01005, 6 p.].

23. Baranovskiy N. V. Technologies of Physical Monitoring and Mathematical Modeling for Estimation of Ground Forest Fuel Fire Condition [Electronic resource] / N. V. Baranovskiy, A. V. Bazarov // European Physical Journal Web of Conferences (EPJ Web of Conferences). — 2016. — Vol. 110 : Thermophysical Basis of Energy Technologies. — [01006, 6 p.].

24. Кузнецов, Гений Владимирович. Математическое моделирование теплопереноса при зажигании лиственного дерева наземным грозовым разрядом [Электронный ресурс] / Г. В. Кузнецов, Н. В. Барановский, М. Б. Баракнин // Теплофизические основы энергетических технологий : сборник статей V

Всероссийской научной конференции с международным участием, 15-17 октября 2014 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ) ; под ред. Г. В. Кузнецова [и др.]. — Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — [С. 224-230].

25. W.J. Parker, R.J. Jenkins. A Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity, U.S. Navy Report USNRDL-TR-424, May 1960.

26. Юдин В. А., Фомин Н. Е., Окин М. А. Измерение температуропроводности с помощью прибора LFA 427// Инновационное образование. – 2013. – № 4. – С. 147-152.

27. Лунев А.В., Покровский С.А. Метод лазерной вспышки для определения температуропроводности М: Мифи, 2003. – 347 с.

28. Фалилеев А.Д. Практическая реализация метода Паркера для определения температуропроводности// XVIII Международная научно-практическая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ» Секция 9: Контроль и управление качеством.

29. Кузнецов Г.В. Кац М.Д. О влиянии толщины образца и длительности импульса на погрешности определения теплофизических характеристик методом лазерной вспышки // VII Всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике. Кемерово, 14-16 сентября 2011. Тезисы докладов. Кемерово: КГТУ, 2011. С. 153-159.

30. Akoshima M., Baba T. Study on a thermal-diffusivity standard for laser flash method measurements // Intern. J. Thermophys. – 2006. – V. 27. – № 4. – P. 1189–1203.

31. Прошкин А.В., Набиулин А.Б. и др. Оценка операторных погрешностей при измерении коэффициентов теплопроводности вермикулитовых изделий // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 1. – С. 131–134.

32. H.S. Carslaw and J.C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids, (Oxford University Press, New York, 1959), 2nd ed., p. 101.

33. Середикин И.Н. Методы измерения теплофизических свойств горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2015. – № 1. – С. 31–35.
34. Желобцов Е.А, Исакаев Э.Х, Палецкий В.Э, Тюфтяев А.С. Реализация метода продольного теплового потока для измерения теплопроводности твердых тел при высоких температурах // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 5. – С. 140–144.
35. Hammerschmidt U. Guarded Hot-Plate (GHP) Method: Uncertainty Assessment // International Journal of Thermophysics. 2002. Vol. 23, no. 6. С. 1551-1570
36. Прибор для определения теплопроводности: метод горячей проволоки [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/temperaturoprovodnost-i-teploprovodnost/tct-426/> Загл.с экрана.
37. Богатиков В.Н., Ключин А.Ю. Системный анализ современных технологий производства твердых лекарственных форм и автоматизированное управление производством// Программные продукты, системы и алгоритмы– 2015. – № 1. – С. 3.
38. Турбинный расходомер серии НМ. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wexon.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
39. Азотный уровнемер дискретного типа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cryo.ru> свободный. – Загл. с экрана.
40. Каталог продукции ОАО «Endress+Hauser». – М.: Изд-во «Endress+Hauser», 2013. – 215 с.
41. Датчики движения инфракрасные. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=7849> свободный. – Загл. с экрана.
42. СалюТех каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://saluteh.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

43. Аполло-Восток каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apollo-vostok.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
44. ВЭСТ-02 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npowest.ru/.html> свободный. – Загл. с экрана.
45. ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf свободный. – Загл. с экрана.
46. Логические контроллеры Modicon 221. Schneider Electric. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eta.lviv.ua/upload/Modicon_M221_rus.pdf свободный. – Загл. с экрана.
47. Технологии и оборудование для переработки зерна. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olis.com.ua/> свободный. – Загл. с экрана.
48. Планетарная шаровая мельница РМ-100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dv-expert.org/proizvoditeli/retsch/> свободный. – Загл. с экрана
49. Быстроходная роторная мельница Pulverisette 14. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.millab.ru/equipments/3091_pulverisette-14 свободный. – Загл. с экрана.
50. Фармацевтическое оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gmash.ru/tabletpress-6000-s.html> свободный. – Загл. с экрана.
51. Пресс T40 Automatic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techob.ru/katalog/katalog-priborov/> свободный. – Загл. с экрана.
52. User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://auro-robotics.com> свободный. – Загл. с экрана.
53. uArm Swift Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.seeedstudio.com/> свободный. – Загл. с экрана.
54. Niryo One – доступный 6-осевой роботизированный манипулятор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.robogeek.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

55. Лабораторные весы ВК-150. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://euro-eq.com/products/> свободный. – Загл. с экрана.
56. Лабораторные весы ВК-300. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmr.allpromsnab.ru/catalogue/> свободный. – Загл. с экрана.
57. Лабораторные весы серии CJ (Vibra). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ld.ru/laboratory/> свободный. – Загл. с экрана.
58. ПЛК63 Схемы подключения технических средств измерения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/re_plc63_1633.pdf свободный. – Загл. с экрана.
59. Выбор марок проводов и кабелей - Выбор и монтаж низковольтного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/> свободный. – Загл. с экрана.
60. ООО «Электропоставщик». Кабельно-проводниковая продукция, кабель АКРВГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cable.ru/cable/group-akrvbg.php> свободный. – Загл. с экрана.
61. ООО «Электропоставщик». Кабельно-проводниковая продукция, кабель КРВГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cable.ru/cable/group-krvg.php> свободный. – Загл. с экрана.
62. Кабель КИПЭВ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable-set.com/kabel-kipev> свободный. – Загл. с экрана
63. Кабель для интерфейса RS-232QteX TC-D9P/D9S-15 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allcables.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
64. Щит Rittal KS пластиковый навесной с монтажной панелью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crimem.ru> свободный. – Загл. с экрана.
65. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов. – Москва: Изд-во Высшей школы, 2009. – 335 с.

66. Долин П.А. Техника безопасности в электроэнергетических установках: справочное пособие. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

Приложение А

Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а	Автоматический таблеточный пресс, максимальная нагрузка 40 т, диаметр поршня 100 мм. ООО «Техоборудование», г. Санкт-Петербург.	T40 Automatic	1
2а	Расходомер турбинный, предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,5$ %, выходные сигналы: аналоговый токовый 4–20 мА, диапазон измерения: 0,01...0,8 л/мин. Группа компаний ООО «Вексон», г. Санкт-Петербург.	KEM HM	1
3а	Уровнемер микроимпульсный, высокотемпературное исполнение: -200 °C ... 400 °C, предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,03$ %, выходные сигналы: аналоговый токовый 4–20 мА + HART, диапазон измерения: 0,1...4 м. ООО «Эндресс+Хаузер», Москва	Levelflex M FMP45	1
4а	Робот-манипулятор, радиус действия 880 мм, связь RS-485, CAN-Bus, TCP/IP 100M, Modbus RTU. «RoboTrends», Китай	AUBO-i5	1
6а	Контроллер программируемый, логический, микропроцессорный, количество входов – 8 аналоговых и 8 дискретных, количество выходов – 6 (1 – э/м реле, 4 А, 220 В; 5 – ЦАП, 0...10 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва.	ОВЕН ПЛК63	1
5в	Исполнительный электрический однооборотный механизм со встроенным пускателем. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	HQ-008-300	1
7а	Датчик движения инфракрасный, угол обзора 360 °; максимальная дальность обнаружения 10 м. г. Северск	IEK ДД 010	1
9а	Лабораторные весы, предел взвешивания : 0,2...220 г, с интерфейсом RS-485. г. Москва	CJ (Vibra)	1
10а	Быстроходная роторная мельница , скорость вращения диска 400 об/мин, потребляемая мощность 480 Вт. ООО «FRITSCH Laboratory Instruments», г. Москва.	Pulverisette 14	1
		ФЮРА.421000.007 С01	
Исполнил	Кралинова С.С.	АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки	Стад
Проверил	Жданова А.О.		Лист
		ТРП	1
		Спецификация приборов и средств автоматизации	
		ТПУ Группа	
		ИШЗ 554В	

Приложение В

Перечень элементов принципиальной электрической схемы

Позиционное обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	2	3	4
A1	DLF 1200 TA Instruments	1	
A3	Роторная мельница Pulverisette 14	1	
A2,A3,A8	Автоматический преобразователь интерфейсов OVEN AC3M	3	
A5	Программируемый логический контроллер OVEN ПЛК63	1	
A6	Лабораторные весы CJ (Vibra)	1	
A7	Робот-манипулятор Niryo One	1	
A9	Таблеточный пресс T40 Automatic	1	
B1	Расходомер турбинный KEM HM	1	
B2	Уровнемер микроимпульсный Levelflex M FMP45	1	
B3	Инфракрасный датчик движения IEK ДД 010	1	
M1	Механизм электроисполнительный HQ-008-300	1	
G1	Блок питания БП15	1	
R1-R3	Резистор прецизионный, номинальное сопротивление 250 Ом	3	
R4,R5	Резистор согласующий, номинальное сопротивление 120 Ом	2	
Исполнил	Кралинова С.С.	АСУ процессом приготовления проб для лабораторной установки	Стад
Проверил	Жданова А.О.		Лист
			Листов
		Схема принципиальная электрическая	ТПУ Группа
			ИШЭ 554В