

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

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**
 НОЦ И.Н. Бутакова

ДИПЛОМНАЯ ПРОЕКТ

Тема работы
УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА

УДК 536.45:662.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5051	ЧАН Дык Хиеу		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Раков Ю. Я.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.В. Гузырь	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	И.Л. Мезенцева	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»	А.В. Воробьёв	к.т.н., доцент		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы
14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке и иностранном(ых) языке(ах) для академического и профессионального взаимодействия	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P9	Способен решать задачи профессиональной деятельности с использованием базовых знаний естественнонаучных дисциплин и информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P10	Способен использовать научно-техническую информацию,	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	отечественный и зарубежный опыт для реализации исследований в области создания, модернизации и эксплуатации ядерных энергетических установок	международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P11	Способен проводить математическое моделирование физических процессов и аппаратов технологического оборудования АС, в том числе на базе пакетов автоматизированного проектирования и исследований	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P12	Способен формулировать цели и задачи исследований в области создания и повышения эффективности эксплуатации АС, выбирать методику и средства проведения научных исследований, выполнять и анализировать результаты НИОКР, участвовать в испытаниях оборудования	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P13	Способен участвовать в организации безопасной экономичной эксплуатации реакторной установки, оборудования и технологических систем энергоблока атомной электростанции, анализировать технологические процессы, режимные ограничения, алгоритмы управления и защиты АС, проводить контроль параметров сред	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P14	Способен участвовать в проектировании элементов оборудования и технологических систем атомных станций с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P15	Способен применять и разрабатывать техническую документацию в соответствии с требованиями государственных, отраслевых и ведомственных стандартов и осуществлять проектно-конструкторскую деятельность в соответствии с техническим заданием в области профессиональной деятельности	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P16	Способен проводить технико-экономический анализ и оценку конкурентоспособности и экономической эффективности проектируемых систем, оборудования и АС в целом	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P17	Способен анализировать и рассчитывать ядерно-физические и нейтронно-физические процессы термодинамические, теплогидравлические, физико-химические	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	и технологические процессы на атомной станции	компетенциям выпускников
P18	Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности, организовывать мероприятия по обеспечению ядерной, радиационной, технической, пожарной безопасности, выполнению требований охраны труда в процессе производства электрической и тепловой энергии на атомных станциях, в том числе при обращении с ядерным топливом	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P19	Способен организовать работу малых коллективов исполнителей, планировать работу персонала, разрабатывать оперативные планы работы первичных производственных подразделений, организовывать рабочие места	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P20	Способен участвовать в проведении испытаний основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок, проводить физические эксперименты на этапах физического энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P21	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности, выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P22	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач в сфере ядерной энергетики и технологий, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
P23	Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС (и ЯЭУ) применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников

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

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

А.В. Воробьев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5051	Чан Дык Хиену

Тема работы:

**Установка для определения тепловых свойств твердых тел с использованием
радиационного нагрева**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

27 января 2021 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Целью обзора является сбор и обобщение информации о применяемых в настоящее время установках для определения коэффициента теплопроводности. Объектами исследования в работе являются методика определения коэффициента теплопроводности и установка для проведения исследований по этой методике.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы по теме 2. Теоретический метод стержня 3. Описание принципиальной схемы и конструкции экспериментальной установки 4. Конструкторские расчеты 5. Описание лабораторного стенда 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Автоматизация технологических процессов и производств
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принципиальная схема установки 2. Вакuumная камера и электрическая схема установки 3. Компоновка 4. Детализовка 5. Блок схема 6. Схема автоматического регулирования
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Гузырь В.В., к.э.н, доцент ОСТН ШБИП</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева И.Л., д.т.н, Ассистент ШБИП</p>
<p>Автоматизация технологических процессов</p>	<p>Атрошенко Ю. К., к.т.н, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>15 июля 2020 года</p>
--	---------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>Раков Ю. Я.</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>15.07.2020</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5051</p>	<p>Чан Дык Хиеу</p>		<p>15.07.2020</p>

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

Группа	ФИО
5051	Чан Дык Хиеу

Институт	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутакова
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томск. Оклад руководителя 26300; Оклад инженера 17000.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>16 % накладные расходы; 1,3 районный коэффициент</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30,2%</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>SWOT-анализ проектируемой экспериментальной установки</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Составление плана работ, определение трудоемкости работ, составление диаграммы Ганта.</i>
<i>3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Определение затрат на проектирование и создание экспериментальной установки: стоимость комплектующих, заработная плата, отчисления во внебюджетные фонды, амортизация, накладные расходы.</i>
<i>4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	
<i>5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Оценка результатов работы.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
<i>Диаграмма Ганта Затраты на создание установки Матрица SWOT-анализа</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15 октября 2020
---	------------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Гузыр Владимир Васильевич	к.э.н.		15.10.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5051	Чан Дык Хиеу		15.10.20

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5051	ФИО Чан Дык Хиеу
-----------------------	----------------------------

Институт	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутакова
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования - Установка для определения тепловых свойств твердых тел с использованием радиационного нагрева. Область применения: Применяется в теплообменниках АЭС.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	- Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.11.2020); - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. - ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - Повышенный уровень шума. - Недостаточная освещенность. - Повышенный уровень вибрации. - Отклонение показателей. микроклимата. Опасные факторы: - Электробезопасность. - Механический фактор;
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: нет негативных воздействий на атмосферу. Гидросфера: нет негативных воздействий на гидросферу. Литосфера: Захоронение твердых отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар, наводнения, ураганы, землетрясения, теракты... Наиболее типичная ЧС: пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15 октября 2020
--	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.	–		15.10.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5051	Чан Дык Хиеу		15.10.20

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из: 96 с, 20 рисунков, 22 таблиц, 26 источника.

Ключевые слова: Коэффициент теплопроводности , вакуумная камера, моделирование, вакуум.

Целью проекта является проектирование экспериментальной установки для измерения тепловых свойств высокотеплопроводных материалов.

В результате была разработана принципиальная схема установки, спроектирована вакуумная камера, был произведен экономический расчет, построен сетевой график.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики разработанной установки: работа в широком спектре температур, высокая точность результатов, универсальность.

В процессе работы проводилось изучение журнальных статей, книг и других источников по данной теме.

Степень внедрения: атомная промышленность.

Область применения: любая отрасль техники.

Экономическая эффективность установки заключается в ее универсальности.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Определения

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в телах или между ними, обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве.

Температуропроводность - физическая величина, характеризующая скорость изменения (выравнивания) температуры вещества в неравновесных тепловых процессах.

Теплопроводность – способность тел к переносу энергии (теплообмену) от более нагретых частей к менее нагретым телам.

Вакуумная печь - устройство для получения высокой температуры для плавки металлов.

Оптическая печь – устройство, в котором лучистая энергия от какого-либо источника с помощью системы отражателей фокусируется на площадку диаметром обычно 1-30 мм, а в крупных печах до 350 мм, в результате чего на этой площадке может быть достигнута температура 1000 – 5000⁰С.

Nu - критерий Нуссельта;

Gr - критерий Грасгофа;

Pr - критерий Прандтля;

Re - критерий Рейнольдса;

α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К;

λ - теплопроводность, Вт / (м · К);

ν - коэффициент кинематической вязкости м²/с;

T - температура, К;

Q - тепловой поток, Вт;

U - напряжение электрического тока, В;

ρ - плотность, кг/м³;

q - плотность теплового потока, Вт / м²;

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ					

Оглавление

Введение	13
1 Обор литературы	14
1.1 Методы определения тепловых свойств твердых тел и их теплопроводности уравнения	19
1.2 Метод «вспышки»	24
1.3 Метод регулярного режима первого рода	26
1.4 Установка для измерения коэффициента теплопроводности методом пластины	30
2 Теоретический метод стержня	34
3 Описание принципиальной схемы и конструкции экспериментальной установки	36
3.1 Конструкция моноэллипсоидной оптической печи	36
3.2 Принципиальная схема экспериментальной установки.....	38
3.3 Конструкция вакуумной камеры и электрической печи.....	40
4 Конструкторские расчеты.....	44
4.1 Расчет прочности стенки вакуумной камеры	44
4.2 Расчет системы охлаждения стенки камеры	46
4.3 Расчет нагревательного элемента.....	49
4.4 Расчет охранных нагревателей.....	49
4.5 Расчет торцевого охлаждения	51
5 Описание лабораторного стенда	54
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	56
6.1 SWOT-анализ	56
6.2 Затраты на комплектующие для лабораторной установки	59
6.3 Расходы на заработную плату.....	61
6.4 Амортизационные отчисления	62
6.5 Затраты на создание лабораторной установки	62
6.6 Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности научного исследования	63
7 Социальная ответственность	67
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	67

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

7.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	67
7.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	68
7.2	Профессиональная социальная безопасность	70
7.2.1	Анализ вредных факторов.....	71
7.2.2	Анализ опасных факторов.....	79
7.3	Экологическая безопасность	81
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
8	Автоматизация технологических процессов и производств	85
8.1	Постановка задачи автоматического контроля объекта.....	85
8.2	Разработка функциональной схемы	86
8.3	Выбор технических средств автоматизации	87
	Заключение.....	94
	Список используемых источников.....	95

Графический материал:

ФЮРА.ХХХХХХ.002 СЗ	Принципиальная схема лабораторной установки
ФЮРА.ХХХХХХ.003 СБ	Установка для определения теплофизических свойств материалов
ФЮРА.ХХХХХХ.004 МЧ	Компоновка лабораторной установки
ФЮРА.ХХХХХХ.005	Фланец нижний смотрового окна
ФЮРА.ХХХХХХ.006	Фланец верхний
ФЮРА.ХХХХХХ.007	Втулка уплотнительная
ФЮРА.421000.008 С2	АСР регулирования температуры печи

Введение

Математическое моделирование в настоящее время является очень важным инструментом в изучении теплофизических и физико-механических процессах. Его использование значительно сокращает время исследования и его стоимость.

Знание теплофизических свойств (и коэффициента теплопроводности в частности) различных материалов необходимо для анализа материалов на предмет пригодности в использовании в различных отраслях промышленности, а также для научных открытий. Существует множество методов для измерения коэффициента теплопроводности, из них выделяются стационарные и нестационарные методы определения коэффициента теплопроводности. Наиболее популярные методы, это метод пластины и цилиндра.

Основное преимущество методов - простота, (решается одномерная задача теплопроводности, из которого выводится формула для нахождения коэффициента теплопроводности). Недостаток заключается в том, что у нас получается одномерный тепловой поток, другой минус- время, за который устанавливается необходимый тепловой режим для исходной температуры. Из-за этого нам необходимо использовать образцы большей длины, нежели в других методах измерения.

Решение одномерной задачи теплопроводности методом стержня позволяет сравнительно просто найти коэффициент теплопроводности. На основе метода конструируется лабораторная установка.

Достоинства метода: возможность использования образцов небольших размеров, высокая точность, относительно не высокое время измерения, широкий интервал температур.

					ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

1 Обзор литературы

Для определения термические свойства твердых тел можно множеством различных методов, одним из которых является метод с использованием радиационного нагрева . Для написания данной работы необходимо использовать различные научные документы, периодические статьи и учебно-методические литературы.

В начале шестидесятых Паркер, Радкин и Дженкинс изобрели метод измерения теплопроводности небольших образцов материала, подвергая их лицевую часть воздействию короткого высокоинтенсивного импульса тепла и получая результат с тыльной стороны образца в виде температурной кривой. Как и во всех научных методах, они не были первооткрывателями в этом подходе, но, наверное, были самыми первыми в разработке технически жизнеспособного и элегантного решения. Этот метод оказался очень успешным, и, конечно, поразил воображение коллег. Их установка использовала термостат, источник электрической дуги и оптический прерыватель для генерации теплового импульса, который фокусировался на одной из поверхности образца, помещенного в термостате. Небольшая термопара была надежно закреплена на противоположной поверхности образца. Её сигнал усиливался и отображался на осциллографе. Экран осциллографа фотографировался на полароидную пластинку. Позже источник дуги был заменен на ксеноновую разрядную лампу, а затем на лазер, при этом данные сохранялись осциллографом с эффектом памяти экрана, а позже твердотельным цифровым рекордером. Основная конфигурация сохранялась неизменной 25 лет, только улучшалась в тех или иных местах более надежными и качественными компонентами.

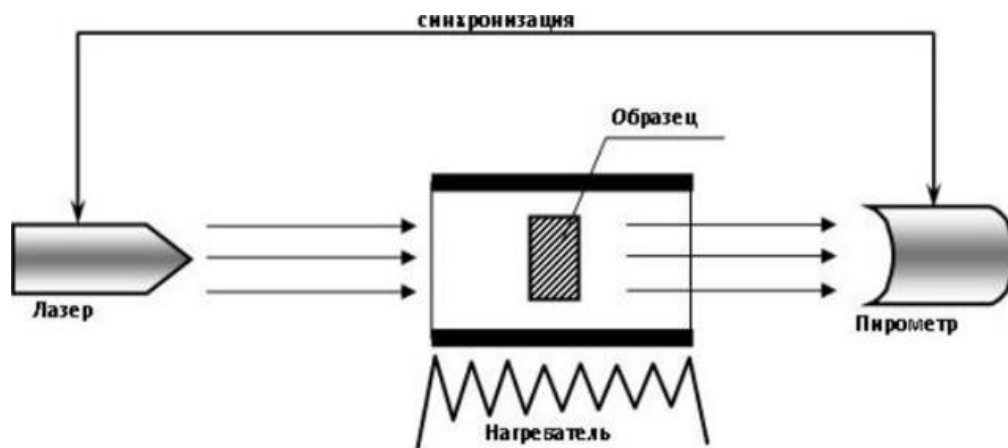


Рисунок 1. схема установки для метода лазерной вспышки.

Карслоу и Джагер [2] разработали решение для полубесконечной пластины, облучаемой по всей ее поверхности (и не имеющей тепловых потерь в перпендикулярном направлении относительно ее плоскости), связывающее теплопроводности со временем, за которое тепло доходит до тыльной поверхности пластины, достигая половины от его максимального значения. Обычно это время называется «время половины максимума». Тем самым можно использовать графическое решение - вначале определив максимум кривой, а затем вычислив время, за которое кривая достигает половины максимума. На практике на полароидной пластинке 3x4 наносились (царапались) линии по полученной кривой, сглаживая шум сигнала. Такие методы как оптическое усиление и более тщательно обработанная проекция мало помогали, так как если информация неточна и содержит сильный шум, усиление может усилить только шум, но не сам сигнал. Цифровые технологии стали прорывом в этой области. Цифровые осциллографы с памятью, а позже рекордеры смогли преобразовывать и сохранять несколько тысяч точек аналогового сигнала за короткое время. Эти данные выводились на плоттер, а позднее просто обрабатывались в компьютере, что обеспечило ту точность, которую предыдущие методы дать не могли.

Производитель одной из конкурирующей системы декларирует, что их системы «автоматизированы до несравненной степени». Такие утверждения бесполезны, так как они не содержат никаких ссылок на количественные данные, доказывающее это. Системы лазерной вспышки серии Discovery (The

Discovery Laser Flash – DLF) автоматизированы не менее, а может даже и более, чем приборы конкурентов, но мы предлагаем делать выводы позже, факты скажут сами за себя.

Недостатки, присущие всем стационарным методам:

- зависимость точности измерений от размера образца(для повышения точности измерений рекомендуется увеличить образец);
- Изоляция боковых сторон образца, установка тепловых экранов или же учет потерь теплового потока;
- Для установления теплового равновесия необходим большой промежуток времени;
- Хорошая электропроводность, в случае использования в методике электрического тока.

Импульсные методы лишены данных недостатков. Зачастую встречаемый импульсный метод-метод Паркера (метод лазерной вспышки). В методе лазерной вспышки мы нагреваем поверхность небольшого образца с помощью лазерного импульса за короткий промежуток времени. После производится регистрация разности температур в зависимости от времени. Регистрацию можно производить различными методиками; как контактной(термопара), так и бесконтактной (пирометр).

Основные преимущества метода лазерной вспышки:

- быстрота измерений;
- Небольшие размеры образцов. Из-за малых габаритов снижается мощность, необходимая для создания скачка температур(полезно в случае радиоактивных изотопов);
- С помощью метода можно измерять сразу три параметра; теплоемкость, тепературопроводность и теплопроводность;
- Отпадает необходимость измерений абсолютных температур;

- Расширение температурного диапазона до ~2500 оС, за счет малых утечек тепла, которые достигаются большими удельными потоками и малым временем регистрации.

Для получения и анализа любых теплофизических свойств необходимо использовать закон Фурье, который связывает температурный градиент, тепловой потоки и коэффициент теплопроводности:

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (1.1)$$

Изобарная удельная теплоемкость:

$$C_p = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_{p=const} \quad (1.2)$$

Где m – масса тела, $H = U + p \cdot V$ энтальпия, U - внутренняя энергия; p – давление; V – объем тела; T – температура.

Несмотря на огромное количества методов, с помощью которых мы определяем температуропроводность и теплопроводность, все они основаны на решении уравнения теплопроводности для однородного твердого тела, для которого заданы форма и размеры ,временные и граничные условия.

$$\frac{dT(M, t)}{dt} = \alpha \cdot \nabla(\nabla T(M, t) + F(M, t)) \quad (1.3)$$

Где $T(M, t)$ – температура тела в точке M в момент времени t , α – коэффициент температуропроводности; $F(M, t)$ - объемная плотность источников тепла в точке M .

Коэффициенты тепло и температуропроводности являются функциями температуры и зависят от координат точки тела, связанных соотношением.

$$\alpha(M, t) = \frac{\lambda(M, t)}{C_p(M, t) \cdot \rho(M, t)} \quad (1.4)$$

Где $\rho(M, t)$ - плотность тела в точке M .

Существует две группы методов: стационарные и нестационарные.

Для стационарных методов левая часть уравнения теплопроводности равна нулю. Стационарные методы можно поделить на абсолютные и

относительные. С помощью абсолютных методов проводятся измерения теплового потока q через тело, а также градиент температуры ∇T вдоль тела; после измерения данных параметром имеется возможность расчета коэффициента теплопроводности. В относительных методах проводится измерение градиентов температур для различных образцов (эталон и исследуемый образец) (для заданного значения λ) тепловые потоки эквивалентны.

Образцы для стационарных методов- тонкие стержни, пластины или цилиндры, которые нагреваются либо изнутри (различные виды электрических токов), или снаружи (нагревательным элементом). Тепловой поток может быть как радиальным, так и осевым.

Самый простой способ измерения коэффициента теплопроводности— осевой нагрев стержня. В данном случае мы должны изолировать боковую поверхность охранными экранами и тепловыми отражателями Поток в данном случае принимается линейным. Тогда коэффициент теплопроводности :

$$\lambda = \frac{P \cdot L}{T \cdot S} \quad (1.5)$$

где P – количество тепла, проходящее через поперечное сечение стержня S в единицу времени (мощность источника тепла); T – разность температур в точках стержня, находящихся на расстоянии L друг от друга.

Для относительного метода мы берем два объекта- эталонный стержень и, непосредственно, исследуемый образец, теплопроводность эталона является изученной. Производится нагрев обоих образцов в одинаковом режиме. тогда, если мы воспользуемся тепловыми экранами, которые исключают вероятность тепловых утечек:

$$\lambda = \lambda_{\text{э}} \cdot \frac{T_{\text{э}}}{T} \cdot \frac{L}{L_{\text{э}}} \cdot \frac{S_{\text{э}}}{S} \quad (1.6)$$

где индекс «э» относится к эталонному стержню.

Для измерения коэффициента теплопроводности производится анализ разности двух температур эталонного и исследуемого стержней. Минусы метода в ограниченности эталонных материалов при высоких температурах.

Вторая группа стационарных методов заключается в торцевом нагреве стержня, в результате чего исследуется радиальный тепловой поток.

Решение уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (1.7)$$

В этом случае приводит к формуле:

$$\lambda = \frac{P \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{2\pi l \cdot (T_2 - T_1)} \quad (1.8)$$

где P – мощность нагревателя; T_1, T_2 – температуры образца, измеряемые в точках на радиусах R_1, R_2 ; l – длина образца.

1.1 Методы определения тепловых свойств твердых тел и их теплопроводности уравнения

Чтобы установить временные и пространственные шаги теплового потока и температурного поля в твердой среде, используйте законы теплопроводности - закон Фурье и закон сохранения энергии.

По закону теплопроводности Фурье вектор элементарного теплового потока $d\vec{Q}$ и вследствие когерентности температурной разнохарактерности в теле, действующей в данной точке времени в данном месте тела, прямо пропорционален градиенту температуры ∇T и элементарному участку dF , существующему в одной и той же точке:

$$d\vec{Q} = -\nabla T \lambda dF \quad (1.9)$$

где λ - коэффициент теплопроводности (КТ), представляющий собой физический параметр, характеризующий напряженность процесса теплопроводности в материале и количественно равный плотности теплового

потока, обусловленного теплопроводностью при градиенте температуры, равной единице.

Из уравнения (1.1) следует интегральное выражение закона Фурье:

$$Q = - \int (\nabla T)_n \lambda dF \quad (1.10)$$

Где:

$Q = \int q_F dF$ - общий тепловой поток, проходящий через поверхность F ;

$(\nabla T)_n$ - проецирование температурных градиентов в направлении температуры;

Решением уравнений (1.1) и (1.2) применительно к КТ:

$$\lambda = - \frac{q_F}{dF (\nabla T)_n} \quad (1.11)$$

$$\lambda = - \frac{Q}{\int dF (\nabla T)_n} \quad (1.12)$$

По соотношениям (1.3) и (1.4) видно, что для экспериментального определения КТ требуется определять плотности теплового потока или теплового потока и, согласно этому, локального или полного градиента температуры, полученного из решения уравнения теплопроводности для тел различных форм при выбранном начальном и граничном условиях.

Заключение дифференциальное уравнение теплопроводности основано на законе Фурье и сохранения энергии (1.1). Закон сохранения энергии в этом случае состоит в том, что разность между количеством теплоты и на элементарное время dt при определенном элементарном объеме, вырезанном в теле и выделенном проводимостью (включая внутренние источники или поглотители теплоты), расходуется на изменение внутренней энергии элементарного объема.

Уравнение теплопроводности для конденсированных сред имеет вид:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda \nabla T) \pm q_v \quad (1.13)$$

Где q_v - мощность внутреннего источника тепла или стоков, Вт/м³;

τ - время, с;

ρ - плотность, кг/м³;

c - удельная теплоемкость, Дж/кг · К.

В случае постоянной СТ ($\lambda = \text{констант}$) выражение (1.5) упрощено и выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T \pm \frac{q_v}{c\rho} \quad (1.14)$$

Где $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ - коэффициент температуропроводности, физического показателя материала, количественно равен отношению КТ к объектам теплоемкости вещества, м²/с.

Коэффициент температуропроводности является мерой скорости выравнивания температуры в неоднородно нагреваемом веществе. Чем выше a , тем быстрее все точки тела достигают одной и той же температуры. Другими словами, коэффициент температуропроводности описывает тепловой инерционности тела.

Оператор Лапласа $\nabla^2 T = \text{div}(\text{grad}T)$ принимает форму в декартовых координатах:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1.15)$$

По цилиндрическим координатам

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \quad (1.16)$$

В сферической системе координат

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \text{ctg} \theta \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \quad (1.17)$$

где x, y, z - декартовы координаты;

r, φ, ρ - радиус, азимутальные и полюсные уголки соответственно.

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ					

При стационарном теплопроводном процессе скорость сдвига температуры $\partial T/\partial \tau$ равна нулю, и затем формулу теплопроводности (1.5) сводят к виду:

$$\lambda \nabla^2 T \pm q_v = 0 \quad (1.18)$$

В отсутствие внутреннего источника или поглотителя тепла в теле формула теплопроводности имеет простейший вид:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (1.19)$$

Методы для определения КТ, теплопроводности и удельной теплоемкости c , используя формулы (1.3)-(1.11) чтобы получить соответствующие расчетные формулы, возможно называть градиентными в отличие от других не прямых методов определения теплофизических свойств (ТФС), связывая их числовые значения с другими физико-химическими свойствами вещества (акустическими, ультразвуком, оптико-электрическими и др.). Больше специфических (рабочих) зависимостей между измеряемыми в эксперименте параметрами ТФС зависят от конфигурации образца, режимов нагрева и охлаждения, а также средств их реализации в пространстве и времени и связаны с решением соответствующей краевой задачи теплопроводности. На Рис. 2 приведена классификация методов определения ТФС веществ.

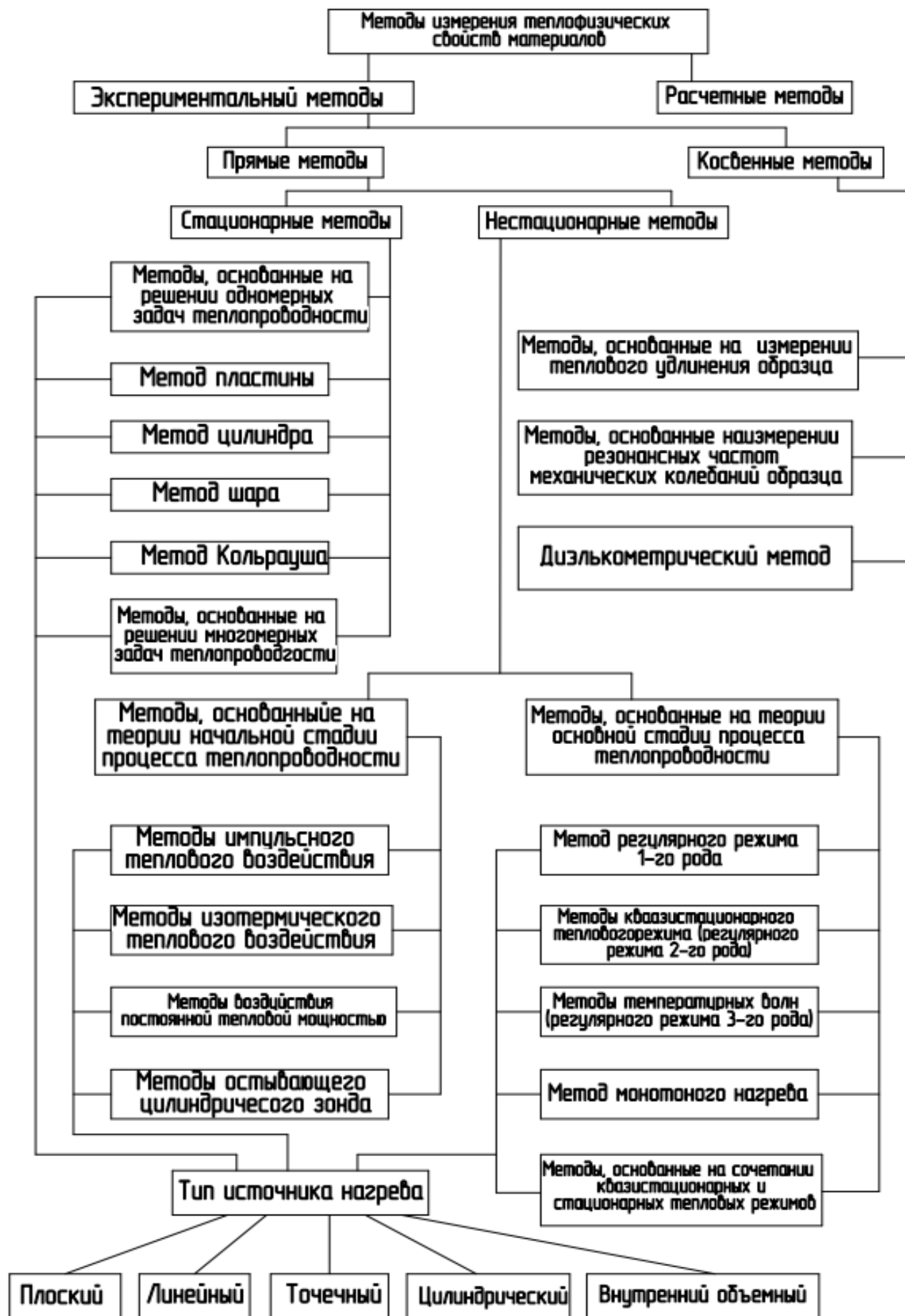


Рисунок 2. Методы для измерения теплофизических свойств

1.2 Метод «вспышки»

При этом методе измерение производится с помощью оптических печей. Оптическая печь оснащается импульсным источником лучистого потока и выполнена по моноэллипсоидной и бипараболоидной схемам

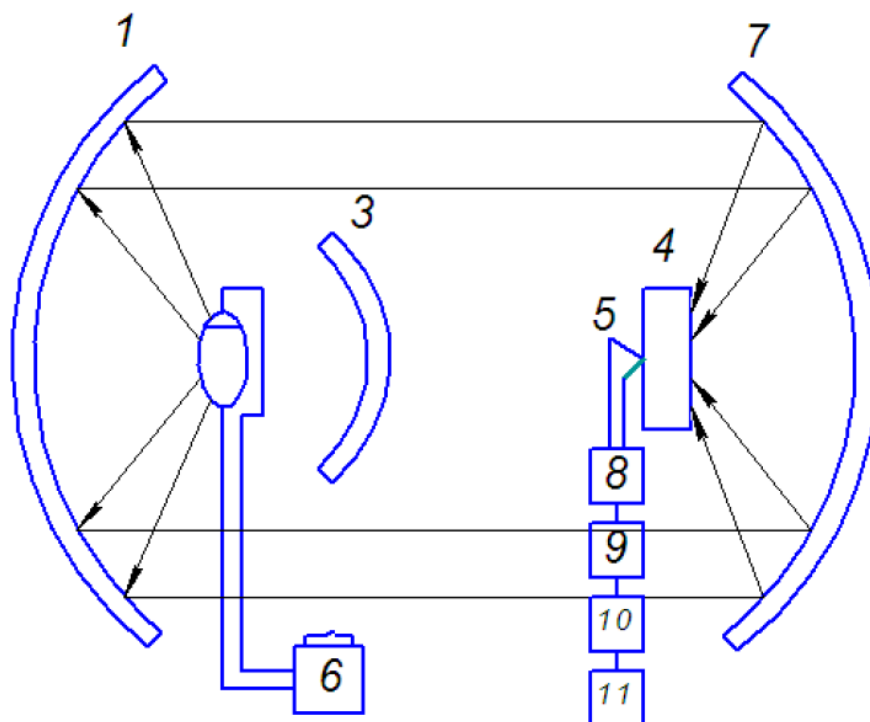


Рисунок 3 – Принципиальная схема оптической бипараболоидной печи

К основным элементам печи относятся: параболические отражатели 7, контротражатель 3, термопара 5 закрепленная с тыльной стороны образца, источник питания 6 и подключенный к нему импульсный источник лучистого потока 2. Так же термопары подключены к усилителю 8, амплитудно-цифровому преобразователю 9, а далее к компьютеру 11 через интерфейс 10.

Конструкция оптической моноэллипсоидной лабораторной печи показана на рис. 3. Основные составляющие установки закреплены при помощи цилиндрических державок 1 на металлическом основании. В качестве источника лучистого потока присутствует импульсная лампа 3, она установлена в ближнем фокусе отражателя. Полусферический контротражатель 5 с зеркальной поверхностью, размещенный вблизи лампы и обращенный в ее сторону, необходим для уменьшения потерь лучистого потока. Эллиптический отражатель 2 выполненный из стекла, на тыльную сторону которого нанесено

алюминиевое отражающее покрытие, покрытое слоем черной краски, во избежание повреждений.

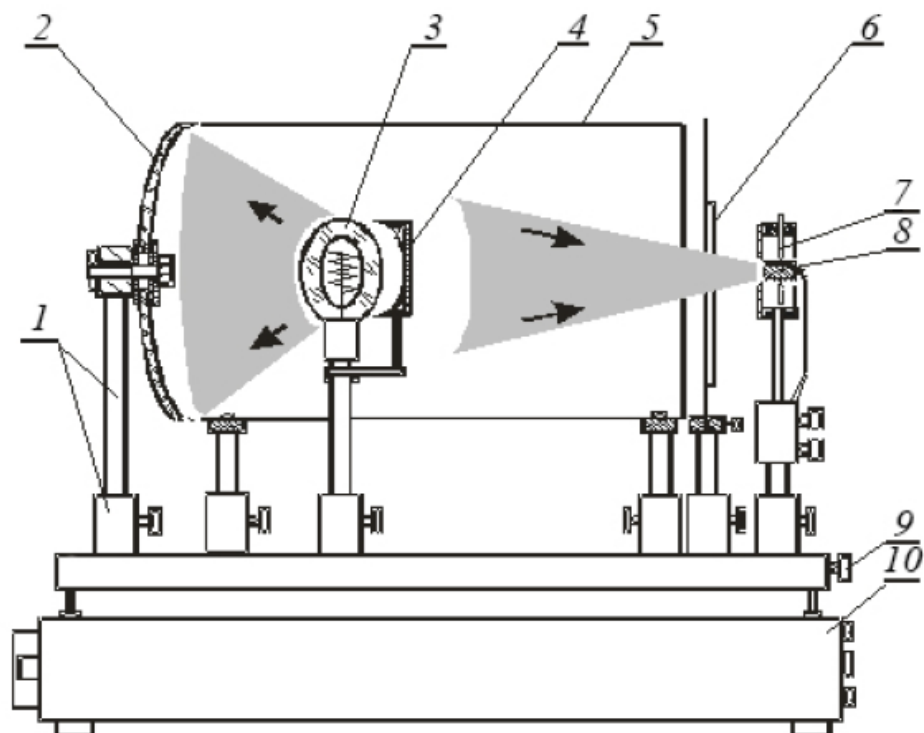


Рисунок 4– Конструкция моноэллипсоидной оптической печи

1 – держатель; 2 – отражатель; 3 – источник излучения; 4 –
контррефлектор; 5 – корпус; 6 – затвор; 7 – винты; 8 – образец;
9 –микрометрический винт; 10 – стенд..

Образец 8 расположен во второй фокальной плоскости печи. Одна из торцевых поверхностей образца обращена в сторону источника лучистого потока. На противоположной торцевой поверхности образца закреплен горячий спай хромель-копелевой термопары. Термопара служит для измерения температуры задней поверхности образца при его нагреве лучистым потоком. Образец закреплен в середине цилиндрической обоймы с помощью винтов 7. Для уменьшения потерь тепла от образца винты в месте контакта с диском заострены. Обойма вместе с образцом может перемещаться вертикально, в фокальной плоскости, и горизонтально, вдоль оптической оси печи.

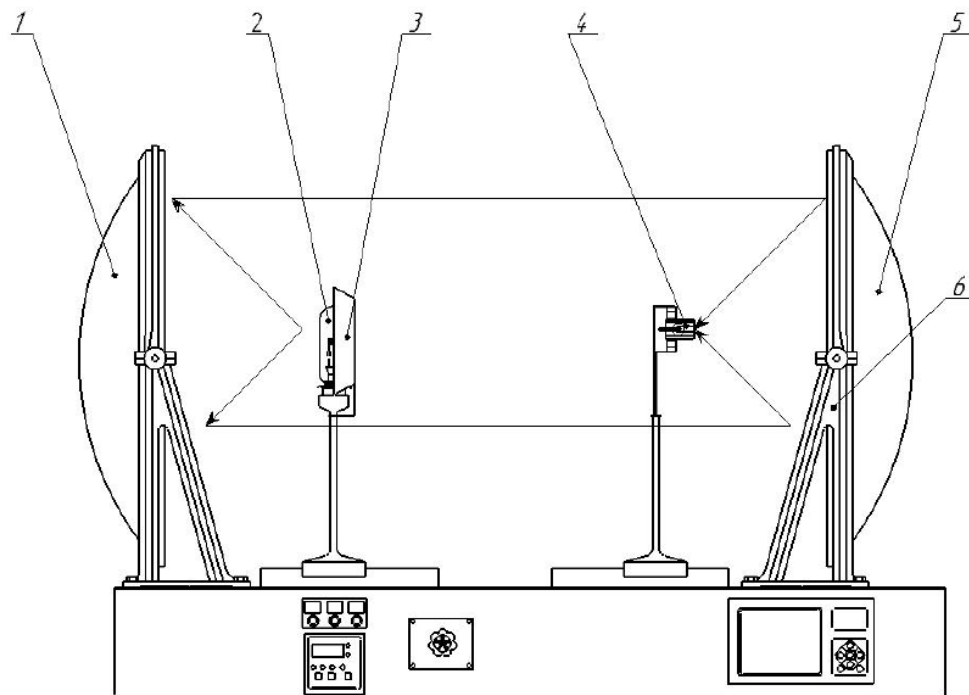


Рисунок 5 – Конструкция бипараолоидной оптической печи

1,5 – отражатели; 2 – источник лучистого потока; 3 – контротражатель;
4 – датчик теплового потока; 6 – опоры обоям отражателей.

Конструкция бипараболоидной оптической печи приведена на рис. 4. В отличие от вертикального перемещения образца в фокальной плоскости моноэллиптической печи, в данной конструкции оптической печи образец перемещается вдоль горизонтальной плоскости с помощью микрометрического винта.

1.3 Метод регулярного режима первого рода

Метод регулярного режима первого рода предназначен для определения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости веществ. Расчетные формулы метода основаны на решении соответствующих задач теплопроводности для тел классической формы с учетом закономерностей теплообмена в регулярной стадии процессов нагрева или охлаждения.

Обсудим теоретическую часть метода на примере образца, выполняемого в виде неограниченной пластины, толщина которой равна $2R$. Первая температура T_0 постоянна по толщине пластины. При этом в начальный

момент времени образец помещают в среду с постоянной температурой $T_c < T_0$. Меж ограничивающей поверхностью пластины и окружающей средой протекает теплообмен по закону Ньютона. Нужно определить температурное распределение по толщине пластины.

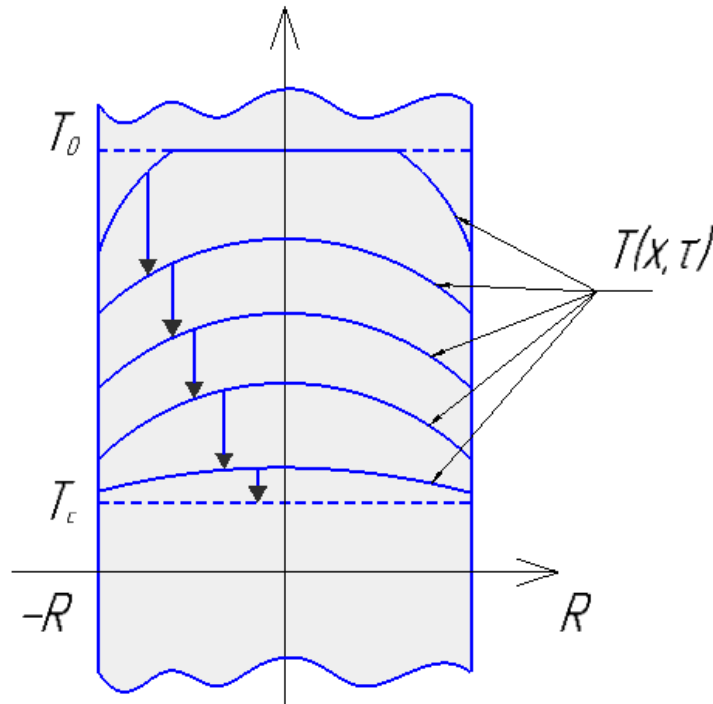


Рисунок 6 – Поле температур в неограниченной пластине

Если выбрать начало декартовой системы координат в середине пластины (рис. 6), то математическая постановка задачи для определения температурного поля в пластине имеет вид:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad \tau > 0, \quad -R < x < R, \quad (1.20)$$

$$\tau = 0, \quad T(x, 0) = T_0, \quad (1.21)$$

$$\tau > 0, \quad x = 0 \quad \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (1.22)$$

$$\tau > 0, \quad x = R \quad -\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial x} = a[T(R, \tau) - T_c]. \quad (1.23)$$

Вводится новая переменная $\vartheta(x, \tau) = T(x, \tau) - T_c$, математическая постановка задачи (1.16) – (1.19) принимает в выражении:

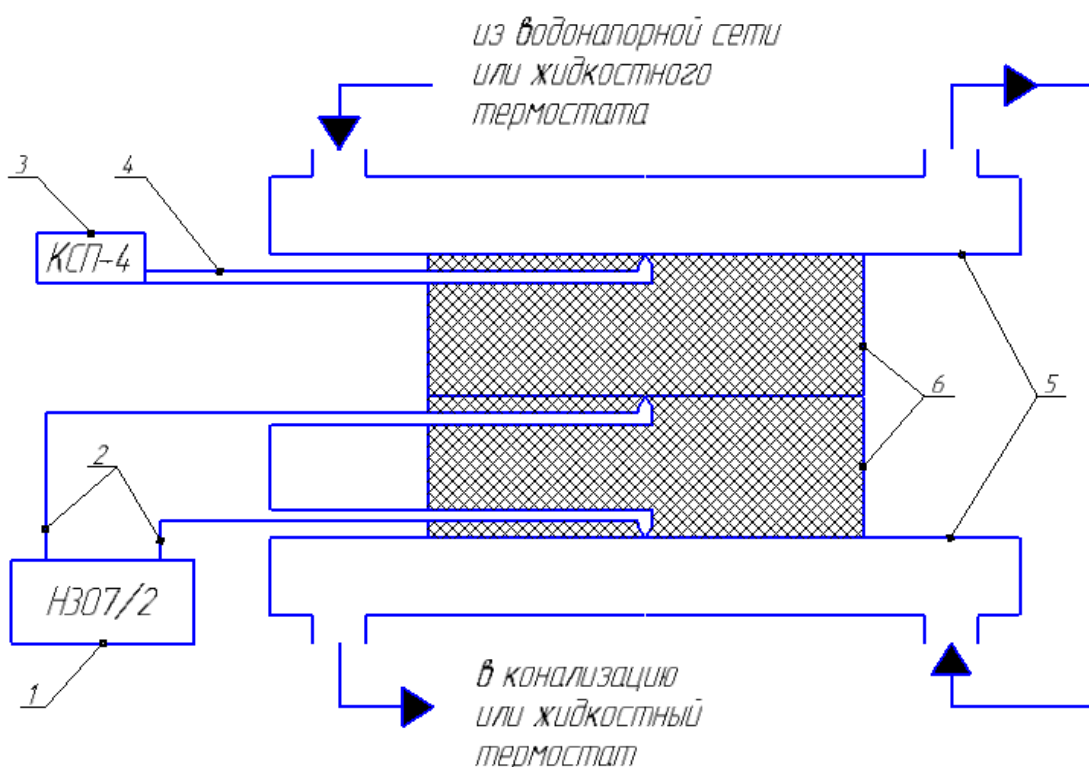
$$\frac{\partial \vartheta(x, \tau)}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \vartheta(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad -R < x < R, \quad \tau > 0, \quad (1.24)$$

$$\vartheta(x, 0) = T_0 - T_c = \vartheta_0, \quad \tau = 0, \quad (1.25)$$

$$\frac{\partial \vartheta(0, \tau)}{\partial \tau} = 0, \quad \tau > 0, x = 0 \quad (1.26)$$

$$-\lambda \frac{\partial \vartheta(R, \tau)}{\partial x} = a \vartheta(R, \tau), \quad \tau > 0, \quad x = R \quad (1.27)$$

Задачи 1.20) – (1.21) решается с помощью метода выделения переменных-метода Фурье



исуно
к 7 –
Прин
ципа
льная
схема
устан
овки
для
опред
елени

я коэффициента температуропроводности в зависимости от метода регулярных режимов первого рода

Определение коэффициента температуропроводности твердых материалов при комнатных температурах может быть осуществлено по схеме показанной на рис. 6. При испытании твердых материалов используют два поступательных плоскопараллельных медных блока 6, которые могут перемещаться в вертикальной плоскости по направляющим струбцины. Для измерения температуры блоков используется термопара 4, подключенная к электронному потенциометру 3. Дифференциальная хромель-алюмелевая

термопара 2 служит для измерения разности температур на поверхностях образцов. Спай термопары 4 и один из спаев дифференциальной термопары 2 зачеканивают заранее, соответственно, на плоскостях блоков. Из испытуемого твердого материала изготавливаются плоскопараллельные круглые или квадратные пластинки 6.

Исследование проводится по следующему порядку. Вода с постоянной температурой пропускается через последовательно соединенные блоки. Между пластинами, находящимися при комнатной температуре, размещен свободный спай дифференциальной термопары, концы которой соединены с регистратором 1. После того как установится стабильная разность температур (о чем можно судить из показаний самописца 1) образец помещается в пространство между блоками и зажимается. По кривой охлаждения (или же нагревания) строится график, по которому определяется темп охлаждения. Коэффициент температуропроводности вычисляется по формуле:

$$a = \frac{4m_{\infty}R^2}{\pi^2}. \quad (1.28)$$

Отличительной характеристикой приведенной схемы для оценки коэффициента температуропроводности является то, что испытываемый образец термостатируют при комнатной температуре. Промежуточные среды имеют такую же температуру, что имеет особое значение при изучении материалов с высокой температуропроводностью. В случае испытания твердых материалов возможно снижение термического сопротивления путем сжатия образца и обработки поверхностей блоков.

1.4 Установка для измерения коэффициента теплопроводности методом пластины

Методы, использующие одномерные тепловые потоки, притягивают легкостью расчетной формулы за бесконечный плоский слой и ясностью с физической точки зрения, поэтому их смысл в какой-то мере заключается в отражении самого определения коэффициента теплопроводности. Наиболее часто исследуемые образцы рассматриваются в форме пластины конечного размера или цилиндрической колонны. Для исключения искажений одномерности теплового потока в обоих случаях необходима теплоизоляция боковых поверхностей. В случае применения пластины это требование выражается менее жестко, поэтому соответствующим выбором связи геометрических размеров проще добиваться одномерного распределения температуры если не по всему образцу, то, по крайней мере, в его центральной части. При таком раскладе периферийные участки образца выполняют роль вспомогательной теплоизолирующей конструкции.

Определение теплопроводности некачественных теплопроводов в процессе эксплуатации проводят на приборе с одним плоским образцом в виде округлого диска. Испытуемый образец помещают горизонтально для установки на керамическую пластину, внутри которой расположены основной и защитный нагреватели. Внизу испытываемый образец толщиной δ и площадью F прессуется плоским тепловым коллектором, охлаждающимся проточной водой. В устойчивом стационарном тепловом режиме измерения сводятся к определению тепловой мощности основного нагревателя $Q=IV$ Вт и температуры на "горячей" и "холодной" сторонах образца (T_1 и T_2) с помощью термопар.

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ				

В данной установке используется абсолютный метод определения теплопроводности, ниже приведена расчетная формула:

$$\lambda = \frac{I \cdot U \cdot \delta}{(T_1 - T_2) \cdot F} \quad (1.29)$$

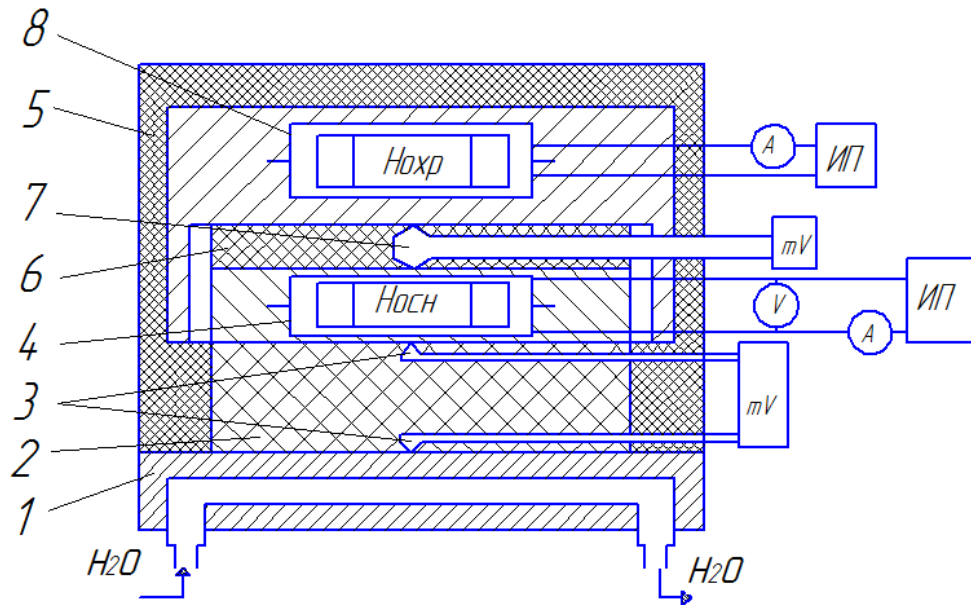


Рисунок 8 – Принципиальная схема установки

1-холодильник; 2-образец; 3-термопары; 4-основной нагреватель; 5-тепловая изоляция; 6-таплоизоляционная прослойка; 7-дифференциальная термопара; 8-охранный нагреватель.

Конструкция установки представлена на рисунке 8.

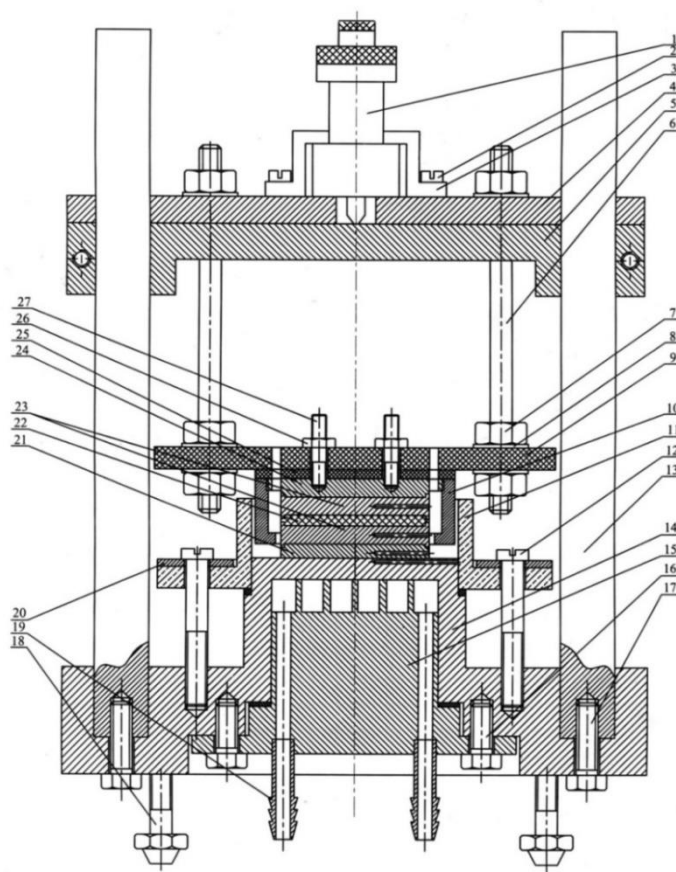


Рисунок 9 – Конструкция установки.

Основными элементами установки является холодильник, блок системы нагрева с термопарами и система его перемещения. Между блоком нагревателей и холодильником расположен образец. Холодильник выполнен разборным и состоит из верхнего 14 и нижнего 15 массивных медных фланцев. На нижнем фланце профрезерованы каналы для прохода термостатирующей жидкости. Её подача и слив осуществляется с помощью штуцеров 19 припаянных к нижнему фланцу. Герметичное соединение верхнего и нижнего фланцев достигается резиновой прокладкой 20 четырьмя болтами 16. Система нагрева состоит из основного и охранный нагревателей разделённых текстолитовой прокладкой 24. Нагреватели представляют собой коробчатую конструкцию, изготовленную из двух медных дисков. В нижнем 23 и верхнем 25 дисках основного, а так же в нижнем 25 диске охранный нагревателя

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ

Лист

32

имеются по три глухих радиальных отверстий для закладки термопар. С помощью шпилек 29 блок нагревателей крепится к текстолитовой плите 9, подвешенной на длинных шпильках 6 к металлическому фланцу 4. Так же сверху диска крепится микрометр 1, для измерения зазора между основным нагревателем и холодильником при измерении коэффициента теплопроводности жидких и газообразных сред.

Выбирая геометрические размеры исследуемых образцов с малой теплопроводностью, требуется выполнение условия $\delta (1/6 \dots 1/11) D$, где D - диаметр округлой пластины (или сторона квадрата), обеспечивающий одномерность температурного поля.

2 Теоретический метод стержня

Рассмотрим металлический стержень длиной L , сечением S и коэффициентом теплопроводности λ с идеальной тепловой изоляцией боковой поверхности (рис.10). Пусть на один торец стержня падает лучистый тепловой поток Q , а второй торец стержня поддерживается при постоянной температуре T_x . Направим ось координат x вдоль стержня и на любом расстоянии от начала координат выделим элементарный объем $\Delta V = \delta x \cdot S$.

где δx - длина выделенного объема; S - площадь сечения стержня.

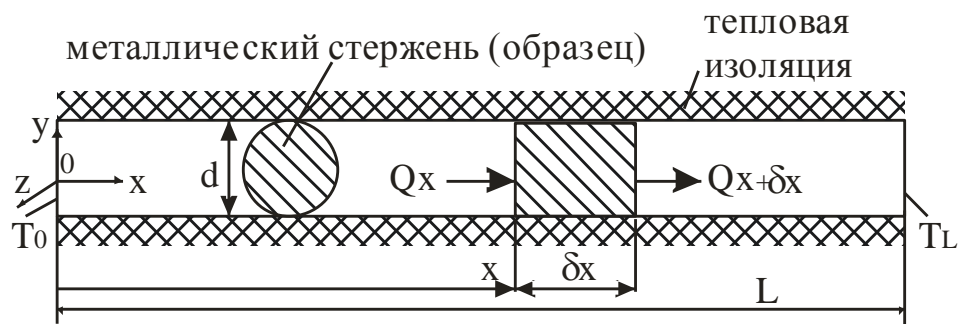


Рисунок 10. К выводу расчетной формулы метода стержня.

Для выделенного элементарного объема применим закон сохранения энергии при установившемся (стационарном) тепловом потоке:

$$Q_x = Q_{x+\delta x} \quad (1.30)$$

где Q_x и $Q_{x+\delta x}$ - входящий и выходящий тепловые потоки в элементарный объем.

Распишем тепловые потоки, используя закон теплопроводности Фурье:

$$-\lambda \left(\frac{dT}{dx} \right)_x \cdot S = -\lambda \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x+\delta x} \cdot S \quad (1.31)$$

Или

$$\left(\frac{dT}{dx} \right)_x - \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x+\delta x} = 0 \quad (1.32)$$

Поделив обе части равенства на приращение аргумента δx и устремляя $\delta x \rightarrow 0$, получим:

$$\lim_{\delta x \rightarrow 0} \left[\frac{\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x+\delta x} - \left(\frac{dT}{dx}\right)_x}{\delta x} \right] = 0 \quad (1.33)$$

Или

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (1.34)$$

Это дифференциальное уравнение описывает распределение температуры по длине теплоизолированного с боковой поверхности стержня. Решение этого дифференциального уравнения имеет вид:

$$T(x) = C_1x + C_2 \quad (1.35)$$

где C_1 и C_2 константы интегрирования.

Если известны значения температур $T(x_1)$ и $T(x_2)$ в двух точках с координатами x_1 и x_2 , то можно найти константы интегрирования и :

$$C_1 = \frac{T(x_1) - T(x_2)}{x_2 - x_1} \quad (1.36)$$

$$C_2 = T(x_1) \quad (1.37)$$

и решение примет вид:

$$T(x) = T(x_1) - \frac{T(x_1) - T(x_2)}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) \quad (1.38)$$

При известных температурах T_0 и T_L на концах стержня, т.е. при $x=0$ и $x=L$ формула приобретает вид:

$$T(x) = T_0 - \frac{T_0 - T_L}{L} \cdot x \quad (1.39)$$

Из решения видно, что поле температур в теплоизолированном стержне меняется по линейному закону.

Используя закон Фурье и приведенное решение получим расчетную формулу для определения коэффициента теплопроводности методом стержня:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{[T(x_1) - T(x_2)] \cdot S} \quad (1.40)$$

где Q - тепловой поток, Вт;

$\delta = x_2 - x_1$ - расстояние между точками измерения температур x_2 и x_1 .

3 Описание принципиальной схемы и конструкции экспериментальной установки

3.1 Конструкция моноэллипсоидной оптической печи

В лабораторной установке используемая оптическая печь изготавливается по бипараболоидной схеме. Измерения теплопроводности методом стержня проводились в оптической печи с использованием источника потока импульсного излучения.

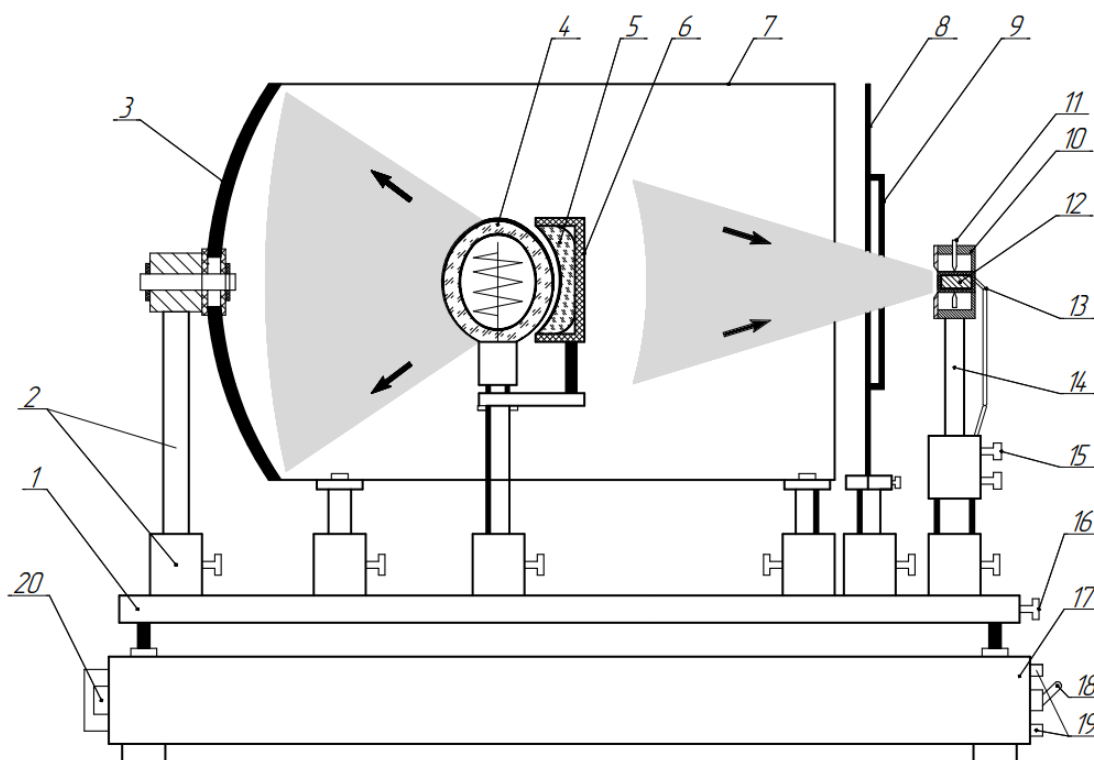


Рисунок 11 – Конструкция моноэллипсоидной оптической

печи

1 – плита; 2 – державки; 3 – отражатель; 4 – лампа; 5 – контроотражатель ;
 6 – обойма; 7 – кожух 8 – экран; 9 – шторка; 10 – обойма; 11– игольчатые держатели; 12 – образец; 13 – термопара; 14 – трубка; 15 – стопорный винт; 16 – микрометрический; 17 – подставка; 18 – тумблер; 19 – гнездо для термопары; 20 – разъем для присоединения источника питания.

Конструкция оптической моноэллипсоидной лабораторной печи показана на рис. 11. Главные элементы устройства зафиксированы на металлическом основании-плите 1 с использованием цилиндрической державки

2. Импульсная лампа 4 устанавливается в ближний фокус отражателя с, являющегося источником лучистого потока. Чтобы уменьшить потери лучистого потока на окружающую среду рядом с лампой, на металлическую клетку помещают полусферический контррефлектор 5 с зеркальной поверхностью, обращенной к лампе. Эллиптический отражатель 3 выполненный из стекла, на тыльную сторону которого нанесено отражающее покрытие из алюминия, защищенное от повреждений слоем черной краски. Диаметр отражателя составляет 300 мм, дальность к ближнему и дальнему фокусам соответственно равна $f_1 = 100\text{мм}$ и $f_2 = 300\text{мм}$.

Образец 12 расположен во второй фокальной плоскости печи. Одна из торцевых поверхностей образца обращена в сторону источника лучистого потока. На противоположной торцевой поверхности образца закреплен горячий спай хромель-копелевой термопары 13. Термопара служит для измерения температуры задней поверхности образца при его нагреве лучистым потоком. Образец закреплен в середине цилиндрической обоймы 10 с помощью винтов 11. Для уменьшения потерь тепла от образца винты в месте контакта с диском заострены. Обойма вместе с образцом может перемещаться вертикально, в фокальной плоскости, и горизонтально, вдоль оптической оси печи.

Перемещение образца в фокальной плоскости осуществляется выдвиганием трубки 14, вставленной в державку. На трубке нанесены деления через 10 мм. Фиксация трубки в необходимом рабочем положении производится стопорным винтом 15. Для горизонтального перемещения образца служит направляющий механизм. При вращении ручки 16, укрепленной на штоке микрометрического винта, вращательное движение последнего преобразуется в поступательное перемещение державки с установленным на ней образцом. Цилиндрический кожух 7 и плоский экран 8 служат для защиты глаз от ослепления во время работы печи. На плоском экране укреплен шторка 9, которую открывают при включении лампы и закрывают после ее выключения.

3.2 Принципиальная схема экспериментальной установки

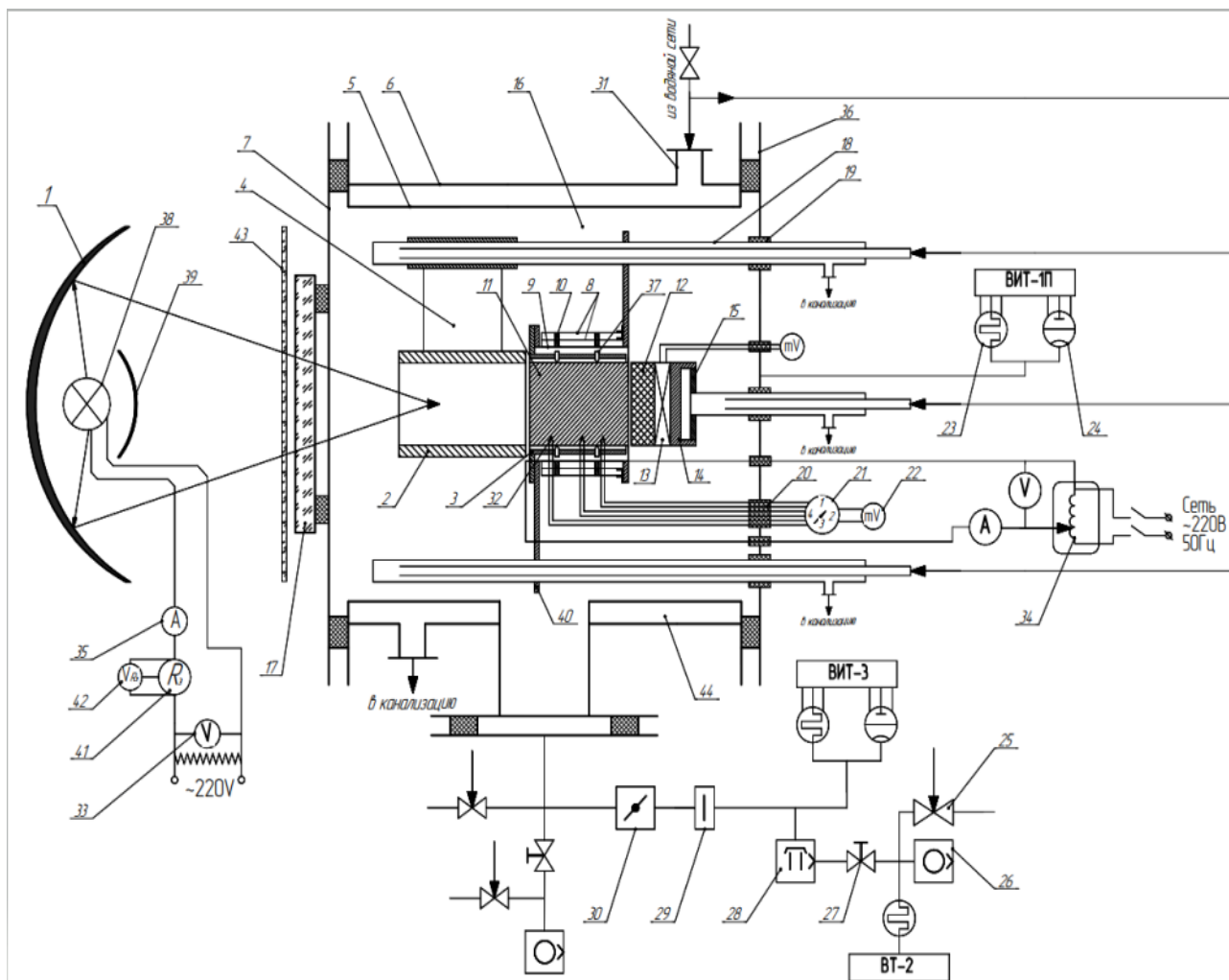


Рисунок 12 – Принципиальная схема экспериментальной установки

Исследуемый образец 11 расположен в вакуумной камере 16 между обоймой 3 с помощью игольчатых держателей. Вакуумная камера состоит из верхнего фланца 7, цилиндрической стенки 5 и нижнего фланца 36, в который устанавливаются вакуумные вводы движения 19.

Нагрев образца производится моноэллипсоидное зеркало 1, лучистый поток с которой проходит через кварцевое окно 17 установлен в верхнем фланце вакуумной камеры. Излучение от нагревателя выравнивается в

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ

Лист

38

зеркальном блоке 2. Зеркальный блок закрепляется на трубке Фильда 18, которая обеспечивает охлаждение блока, посредством держателя 4. Измерение теплового потока, излучаемого нагретым образцом с его нижней грани, осуществляется градиентным датчиком теплового потока 13. Для выравнивания теплового потока излучаемого образцом на верхней поверхности датчика установлена теплоизоляция 12 с термоэлектрическим преобразователем температуры. Поддержание вакуумной камеры при постоянной температуре осуществляется при помощи водяной рубашки 44, которая образуется вследствие зазора между цилиндрической стенкой 5 и наружной стенкой 6. Через водяную рубашку протекает холодная вода из сети водоснабжения.

За счет разности температур в датчиках, в термопарах возникает термо ЭДС, величина которой определяется микровольтметром 2. Для переключения измеряемых датчиков применяется переключатель 21.

Для охлаждения датчиков и зеркального блока применяется вода из сети водоснабжения, циркулирующая по трубкам Фильда и охлаждающему диску

Вакуумная система состоит из высоковакуумного диффузионного насоса 28, который соединен с корпусом вакуумной камеры через водяную ловушку 29 и вакуумный затвор 30, и в этой системе создается вакуум. механического насоса , вентиля и натекателя .

Механический насос 26 используется для откачивания воздуха из вакуумной системы.Чтобы предотвратить остановку диффузионный насо и минимизировать время проверки, предусмотрен байпас линия.

Измерения вакуума в камере осуществляются термопарным и ионизационными , преобразователями давления, подключенными к вакуумметру ВИТ-3, ВТ-2 и ВИТ-1П

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

3.3 Конструкция вакуумной камеры и электрической печи

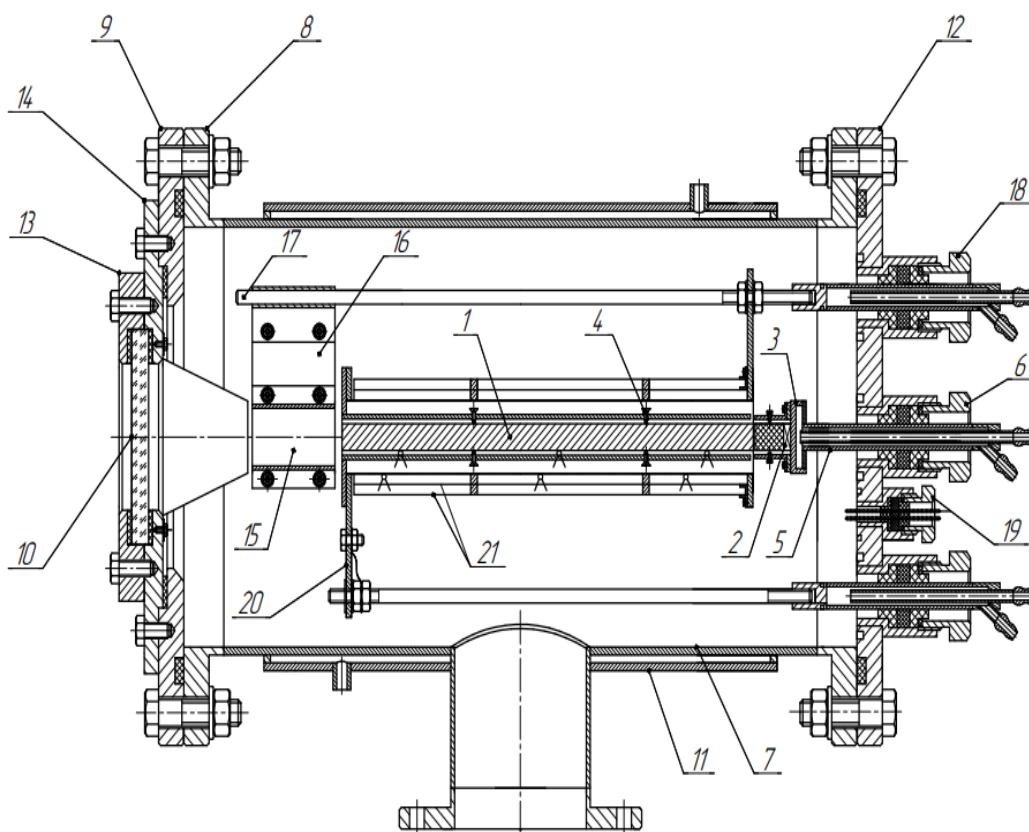


Рисунок 13 – Вакуумная камера и электрическая печь в сборе

На рисунке 13 представлен измерительный блок с образцом 1. Все датчики и сам образец устанавливаются и закрепляются на диске, который охлаждается водой. Сам измерительный блок состоит из охлаждающего диска 3, и градиентного датчика теплового потока 2. Образец фиксируется фиксаторами 4, которые крепятся с помощью болтов к охлаждающему диску. Установка образца в необходимое положение осуществляется игольчатыми держателями, которые вкручиваются в фиксаторы. Охлаждающий диск крепится при помощи сварки на трубку Фильда 5, которая обеспечивает подачу охлаждающей воды. Трубка Фильда входит в вакуумную камеру через вакуумный ввод движения 6.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ

Лист

40

Облучить образец импульсным током через окно смотровое . Измерьте температуру в духовке, и образец также станет прозрачным через окно.

Вакуумная камера состоит из обечайки 7 с приварными фланцами 8 и водяной рубашкой 11 и из верхнего 12 и нижнего фланца 9, причем в верхний фланец устанавливается смотровое окно 10, которое , в свою очередь, закрепляется в фланцы 13 и 14, крепящиеся к верхнему фланцу. Смотровые окна предназначены для измерения температуры образца и печи , также чтобы облучить образец импульсным потоком. Внутри камеры есть также зеркальный ящик 15 для выравнивания теплового потока, падающего на образец. Этот ящик крепится на пластинку 16, которая обжимается вокруг трубки Фильда 17 и скрепляется болтами. Трубка Фильда так же как в случае с измерительным блоком вводится в вакуумную камеру через вакуумный ввод движения 18. Все термодары выводятся через вакуумные термодарные вводы 19.

Теплозащитные экраны 21 используются для снижения энергопотребления и потерь тепла. В данном случае они сделаны из вольфрамовой фольги. Нагреватель приварен к рельсам питания 20 контактной сваркой.

Конструктивные особенности установки:

Штуцерное соединение грибкового типа

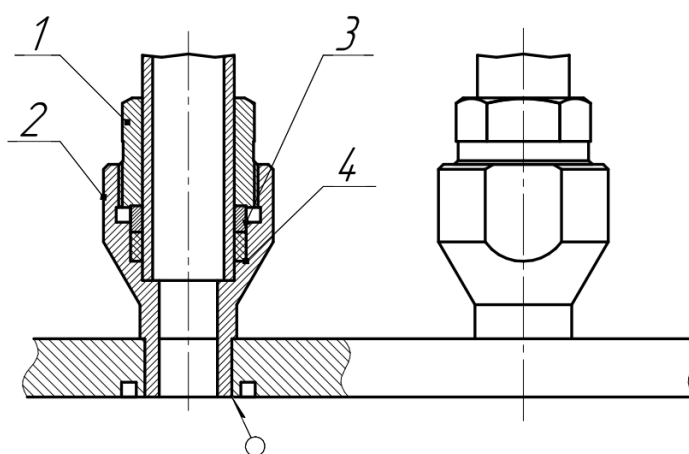


Рисунок 14 – Конструктивная штуцерного соединения грибкового типа

Для измерения падения напряжения на опытном участке образца в него закладывают потенциално-металлические выводы. Из вакуумной камеры эти выводы выводятся через потенциальный ввод. На крышке уплотняется прокладкой 1 корпус, в котором изоляционными втулками 3 с прокладками 4 уплотняются потенциално-металлические выводы с помощью нажимной гайки 2. Материалом прокладки служит резина а изоляционных втулок- фторопласт.

Водоохлаждаемый электрический ввод

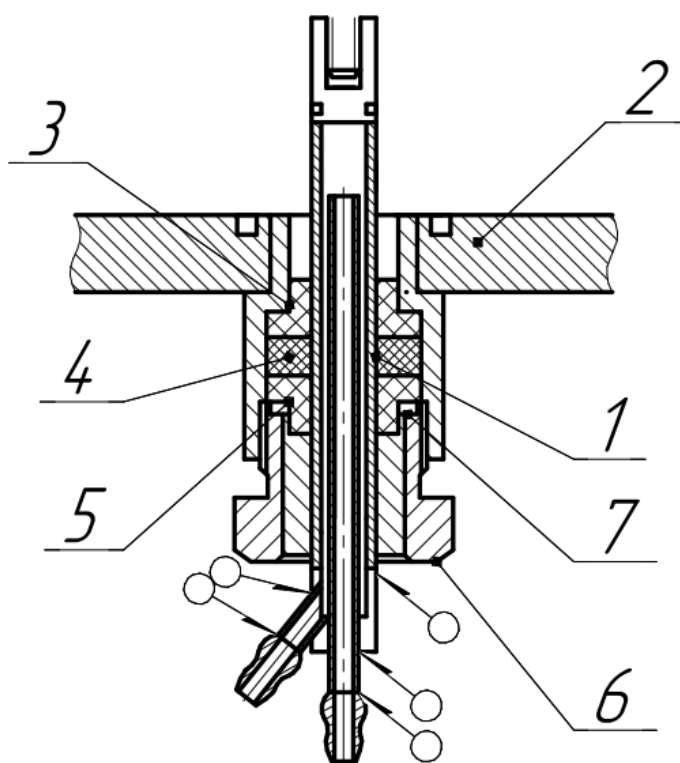


Рисунок 15 – Конструктивная водоохлаждаемого электрического ввода

Конструкция электрического входа, предназначенного для подачи значительной мощности при токах порядка нескольких сотен ампер, показана на рис. 15 водоснабжение исключает нагревание источника тока 1. Плотность вакуума с крышкой 2 достигается сжатием резиновой уплотнительной прокладки 4 между двумя изолирующими втулками 3 и 5. С помощью нажимной гайки 6 и кольца 7.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ

Лист

42

В вакуумных установках часто возникает потребность контроля температур в нескольких точках, что требует наличия большого количества термопарных вводов.

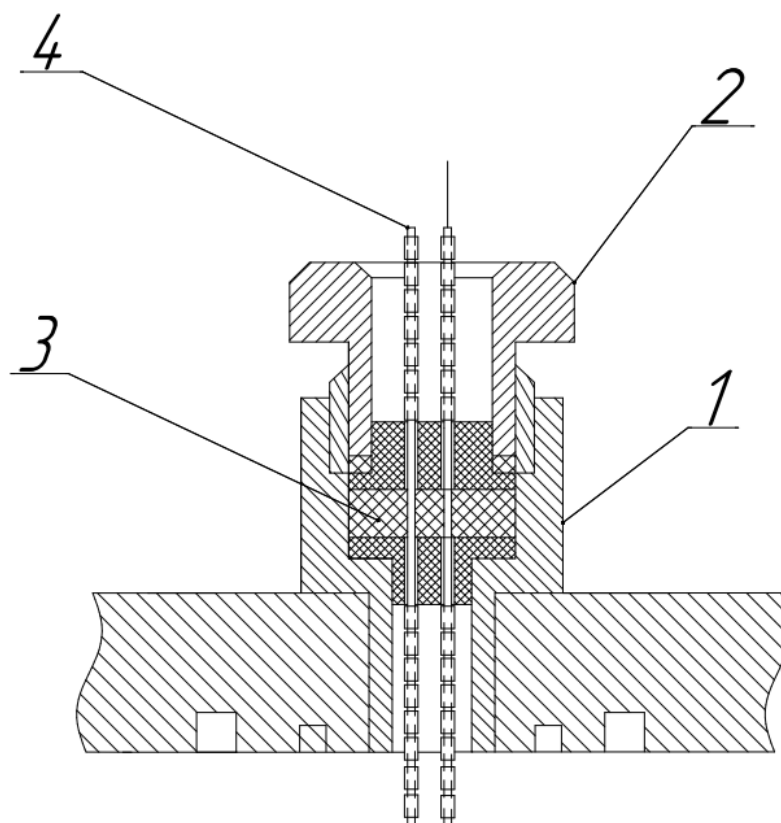


Рисунок 16 – Конструкция вакуумного токоввода.

Уплотнение состоит из гнезда сальника 1, уплотняющей резиновой прокладки 3 с отверстиями для вводов и натяжной гайки 2. Термопарные провода в вакуумной полости изолируются друг от друга при помощи двухканальных фарфоровых пирометрических втулок 4.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ

Лист

43

4 Конструкторские расчеты

4.1 Расчет прочности стенки вакуумной камеры

Расчет цилиндрической вакуумной камеры на прочность сводится к определению толщины стенки, при этом расчет ведется по теории тонкостенных оболочек. К тонкостенным оболочкам в практических случаях относятся оболочки, у которых соблюдается условие:

$$\frac{s}{D_в} \leq 0,04, \quad (4.1)$$

где s – толщина стенки; $D_в$ – внутренний диаметр камеры.

Величина расчетного наружного давления камеры определяется с учетом возможного повышения давления воды по формуле:

$$P_н = P_в + P_ж = 0,6 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6 = 0,7 \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

где $P_в = 0,6 \text{ МПа}$ – давление воды в водопроводах; $P_ж = 0,1 \text{ МПа}$ – гидростатическое давление жидкости.

В качестве материала стенки выбираем аустенитную нержавеющую сталь марки 0X18H10T, так как она имеет высокую жаропрочность, хорошую свариваемость, хорошую пластичность и вследствие этого высокую технологичность при деформации.

Допустимое напряжение обечайки найдем по формуле:

$$\sigma_д = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{220 \cdot 10^6}{1,5} = 146,7 \text{ МПа}, \quad (4.3)$$

где $n_T = 1,5$ – запас прочности для легированной (аустенитной) стали; $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$ – предел текучести для стали марки 0X18H10T.

Расчетная толщина цилиндрической стенки, подверженная наружному давлению, определяется исходя из устойчивости обечайки по формуле:

					ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		44

$$s' = 1,25 \cdot D_6 \cdot \left(\frac{P_n}{E^t} \cdot \frac{H}{D_6} \right)^{0,4} + c, \quad (4.4)$$

где s' – расчетная толщина цилиндрической стенки;

D_6 – внутренний диаметр обечайки;

H – длина обечайки;

P_n – величина наружного давления;

$c = 0,18$ мм – добавка на минусовой допуск для листов толщиной $s = 2$ мм; E^t – модуль упругости (модуль Юнга). Для стали марки 0Х18Н10Т при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ $E^{20} = 196$ ГПа.

Формула (5.39) применима для обечаек, при соблюдении условий:

$$1 \leq \frac{H}{D_6} \leq 8 \quad (4.5)$$

$$\left(\frac{P_n}{E^t} \cdot \frac{H}{D_6} \right)^{0,4} \leq 0,523 \quad (4.6)$$

Примем внутренний диаметр обечайки камеры равным $D_6 = 104$ мм, а высоту обечайки равной $H = 472$ мм.

$$\frac{472}{104} = 4,54 > 1 \text{ – условие (4.5) выполняется.}$$

$$\left(\frac{0,7 \cdot 10^6}{196 \cdot 10^9} \cdot \frac{0,472}{0,104} \right)^{0,4} = 0,012 < 0,523 \text{ – условие (4.6) выполняется.}$$

По формуле (4.4 найдем расчетную толщину цилиндрической стенки:

										Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ					

$$s' = 1,25 \cdot 0,104 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 10^6}{196 \cdot 10^9} \cdot \frac{0,472}{0,104} \right)^{0,4} + 0,18 \cdot 10^{-3} = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,75 \text{ мм.}$$

Примем толщину стенки обечайки равной $s = 3 \text{ мм}$.

Принятая толщина стенок подлежит контрольной проверке на напряжение в ней σ при гидравлическом испытании по формуле:

$$\sigma = \frac{(D_g + s) \cdot P_u}{1,1 \cdot (s - c)} \leq \frac{\sigma_T}{1,2}, \quad (4.7)$$

где $P_u = 1,5 \cdot P_n = 1,5 \cdot 0,7 = 1,05 \text{ МПа}$ – давление гидравлического испытания.

Тогда согласно (5.42)

$$\sigma = \frac{(0,104 + 0,003) \cdot 1,05 \cdot 10^6}{1,1 \cdot (0,002 - 0,00018)} = 56,11 \text{ МПа},$$

$$\frac{\sigma_T}{1,2} = \frac{220 \cdot 10^6}{1,2} = 183,3 \text{ МПа},$$

$56,11 \text{ МПа} < 183,3 \text{ МПа}$ – условие выполняется.

4.2 Расчет системы охлаждения стенки камеры

Расчет системы охлаждения камеры сводится к нахождению толщины зазора между стенкой камеры и стенкой водяной рубашки.

Примем температуру на входе и выходе вакуумной камеры равной $t_{BX} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{BbIX} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

При давлении воды в водопроводе $P_g = 0,6 \text{ МПа}$ и $t_{cp} = 0,5 \cdot (t_{ax} + t_{bых}) = 0,5 \cdot (15 + 20) = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ определим теплофизические свойства воды:

$$\rho = 998,9; \quad c_p = 4,185 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \lambda = 0,5956 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}; \quad Pr = 7,49;$$

$$\nu = 1,067 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Массовый расход воды в кольцевом зазоре:

					ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		46

$$G_M = \frac{Q}{c_p(t_{ВЫХ} - t_{ВХ})}, \quad (4.8)$$

где Q - подводимый тепловой поток.

Тепловой поток подводимый от нагревателей равен $Q = 1,953 \text{ кВт}$.

Предположим, что всё тепло уходит через стенку камеры. Рассчитаем по формуле (4.8) массовый расход в кольцевом зазоре:

$$G_M = \frac{1953}{4,185 \cdot 10^3 \cdot (20 - 15)} = 0,093 \text{ кг/с}.$$

Объемный расход:

$$G_{ОБ} = \frac{G_M}{\rho} = \frac{0,093}{998,9} = 9,31 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.9)$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи от обечайки к воде.

Из уравнения неразрывности определим скорость воды:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_{ОБ}}{\pi \cdot (D_{НАР}^2 - D_{ВНУТР}^2)} = \frac{4 \cdot 9,31 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot (0,120^2 - 0,110^2)} = 0,05 \text{ м/с}, \quad (4.10)$$

где $D_{НАР} = 120 \text{ мм}$ - наружный диаметр кольцевого зазора;

$D_{ВНУТР} = 110 \text{ мм}$ - внутренний диаметр кольцевого зазора.

При нахождении числа Рейнольдса за гидравлический диаметр принимаем разность диаметров водяной рубашки:

$$Re = \frac{\omega \cdot (D_{НАР} - D_{ВНУТР})}{\nu} = \frac{0,05 \cdot (0,120 - 0,110)}{1,067 \cdot 10^{-6}} = 468,6. \quad (4.11)$$

Критерий Нуссельта для кольцевого зазора определим по формуле:

$$Nu = 0,017 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,4} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{D_{НАР}}{D_{ВНУТР}} \right)^{0,18}, \quad (4.11)$$

где $Pr_{ж} = 7,49$ - число Прандтля для воды при давлении $0,6 \text{ МПа}$ и температуре $t_{cp} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $Pr_{ст}$ - число Прандтля для воды при давлении

$0,6 \text{ МПа}$ и температуре $t_{ОБ}^{cp} = 0,5 \cdot (t_{cp} + t_{ОБ})$.

Произведем итерационный расчет температуры поверхности обечайки.

В первом приближении примем температуру поверхности обечайки равной $t_{OB}^I = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тогда средняя температура в обечайки будет равна

$$t_{OB}^{cp} = 0,5 \cdot (t_{cp} + t_{OB}^I) = 0,5 \cdot (17,5 + 50) = 33,75 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.12)$$

При данной температуре и давлении $0,6 \text{ МПа}$ число Прандтля равно $Pr_{cm} = 4,965$.

По формуле (5.47) рассчитаем критерий Нуссельта

$$Nu = 0,017 \cdot 468,6^{0,8} \cdot 7,49^{0,4} \cdot \left(\frac{7,49}{4,965}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{0,120}{0,110}\right)^{0,18} = 5,865.$$

Тогда коэффициент теплоотдачи будет равен:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{D_{НАР} - D_{ВНУТР}} = \frac{5,865 \cdot 0,5956}{0,120 - 0,110} = 349,4 \text{ Вт / м}^2\text{К}. \quad (4.13)$$

По закону теплоотдачи Ньютона найдем температуру поверхности обечайки:

$$t_{OB} = \frac{Q}{\alpha F_{OB}} + t_{CP} = \frac{1953}{349,4 \cdot 0,1838} + 17,5 = 64,2 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (4.14)$$

где $F_{OB} = \pi \cdot H_{OB} \cdot D_{OB} = 3,14 \cdot 0,152 \cdot 0,146 \cdot 10^{-3} = 0,07 \text{ м}^2$ - площадь поверхности обечайки.

Проверим полученную температуру:

$$\frac{|t_{OB}^I - t_{OB}|}{t_{OB}^I} \cdot 100\% = \frac{|50 - 64,2|}{50} \cdot 100\% = 28\% > 2\%.$$

Погрешность выше 2%. Задаемся другим значением t_{OB} .

Во втором приближении примем температуру $t_{OB}^{II} = 64,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Повторяем итерационный расчет с формулы (5.48) до тех пор, пока погрешность принятой и расчетной температур не будет менее 2%.

После нескольких расчетов получили температуру стенки $t_{OB} = 76 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{|77,2 - 76|}{77,2} \cdot 100\% = 1,5\% < 2\%.$$

Для комфортного нахождения человека максимальная температура нагретых поверхностей не должна превышать $t_{MAX} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$. Расчетная температура выше допустимой, следовательно необходима теплоизоляция поверхности, либо конструирование новой водяной рубашки, что нецелесообразно.

4.3 Расчет нагревательного элемента

Нагревательный элемент состоит из нихромовой проволоки диаметром 0,3 мм длиной 18 см.

$$F_H = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} = 7,07 \cdot 10^{-2} (\text{мм}^2) \quad (4.15)$$

Определим сопротивление нагревательного элемента:

$$R_H = \frac{\rho l}{F_H} = \frac{1,1 \cdot 0,18}{7,07 \cdot 10^{-2}} = 8,4 (\text{Ом}) \quad (4.16)$$

Где $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ - удельное сопротивление нихрома.

Исходя из (1.30) :

$$Q_H = \frac{\lambda_H \pi d^2 \Delta T}{4l} = \frac{20 \cdot \pi \cdot 0,014^2 \cdot 12}{4 \cdot 0,074} = 0,5 (\text{Вт}) \quad (4.17)$$

$$I_H = \frac{Q_H}{R_H} = \sqrt{\frac{0,5}{8,4}} = 0,25 (\text{А}) \quad (4.18)$$

$$U_H = \sqrt{Q_H R_H} = \sqrt{0,5 \cdot 8,4} = 2 (\text{В}) \quad (4.19)$$

Для создания необходимого температурного перепада, необходимо установить тепловую изоляцию между холодильником и образцом:

$$l = \frac{\lambda \pi d^2 \Delta T}{4Q} = \frac{0,15 \cdot \pi \cdot 0,014^2 (388 - 20)}{4 \cdot 0,5} = 1,7 \text{ см} \quad (4.20)$$

4.4 Расчет охранных нагревателей

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Расчет торцевого нагревателя

Тепловой поток экран-нагреватель равен нулю. Необходимо рассчитать мощность нагревателя, при котором тепловой поток от охранного нагревателя будет поглощаться тепловыми экранами.

Тепловой поток от нагревателя к экрану:

$$Q_1 = \varepsilon_{H-Э} \cdot \varepsilon_0 (T_0^4 - T_Э^4) \cdot F_H \quad (4.21)$$

Тепловой поток от экрана к стенке камеры

$$Q_2 = \varepsilon_{Э-К} \cdot \varepsilon_0 (T_Э^4 - T_К^4) \cdot F_Э \quad (4.22)$$

Площадь нагревателя примерно равна площади тепловых экранов:

$$F_H = F_Э \quad (4.23)$$

Тепловые потоки равны:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4.24)$$

Составим систему уравнений:

$$\frac{Q_1}{\varepsilon_{0-Э} \cdot \varepsilon_0 \cdot F_H} = (T_0^4 - T_Э^4) \quad (4.25)$$

$$\frac{Q_2}{\varepsilon_{Э-К} \cdot \varepsilon_0 \cdot F_Э} = (T_Э^4 - T_К^4) \quad (4.26)$$

Просуммируем уравнения (1.21) и (1.22):

$$\frac{Q}{\varepsilon_0 F} \left(\frac{1}{\varepsilon_{H-Э}} + \frac{1}{\varepsilon_{Э-К}} \right) = T_0^4 - T_Э^4$$
$$Q_{т.н} = \frac{(T_0^4 - T_К^4) \varepsilon_0 F}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{H-Э}} + \frac{1}{\varepsilon_{Э-К}} \right)} = \frac{2(T_0^4 - T_К^4) \varepsilon_0 \pi r l}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{H-Э}} + \frac{1}{\varepsilon_{Э-К}} \right)} = 2 \text{ (Вт)}$$

Где $\varepsilon_{H-Э} = 0,7$ (степень черноты стали) $\varepsilon_{Э-К} = 0,3$ (степень черноты теплового экрана).

Принимаем толщину проволоки 0,1 мм, длину 0,3 м:

$$F_H = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ (мм}^2\text{)}$$

$$R_H = \frac{\rho l}{F_H} = \frac{1,1 \cdot 0,3}{7,8 \cdot 10^{-2}} = 42 \text{ (Ом)}$$

Где $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ - удельное сопротивление нихрома.

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ				

Найдите силу тока и напряжение:

$$U_H = \sqrt{QR} = \sqrt{2 \cdot 42} = 9,17 \text{ (В)}$$

$$I_H = \frac{Q_H}{R_H} = \sqrt{\frac{2}{42}} = 0,22 \text{ (А)}$$

Расчет бокового охранного нагревателя

Т.к. температура образца равна температуре нагревателя, то мощность бокового нагревателя складывается из теплового потока, который он отдает излучением и тепловым потоком, который он отдает теплопроводностью. Тепловой поток, который отдает нагреватель холодильнику: Тепловые потоки нагревателей которые они отдают излучением равны:

$$Q_{mn} = \frac{\lambda_H S_H \Delta T}{l} = \frac{20 \cdot \pi (0,022^2 - 0,02^2) \cdot (394 - 388)}{0,065} = 0,5 \text{ (Вт)} \quad (4.27)$$

$$Q_{mn} = Q_{и}$$

тогда суммарный тепловой поток :

$$Q_{б.н} = Q_{mn} + Q_{и} = 0,5 + 0,2 = 2,5 \text{ (Вт)}$$

Нагревательный элемент состоит из нихромовой проволоки диаметром 0,3мм и длиной 18 см

$$F_H = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} = 7,068 \cdot 10^{-2} \text{ (мм}^2\text{)}$$

$$R_H = \frac{\rho l}{F_H} = \frac{1,1 \cdot 0,18}{7,068 \cdot 10^{-2}} = 8,4 \text{ (Ом)}$$

Где $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ - удельное сопротивление нихрома.

Найдите силу тока и напряжение:

$$U_H = \sqrt{QR} = \sqrt{2,5 \cdot 8,4} = 4,6 \text{ (В)}$$

$$I_H = \frac{Q_H}{R_H} = \sqrt{\frac{2,5}{8,4}} = 0,54 \text{ (А)}$$

4.5 Расчет торцевого охлаждения

В качестве основного холодильника в установке используется водоохлаждаемое основание, выполненное в виде трубки Фильда, на котором располагается термоизолирующая подложка и образец. Из-за резкого изменения направления движения струи (вследствие удара об охлаждающую торцевую поверхность).

Коэффициент теплоотдачи:

$$Nu = 1,68 \cdot Re^{0,46} \cdot Pr^{0,4} \quad (4.28)$$

Где $Pr = 7,49$ - число Прандтля для воды при давлении 0,6 МПа и температуре $t_{cp} = 20^\circ\text{C}$.

В качестве определяющего размера примем внутренний диаметр внутренней трубы водоохлаждаемого основания равный $d_{ВН}^{ТР} = 3$ мм.

Расчет будем вести из условия, что все подводимое тепло отводится через торцевое охлаждения.

Определим скорость движения потока

$$\omega = \frac{4 \cdot G_{ОБ}}{\pi \cdot d_{ВН}^{ТР}} = \frac{4 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,0015} = 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4.29)$$

Где $G_{ОБ} = 6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ - объемный расход охлаждаемой жидкости.

Число Рейнольдса найдем по формуле:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{ВН}^{ТР}}{\nu} = \frac{0,05 \cdot 0,0015}{1,067 \cdot 10^{-5}} = 70,3 \quad (4.30)$$

Где $\nu = 1,067 \cdot 10^{-5}$ - кинематическая вязкость воды при давлении 0,6 МПа и температуре $t_{cp} = 20^\circ\text{C}$.

Критерий Нуссельта равен:

$$Nu = 1,68 \cdot 70,3^{-0,46} \cdot 7,49^{0,4} = 26,6$$

Тогда коэффициент теплоотдачи будет равен:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{ВН}^{ТР}} = \frac{26,6 \cdot 0,5956}{0,0015} = 10570 \text{ Вт/м}^2\text{К} \quad (4.31)$$

Где $\lambda = 0,5956 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ - коэффициент теплопроводности воды при давлении 0,6 МПа и температуре $t_{cp} = 20^\circ\text{C}$.

По закону теплоотдачи Ньютона найдем температуру поверхности водоохлаждаемого основания:

$$t_{об} = \frac{Q}{\alpha \cdot F} + t_{cp} = \frac{25}{10570 \cdot 4,524 \cdot 10^{-4}} + 20 = 20,5^\circ\text{C} \quad (4.32)$$

где Q - подводимый тепловой поток; t_{cp} - средняя температура воды;

$F = \pi \frac{D_{осн}^2}{4} = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - площадь водоохлаждаемого основания.

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ				

5 Описание лабораторного стенда

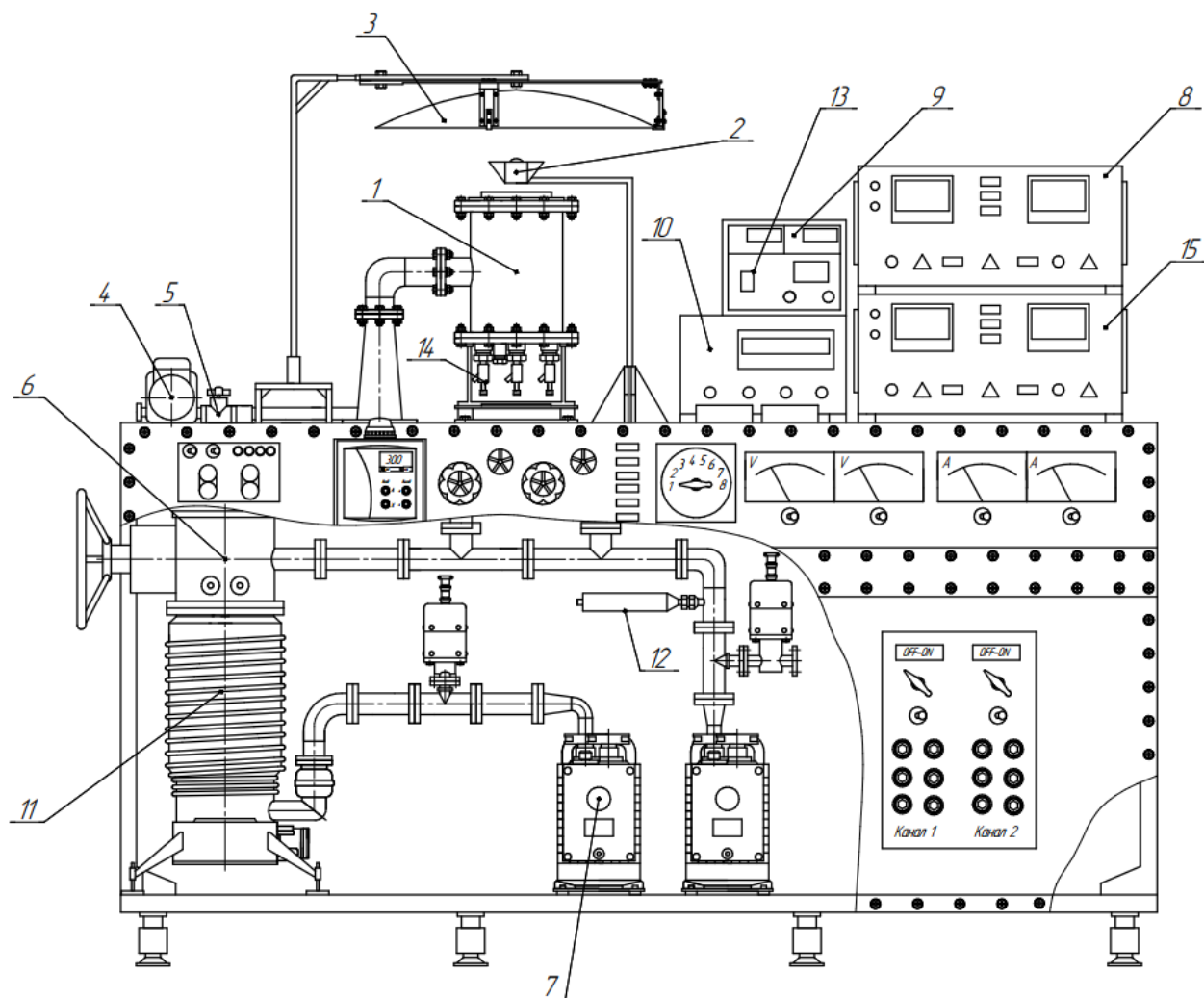


Рисунок 17 – Компоновка лабораторной установки для измерения теплофизических свойств материалов

Измерительная установка 1 установлена на рабочем столе. Напряжение на лампу подается блоком питания 13, установленным в щите приборов. Напряжение на лампе измеряется вольтметрами 9, также установленными в щите приборов. Щит приборов располагается на приборном столе. Охлаждающая вода подается в установку насосом 4, установленным на рабочем столе. Слив воды производится в канализацию.

Вакуум в установке создается диффузионным насосом 11 марки НД-250 и механическим насосом 7 марки 2НВР-5ДМ. Механический насос устанавливается на нижней платформе рабочего стола, диффузионный насос на собственном кронштейне. Для надежной работы диффузионного вакуумного

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ

Лист

54

насоса на его входном патрубке устанавливаются маслоотражатель и высоковакуумный затвор 6.

Вакуума определяется вакуумной системе, термопарные датчики давления и датчики давления ионизации в камерах с высоким вакуумом используются 12, 14. Преобразователь 14 установлен в нижней части фланца вакуумной камеры. Еще два преобразователя установлены на высоковакуумном затворе, для чего предусмотрены заранее подготовленные фитинги. Преобразователь термопары 12 установлен на байпасной линии.

Измерение давления в системе производится вакуумметрами 8 марки ВИТ-3, вакуумметр 15 марки ВИТ-1П вакуумметром 12 марки ВТ-2. Все вакуумметры установлены на приборном столе. Измерения теплового потока на датчиках теплового потока в вакуумной камере производится мультиметром, расположенным на приборном столе.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение

В данном разделе объектом исследования является лабораторная установка, предназначенная для определения коэффициентов теплопроводности твердых тел.

Непрерывная интенсификация технологических процессов, направленная на повышение качества продукции, снижение трудовых затрат и сокращение энергоемкости производства трудно осуществима без средств измерения и контроля соответствующего качества и точности. Во многих отраслях промышленности невозможно производство продукции без поддержания различных температурных режимов производственного оборудования и самого изделия. Большую роль при задании температурных режимов играет знание теплофизических характеристик материалов. Для определения теплофизических характеристик материалов проектируются все новые установки, способные наиболее быстро и, самое главное, точно определить характеристики материалов и возможность их применения в той или иной ситуации, тем самым ускоряя процессы проектирования и испытания новых изделий, а, следовательно, снижая их стоимость.

6.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ предполагает комплексный анализ научноисследовательского проекта. Его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории:

- Strengths (сильные стороны),
- Weaknesses (слабые стороны),
- Opportunities (возможности),
- Threats (угрозы).

Для наглядности представим матрицу SWOT-анализа для данного проекта:

<p>Сильные стороны: С1. Применение расчетной модели, предполагающей отсутствие потерь; С2. Надежность; С3. Низкая стоимость большей части деталей; С4. Сохранение целостности образца при проведении экспериментов;</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Большое время расчета коэффициента теплопроводности; Сл2. Необходимость в мощном ПК; Сл3. Длительная предварительная подготовка установки. Сл4. Необходимость в ручной калибровке установки</p>
<p>Возможности: В1. Возможность проведения экспериментов по определению других теплофизических характеристик материалов В2. Возможность исследования образцов любых размеров из любых металлов. В3. Простота модернизации установки для исследования теплофизических параметров материалов при высоких и сверхвысоких температурах</p>	<p>Угрозы: У1. Существование методов измерения теплофизических параметров материалов, основанных на иных более совершенных принципах У2. Отсутствие необходимости в установке при существовании методов компьютерного моделирования параметров материалов У3. Большое время проведения эксперимента</p>

На основе проведенной в этом разделе работы можно сделать вывод:

Ввиду небольшой итоговой стоимости экспериментальной установки и наличия небольшого числа подобных установок на рынке, спроектированная в данной ВКР установка является достаточно конкурентоспособной. Но в ходе SWOT-анализа выявлены некоторые проблемы. По этой причине предлагаются следующие решения для повышения конкурентоспособности спроектированной в ВКР экспериментальной установки:

- 1) Модернизация установки. Необходимость сделать ее еще более простой и дешевой.
- 2) Сокращение времени измерений и возможность работать с образцами любых размеров.

Таблица 1 – Наименование работ и их длительность

Наименование	№ раб.	Работник	Длительность, ч
Выдача задания	1	Инженер, Руководитель	1
Обзор литературы	2	Инженер	30
Изучение методов измерения теплофизических твердых тел	3	Инженер	20
Написание обзора литературы	4	Инженер	35
Создание чертежа принципиальной схемы установки	5	Инженер	10
Согласование принципиальной схемы	6	Инженер, Руководитель	2
Поверочный расчет	7	Инженер	10
Разработка сборочного чертежа	8	Инженер	60
Согласование сборочного чертежа	9	Инженер, Руководитель	4
Разработка детализовки	10	Инженер	25
Согласование детализовки	11	Инженер, Руководитель	2
Разработка компоновочного чертежа	12	Инженер	40
Согласование компоновочного чертежа	13	Инженер, Руководитель	2
Покупка и доставка комплектующих и необходимых материалов	14	Инженер	10
Сборка и монтаж установки	15	Инженер	60
Проведение эксперимента	16	Руководитель	2
Обработка результатов эксперимента	17	Инженер	2
Итого	Инженер		313
	Руководитель		13

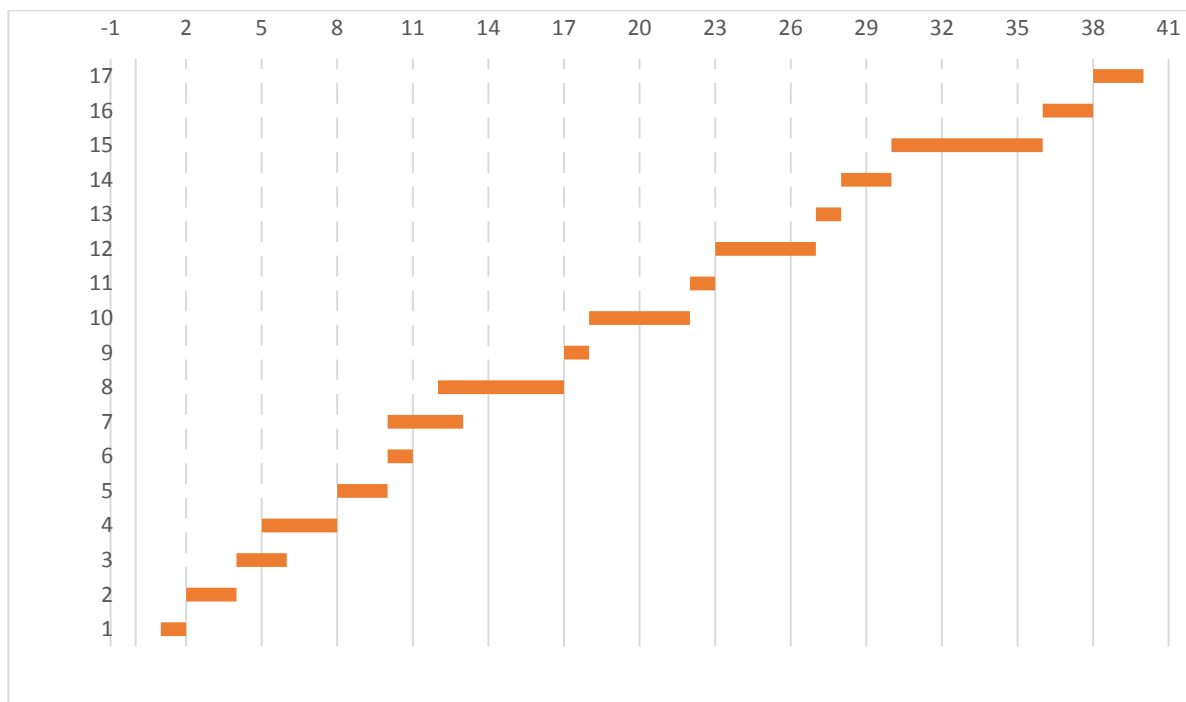


Рисунок 18. Диаграмма Гантта

Анализируя диаграмму, представленную на рис.18, сделаем вывод, что на все этапы работы потребуется 40 дня непрерывной 8-часовой работы. Инженер выполняет основную работу, занятость руководителя - нерегулярная.

6.2 Затраты на комплектующие для лабораторной установки

Изучив цены на необходимое оборудование для установки, усреднив их, составим смету на комплектующие и материалы.

Таблица 2 – Стоимость на комплектующие и материалы

Наименование	Цена, руб.	Количество, шт (м).	Стоимость, руб.
Труба стальная бесшовная 10x1x50 ГОСТ 8734-75	29	2	58
Труба стальная бесшовная 15x1x50 ГОСТ 8734-75	45	2	90
Шнур резины вакуумной 7889 5x5	36	1	36
Шнур резины вакуумной 7889 7x7	59	0,6	35,4
Пластина резины вакуумной 7889 300x300x1	495	1	495
Кольцо 015-020-30 ГОСТ 9833-73	1,7	6	10,2
Резина / техпластина	132	0,1	13,2

рулонная МБС-С 2 мм			
Втулка фторопластовая	200	2	400
Зажим фторопластовый	5	36	180
Лампа накаливания К 17-170 P28s	240	1	240
Лист стальной 1,0 08пс 200x400	30	1	30
Уголок стальной равнополочный ГОСТ 8509-93 32x32x3	100	0,25	25
Провод ПуГВ 1	6,4	4	25,6
Кабель термопарный ДКТЛ011-0,5, хромель-копель	45	30	1350
Медный уголок 200x40x40	196	1	195
Датчик теплового потока	2	3	6
Брусok стальной 20x20x35	50	1	50
Фланец стальной верхний	650	1	650
Фланец стальной нижний	850	1	850
Брусok медный 15x15x15	65	1	65
Шайба С.10.37 ГОСТ 11371-78	0,7	4	1500
Болт М10x28 ГОСТ 15589-70	5	4	20
Болт М3-6gx6 ГОСТ 7805-70	4	12	48
Болт М2,5-6gx10 ГОСТ 7805-70	4	14	56
Гайка М2,5-6Н ГОСТ 5915-70	2,5	14	35
Вакуумный ввод движения	45	2	90
Вакуумный электрический для термопар ввод	15	16	240
Вакуумный электрический силовой ввод	50	2	100
Блок питания 17 В	2500	1	2500
Вакуумная камера	15000	1	15000
Вакуумный насос	14500	1	14500
Вакуумметр	350	1	350
Водяной насос	1000	1	1000
Манометр	300	2	600
Расходомер	600	1	600
Итого			41443,0

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ

Лист

60

Стоимость комплектующих и необходимых материалов для экспериментальной установки составила 41443,0 рублей. Вычислим расходы с учетом транспортных и заготовительных работ. Для этого примем коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_3 = 1,15$.

Расходы с учетом транспортных и заготовительных работ:

$$M = K_3 \cdot I, \text{ руб}$$

где I – стоимость комплектующих и необходимых материалов, руб.

$$M = 1,15 \cdot 41443 = 47659,5 \text{ руб.}$$

6.3 Расходы на заработную плату

Оклад профессора кафедры АТЭС равен 26300 руб/мес, а инженера - 17000 руб/мес.

Рассчитаем расходы на ЗП для руководителя и инженера:

$$ЗП_{\text{рук}} = 26300 \cdot \frac{13}{8 \cdot 26} = 1644 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{ин}} = 17000 \cdot \frac{313}{8 \cdot 26} = 25582 \text{ руб.}$$

Итог фонда основной заработной платы:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{рук}} + ЗП_{\text{ин}} = 1644 + 25582 = 27226 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 20% от основной.

Примем дополнительную заработную плату равной 12% от основной:

$$ЗП_{\text{доп}} = 1,12 \cdot ЗП_{\text{осн}} = 1,12 \cdot 27226 = 30493,12 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы:

$$ЗП = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} = 27226 + 30493,12 = 57719,12 \text{ руб.}$$

Вычислим размер начислений по оплате труда:

$$\text{ВнФ} = (\text{ФСС} + \text{ПФР} + \text{ФФОМС}) \cdot ЗП_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 57719,12 = 17315,7 \text{ руб.}$$

где, взносы:

- в фонд социального страхования ФСС=2,9%;

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ					

- в фонд пенсионного страхования ПФР=22%;
- в фонд обязательного медицинского страхования ФФОМС=5,1%.

Оплата труда с начислениями:

$$ЗП_{н} = ЗП_{доп} + ВнФ = 37920,8 + 11916,2 = 51637 \text{ руб.}$$

округляются до целого числа и заносятся в таблицу 2.

6.4 Амортизационные отчисления

Необходимо вычислить стоимость амортизационных отчислений. Основная часть работы выполняется на персональном компьютере, срок использования которого составляет 2 года, а стоимость – 60000 рублей. Тогда норма амортизации:

$$A = \frac{ОС_{перв} \cdot Н_A}{100} \cdot \frac{T_{кал}}{365} = \frac{60000 \cdot \frac{1}{2} \cdot 100\%}{100\%} \cdot \frac{72}{365} = 5917,8 \text{ руб.}$$

где $H_A = \frac{1}{n}$; $n = [2; 3]$.

n – срок полезного использования,

H_A – норма амортизации

6.5 Затраты на создание лабораторной установки

Определяя итоговую стоимость лабораторной установки учтем накладные в размере 16% от стоимости всех статей расходов.

Таблица 3 – Расчет затрат на создание лабораторной установки

Наименование статьи	Сумма, руб
Комплекующие для лабораторной установки и необходимые материалы	47659,5
Расходы на заработную плату	57719,12
Отчисления во внебюджетные фонды	17315,7
Амортизация	5917,8
Накладные, 16%	4356,2
Суммарная стоимость	132968,3

Таким образом, суммарные затраты на установку составили 132968,3 рублей.

6.6 Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности научного исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. В качестве трех вариантов исполнения научного исследования за первый вариант примем разработанную установку, за второй – «стройприбор ИТП-МГ4 «250»Зонд, за третий «измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «300». Стоимость выбранных вариантов приведена в таблице 4.

Таблице 4 – Стоимость выбранных вариантов исполнения научного исследования

Наименование	Стоимость, р
Установка для определения теплофизических свойств материала	132968,3
Стройприбор ИТП-МГ4 «250» зонд	340000
«измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «300»	540000

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Таблице 5 – Интегральный финансовый показатель выбранных вариантов исполнения научного исследования

Наименование	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Установка для определения теплофизических свойств материала	0,246
Стройприбор ИТП-МГ4 «250»	0,63
«измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «300»	1

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Сравнительная оценка характеристик вариантов представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	3	5	5

2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	5	5
4. Энергосбережение	0,20	3	3	3
5. Надежность	0,25	5	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,25,$$

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,2,$$

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,25}{0,246} = 17,3,$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,2}{0,63} = 6,67,$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Сравнительная эффективность проекта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнительная эффективность проекта

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки ,	0,246	0,63	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,20	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	17,3	6,67	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	2,59	4,27

Из анализа сравнительной эффективности проектов можно сделать вывод, что разработанная установка в разы превосходит аналоги, которые предложены на рынке. Так как разработанная установка не уступает по качеству и точности измерений, то определяющим фактором здесь являлась цена, и если обратиться к таблице 10, то можно увидеть, что цена разработанной установки в два раза меньше чем у второго варианта, и в четыре раза меньше чем у третьего.

Результатом выполнения работы по данному разделу стали следующие данные:

- на выполнение проекта потребуется затратить 67 календарных дня;
- суммарная стоимость проектирования и сборки экспериментальной установки составляет 132968,3 рублей, а наибольшая статья расходов – расходы на заработную плату.

Данная установка подходит для использования в учебных лабораториях для демонстрации метода измерения теплофизических параметров материалов и для самостоятельной работы студентов. Также данная установка может применяться в промышленных лабораториях и на предприятиях, где необходимо изучение свойств новых материалов.

7 Социальная ответственность

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Эффективность и безопасность труда возможна только в случае, если производственные условия рабочего места всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Согласно системе "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.11.2020) [15], особенности трудового законодательства для работников в этом проекте:

Рабочее место, которое соответствует всем необходимым требованиям охраны труда;

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями), продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

Отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

					ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

Профессиональную переподготовку за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;

Внеочередной медицинский осмотр (обследование) в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования).

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Проектируемым рабочим местом является лаборатория теплофизических исследований, в которой установлен экспериментальный стенд для исследования теплоотдачи.

Согласно системе стандартов безопасности труда тезисно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [16] и ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ [17] можно заключить, что рабочее место при выполнении работ должно быть:

- Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.
- Рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя.
- Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.
- Выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.
- При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если

оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин.

- Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15° .

- Конструкцией производственного оборудования и организацией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

+ Высоты рабочей поверхности. Регулируемые параметры в зависимости от тяжести труда и роста работающего следует выбирать по номограмме, приведенной на рисунок 19;

+ Подставки для ног при нерегулируемой высоте рабочей поверхности. В этом случае высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме, приведенной на рисунок 19 для работающего ростом 1800 мм. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

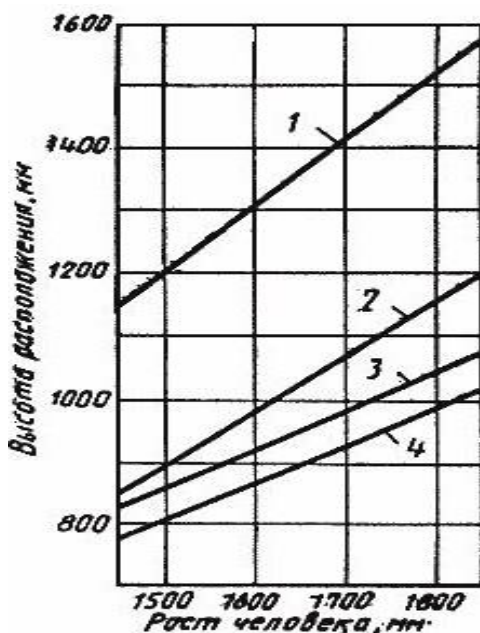


Рисунок 19: Номограмма зависимости высоты расположения средств отображения информации (1) и высоты рабочей поверхности (2 - при легкой

работе, 3 - при работе средней тяжести, 4 - при тяжелой работе) от роста человека. [16]

7.2 Профессиональная социальная безопасность

В таблице 8 приведены опасные и вредные факторы, возникновение которых возможно в рамках данного дипломного проекта.

Таблица 8. Опасные и вредные факторы при выполнении работ на экспериментальной установке:

Факторы		Нормативные документы
Вредные	Превышение уровня шума	Требования безопасности уровня шума устанавливаются ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. [4]
	Воздействие вибрации	Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий СН2.2.4/2.1.8.566-96. [5]
	Недостаточная освещенность	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.[6]
	Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [7]
Опасные	Электробезопасность	Правила устройства электроустановок. Шестое издание, дополненное с исправлениями. [8] ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [9]
	Механический фактор	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация .[10]

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

7.2.1 Анализ вредных факторов

Повышенный уровень шума.

Основными источниками шума в лабораторной установке являются компрессор с ресивером для системы охлаждения и диффузионный масляный насос для создания вакуума, а также работа вытяжной вентиляции.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности” при проведении испытательных работ, уровень шума не должен превышать 75 дБ [18].

Чтобы узнать соответствует ли уровень шума требованиям, проведем необходимые расчеты.

Таблица 9 – Уровни шума комплектующих установки

№	Источник шума	Уровень шума, дБ	Звуковое давление, Па
1	Компрессор	61	0,224
2	Насос	68	0,502
3	Вентиляция	40	0,020

Основной характеристикой звукового поля является уровень его звукового давления N . Оно вычисляется по формуле:

$$N = \frac{20 \lg p}{p_0},$$

где p – эффективное звуковое давление Па; $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ Па – звуковое давление принятое за нулевой уровень.

Вычислим эффективное звуковое давление p_i :

$$p_i = 10^{\frac{N_i}{20}} \cdot p_0,$$

где N_i и p_i параметры i – го источника шума, а $i=1, 2, \dots n$.

Звуковое давление нескольких источников N суммируется по следующей формуле:

$$N = \frac{20 \lg(p_1 + p_2 + \dots + p_n)}{p_0},$$

где N – суммарный уровень звукового давления ; p_1, p_2, p_n – эффективное звуковое давление для каждого значения N_1, N_2, N_n .

Вычисляем общий уровень шума:

$$N = 20 \cdot \lg \frac{(0,224 + 0,502 + 0,020)}{2 \cdot 10^{-4}} = 71,43 \text{ дБ} < 75 \text{ дБ}.$$

вывод о том, что расчетный уровень шума является допустимым.

Методы противозумовой защиты делятся на методы коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

К методам коллективной защиты относятся: снижение шума за счет улучшения оборудования; изменение направления шума; применение звукоизоляции и рациональная планировка предприятий т.д.

Меры индивидуальной защиты включают использование средств индивидуальной защиты (специальные наушники, беруши, шлемы и каски).

Основными источниками шума в лабораторной установке являются компрессор с ресивером для системы охлаждения и диффузионный масляный насос для создания вакуума, а также работа вытяжной вентиляции.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности” при проведении испытательных работ, уровень шума не должен превышать 75 дБ [18].

Чтобы узнать соответствует ли уровень шума требованиям, проведем необходимые расчеты.

Таблица 10 – Уровни шума комплектующих установки

№	Источник шума	Уровень шума, дБ	Звуковое давление, Па
1	Компрессор	61	0,224
2	Насос	68	0,502
3	Вентиляция	40	0,020

Основной характеристикой звукового поля является уровень его звукового давления N . Оно вычисляется по формуле:

$$N = \frac{20 \lg p}{p_0},$$

где p – эффективное звуковое давление Па; $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ Па – звуковое давление принятое за нулевой уровень.

Вычислим эффективное звуковое давление p_i :

$$p_i = 10^{\frac{N_i}{20}} \cdot p_0,$$

где N_i и p_i параметры i – го источника шума, а $i=1, 2, \dots, n$.

Звуковое давление нескольких источников N суммируется по следующей формуле:

$$N = \frac{20 \lg(p_1 + p_2 + \dots + p_n)}{p_0},$$

где N – суммарный уровень звукового давления ; p_1, p_2, p_n – эффективное звуковое давление для каждого значения N_1, N_2, N_n .

Вычисляем общий уровень шума:

$$N = 20 \cdot \lg \frac{(0,224 + 0,502 + 0,020)}{2 \cdot 10^{-4}} = 71,43 \text{ дБ} < 75 \text{ дБ}.$$

вывод о том, что расчетный уровень шума является допустимым.

Методы противозвуковой защиты делятся на методы коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

К методам коллективной защиты относятся: снижение шума за счет улучшения оборудования; изменение направления шума; применение звукоизоляции и рациональная планировка предприятий т.д.

Меры индивидуальной защиты включают использование средств

индивидуальной защиты (специальные наушники, беруши, шлемы и каски).

Повышенный уровень вибрации

Вибрация представляет собой механическое колебательное движение тех или иных поверхностей, простейшим примером которых является синусоидальное колебание.

К источникам вибрации в лаборатории относятся насосные агрегаты и электродвигатели.

Воздействие вибрации на человека вызывает нарушения физиологического и функционального состояния организма человека. Как следствие, это приводит к понижению производительности и возникновению вибрационной болезни.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [19], установка производит общую вибрацию 3 категории типа В. К данной категории относятся технологические вибрации, воздействующие на человека на рабочих местах стационарных машин или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

В таблице представлены допустимые значения вибраций для рабочих мест 3 категории.

Таблица 11 – Предельно допустимые вибрации

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X,Y,Z							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² , м/с ²		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,02	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82

5,0	0,0079		78		0,025		74	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
40,0	0,0400		92		0,016		70	
63,0	0,0790	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0630		98		0,016		70	

К организационным мероприятиям относится ограничение времени воздействия вибрации на человека из-за особенностей установки, используемые нагнетающие устройства работают только в период проведения эксперимента, вибрация в данном случае является не постоянной и прерывистой.

К техническим мерам защиты относятся:

- Снижение вибрации в источнике возникновения точной балансировкой вращающихся частей и изменением резонансной частоты системы при плановых ремонтах оборудования;

- Виброизоляция – применение резиновых виброизоляторов при монтаже оборудования.

К средствам индивидуальной защиты от вибрации относятся:

1. Защитные перчатки
2. Рукавицы
3. Обувь с амортизирующей подошвой.

Недостаточная освещенность

Правильно организованное освещение повышает работоспособность и эффективность труда, снижает травматизм, сохраняет низкий уровень утомления и повышает безопасность рабочего места. Слабое освещение приводит к преждевременному утомлению, ослаблению внимания и перенапряжению зрительных органов. Повышенный уровень освещения ведет к

рези в глазах и слепоте. Дезориентацию вызывает неправильное направление света на рабочем месте.

Расчет освещенности рабочего места проводится посредством выбора системы освещения и определения достаточного количества светильников, а так же их размещения. Опираясь на это, можно рассчитать параметры искусственного освещения.

В СП 52.13330.2016 [20] изложены основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей.

Таблица 12 – Нормы освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характеристика зрительно работы	Наименьший размер объекта Различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной раоты	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк.		
						При системе комбинированно го освещения		При системе общего освещения
						всего	В том числе от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
кой точно	0,30	III	б	сред- ний	сред- ний	1000	200	300

Наиболее часто в искусственном освещении применяется два вида электрических источников света: лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Лампы делятся по составу видимого спектра на лампы:

1. Белого света (ЛБ);
2. Холодного белого света (ЛХБ);
3. Теплого белого света (ЛТБ);

4. Дневного света (ЛД);

5. Дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ).

Лампы белого света получили наибольшее распространение. Самыми распространенными светильниками с люминесцентными лампами являются открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО.

Открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД являются наиболее распространёнными типами светильников для люминесцентных ламп (допускаются при умеренной влажности и запылённости, для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен).

Отклонение показателей микроклимата

Источник возникновения фактора: тепловая нагрузка среды на организм человека в условиях лабораторного помещения.

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [21], для создания нормальных условий труда в производственных помещениях необходимо обеспечить в помещении оптимальные и допустимые микроклиматические условия.

Допустимые микроклиматические условия допускаются в случае, если оптимальные не могут быть достигнуты.

К показателям микроклимата относятся:

- относительная влажность воздуха;
- интенсивность теплового излучения;
- скорость движения воздуха;
- температура поверхностей;
- температура воздуха.

Категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). По данным [21] Работы помещения лаборатории относятся к категории Па – это работы с интенсивностью энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких

(до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

Таблица 13 – Оптимальные параметры микроклимата [21].

Период года	Категория работ	Параметры воздушной среды на рабочих местах			
		Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па(175-232)	19-21	18-22	40-60	0,2
Теплый	Па(175-232)	20-22	19-23	40-60	0,2

Таблица 14 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [21].

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных	выше оптимальных			ниже оптимальных	выше оптимальных
Холодный	Па(175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Теплый	Па(175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,4

*При температурах воздуха 25°С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии с [21].

Влияние теплового излучения от технологического оборудования на персонал называют тепловым облучением.

Источниками тепловыделений могут быть: нагретые поверхности стен печей, их открытые проемы, желоба, прокатываемый металл, нагретые обрабатываемые детали и заготовки, различные виды сварки и плазменной резки и др.

Для людей на рабочих местах допустимые величины интенсивности теплового облучения от производственных источников, нагретых до темного свечения должны соответствовать значениям из таблицы 15.

Таблица 15 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/кв. м, не более
50 и более	35
25 - 50	70
не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/кв. м. При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз. [21]

При наличии теплового облучения работающих, температура воздуха на рабочих местах категории Па не должна превышать 22 °С.

Благоприятные параметры микроклимата в лабораторных помещениях достигаются за счет:

- Вентиляции и отопления;
- Применения средств индивидуальной защиты;
- Организации защиты от тепловых излучений, которая способствует снижению температуры воздуха в помещении.

7.2.2 Анализ опасных факторов.

Электробезопасность

Для любого производства характерно применение большого числа электрических устройств. В связи с этим возникает вероятность получения травм от воздействия электрического тока на организм человека. Поэтому мероприятия по обеспечению электробезопасности имеют большое значение.

По данным [22] лабораторные помещения относятся к помещениям повышенной опасности поражения людей электрическим током по причине наличия токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединению с землей технологическим аппаратам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Для обеспечения безопасности работы на электрических установка проводятся следующие организационные мероприятия, прописанные в ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ [23]:

- Назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;
- Оформление наряда или распоряжения на производство работ;
- Осуществление допуска к проведению работ;
- Организация надзора за проведением работ;
- Оформление окончания работы, перерывов в работе, переводов на другие рабочие места;
- Установление рациональных режимов труда и отдыха.

К техническим способам обеспечения электробезопасности относят:

- Защитные оболочки;
- Защитные ограждения (временные или стационарные);
- Безопасное расположение токоведущих частей;
- Изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- Изоляцию рабочего места;
- Малое напряжение;
- Предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Механический фактор

Механические опасности – нежелательные воздействия на человека, образовавшиеся в результате сил гравитации или кинетической энергии тел.

К источникам механических опасностей в помещении лаборатории относятся:

- Части механизмов оборудования, находящиеся в движении;
- Незакрепленное оборудование (материалы, инструменты и т.д.);
- Острые углы столов;
- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок, инструментов или оборудования;
- Расположения рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- Поверхности установки, находящиеся под высоким напряжением или температурой.

В зависимости от возможности предохранения человека в условиях взаимодействия его с потенциально опасными техническими объектами применяются два основных метода защиты персонала от механических опасностей:

- Обеспечение ограниченного доступа к опасным частям оборудования;
- Применение СИЗ (специальная обувь, перчатки, защитные каски).

7.3 Экологическая безопасность

Под экологической безопасностью понимается приемлемый уровень деструктивного влияния природных и антропогенных факторов экологических опасностей, которые представляют угрозу для окружающей среды и человека.

Проектирование и сборка установки в данной работе не имеет производственных масштабов. Следовательно, ее производство и эксплуатация не оказывает заметного влияния на окружающую среду. Возникающие в процессе производства деталей установки твердые бытовые отходы (такие как бумага, орг.техника, светильники) идут на хранение и утилизацию на специальных мусорных полигонах. Бумага сначала складывается и упаковывается, после отправляется в пункт приема макулатуры, после которого она идет на переработку. Люминесцентные лампы сдаются районные ДЕЗ или

РЭУ, которые в дальнейшем утилизируют их. Орг.техника сдается в специальные учреждения, в которых происходит их разбор на составляющие и последующая переработка или утилизация. Сама установка по окончании срока службы разбирается и отправляется в пункт приема металлолома на переработку.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Различные чрезвычайные ситуации, такие как землетрясения, теракты, обрушение здания в теории могут привести к другой ЧС, непосредственной причиной которой может стать проектируемая установка – пожар [4]. В установке имеется нагревательный элемент, температура которого превышает . Существует ничтожная вероятность того, что какое-либо внешнее воздействие при описанных выше ЧС приведет к тому, что нагревательный элемент выпадет из герметичной (и довольно таки прочной) вакуумной камеры, и возникнет пожар. Существует гораздо большая вероятность возникновения пожара при коротком замыкании токоподводящих проводов.

Пожарная безопасность

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения.

Согласно НПБ 105-03 [25] помещение лаборатории по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории В. Это связано с наличием горючих жидкостей и твердых материалов.

Для предотвращения возникновения пожара используются следующие меры:

- строительно-планировочные;
- технические;

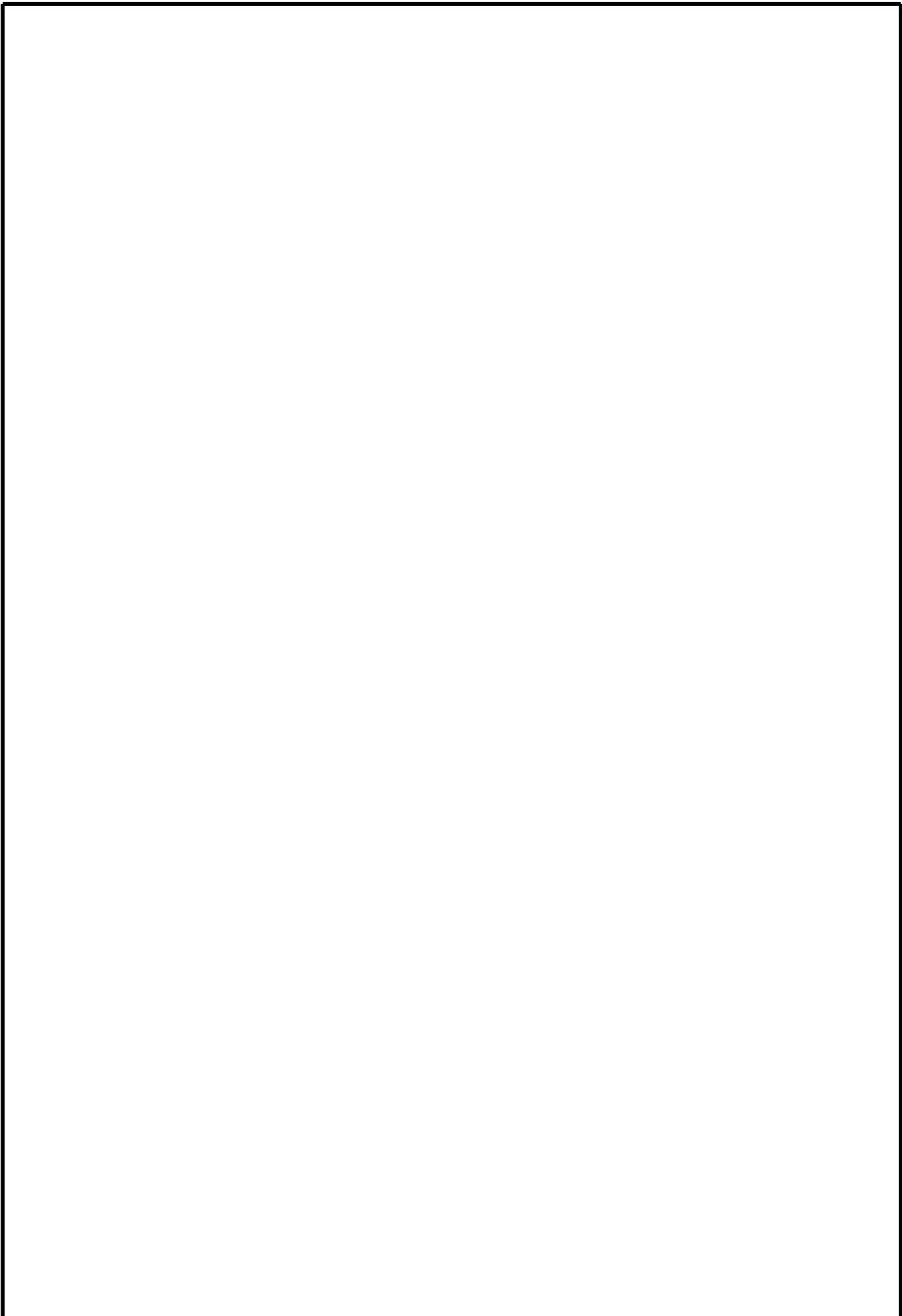
- организационные.

Строительно-планировочные меры определяются огнестойкостью зданий и сооружений (выбор материалов конструкций: сгораемые, несгораемые, трудно сгораемые) и предел огнестойкости — это количество времени, в течение которого под воздействием огня не нарушается несущая способность строительных конструкций вплоть до появления первой трещины.

Технические меры — это соблюдение противопожарных норм при эвакуации систем вентиляции, отопления, освещения, электрического обеспечения, а так же использование разнообразных защитных систем, соблюдение параметров технологических процессов и режимов работы оборудования.

Организационные меры — обучение персонала по пожарной безопасности, соблюдению мер по пожарной безопасности.

Использование средств пожаротушения. Выбор типа и необходимого количества огнетушителей в защищаемом помещении следует производить в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, а также класса пожара горючих веществ и материалов. Исходя из этого, и, ориентируясь на НПБ-105-03, было решено использовать углекислотные огнетушители марки ОУ-5 в количестве двух штук.



					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		84

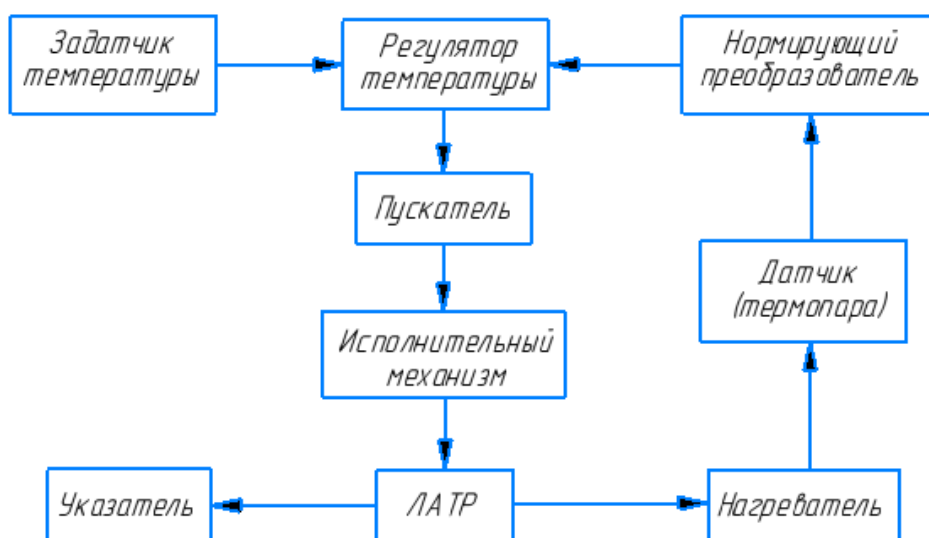
8 Автоматизация технологических процессов и производств

8.1 Постановка задачи автоматического контроля объекта

Целью данного раздела является разработка структурной и функциональной схем регулирования для экспериментальной установки по измерению коэффициента теплопроводности твердых методом с использованием радиационного нагрева, выбор требуемого оборудования и составление заказной спецификации.

В качестве регулируемого параметра в установке по измерению коэффициента теплопроводности выступает температура нагрева в печи. Постоянство температуры необходимо для выполнения стационарных условий проведения эксперимента. Температура печи задается и поддерживается с помощью регулятора температуры, который управляет работой трансформатора, питающего нагреватель. Сигнал для управления работой регулятора снимается с термопары закрепленной в молибденовом стакане, стабилизирующим температуру внутри печи.

Наиболее простой и легко реализуемой схемой автоматического регулирования является одноконтурная схема. Такая схема АСР для случая



регулирования температуры в печи представлена на рисунке 20.

Рисунок 20 – Блок-схема автоматического поддержания температуры в установке.

Сигнал с термопар поступает либо на нормирующий преобразователь, либо непосредственно на регулятор в случае, если регулятор может работать непосредственно с первичным сигналом от первичного преобразователя. Необходимая температура нагрева задается через задатчик, который связан с регулятором.

Регулятор работает по принципу сравнения, соотнося значения сигнала с термопар и сигнала с задатчика

При различии значений сигналов, регулятор выдает нужный сигнал на пускатель. Пускатель, усилив входной сигнал до значения, приводит в действие электродвигатель, который приводит в движение исполнительный механизм - движок реостата на лабораторном автотрансформаторе (ЛАТР). Реостат меняет выходное напряжение ЛАТРа, тем самым регулируя напряжение, подаваемое на нагревательный элемент печи. В зависимости от напряжения на нагревателе, в печи будет устанавливаться та или иная температура.

Движок реохорда ЛАТРа снабжен указателем положения, по которому можно узнать выходное напряжение, подаваемое на нагревательный элемент.

На основе изложенного материала была составлена схема и заказная спецификация приборов и средств автоматизации, необходимых для реализации схемы АСР.

8.2 Разработка функциональной схемы

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

						Лист
					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	86
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

При разработке функциональной схемы решены следующие задачи:

- на технологической схеме объекта автоматизации определено местоположение точек отбора измерительной информации и точек воздействия на регулируемые параметры;
- определены предельные рабочие значения контролируемых параметров;
- выбрана структура измерительных каналов и каналов передачи управляющих воздействий;
- выбраны методы и технические средства получения, преобразования, передачи и представления измерительной информации, а также технические средства выработки управляющих воздействий;
- решены вопросы размещения технических средств автоматизации на технологическом оборудовании и на щитах;
- согласованы параметры измерительных каналов.

8.3 Выбор технических средств автоматизации

Термоэлектрический преобразователь

Для измерения температуры на производстве в данный момент существует множество технических средств. Например, термопреобразователи сопротивления (ТПС), предназначенные для измерения температуры газообразных и жидких неагрессивных и агрессивных сред, а также твердых тел. Технические характеристики некоторых ТПС приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики ТПС с унифицированным токовым выходным сигналом

Наименование	Метран-274, Метран-276	ТСПУ-205, ТСМУ-205
Предел допускаемой основной приведенной погрешности, %	$\pm 0,25; \pm 0,5$	$\pm 0,25; \pm 0,5; \pm 1,0$
Выходной сигнал, мА	0...5, 4...20	4...20
Напряжение питания, В	18...42	18...36

Потребляемая мощность, Вт	0,8	0,8
---------------------------	-----	-----

Таблица 17 – Технические характеристики термоэлектрических преобразователей

Тип	Обозначение термопары	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемых отклонений
ТХА-1199	ХА (К)	1	-40...+375	±1,5
			+375...+1200	±0,004 t
		2	-40...+333	±2,5
			+333...+1200	±0,0075 t
ТЖК-1199	ЖК (J)	1	-40...+375	±1,5
			+375...+750	±0,004 t
		2	0...+333	±2,5
			+333...+750	±0,0075 t
ТХК-1199	ХК (L)	2	-40...+360	±2,5
			+375...+600	±(0,7+0,005 t)

Из всех перечисленных вариантов, для измерения температуры выбран термоэлектрический преобразователь типа ТХА – 1199 с диапазоном измеряемых температур -40 ...+1200 °С.

Измерительный преобразователь (ИП)

ИП предназначены для преобразования сигналов от термоэлектрических преобразователей (ТП) типа ТХК (L), ТХА (К), ТПП (S), ТВР (А-1, А-2, А-3), ТПР (В) (ИПТ10, ИП-Т10И) и термопреобразователей сопротивления (ТС) типа ТСП, ТСМ (ИП-С10, ИП-С10И) в унифицированный аналоговый сигнал силы или напряжения постоянного тока.

ИП могут быть использованы в системах регулирования технологическими процессами в энергетике, металлургии, химической, стекольной и других отраслях промышленности. ИП изготавливаются для нужд народного хозяйства (общепромышленные) и для поставки на экспорт в страны с умеренным и тропическим климатом.

По конструкции ИП могут устанавливаться на стену и в шкаф.

ИП предназначены для эксплуатации в следующих рабочих условиях:

- температура окружающего воздуха от 0 до плюс 50 °С;
- относительная влажность воздуха до 80 % для исполнения УХЛ и до 98 % для исполнения О при температуре плюс 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- внешние магнитные поля напряженностью до 400 А/м;
- вибрация частотой до 55 Нз с амплитудой до 0,15 мм;
- атмосферное давление от 84 до 107 кРа.

Измерительный прибор аналоговый

Для выбранного термоэлектрического преобразователя ТХА – 1199 с диапазоном измеряемых температур -40 ...+1200 оС был подобран нормирующий преобразователь типа А100-Н.

Приборы аналоговые показывающие и регистрирующие двухканальные А100-Н предназначены независимо по каждому каналу для:

- измерения сигналов термопар, термометров сопротивления, постоянного тока и напряжения;
- индикации измеренных значений указателем на вертикальной шкале;
- регистрации измеренных значений фломастером на диаграммной бумаге;
- сигнализации выхода измеренных значений за допустимые пределы «Мало» и «Много»;
- преобразования измеренных значений в сигнал постоянного тока.

Таблица 18 - Технические характеристики А100-Н

Название характеристики	А100-Н
Число независимых каналов	1 или 2 или 3
Выходные устройства	сигнализации: -два двухпозиционных устройства сигнализации (двезависимые уставки, реле 220 В/1 А) на каждый

	измерительный канал преобразования: - выходной токовый сигнал 0-5 или 4-20 мА (без линеаризации)
Основная погрешность, % от диапазона	$\pm 0,5\%$ по показаниям и преобразованию $\pm 1\%$ по регистрации и сигнализации для узкопредельных: $\pm 1\%$ по показаниям и преобразованию- $\pm 1,5\%$ по регистрации и сигнализации
Быстродействие, не более (с)	1
Число уставок регулирования (сигнализации)	о 2 на канал
Габаритные размеры	80x160x565 120x160x590
Исполнение по виду поставки	обыкновенное, экспортное или тропическое

Задатчик ручной РЗД-22

РЗД-22 применяются в автоматизированных системах управления автоматизированными процессами. Ручные задатчики позволяют устанавливать и корректировать задания с помощью изменений сопротивления потенциометра.

РЗД-22 — ручная установка сигналов задания для стабилизирующих регуляторов и регуляторов соотношения, преобразование одного вида унифицированного сигнала постоянного тока или напряжения в другой, устанавливает задания в диапазоне от 0 до 100%.

Таблица 19 - Технические характеристики РЗД-22

Наименование	РЗД-22
Основные функции	корректировка задания в пределах +5% регулирующим прибором путем
Потребляемая мощность	4 ВА
Напряжение питания	220 (240) В, 24 В при 50(60) Гц
Входные и выходные сигналы	0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА, 0-10 В
Погрешность установки задания по шкале отсчетного устройства в задатчике	$\pm 2,5\%$
Температура окружающей среды	от +5 °С до +50 °С
Климатическое исполнение	УХЛ4.2.
Относительная влажность	не более 80 % при температуре 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги
Габариты	80x40x202 мм
Масса	0,7 кг
Срок службы	не менее 10 лет

Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-2М

Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-2М предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами, в приводе которых используются однофазные конденсаторные электродвигатели.

Пускатель является комплектующим изделием ГСП для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Таблица 20 - Технические характеристики ПБР-2М

Название характеристики	ПБР-2М
Электродвигатель к сети напряжением	220В
Коммутируемый ток входной	не более 50мА
Напряжение в цепи управления	не более 8В
Входное сопротивление цепи управления	(750±100)Ом
Макс.коммутируемый ток выходной цепи	не более 4А
Внутренний источник	(24±6)В
Питание пускателя	напряжение 220В частотой 50Гц
Потребляемая мощность	не более 7 Вт
Масса	не более 2кг

Указатель положения дистанционный ДУП-М

ДУП-М предназначен для дистанционного указания положения выходного вала электрического исполнительного механизма, имеющего реостатный или индуктивный датчик.

Таблица 21 - Технические характеристики ДУП-М

Название характеристики	ДУП-М
Напряжение питания	220 В частотой 50 Гц, 240 В частотой 60 Гц
Потребляемая мощность	не более 3 ВА
Масса	не более 0,6 кг
Габаритные размеры	80x120x105 мм
Климатическое исполнение	УХЛ4.2, ТЗ - для работы при температурах от минус 10 до плюс 55 °С и относительной влажности воздуха до 80% для исполнения УХЛ и до 98 % для

исполнения Т при t=35 °С и ниже

Механизм электроисполнительный однооборотный МЭО 40/10-0,25-99К

Механизмы исполнительные электрические однооборотные постоянной скорости МЭО и МЭОФ (в дальнейшем — механизмы) предназначены для перемещения регулирующих органов в системах автоматического регулирования технологическими процессами в соответствии с командными сигналами автоматических регулирующих и управляющих устройств.

Таблица 22 - Технические характеристики МЭО 40/10-0,25-99К

Название характеристики	МЭО 40/10-0,25-99К
Номинальный крутящий момент на выходном валу, N.m	40
Номинальное время полного хода выходного вала, s	10
Номинальное значение полного хода выходного вала, г	0,25
Потребляемая мощность, W	160
Масса, kg	8,5

Заключение

При выполнении дипломного проекта была изучена теория метода стационарной задачи теплопроводности для тела в форме пластины нагреваемой до высоких температур. На основании теории был разработан лабораторный стенд, который будет использоваться в научно – исследовательских работах при исследовании теплофизических свойств твердых тел.

Стоит отметить, что стационарный метод радиального потока хоть и не является новым и перспективным, тем не менее, он легко реализуем на практике, достаточно прост в освоении и дает наглядное представление о протекании процессов теплопроводности. Особенно это может быть важно для студентов, проходящих курс по дисциплине «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании». С помощью реализованной экспериментальной установки можно проводить лабораторные работы, позволяющие закрепить теоретические знания на практике.

В рамках дипломной работы была разработана схема автоматического поддержания заданной температуры нагрева изучаемых образцов. Было уделено внимание вопросам безопасности, таким как пожарная, производственная, электробезопасность. Также рассчитана экономическая составляющая проделанной работы.

					ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ	<i>Лист</i>
						94
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Список используемых источников

1. Методы определения теплопроводности конденсированных сред: учебное пособие / А. С. Заворин, А. В. Кузьмин, Ю. Я. Раков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 184 с.
2. С. З. Сапожников, В. Ю. Митяков, А. В. Митяков, Измерение нестационарных тепловых потоков градиентными датчиками на основе анизотропных монокристаллов висмута/ Журнал технической физики, 2004, том 74, вып. 7, с.114-120.
3. М. И. Эпов, В. И. Терехов, М. И. Низовцев, Э. Л. Шурина, Н. Б. Иткина, Е. С. Уколов, Эффективная теплопроводность дисперсных материалов с контрастными включениями/ Теплофизика высоких температур, 2015, том 53, №1, с. 48-53.
4. С. В. Станкус, И. В. Савченко, А. Ш. Агажанов, О. С. Яцук, Е. И. Жмуриков, Теплофизические свойства графита МПГ-6/ Теплофизика высоких температур, 2013, том 51, №2, с. 205-209.
5. А. Б. Круглов, В. Б. Круглов, А. В. Тенишев, Измерение температуропроводности материалов ядерной техники методом импульсного нагрева/ Теплофизика высоких температур, 2010, том 48, №1, с. 145-148.
6. О. Е. Каракулов, Л. Д. Загребин, И. Н. Шабанова, Измерение температуропроводности образцов в форме шара. Система Fe–Sn/ Теплофизика высоких температур, 2010, том 48, №3, с. 368-372.
7. Я. Б. Магомедов, Г. Г. Гаджиев, Высокотемпературные теплопроводность и электропроводность $ZnSnAs_2$ в твердом и жидком состояниях/ Теплофизика высоких температур, 2010, том 48, №2, с. 306-308.
8. М. В. Ильичев, В. Б. Мордынский, Д. В. Терешонок, А. С. Тюфтяев, С. Е. Чикунов, Экспериментальное определение зависимости

коэффициентов теплопроводности стали от температуры/ Теплофизика высоких температур, 2015, том 53, №2, с. 198-203.

9. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., исправ. И доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550с., ил.
10. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 384 с., ил.
11. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. М.: Атомиздат, 1968. - 485 с.
12. Сплавы для термодар. Справоч. изд. Рогельберг И. Л., Бейлип В. М. М.: Металлургия, 1983, с. 360.
13. Вакуумные системы и их элементы. Фролов Е. С. и др., М., «Машиностроение», 1968, 200 стр.
14. Вакуумная техника: Справочник/ Е. С. Фролов, В. Е. Минайчев, А. Т. Александрова и др.; под общ. ред. Е. С. Фролова, В. Е. Минайчева. – М.; Машиностроение, 1985. – 360 с., ил.
15. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.11.2020).
16. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
17. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
18. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
19. СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
21. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
22. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, дополненное с исправлениями. Госэнергонадзор, Москва, 2000.

					ФЮРА.XXXXXX.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		96

23. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
24. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
25. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
26. ПУЭ «Правила устройств электроустановок. Издание 7».

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		97