

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

Институт Энергетический
Специальность 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

УДК 621.1.016.4.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Мозговая Екатерина Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТЭС	Ю.Я. Раков	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	С.И. Сергейчик	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры эко- логии и безопасности жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры автоматизации техно- логических процессов	В.С. Андык	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры АТЭС	М.А. Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, специализация подготовки «Проектирование и эксплуатация атомных станций»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	Использовать методологические основы современной картины мира для научного познания и творчества, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК- 1, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Анализировать социально-значимые процессы и явления, экономические проблемы и общественные процессы, ответственно участвовать в общественно-политической жизни, применять методы социального взаимодействия на основе принятых моральных и правовых норм	Требования ФГОС (ОК-2, 5, 9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и публично защищать результаты, владеть методами пропаганды научных достижений	Требования ФГОС (ОК-3 – 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать системный подход в профессиональной деятельности, ставить цели и выбирать пути их достижения, обобщать, анализировать, критически осмысливать, систематизировать	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	новых кадров	<i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, нестандартные, управлять коллективом, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях	Требования ФГОС (ОК-10, 13, 14, ПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Профессиональные компетенции	
Р9	Понимать значимость своей специальности, стремиться к ответственному отношению к своей трудовой деятельности, демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6), согласованный с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями международными стандартами <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-5, 9, 14, 15, 16), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых</i> и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	Требования ФГОС (ПК-20, 21, 23 – 25, ПСК-1.5, 1.6, 1.8, 1.10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P16	Анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты, проводить нейтронно-физические, теплогидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы	Требования ФГОС (ПК-27, 28, ПСК-1.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P17	Делать оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами	Требования ФГОС (ПК-29), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P18	Применять основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС в целом при пуске, останове, работе на мощности и переходе с одного уровня мощности на другой с соблюдением требований безопасности, выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Требования ФГОС (ПК-13,14), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (пп. 2.2, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции	Требования ФГОС (ПСК-1.11), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	Требования ФГОС (ПСК-1.1, 1.3, 1.7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт Энергетический
Специальность подготовки **140404 Атомные электрические станции и установки**
Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
А.С. Матвеев

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Мозговая Екатерина Викторовна

Тема работы:

Имитационное моделирование при разработке метода измерения теплофизических свойств веществ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.01.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Создание программы численного решения задачи теплопроводности и проектирование установки для измерения тепловых свойств твердых тел.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи 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 для изучения методов исследования теплопроводности 2. Постановка задачи 3. Разработка принципиальной схемы установки 4. Расчет основных элементов установки 5. Проектирование лабораторного стенда
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная схема установки, сборочный чертеж вакуумной камеры, компоновочный чертеж лабораторного стенда</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>Автоматизация технологических процессов</p>	<p>Андык В.С., доцент кафедры автоматизации технологических процессов</p>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Раков Ю.Я.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Мозговая Екатерина Викторовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Мозговой Екатерине Викторовне

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Инженер	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, к.э.н.р	Сергейчик С.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Мозговая Екатерина Викторовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Мозговая Екатерина Викторовна

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	Атомные электрические станции и установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на

НТД по охране окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Мозговая Екатерина Викторовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 143 страниц, 22 рисунков, 21 таблицы, 42 источников и 4 приложений.

Ключевые слова: теплопроводность, двумерная задача, печь, вакуум.

Объектом исследования является лабораторный стенд для исследования теплопроводности твердых материалов в форме цилиндра.

Цель работы – разработка метода и конструирование установки для измерения коэффициента теплопроводности образцов в форме ограниченного цилиндра.

В процессе выполнения работы была составлена программа решения прямой и обратной двумерной стационарной задачи теплопроводности для ограниченного цилиндра в среде Pascal. Разработана принципиальная схема лабораторной установки, спроектирована вакуумная камера, построен сетевой график выполнения работ по проектированию и сборке лабораторного стенда, спроектирована схема автоматического управления температурой печи. Рассмотрены вопросы: производственная, пожарная и электробезопасность при выполнении работ на установке. Рассчитано освещение в лабораторном помещении и уровень шума при работе оборудования.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: работа в широком спектре температур, высокая точность результатов, универсальность.

Степень внедрения: атомная промышленность.

Область применения: любая отрасль техники.

Экономическая эффективность установки заключается в ее универсальности.

В будущем планируется улучшение и совершенствование методов изучения коэффициента теплопроводности.

Список определений и обозначений

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

Коэффициент теплопроводности – коэффициент учитывающий количество теплоты, проходящее через однородный образец материала единичной длины и единичной площади за единицу времени при единичной разнице температур. В системе СИ единицей измерения коэффициента теплопроводности является $Вт / (м \cdot К)$.

Плотность теплового потока – количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности.

Степень черноты – энергетическая характеристика тела, равная отношению энергии теплового излучения данного тела, к излучению «абсолютно черного тела» при той же температуре.

Коэффициент излучения абсолютно черного тела $\varepsilon = 1$.

Математическое моделирование – научный подход, связанный с построением и использованием математической модели исследуемого явления, субъекта или объекта, а также систем, их включающих с целью сокращения времени, сил и средств по предсказанию возможного будущего, повышения обоснованности и точности научных прогнозов, учёта их в деятельности.

Метод конечных разностей – численный метод решения дифференциальных уравнений, основанный на замене производных разностными схемами. Является сеточным методом.

λ – теплопроводность, $Вт / (м \cdot К)$;

T – температура, $К$;

Q – тепловой поток, $Вт$;

q – плотность теплового потока, $Вт / м^2$;

σ – постоянная Стефана-Больцмана, $5,67 \cdot 10^{-8} Вт \cdot (м \cdot К^4)$;

ε – степень черноты;

A – поглощательная способность;

r, z – цилиндрическая системы координат;

i, j – орты цилиндрической системы координат.

Оглавление

Введение.....	17
1. Обзор литературы	19
2. Теория метода.....	39
2.1. Математическая постановка	39
2.1.1. Общая математическая постановка	39
2.1.2. Математическая постановка обратной стационарной задачи теплопроводности для ограниченного цилиндра.....	40
2.2. Метод решения	42
2.2.1. Обоснование метода решения	42
3. Принципиальная схема экспериментальной установки	44
4. Конструкция вакуумной камеры.....	48
5. Разработка компоновки лабораторного стенда	51
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
Составление сетевого графика и календарного плана НИР.....	53
6.1.1. Составление перечня событий, необходимых для выполнения НИР.....	54
6.1.2. Анализ сетевого графика	60
6.1.3. Генеральный линейный график проекта.....	63
6.2. Составление сметы расходов на выполнение НИР	63
6.2.1. Фонд заработной платы	63
6.2.2. Отчисления во внебюджетные фонды	64
6.2.3. Услуги сторонних организаций.....	64
6.2.4. Стоимость материальных запасов.....	65
6.2.5. Расчет стоимости основных средств.....	65
6.2.6. Составление сметы расходов	68
7. Автоматизация автоматических процессов и производств	70
7.1. Описание объекта регулирования.....	70
7.2. Обоснование выбранной схемы автоматического регулирования	72
7.3. Разработка функциональной схемы управления печью.....	74
Список использованных источников:	78

Графический материал:

на отдельных листах

ФЮРА.430011.001 СЗ. Принципиальная схема установки.

ФЮРА.430011.002 СБ. Вакуумная камера. Сборочный чертеж.

ФЮРА.430011.003 МЧ. Компонировочный чертеж проектируемого лабораторного стенда.

ФЮРА.421000.004 С2. Функциональная схема автоматического управления оптической печи.

Сетевое планирование и управление созданием лабораторного стенда.

Демонстрационный лист.

Детализировочный чертеж основных элементов камеры. Демонстрационный лист

Введение

Особенностью подавляющего большинства направлений новой техники является чрезвычайно большая интенсификация рабочих процессов в соответствующих установках и аппаратах, повышения параметров процессов в результате работы оборудования и отдельных элементов в широком спектре температур под воздействием мощных тепловых потоков в различных средах, например, в вакууме. Оценка устойчивости работы оборудования в области высоких температур предполагает знание температурных полей и теплофизических характеристик материалов.

Решение задач теплопроводности методами, разработанными в рамках теории линейных процессов теплопроводности, в большинстве случаев приводит к малодостоверным результатам, поскольку указанные процессы реально не линейны. Так как строгих формул и рекомендаций при расчете нелинейных задач не существует, то на основании изучения методов решения не линейных задач был выбран численный метод. Численный метод позволяет получить необходимый объем информации при сравнительно небольших затратах времени и средств; универсален, поскольку позволяет быстро переходить от решения одного класса задач к другому; и удовлетворяет исследователей и инженеров - теплотехников по точности решения. Наличие численных методов позволяет сделать оценку приближенных аналитических решений, которые используются для расчета теплофизических характеристик материалов.

В данной дипломной работе рассматривается стационарный метод измерения коэффициента теплопроводности, в котором используется решение двумерной задачи теплопроводности при косвенном нагреве исследуемого образца с помощью печи.

Основной сложностью данного метода является обработка результатов измерений в виду того, что задача не имеет аналитического

решения, поскольку в ней присутствуют нелинейные граничные условия. Ее решение может быть найдено численными методами

В век высоких технологий применение производительных электронно-вычислительных машин стало доступно, благодаря этому стало возможно решать задачи теплопроводности для двухмерных и трехмерных температурных полей с помощью сравнительно не сложных экспериментальных установок, применяя математическое моделирование.

Использование в исследованиях математического моделирования очень важно для проверки точности изучаемых теплофизических процессов путем сравнения численных и экспериментальных данных.

Существенным преимуществом этого метода является возможность использования образцов небольших размеров, при этом требуется относительно небольшой временной промежуток и обеспечивается высокая точность измерений, а так же может быть рассмотрен широкий интервал температур.

Недостатком метода является необходимость измерения градиента температуры по поверхности образца, что является достаточно сложной задачей с конструктивной точки зрения.

Следует учесть, что в настоящее время большое внимание уделяется оптимизации решения задач. Очевидно, что потребители будут проявлять большее внимание к изделию или технологическому процессу, который будет наиболее оптимальным, выгодным образом отличающимся от аналогов на рынке.

1. Обзор литературы

Обзор литературы показал, что для измерения коэффициента теплопроводности чаще всего применяются стационарные одномерные методы. Одним из главных преимуществ данных методов является простота расчетных формул, это обусловлено тем, что используются решение одномерных задач теплопроводности, как то метод пластины, стержня, тонкого диска или неограниченного полого цилиндра. Однако создать одномерный тепловой поток, проходящий через образец, очень нелегко, что приводит к выбору образцов большой протяженности. К тому же с ростом температур задача организации одномерного теплового потока усложняется, что приводит к усложнению конструкции измерительной установки. Кроме того, так как многие вещества являются механически трудно обрабатываемыми материалами, изготовление из них образцов в виде, например, полого цилиндра встречает практические трудности.

Для измерения коэффициента теплопроводности очень давно применяется метод пластины, поэтому мы имеем уже очень много наработанного по этой теме материала и внушительную базу конструкторских решений при проектировании измерительных установок.

Впервые попытка рассмотреть возможность использования тонкого диска в качестве образца была сделана в 1955 году, Р.Р. Апариси и Д.И.Тепляковым.

В дальнейших исследованиях, проведенных Ш.А.Назаровым рассмотрено влияние различных исходных данных на температуру в центре диска и распределение температур по радиусу. Также в работе указаны частные методики для определения E , A_s и λ , с помощью полученных уравнений.

Стремление экспериментаторов к одномерным тепловым потокам в большей мере объяснялось желанием исключить большой объем расчетной работы, возникающей при анализе двух- и трехмерных температурных полей.

Использование электронных вычислительных машин позволяет в настоящее время существенно расширить круг задач, которые могли бы быть положены в основу экспериментального определения коэффициента теплопроводности. Поэтому можно отдать предпочтение сравнительно простым экспериментальным устройствам, позволяющим создавать и исследовать с помощью ЭВМ пространственное температурное поле в образцах, перенося тем самым львиную долю работы на математическую обработку результатов измерений.

Методы измерения КТ, в которых использовалось решение многомерных задач теплопроводности, можно условно разделить на две группы в зависимости от способа нагрева исследуемых образцов. К первой группе относятся методы с использованием прямого электрического нагрева образцов. Ко второй группе относятся методы, в которых используется косвенный нагрев образцов (оптический, электронный, индукционный и т.д.).

Нас в большей степени интересуют методы, в которых используется косвенный нагрев.

Статья Глейзера - одна из первых работ, в которой описаны метод и конструкция установки для измерения КТ на образцах в форме таблеток [5].

Схема, использованная в этой работе, приведена на рисунке 1.1.

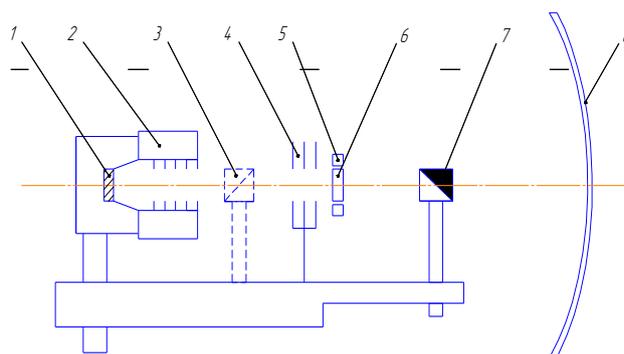


Рисунок 1.1 - Схема установки Глейзера:

- 1 - Радиометр; 2 – Охлаждаемые диафрагмы; 3,7 – Призмы; 4 –
Неохлажденные диафрагмы; 5 – Держатели образца; 6 – Образец; 8 –
Отражатель

Образец 6 в форме таблетки расположен в одном из фокусов зеркала 8 биэллипсоидной электродуговой печи. Для уменьшения радиальной составляющей градиента температуры авторы делают диаметр образца меньше размеров фокального пятна и, кроме того, экранируют его боковую поверхность. Крепление образца осуществляется тремя вольфрамовыми полками, закрепленными в держателе 5. Лучистый поток от оптической печи поступает на одну из поверхностей образца 6. Две призмы полного отражения 3, 7 позволяют с помощью яркостного микрометра измерить распределение температур по торцевым поверхностям при установившемся режиме. Монохроматическая излучательная способность считается известной. Отверстия в держателе и боковом экране дают возможность определения температуры средней точки боковой поверхности. Тепловой поток, рассеянный с заднего торца образца, в стационарном режиме при выводе призмы 3 измеряется с помощью радиометра 1. Специальная система охлажденных 2 и не охлажденных диафрагм 4 позволяет устранить паразитные тепловые потоки. Исключение отраженного излучения при пирометрирование передней поверхности, достигается с помощью специальных фильтров, разделяющих спектральные участки нагревающего и измерительного световых потоков. Таким образом, использованное устройство позволяет нагреть образец до нужной температуры, исследовать распределение температуры на его боковой поверхности и измерить тепловой поток, уходящий с задней поверхности.

В работе предлагается методика обработки результатов опыта. Первым шагом является численное решение уравнения Лапласа для отыскания объемного распределения температур по заданному распределению на поверхности. Для расчетов используется метод релаксации. Расчет ведется пока ошибка в узловых точках не становится меньше, чем $5 \cdot 10^{-3}$ К. После этого с помощью ЭВМ рассчитывается температурный градиент в узловых точках задней поверхности образца, а затем суммированием определяется интегральное значение температуры.

Коэффициент теплопроводности рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{Q_{Z=H}}{\int_F \nabla T_{Z=H} dF},$$

где $Q_{Z=H}$ - суммарный тепловой поток, теряемый в окружающую среду с тыльной стороны образца; $\nabla T_{Z=H}$ - градиент температуры вблизи тыльной стороны образца.

Погрешность измерения метода примерно 10%, причем основной вклад в ошибку дает несовершенство способов измерения температур и тепловых потоков.

Следующее исследование в продолжение к работе Глейзера было проведено и описано Хочем и сотрудниками в работе [6]. В качестве образца использовался ограниченный цилиндр. Нагрев образца в данном методе осуществлялся с помощью индукционной печи при рабочей частоте в 500 Гц. Такая высокая частота позволяет считать, что вся затраченная на нагрев энергия сосредотачивается в тонком поверхностном слое, толщиной не более 0,08 мм при диаметре образца 12 – 25 мм.

В опыте измерялось изменение распределение температуры по торцевой поверхности образца. Исходя из того, что в пределах погрешности невозможно измерить температуру вдоль боковой поверхности цилиндра, в качестве первого приближения на боковой поверхности температура была принята постоянной т.е. $T(r, z) = 0$. Получили решение, описывающее поле температур, которое имеет вид:

$$T(r, z) = T_R - 4AR \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{R}{\delta_n^2} \cdot \frac{J_2(\delta_n)}{J_1^2(\delta_n)} \cdot \frac{ch\left(\delta_n \frac{z}{R}\right)}{ch\left(\delta_n \frac{L}{R}\right)} \cdot J_0\left(\delta_n \frac{r}{R}\right) \right],$$

где δ_n - корни характеристического уравнения $J_0(\delta_n)$.

Отсюда можно рассчитать значение продольного градиента температур в плоскости $z = L$

$$-\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{0,L} = 4AR \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{J_2(\delta_n)}{\delta_n^2 J_1^2(\delta_n)} th \frac{\delta}{R} L \right] = 4ARK_0,$$

где K_0 - геометрический параметр, зависящий только от соотношения размеров образца, для данного типа граничных условий. Однажды рассчитанный он используется для всей серии экспериментов. Найденный градиент температур характеризует тепловой поток, рассеянный с элемента поверхности образца излучением в вакуум.

Авторы предполагают, что интегральная полусферическая степень черноты известна. Тогда расчет теплопроводности можно рассчитать по формуле

$$\lambda = \frac{\varepsilon \sigma T_0^4}{4ARK_0},$$

где $T_0 = T(0,0)$ - температура в точке с координатами $z=0$ и $r=0$.

Недостатком данной методики является то, что этим способом можно измерить теплопроводность только металлов из-за необходимости нагрева образцов индукционной печью. Кроме того зависимость степени черноты от условий опыта и возможности изменения её в процессе эксперимента могут привести к значительным погрешностям измерения.

В работах Осетинской [7], [8] для определения КТ алмазов использовался метод стягивания теплового потока.

Образец в форме ограниченного цилиндра малых размеров нагревался круговым почти точечным источником постоянной мощности Q радиусом r_0 , расположенным на верхнем торце. От нижнего торца цилиндра отводится теплота так, что его температура T_0 постоянна. Боковая и часть верхней торцевой поверхности теплоизолированы. Для получения расчетной формулы метода, решалась двумерная стационарная задача теплопроводности, решение которой имеет вид:

$$T(r,z) = T_0 + \frac{q}{\lambda}(h-z) \left\{ \frac{r_0^2}{R^2} + \frac{2r_0}{h-z} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{sh \frac{\mu_n}{R}(h-z) I_1\left(\frac{\mu_n r_0}{R}\right)}{ch\left(\frac{\mu_n h}{R}\right) \cdot \mu_n^2 I_0(\mu_n)} \cdot I_0\left(\frac{\alpha_n r_0}{R}\right) \right\}$$

где μ_n – корни уравнения $I_1(\mu_n) = 0$; I_0, I_1 – модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка.

Из этого решения следует выражение для максимальной температуры, соответствующей точке с координатами $r = 0$ и $z = 0$:

$$T(0,0) = T_0 + \frac{qr_0}{\lambda} \left\{ \frac{r_0 h}{R^2} + 2 \sum_{n=2}^{\infty} th \left(\frac{\mu_n h}{R} \right) \frac{I_1 \left(\frac{\mu_n r_0}{R} \right)}{\mu_n^2 I_0^2(\mu_n)} \right\}$$

Разрешая полученное выражение относительно КТ, получим рабочую формулу метода:

$$\lambda = \frac{QK}{\pi r_0 [T(0,0) - T_0]};$$

$$K = \frac{r_0 h}{R^2} + 2 \sum_{n=2}^{\infty} th \left(\frac{\mu_n h}{R} \right) \frac{I_1 \left(\frac{\mu_n r_0}{R} \right)}{\mu_n^2 I_0^2(\mu_n)}.$$

Функции $K = K \left(\frac{r_0}{R}, \frac{h}{R} \right)$ рассчитаны с помощью ЭВМ для многих случаев. Принципиальная схема установки, реализующая метод стягивания теплового потока, приведена на рисунке 1.2.

Исследуемый образец помещен между конусом с алмазным наконечником и медным теплоотводом. Алмазный наконечник прижимали к алмазному кристаллу с достаточным для упругой деформации усилием, так что между ними создавалась круговая зона контакта. Оптическая схема, включающая микроскоп с отсчетным устройством, позволяла контролировать контактную зону и определять диаметр контактного пятна.

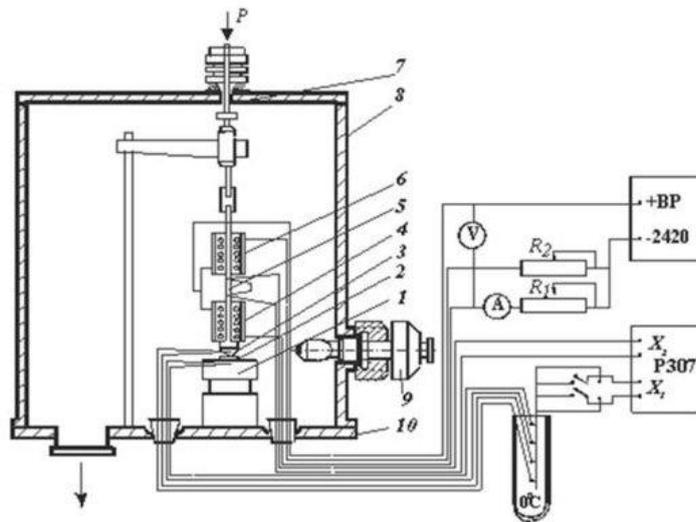


Рисунок 1.2 - Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности монокристаллов алмаза [7,8]:

1 - теплосток; 2 - образец; 3 - алмазный конус; 4 - основной нагреватель; 5 - нейзильберовая трубка; 6 - охранный нагреватель; 7 - шток; 8 - вакуумный колпак; 9 - оптическая система; 10 – плита.

Система двух нагревателей обеспечивала постоянство заданной величины теплового потока и компенсацию потерь за счет теплопроводности. Измерение температур на поверхностях образца осуществлялось двумя медь-константановыми термопарами. Тепловой поток, проходящий через образец, рассчитывали по показаниям вольтметра и амперметра.

В работе [9] приводится обоснование метода определения коэффициента теплопроводности на основе анализа стационарного двумерного температурного поля в ограниченном цилиндре высотой H и радиусом R . Показано, что для высокотеплопроводных материалов (металлов) значение суммарного градиента температуры может быть заменено значением градиента температуры, имеющим место вдоль оси цилиндра вдали от торцевой поверхности, на которую падает тепловой поток.

Решение этой задачи получено методом разделения переменных и описывается выражением:

$$T(r, z) = \frac{2qr_1}{\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_1\left(n_k \frac{r_1}{R}\right) \cdot J_0\left(n_k \frac{r}{R}\right)}{J_0^2(n_k) \left[n_k^2 + (hR)^2 \right]} \cdot \Phi_k(z);$$

$$\text{где } \Phi_k(z) = \frac{\operatorname{sh}\left(\frac{H-z}{R} n_k\right) + \frac{n_k}{hR} \operatorname{ch}\left(\frac{H-z}{R} n_k\right)}{\operatorname{ch}\left(\frac{H}{R} n_k\right) + \frac{n_k}{hR} \operatorname{sh}\left(\frac{H}{R} n_k\right)};$$

$$n_k - \text{корни уравнения } n_k J_1(n_k) = hkJ_0(n_k); \quad h = \frac{\alpha}{\lambda}$$

Результаты расчетов, выполненные с использованием полученного решения, показали, что температурное поле характеризуется важной особенностью, заключающейся в быстром формировании стабильного радиального профиля температуры при удалении от горячего торца. Независимо от условий на торце при удалении от него на $(1-1,5)R$ распределение температур в поперечных сечениях стержня зависит только от параметра hR и с погрешностью не более 1 % описывается первым членом ряда следующего уравнения. Для зоны стабилизированного температурного профиля средний и локальный продольные градиенты связаны между собой соотношениями

$$K(r=0) = \frac{\overline{\operatorname{grad}_z T}}{(\operatorname{grad}_z T)_{r=0}} = 1 - 0.25Bi + \frac{Bi^2}{4(4 + Bi)}$$

Учитывая, что $\lambda_{\text{ист}} = \frac{\lambda_{\text{расч}}}{K(r)}$ при известном значении $K(r)$ находится

значение коэффициента теплопроводности.

В работе Серых [10] рассматривается прибор для комплексного определения ТФХ материалов неразрушающим способом. Прибор предназначен для определения и контроля коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a полимерных, композиционных, пористых, сыпучих, строительных и других неметаллических материалов в диапазонах изменения λ от 0,035 до 5 Вт/(м·К) и a от $0,08 \cdot 10^{-6}$ до $1,0 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Прибор реализует метод нерегулярного теплового режима, в основу которого положены следующие предпосылки: в плоскости контакта двух полуограниченных тел I и II, ограниченной окружностью радиуса R , действует непрерывный источник теплоты постоянной мощности q_0 , направленный по нормали к этой плоскости. За пределами указанной окружности в плоскости контакта теплообмен между телами пренебрежимо мал. Тепловые потоки q_I и q_{II} , направленные в каждое из тел от источника теплоты, распределены по площади зоны разогрева равномерно. В начальный момент времени $\tau=0$ температуру T_0 считаем одинаковой в любой точке системы двух соприкасающихся полуограниченных тел. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности тел считаем постоянными, а сами тела — изотропными. При такой постановке задачи температурное поле $T(r, z, \tau)$ двумерно и описывается в цилиндрических координатах системой дифференциальных уравнений (начало координат совпадает с центром окружности радиуса R).

В результате решения системы получены следующие два выражения: для температуры контакта в центре зоны разогрева:

$$\Delta T(\tau) = T(0, 0, \tau) - T_0 = \frac{2q_0\sqrt{\tau}}{\varepsilon_I + \varepsilon_{II}} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} - \frac{\left(\varepsilon_I \cdot \operatorname{ierfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_I}} + \varepsilon_{II} \cdot \operatorname{ierfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_{II}}} \right)}{\varepsilon_I + \varepsilon_{II}} \right]; \quad (1.1)$$

для среднеинтегральной температуры контакта зоны разогрева:

$$\Delta \bar{T}(\tau) = \bar{T}(r, 0, \tau) \Big|_{0 \leq r \leq R} - T_0 = \frac{q_0 R}{\lambda_I} \times \left[\frac{K_\varepsilon}{K_a} \int_0^1 \int_0^\infty J_0(\mu\eta) J_1(\mu) \operatorname{erf}(\mu K_a \sqrt{Fo_I}) \frac{d\mu}{\mu} d\eta + K_\varepsilon \int_0^1 \int_0^\infty J_0(\mu\eta) J_1(\mu) \operatorname{erf}(\mu \sqrt{Fo_I}) \frac{d\mu}{\mu} d\eta \right]; \quad (1.2)$$

Здесь $\varepsilon = \frac{\lambda}{\sqrt{a}}$ — тепловая активность; $Fo = \frac{a\tau}{R^2}$ — число Фурье; $\operatorname{erf} x$ —

функция ошибок Гаусса; $\operatorname{ierfc} x$ — интеграл функции ошибок Гаусса; $\eta = \frac{r}{R}$ —

безразмерная радиальная координата; $J_0(\mu\eta)$, $J_1(\mu)$ — функции Бесселя первого рода; $K_a = \sqrt{\frac{a_I}{a_{II}}}$ — величина, характеризующая теплоинерционные свойства второго тела относительно первого; $K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_I}{\varepsilon_I + \varepsilon_{II}}$ — величина, характеризующая понижение относительной температуры полуограниченного тела при его соприкосновении с другим полуограниченным телом.

Оценки показывают, что в диапазоне $Fo_I \leq Fo_{II} \leq 1$ или $Fo_{II} \leq Fo_I \leq 1$ при $0,25 \leq K_a \leq 2$ значения $\Delta T(\tau)$ и $\Delta \bar{T}(\tau)$, рассчитанные по этим формулам, отличаются от полученных численным методом не более, чем на 1,2 %, причем при уменьшении значений Fo_I и Fo_{II} это отличие уменьшается. Поэтому в указанном диапазоне изменения чисел Fo можно пользоваться выражениями (1.1) и (1.2).

Если время τ_1 таково, что для обоих тел выполняется условие

$$Fo \leq 0,1 \quad (1.3)$$

то температура в центре и среднеинтегральная совпадают и с достаточной точностью определяются следующим равенством:

$$\Delta T(\tau_1) = \frac{2q_0 \sqrt{\tau_1}}{\varepsilon_I + \varepsilon_{II}} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \quad (1.4)$$

Если известны ТФХ одного из тел, по выражению (1.4) можно рассчитать ε_{II} при Fo_I и Fo_{II} , удовлетворяющих условию (1.3):

$$\varepsilon_{II} = \frac{2q_0 \sqrt{\tau_1}}{\Delta T(\tau_1) \sqrt{\pi}} - \varepsilon_I$$

Далее, используя решение (1.1), рассчитывается

$$ierfc \frac{1}{2\sqrt{Fo_{II}(\tau_2)}} = \frac{\sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} - \frac{\Delta T(\tau_2)}{\Delta T(\tau_1)} - \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} \sqrt{\pi} ierfc \frac{1}{2\sqrt{Fo_I(\tau_2)}} \frac{\varepsilon_I}{(\varepsilon_I + \varepsilon_{II})}}{\sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} \sqrt{\pi} \frac{\varepsilon_I}{(\varepsilon_I + \varepsilon_{II})}}$$

Причем время τ_2 должно быть выбрано так, чтобы для обоих тел выполнялось условие

$$0,25 \leq Fo \leq 1 \quad (1.5)$$

Число $Fo_{II}(\tau_2)$ определяем по зависимости $ierfcx$, а коэффициент температуропроводности — по формуле $a_{II} = Fo_{II}(\tau_2) \frac{R^2}{\tau_2}$.

Коэффициент теплопроводности λ_{II} и объемную теплоемкость $(C\rho)_{II}$ исследуемого материала рассчитывается из соотношений

$$\lambda_{II} = \varepsilon_{II} \sqrt{a_{II}} \quad (1.6)$$

$$(C\rho)_{II} = \frac{\lambda_{II}}{a_{II}} \quad (1.7)$$

Блок-схема и конструкция зондов прибора приведена на рисунке 1.3. Прибор состоит из выносного зонда, предназначенного для реализации физической модели метода и измерения температуры зоны разогрева контакта, а также блока индикации, служащего для регистрации показаний термоприемников в фиксированные моменты времени. Зонд содержит тело-эталон 1, изготовленный в виде ограниченного цилиндра, на нижнем торце которого, соосно с ним, установлен плоский нагреватель 2 в виде круга радиуса R_n . Нагреватель изготовлен из константановой фольги толщиной $\delta = 10 \text{ мкм}$ с использованием планарной технологии. Подложкой является полиимидная пленка ($\delta = 30 \text{ мкм}$). Такое исполнение нагревателя позволило значительно уменьшить его собственную теплоемкость. В качестве материала эталона применены органическое и кварцевое стекло.

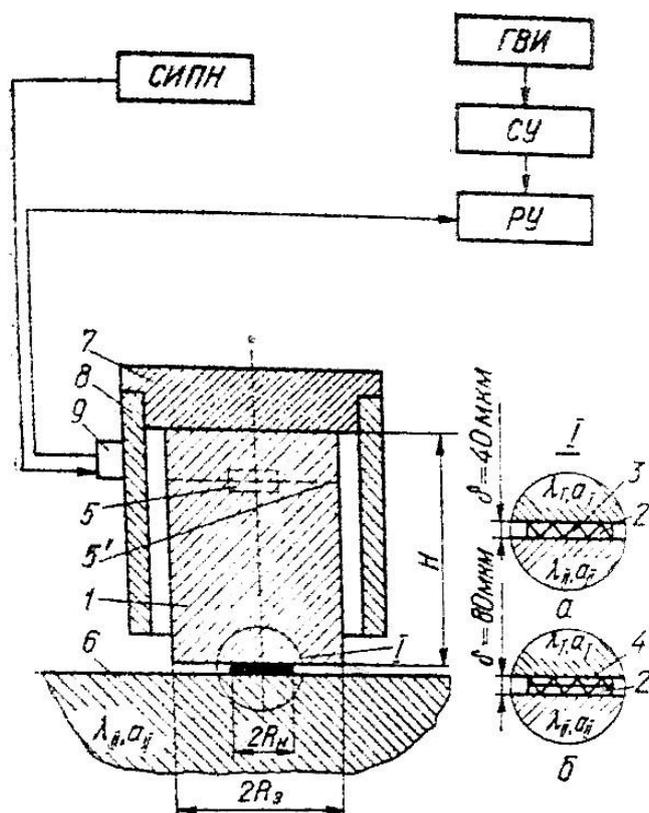


Рисунок 1.3 - Блок-схема прибора и конструкция зондов [10].

Условие полуограниченности тела-эталоны, положенное в основу модели метода, практически обеспечивается тем, что его радиус R_s и высота H в пять раз больше радиуса нагревателя R_n . В этом случае достигается высокая точность моделирования физической задачи, и погрешность определения температуры контакта в зоне разогрева не превышает 0,03 %.

При использовании решения задачи для температуры в центре зоны разогрева (вариант а) в центре нагревателя вмонтирован термоприемник — медь-константановая термопара 3. В варианте б при пользовании решения для среднеинтегральной температуры зоны разогрева контакта, на нижнем торце тела-эталоны соосно с нагревателем установлен плоский термометр сопротивления 4 такого же радиуса, что нагреватель.

Холодные концы термопары введены в пассивный термостат 5 (вариант а), который, как и контрольный термометр сопротивления 5

(вариант б), вмонтирован в тело-эталон. Выполнение условия $T_I = T_{II}$ при $z = 0$ достигается термостатированием.

Как следует из теории метода, для определения ТФХ материалов необходимо знать приращение температуры зоны разогрева контакта по крайней мере в два момента времени τ_1 и τ_2 . Так как достоверность измерения температуры только в два момента времени небольшая, то метод предполагает по данным одного эксперимента получать значения ТФХ многократно, что уменьшает погрешность определения ТФХ.

Были оценены минимальные размеры исследуемых объектов, позволяющие с заданной точностью определять ТФХ материалов.

При исследовании ТФХ пористых, композиционных и сыпучих материалов рекомендуется использовать зонды, определяющие среднеинтегральную температуру зоны разогрева контакта. Это связано с неоднородностью такого класса материалов. При определении и контроле ТФХ материалов со свойствами, сильно отличающимися от свойств эталона, эталонный материал должен быть как можно ближе по ТФХ к исследуемому.

Прибор позволяет определять коэффициент теплопроводности с погрешностью не более 5-7 %. Определение и контроль ТФХ материалов может производиться в диапазоне температур 240—340 К.

Следующая серия работ, направленная на вычисление КТ электропроводящих материалов в области высоких температур была выполнена Пелецким с сотрудниками.

В работе [11, 12] был разработан новый метод исследования коэффициента теплопроводности металлов и сплавов при высоких температурах при помощи электронного нагрева образца. В своей основе этот метод являлся разновидностью метода продольного теплового потока, осуществленного для свободно подвешенного в вакуумной камере цилиндрического образца. Нагрев последнего осуществлялся при помощи соответствующих катодных систем либо с торца, либо со всей поверхности.

В зависимости от характера нагрева можно было, измеряя температурное распределение на образце и электрические параметры, рассчитать значения коэффициента теплопроводности.

Отличительной особенностью данного методического подхода был отказ от построения адиабатической изоляции боковой поверхности. Измерение на том же образце в той же конструктивной схеме радиационных характеристик позволяло найти в опыте с торцевым нагревом распределение тепловых потерь на боковой поверхности образца.

Опыт работы с данной методикой выявил ряд ее недостатков, как то:

1) в условиях неравномерного нагрева образца в опыте по определению теплопроводности возможно изменение степени черноты поверхности по его длине, обусловленное, к примеру, взаимодействием поверхности с остаточными газами вакуумной камеры.

2) при работе с ограниченным цилиндром, теряющим тепло радиацией с боковой поверхности, в области умеренных температур (1300°K) продольные градиенты средней по сечению температуры заметно уменьшаются. Следствием этого является значительное возрастание погрешности измерений, во избежание чего тепло желательно отводить с «холодного» торца не излучением, а теплопроводностью к холодильнику.

3) высокий потенциал образца исключал возможность применения термопар, а тем самым ограничивал область температурных измерений нижним пределом оптического пирометра (1200°K).

Новая экспериментальная установка является более совершенным вариантом реализации метода продольного теплового потока в широкой области температур [13].

В цилиндрический образец через верхний торец поступает тепловой поток от нагревателя. Другой торец образца помещен в калориметр-холодильник. Тепло, рассеянное с боковой поверхности образца, измеряется секционированным радиационным калориметром.

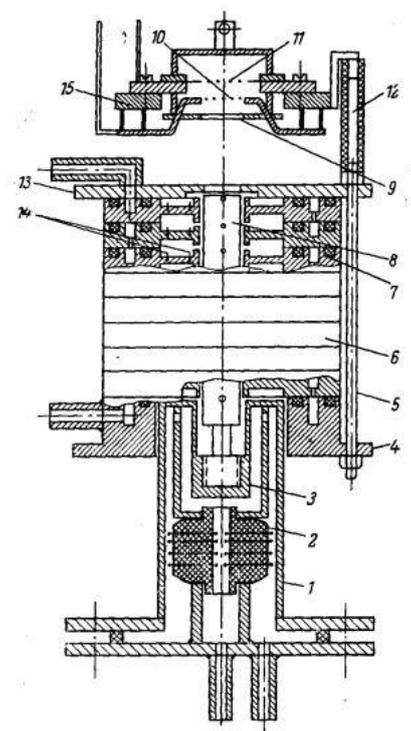


Рисунок 1.4 – Радиационный калориметр [13]

Радиационный калориметр состоит из восьми одинаковых медных элементов 6, зажатых между двумя фланцами 4, 13 при помощи четырех шпилек 5. Тепловой поток с калориметра снимается проточной водой, поступающей через патрубок в нижнем фланце. Вода проходит подканалам в кольцах и через отверстия в дне этих каналов, а затем удаляется через верхний фланец. Вакуумное уплотнение водяных каналов осуществляется резиновыми прокладками 7. В кольца заделаны дифференциальные термопары медь—константан 14. Величина термо-ЭДС термопар будет зависеть только от величины теплового потока, попадающего на кольцо. В элементах радиационного калориметра имеются радиальные сверления для вывода термопар из колец и для измерения температур в образце.

Следующей работой команды Пелецкого явилась установка для измерения коэффициента теплопроводности при высоких температурах, описанная в работе [14].

Схема рабочего участка приведена на рисунке 1.5.

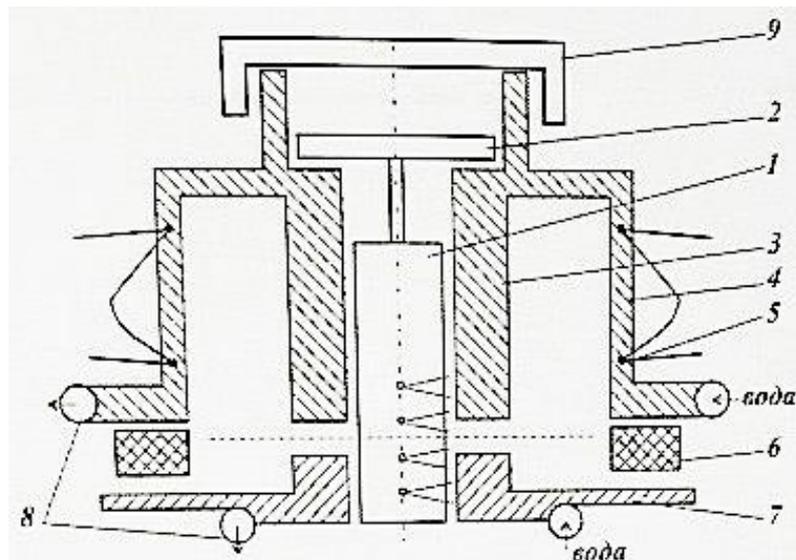


Рисунок 1.5. Принципиальная схема измерительного блока [14]:

1 - образец; 2 - держатель образца; 3 - теплоприемник; 4 - теплопровод; 5 - дифференциальная термопара; 6 - разделительный изолятор; 7 - экран; 8 - змеевик-холодильник; 9 – крышка.

Образец 1 введен в полость цилиндрического теплоприемника 3 и связан с ним держателем 2. Выступающая из теплоприемника часть образца находится в отверстии массивного цилиндрического экрана 7. Плоскости торцов теплоприемника 3 и экрана 7 отделены друг от друга малым (0,5 мм) зазором. Этот зазор и задает координату рабочего сечения образца, с которой связывается измеряемый тепловой поток. Действительно, практически весь тепловой поток, поступающий в калориметр, образованный теплоприемником 3 теплопроводом 4 с размещенной на нем батареей дифференциальных термопар и холодильником-термостатом 8, проходит через поперечное сечение образца в рабочем сечении. Доля потока, уходящего через кольцевые зазоры в системе образец-теплоприемник и образец-экран, большей частью пренебрежимо мала.

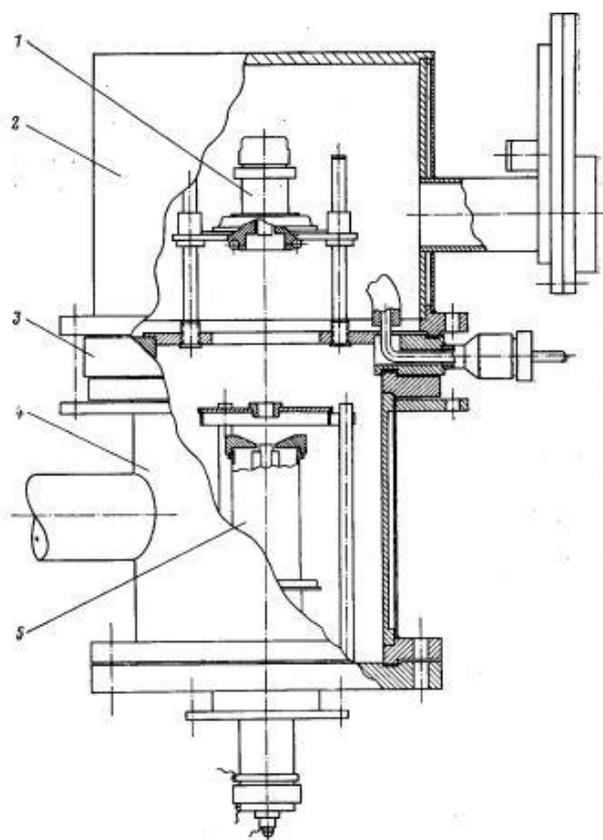


Рисунок 1.6 -Конструкция установки [14]:

1 -измерительный блок; 2 — верхний колпак камеры; 3 - монтажный фланец; 4 — камера источника нагрева; 5 - электронная пушка

Конструкция установки показана рисунке 1.6. Измерительный блок 1 размещен внутри вакуумной камеры, состоящей из верхнего колпака 2 с окнами для пирометрирования, монтажного фланца 3 с электровводами и камеры 4 источника нагрева 5. Система откачки поддерживает в камере давление не выше $\sim 10^{-2}$ Па.

Стенки камеры имеют водяное охлаждение. Ввод воды для охлаждения калориметра и экрана осуществляется через специальные патрубки на монтажном фланце 3.

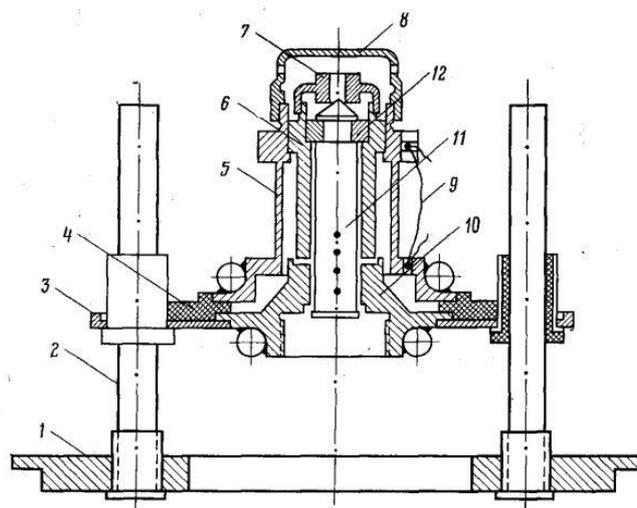


Рисунок 1.7 - Конструкция измерительного блока [14]:

1 - установочное кольцо; 2 - стойки; 3 - фланец; 4 — разделительный изолятор; 5 — теплопровод; 6 - теплоприемник; 7 - накидная гайка; 8 - крышка; 9 - термобатарея; 10 — экран; 11 - образец; 12 - разрезная шайба.

Измерительный блок смонтирован на установочном кольце 1 с двумя стойками 2 (рисунок 1.7). Вдоль стоек может перемещаться фланец 3, на котором закреплен массивный медный экран 10 со змеевиком водяного охлаждения. На верхней плоскости фланца 3 крепится фторопластовое кольцо 4, на которое устанавливается calorimeter. Последний имеет корпус — теплопровод 5 со змеевиком водяного охлаждения и батареей дифференциальных термопар 9. Во внутреннее гнездо теплопровода впаян медный толстостенный цилиндр теплоприемника 6 с проточкой для крепления образца 11. Образец с разрезной шайбой 12 вводится в теплоприемник сверху и зажимается с помощью накидной гайки 7, имеющей центрирующее отверстие. 1 Крышка 8 используется для поджатия элементов градуировочного нагревателя и дополнительной тепловой экранировки зоны крепления образца. Теплоприемник и теплопровод имеют вертикальный паз для вывода термопар, заделанных в образце в окрестности рабочего сечения. Спаи медь-константовой термобатареи 9 вклеены в пазы верхнего ребра теплопровода и в отверстия в его основании. В экран 10 снизу ввинчивается

диафрагма, ограничивающая зону действия падающего на образец теплового потока.

Вся сборка для удобства монтажа а образца и его юстировки может перемещаться по вертикали вдоль стоек.

Нагревательное устройство (позиция 5 на рисунке 1.6) представляет собой электронную пушку, формирующую аксиальный пучок электронов. Их источником является прямонакальный катод из танталовой или вольфрамовой фольги, размещенный в отверстии прикатодного электрода. Потенциал последнего может изменяться, что позволяет управлять фокусировкой пучка.

На основе этой работы, базируясь на вышеизложенных расчетах и примененных хорошо зарекомендовавших себя конструкциях, в следующей статье Пелецкий создает новую установку [15].

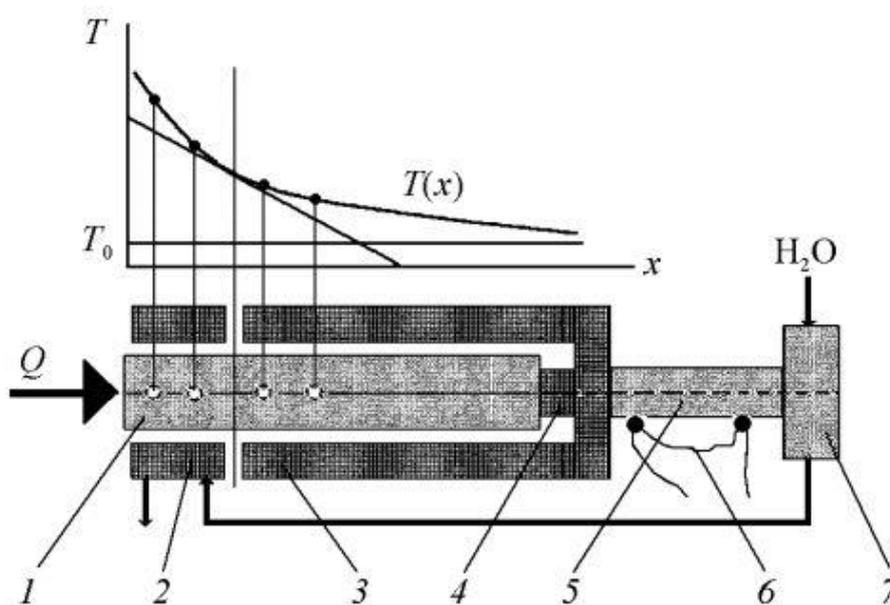


Рисунок 1.8 – Схема метода [15].

Сущность метода поясняет схема, представленная на рисунке 1.8. Исследуемый образец 1 закрепляется внутри полого цилиндрического тонкостенного стакана 3, внутренняя поверхность которого отделена от поверхности образца малым зазором. Стакан 3 соединяется с

холодильником-термостатом 7 с помощью цилиндра 5, на котором размещена многоспайная дифференциальная батарея термопар 6.

Если в такой конфигурации на открытый торец образца подать тепловой поток Q от любого источника, то вводимое тепло через образец и названные выше элементы будет передано к холодильнику-термостату 7. Если тепловой поток постоянен во времени, то в системе установится стационарный режим с температурным распределением на образце вида $T(x)$, показанном в верхней части рисунка 1.8. Выбором геометрических размеров и материала элементов 2 и 3 можно добиться того, что их температура будет близка к температуре термостата и существенно ниже температуры образца. В этих условиях практически вся тепловая энергия, введенная в описанную систему, будет соответствовать тепловому потоку, пронизывающему образец в плоскости торцевого среза полого цилиндра-теплоприемника 3 (рисунок 1.8). Теплоприемник может получить значительное количество тепла в виде излучения из горячей зоны образца, расположенной слева от торцевого среза стакана 3. Для подавления этого эффекта в конструкцию ввели массивное цилиндрическое кольцо 2, охлаждаемое тем же теплоносителем, что и термостат 7. Торцею кольца 2 не касается стакана 3. Зазор между ними образует область, в которой располагается плоскость вышеназванного рабочего сечения образца. Величина продольного теплового потока, который относится к этому сечению, пропорционален термо-ЭДС термобатареи 6.

Для расчета теплопроводности кроме теплового потока нужно знать среднее по сечению образца значение продольного градиента температур в названном рабочем сечении, что решается размещением в окрестности рабочего сечения нескольких термопар. По их показаниям можно рассчитать величину искомого температурного градиента.

2. Теория метода

2.1. Математическая постановка

2.1.1. Общая математическая постановка

Для формулировки общей многомерной задачи теплопроводности и нахождения граничных условий рассмотрим ограниченную область трехмерного пространства. Задачу будем считать стационарной.

Пусть N – область внутри ограниченного пространства, а M – совокупность точек на поверхности.

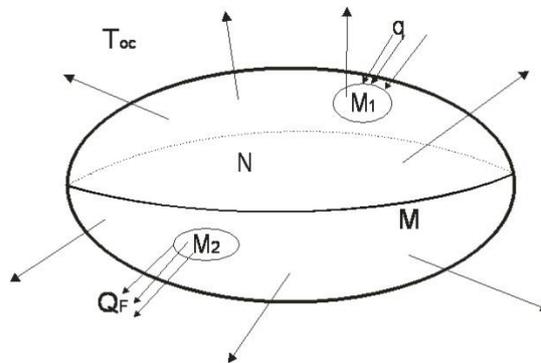


Рисунок 2.1.1 – Схема выделенной области

Будем считать, что на часть поверхности выделенной области с координатами M_1 ($M_1 \in M$) падает лучистый тепловой поток плотностью q_F , и вся поверхность отдает тепло за счет излучения и конвекции в окружающую среду с постоянной температурой T_{oc} . Из части области поверхности площадью F с координатами M_2 ($M_2 \in M$) интегральный тепловой поток Q_F уходит.

Тогда математическая постановка обратной многомерной стационарной задачи теплопроводности запишется в виде:

$$\Delta(\lambda(T)\nabla T(N)) = 0 \quad (2.1.1.1)$$

Для данной области граничные условия будут иметь вид:

$$A(T)q(M_1) = -\lambda(T)\nabla T(M_1) - \varepsilon(T)\sigma_0(T^4(N) - T_{oc}^4) - \alpha(M_1)(T(M_1) - T_{oc}) \quad (2.1.1.2)$$

$$-\lambda(T)\nabla T(M) = \varepsilon(T)\sigma_0(T^4(M) - T_{oc}^4) - \alpha(M)(T(M) - T_{oc}) \quad (2.1.1.3)$$

$$\left| Q_F(M_2) - \int_F \varepsilon(T) \sigma_0 (T^4(M_2, \lambda(T)) - T_{oc}^4) + \alpha(M_2) (T(M_2, \lambda(T)) - T_{oc}) \partial F \right| \rightarrow \min \quad (2.1.1.4)$$

где $T(N)$ – температура во внутренних точках области с координатами N ;

$T(M_1)$, $T(M_2)$, $T(M_3)$ – температуры на поверхности области с координатами M_1 , M_2 , M_3 ; T_{oc} – температура окружающей среды; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности; $\varepsilon(T)$ – интегральная степень черноты; $A(T)$ – коэффициент поглощения; σ_0 – постоянная Стефана – Больцмана; $q(M_1)$ – плотность теплового потока; $Q_F(M_2)$ – интегральный тепловой поток; $\alpha(M_1)$, $\alpha(M_2)$, $\alpha(M_3)$ – коэффициенты теплоотдачи на соответствующих поверхностях; F – площадь поверхности с координатами M_2 .

Решение уравнения теплопроводности (2.1.1.1) с граничными условиями (2.1.1.2) – (2.1.1.3) и с экстремальным условием (2.1.1.4) позволяет определить коэффициент теплопроводности вещества при известных геометрических параметрах области и известных значениях коэффициента поглощения, степени черноты, температуры среды, коэффициентов теплоотдачи в точках области поверхности при условии, что плотность падающего теплового потока и тепловой поток, уходящий с выбранной области будут определены из эксперимента.

2.1.2. Математическая постановка обратной стационарной задачи теплопроводности для ограниченного цилиндра

В данной работе исследуется теплопроводность образцов в виде ограниченного цилиндра. На верхнюю торцевую поверхность поступает лучистый тепловой поток от «печи», при этом он нагревается. В это же время объект исследования излучает со всех граней в окружающую среду, тем самым теряя тепло.

Условия задачи таковы, что тепло от образца теряется именно за счет излучения, чтобы исключить паразитные потоки за счет конвекции

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1.2.1)$$

Сформулируем граничные условия:

$$z = 0, \quad -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \cdot (T_n^4 - T_{z=0}^4) \quad (2.1.2.2)$$

$$z = H, \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \cdot (T_{z=H}^4 - T_{oc}^4) \quad (2.1.2.3)$$

$$r = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (2.1.2.4)$$

$$r = R, \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \cdot (T_{r=R}^4 - T_{oc}^4) \quad (2.1.2.5)$$

И сформулируем экстремальное условие:

$$\left| Q_{z=H} + Q_{r=R} - \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \left[\int_{F_{бок}} (T_{r=R}^4 - T_{oc}^4) \partial F + \int_{F_{ниж}} (T_{z=H}^4 - T_{oc}^4) \partial F \right] \right| \rightarrow \min \quad (2.1.2.6)$$

где, $T(r, z)$ – температура тела; σ_0 – постоянная Стефана – Больцмана; r, z – цилиндрические координаты; H, R – размеры образца.

2.2. Метод решения

2.2.1. Обоснование метода решения

Целью данной работы является отыскание значения коэффициента теплопроводности материалов. Такие задачи относятся к классу обратных задач, то есть для их решения необходимо восстановить значения тепловых полей. Для получения решения обратной задачи нам нужно разрешить условие минимума целевого функционала (2.1.2.6)

Решение получается последовательными просчитываниями прямой задачи теплопроводности, то есть итерациями решение доводится до удовлетворительного с точки зрения требуемой точности, то есть не превышения определенной заданной погрешности.

Считать аналитически такие задачи не представляется возможным за счет их нелинейности и неоднородности, поэтому рациональным будет

использование вычислительной техники. Тем не менее, несмотря на мощность ЭВМ, нужно выбрать наиболее простой и подходящий метод вычисления, чтобы сократить время вычисления и добиться точности.

Нам для решения прямой и обратной задачи нужно привлекать численные методы, с помощью которых можно получить таблицу приближенных значений. Метод конечных разностей хорошо изучен и понятен, в нем мы заменяем частные производные разностными отношениями для каждого узла сеточной области, граничные узлы которой совпадают с границами тела. При составлении конечно – разностных уравнений использовались метод элементарных балансов и метод разложения искомой функций в ряд Тейлора в окрестности узла. Полученные нелинейные системы конечно–разностных уравнений будут разрешены итерационными методами.

При решении обратной задачи теплопроводности, естественно, использовались те же методы, так как необходимо было решить прямую задачу, но так же дополнительно использовались методы оптимизации: метод дихотомии и метод покоординатного спуска.

3. Принципиальная схема экспериментальной установки

Принципиальная схема экспериментальной установки для определения коэффициента теплопроводности образцов в форме ограниченного цилиндра изображена на рисунке 3.1.

Исследуемый образец 3 размещен внутри вакуумной камеры 10 и закреплен с помощью игольчатых держателей 7. Нагрев верхней поверхности образца осуществляется лучистым потоком от электрической печи сопротивления. Непосредственно над образцом помещен нагреватель 2, а для точности вычисления величины теплового потока ставится охранный нагреватель 1. Для сокращения потерь тепла в камере сверху установлены тепловые экраны, которые устанавливаются непосредственно на держатели 5 охранный нагревателя. Измерения температур в нагревателе и разности температур между основным и охранным нагревателями осуществляются платиновыми-платиновыми преобразователями температуры, а измерение электрических сигналов осуществляется мультиметром.

Плотность падающего теплового потока вычисляется исходя из того, что площадь поверхности образца - величина известная, а с помощью формулы джоуля-ленца можем посчитать величину теплового потока, которая создается с помощью катушек 22.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Уходящий тепловой поток с нижней и боковой поверхности образца измеряется калориметром 8, принцип работы которого состоит в вычислении теплового потока через разность температур при известном расходе и теплоемкости жидкости.

$$Q = G \cdot C_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})$$

Для этих целей используется дифференциальная термопара, один конец которой закреплен на выходе колориметра, а второй после термостата. Расходомером является мерный стакан, в который за определенное время,

рассчитанное на секундомере из трехходового крана 23 наливается объем жидкости, который очень просто измеряется, и плотность которой известна.

$$G = \frac{V}{t} \cdot \rho$$

Термостатирование обечайки вакуумной камеры осуществляется с помощью водяной рубашки 11, через которую протекает холодная вода из водопроводной сети.

Для создания высокого вакуума в камере $P \approx 10^{-6}$ Па служит диффузионный насос 19 типа Н – 05С, который через водяную ловушку 20 и вакуумный затвор 21 и далее соединяется с корпусом вакуумной камеры.

Сначала идет разряжение в системе с помощью механического пластинчатого – роторного насоса типа ЗНВР-1Д 17. Также в установке предусмотрена байпасная линия, она помогает существенно сократить время проведения эксперимента за счет того, что установленный в ней насос создает предварительный вакуум в камере после замены исследуемого образца, без остановки диффузионного паромасленного насоса. В байпасную линию входят: механический насос, вентиль и натекагель.

Измерение вакуума в системе осуществляется с помощью термпарного (для среднего вакуума) и ионизационного (для глубокого вакуума, в нашем случае около $P \approx 10^{-6}$ Па) преобразователей давления, которые установлены на верхнем фланце камеры. В качестве вторичных приборов для измерения сигналов с манометрических преобразователей давления служат вакуумметры типов ВИТ – 3 и ВТ -2.

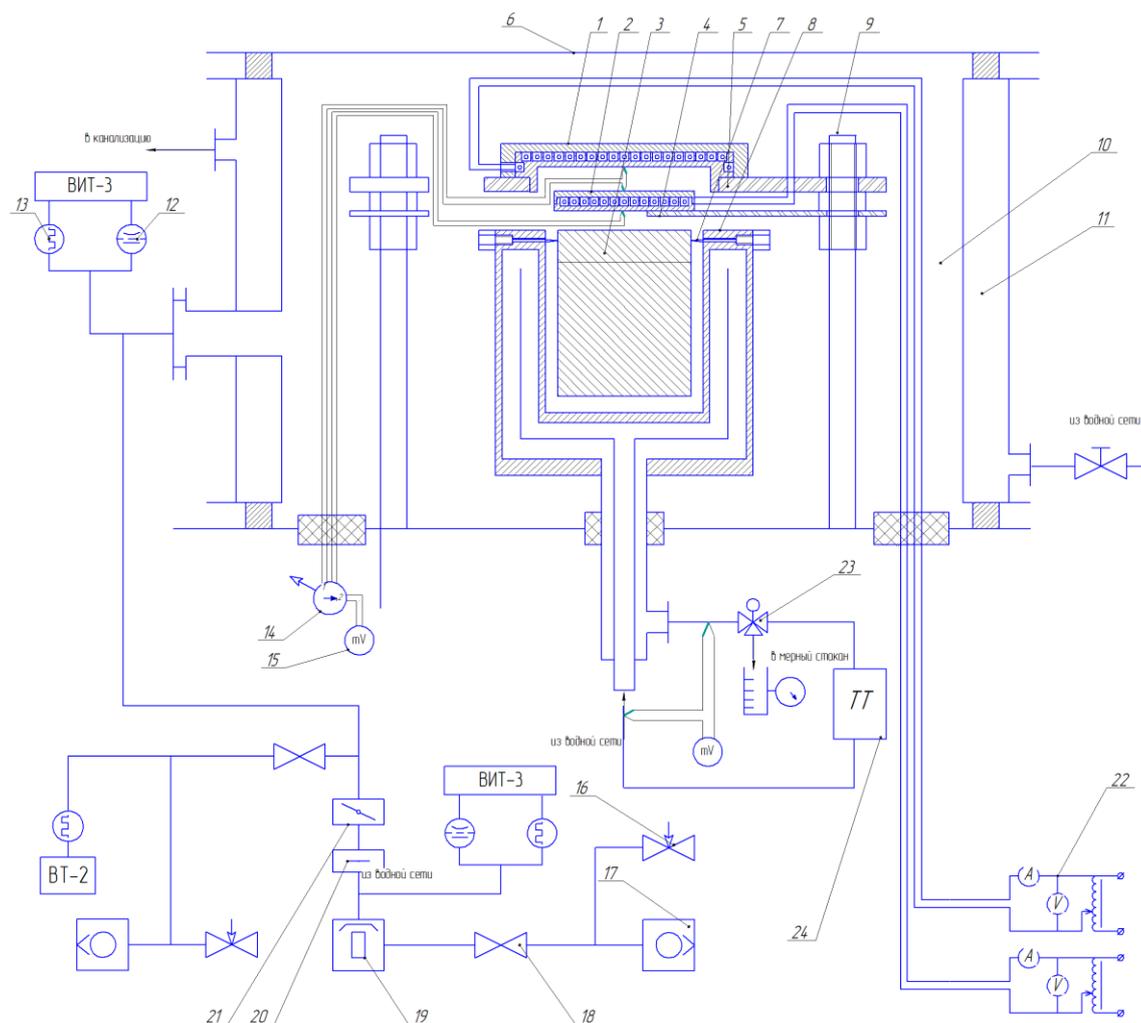


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема установки для определения КТ

Большинство конструктивных элементов вакуумной камеры изготовлены из нержавеющей стали. Корпус изготовлен из стали 1X18Н10Т. Неразборные соединения установки выполнены с использованием ручной аргонодуговой сварки. Для уплотнения фланцев используется алюминий, для уплотнений термopарных и других вводов на фланцах используются прокладки из резины. Такая конструкция позволяет относительно просто проводить замену и изменять расположение различных элементов в пространстве камеры. Эта конструкция достаточно проста и реализуема в лабораторных условиях, однако применение таких материалов существенно ограничивает температурные диапазоны нагрева образца (ограничивающим фактором являются в основном верхние границы эксплуатации стали корпуса, материала нагревателей), кроме того установка уплотнений из

резины ограничивает глубину вакуума, который можно создать в камере значениями, как было сказано выше, порядка $P \approx 10^{-6}$ Па.

4. Конструкция вакуумной камеры

Конструкция вакуумной камеры показана на рисунке 4.1.

Исследуемый образец 1 размещен внутри вакуумной камеры и закреплен с помощью игольчатых держателей 2. Игольчатые держатели закреплены в холодильнике 3 с помощью болтов 4. Нагрев верхней поверхности образца осуществляется лучистым потоком от электрической печи, которая представляет собой нагревательный диск 5, снабжена охранным нагревателем 6 и экраном 7.

Вся эта конструкция нагревателей удерживается с помощью держателей основного и охранный нагревателя 8 и 9 на шпильках 10.

Для измерения уходящего теплового потока с нижней грани и боковой поверхности используется калориметр.

Термостатирование обечайки вакуумной камеры 11 осуществляется с помощью водяной рубашки 12, через которую протекает холодная вода из водопроводной сети.

Для измерения температуры в нагревателе 5 в него закладывают термопары, а для точности измерения поступающего теплового потока ставится охранный нагреватель 6, который служит для того, чтобы все тепло нагревателя 5 расходовалось исключительно на нагрев образца, а не рассеивалось. С этой целью необходимо обеспечить равенство температур нагревателей 5 и 6. Оно может быть достигнуто регулированием нагрева проволоочки в нагревателях. С этой целью между 5 и 6 ставится дифференциальная термопара. Из вакуумной камеры эти термопары выводятся через термопарный ввод 13, а для тоководов исполнена конструкция 14.

Электрические и термомпарные вводы, а также калориметр крепятся к нижнему фланцу (дну) 15 камеры.

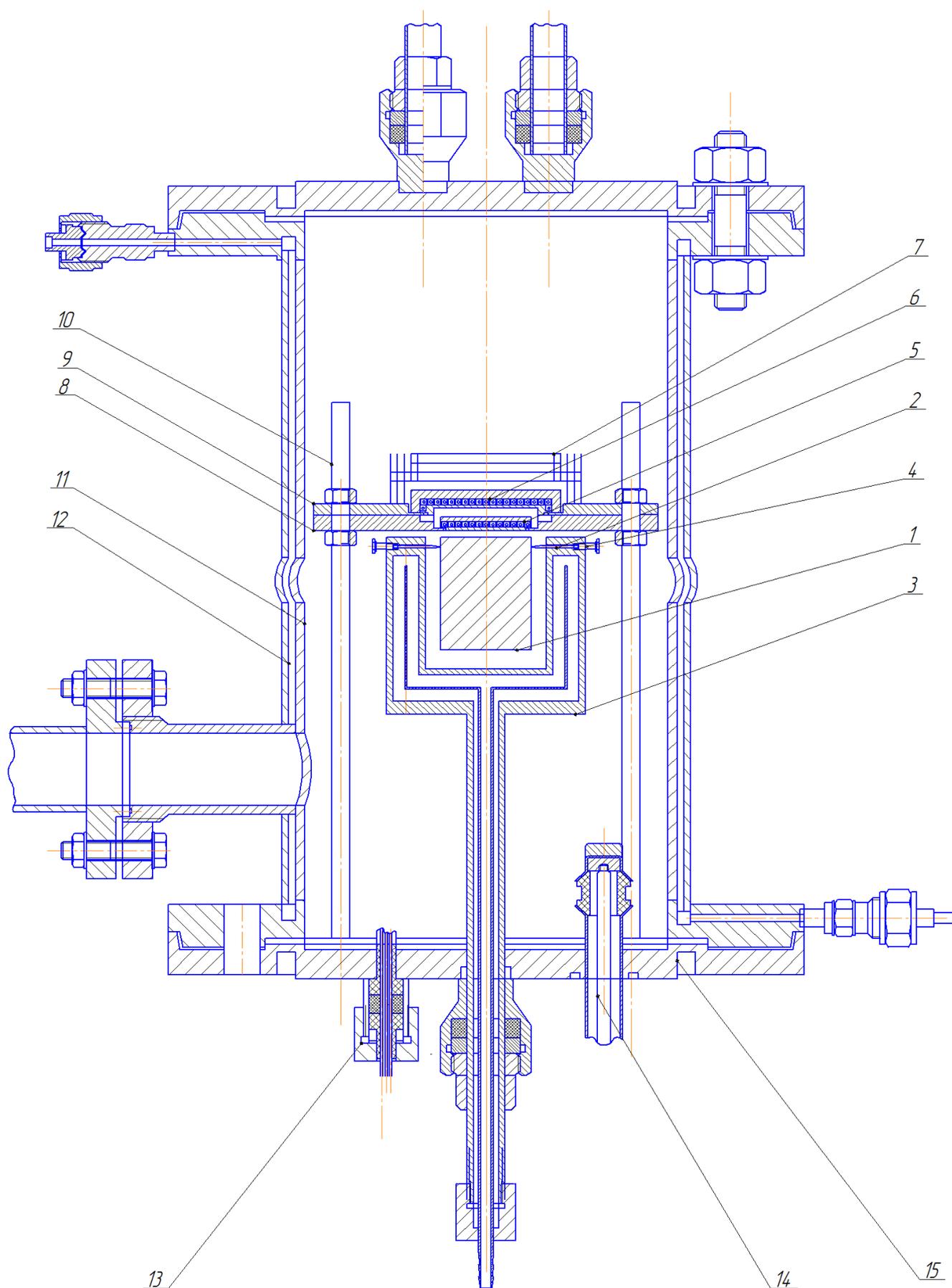


Рисунок 4.1 – Конструкция вакуумной камеры

5. Разработка компоновки лабораторного стенда

Компоновка лабораторного стенда проводится с учетом наилучшего заполнения рабочего места. Рабочее место обеспечивает удобную рабочую позу, исключает ненужное перемещение и предупреждает травматизм. Чертеж лабораторного стенда приведен в графическом листе ФЮРА.430011.003 МЧ и проиллюстрирована на рисунке 6.

Согласно принципиальной схеме для реализации опыта было выбрано следующее основное оборудование:

1. Для нагрева образца спроектирован нагреватель, оснащенный ниобиевой проволокой, который находится в камере 1.
2. Для предварительной откачки был выбран механический насос ЗНВР–1Д;
3. Основной диффузионный масляный насос Н-05С;
4. Вторичные приборы преобразователей ВИТ-3 и ВТ-2;
5. Мультиметр DT830В
6. Вакуумный затвор имеющий клапан с углом в 90^0 ;
7. Клапаны и натекатели;
8. Термостат для подачи воды с постоянной температурой в калориметр.

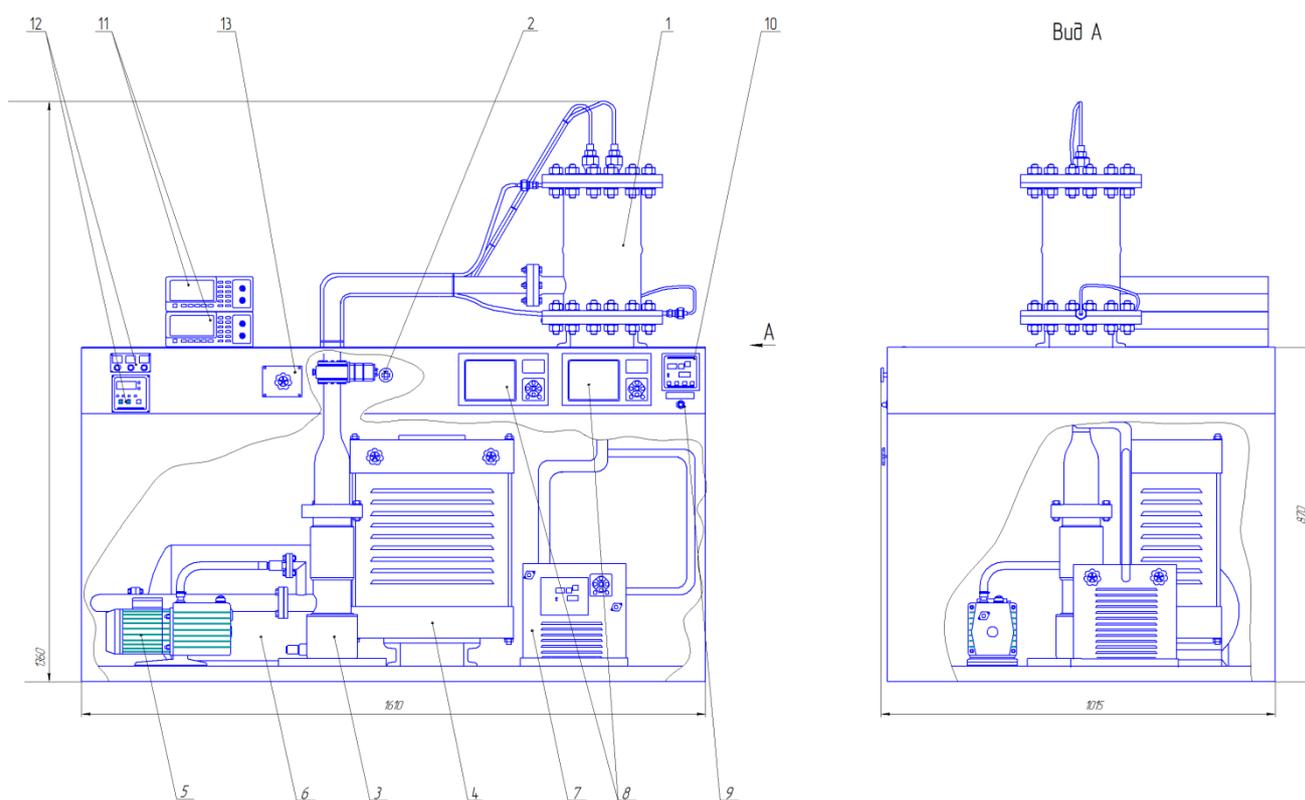


Рисунок 6 – Лабораторный стенд для исследования теплопроводности:

1 – вакуумная камера; 2 – вакуумный затвор; 3- насос Н-05С; 4 – трансформатор; 5 – насос ЗНВР-1Д ; 7 – термостат; 8, 10 – вакууметры ВИТ-3 и ВТ-2; 9-натекатель; 10- милливольтметр; 13- вентиль водяной системы.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время в сложный с экономической точки зрения период в нашей стране мы, к сожалению, сталкиваемся с тем, что государственное финансирование науки как прикладной, так и фундаментальной, урезается, становится более ограниченным. В связи с этим актуальным является вопрос о способе становления рыночных отношений в науке. Это означает, что прикладная наука должна быть более конкретно ориентированной на потребителей. Задачей сотрудников и ученых является формирование наибольшего интереса потребителей в использовании научных идей и разработок, откуда, очевидно, получение финансирования на проведение научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских установок.

Поэтому целью работы является планирование данного научного проекта, а именно составление перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи, определение участников каждой работы, установление продолжительности проводимых мероприятий, построение линейного графика и расчет затрат на проведение проекта.

В разработке проекта участвуют 3 специалиста:

- 1- Руководитель
- 2- Инженер
- 3- Техник

Составление сетевого графика и календарного плана НИР

Для определения сроков выполнения НИР необходимо создать календарный план работ. Также при планировании работ важным этапом является разработка сетевого графика, т.е. некой модели, придерживаясь которой удастся рационально рассчитать время и выполнить все работы в срок.

Располагая сетевым графиком, становится возможным составить календарный план.

6.1.1. Составление перечня событий, необходимых для выполнения НИР

Чтобы составить сетевой график, определим перечень событий, необходимых для выполнения НИР:

Таблица 7.1.1 – перечень работ

№ работ	Содержание работы
0	Получение заказа НИР
1	Исследование работ предыдущих лет и сведений из последних научно-технических журналов
2	Постановка задачи, назначение конкретной темы студенту
3	Обсуждение темы студента с преподавателем, разъяснение всех вопросов и спорных моментов
4	Обсуждение вопроса и разделение обязанностей
5	Разработка календарного плана действий и распределение задач
6	Поиск соответствующей литературы в библиотеке, ожидание ответов по МБА
7	Поиск соответствующей литературы в сети Интернет
8	Перевод англоязычной литературы на русский язык
9	Разбор найденной информации студентом с руководителем, определение дальнейшего пути исследования
10	Поиск соответствующей литературы в библиотеке, ожидание ответов по МБА

Продолжение таблицы 7.1.1

11	Поиск соответствующей литературы в сети Интернет
12	Перевод англоязычной литературы на русский язык
13	Математическая постановка задачи, выбор конкретного метода ее решения
14	Применение алгоритма метода решения задачи, исправление ошибок, дальнейшая реализация метода
15	Консультация с руководителем, исправление ошибок
16	Доработка
17	Создание блок-схемы для решения прямой задачи
18	Проверка блок-схемы, исправление ошибок
19	Написание программы для решения прямой задачи
20	Создание блок-схемы для решения обратной задачи
21	Проверка блок-схемы, исправление ошибок
22	Консультирование по решению задачи
23	Написание программы для решения обратной задачи
24	Ввод данных в программу Pascal
25	Наблюдение за ходом эксперимента
26	Проведение эксперимента по имитационному моделированию и его результаты
27	Проверка хода работы по моделированию
28	Обработка результатов моделирования
29	Разработка конструкции установки по определению коэффициента теплопроводности
30	Расчет всех деталей установки на прочность
31	Моделирование установки в объеме в программе
32	Расчет стоимости установки
33	Закупка основного оборудования для изготовления установки

Продолжение таблицы 7.1.1

34	Подготовка рабочего места в лаборатории
35	Закупка вспомогательного оборудования
36	Сборка установки
37	Установка вакуумных насосов
38	Установка системы охлаждения «стакана»
39	Установка выпрямителя тока
40	Проверка и доработка конструкции
41	Проведение эксперимента и сбор результатов
42	Анализ результатов эксперимента
43	Проверка результатов эксперимента на факт наличия ошибок и сравнение с табличными значениями
44	Формирование выводов и итогов работы
45	Написание отчета
46	Итоговая проверка результатов отчета по имитационному моделированию
47	Выполнение графических работ
48	Проверка материала, написание отчета

Для достижения каждого события требуется выполнить отдельную работу, которая будет иметь определенную продолжительность. Так как на стадии планирования достоверной информации о продолжительности работ не имеется, зададимся минимальной и максимальной продолжительностью каждой из работ. Вероятностным методом определим ожидаемое время работы. Расчет ведется по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4 \cdot t_{нв} + t_{\max}}{6}, \quad (7.1)$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы;

$t_{нв}$ – наиболее вероятная продолжительность работы;

t_{\max} – максимальная продолжительность работы.

Задаваясь значениями минимальной, наиболее вероятной и максимальной продолжительности работ, вычислим для каждой из работ ожидаемое время выполнения работы. Результаты расчетов представлены в таблице 7.1.2.

Таблица 7.1.2 – данные сетевого графика

№ события	Событие	Исполнитель	$t_{ож}$	t_{\min}	$t_{нв}$	t_{\max}
			ч	ч	ч	ч
0-1	Исследование работ предыдущих лет и сведений из последних научно-технических журналов	Руководитель	3	2	3	4
1-2	Постановка задачи, назначение конкретной темы студенту	Руководитель	1	1	1	2
2-3	Обсуждение темы студента с преподавателем, разъяснение всех вопросов и спорных моментов	Руководитель, Инженер	2	1	2	3
3-4	Обсуждение вопроса и разделение обязанностей	Инженер, Техник	2	2	2	3
4-5	Разработка календарного плана действий и распределение задач	Руководитель, Инженер, Техник	3	2	3	4
5-6	Поиск соответствующей литературы в библиотеке, ожидание ответов по МБА	инженер	7	5	7	9
5-7	Поиск соответствующей литературы в сети Интернет	Техник	7	6	7	8
6-8	Перевод англоязычной литературы на русский язык	Инженер	7	4	7	9

Продолжение таблицы 7.1.2

8-9	Разбор найденной информации студентом с руководителем, определение дальнейшего пути исследования	руководитель	3	3	3	4
9-10	Поиск соответствующей литературы в библиотеке, ожидание ответов по МБА	Инженер	5	5	5	5
9-11	Поиск соответствующей литературы в сети Интернет	техник	5	4	5	6
10-12	Перевод англоязычной литературы на русский язык	инженер	5	3	5	8
12-13	Математическая постановка задачи, выбор конкретного метода ее решения	Руководитель, инженер	5	3	5	7
13-14	Применение алгоритма метода решения задачи, исправление ошибок, дальнейшая реализация метода	инженер	5	4	5	5
14-15	Консультация с руководителем, исправление ошибок	Руководитель, инженер	3	3	3	3
15-16	Доработка	Инженер	4	3	4	4
15-17	Создание блок-схемы для решения прямой задачи	Техник	2	1	2	4
17-18	Проверка блок-схемы, исправление ошибок	Руководитель	3	1	3	5
18-19	Написание программы для решения прямой задачи	Инженер, Техник	8	5	9	9
19-20	Создание блок-схемы для решения обратной задачи	Техник	2	1	2	2
20-21	Проверка блок-схемы, исправление ошибок	руководитель	2	2	2	2
21-22	Консультирование по решению задачи	руководитель	4	4	4	5
21-23	Написание программы для решения обратной задачи	инженер	8	8	8	10
21-24	Ввод данных в программу Pascal	техник	4	3	4	5
23-25	Наблюдение за ходом эксперимента	Руководитель	5	3	5	7

Продолжение таблицы 7.1.2

23-26	Проведение эксперимента по имитационному моделированию и его результаты	Инженер	5	5	5	5
25-27	Проверка хода работы по моделированию	Руководитель	5	4	5	6
26-28	Обработка результатов моделирования	Инженер	5	3	5	7
28-29	Разработка конструкции установки по определению коэффициента теплопроводности	Руководитель, инженер	5	3	5	7
29-30	Расчет всех деталей установки на прочность	инженер	8	7	8	8
29-31	Моделирование установки в объеме в программе	техник	5	5	5	5
31-32	Расчет стоимости установки	техник	4	3	4	5
32-33	Закупка основного оборудования для изготовления установки	техник	4	2	4	6
29-34	Подготовка рабочего места в лаборатории	руководитель	5	5	5	6
34-35	Закупка вспомогательного оборудования	руководитель	5	4	5	5
30-36	Сборка установки	инженер	7	5	7	10
36-37	Установка вакуумных насосов	инженер	5	4	5	5
36-38	Установка системы охлаждения «стакана»	техник	5	4	5	6
36-39	Установка выпрямителя тока	руководитель	4	2	4	5
39-40	Проверка работы выпрямителя тока и доработка	руководитель	3	1	3	5
37-40	Проверка работы вакуумных насосов и доработка	инженер	3	2	3	4
38-40	Проверка работы системы охлаждения и доработка	техник	5	5	5	6
40-41	Проведение эксперимента и сбор результатов	инженер	5	3	5	6
41-42	Анализ результатов эксперимента	Инженер	3	3	3	4
42-43	Проверка результатов эксперимента на факт наличия ошибок и сравнение с табличными значениями	Руководитель, Инженер, Техник	2	1	2	3
43-44	Формирование выводов и итогов работы	Инженер, Техник	5	4	5	6
44-45	Написание отчета	инженер	10	9	10	13

Продолжение таблицы 7.1.2

45-46	Итоговая проверка результатов отчета по имитационному моделированию	руководитель	3	3	3	4
45-47	Выполнение графических работ	Инженер, Техник	11	8	11	13
47-48	Проверка материала, написание отчета	инженер, техник	4	4	4	6

По данным таблицы 7.1.2 строим сетевой график.

6.1.2. Анализ сетевого графика

Расчет сетевого графика проводим секторным способом. Суть секторного метода заключается в том, что любое из событий обозначается кругом, который поделен на четыре сектора. В верхнем секторе вписывается номер события, в правом – ранее время свершения, а в левом – позднее время свершения события, в нижнем – резерв события. Стрелками (лучами) обозначены работы, продолжительность (длительность) которых указываются в центре стрелки. Число, стоящее в начале луча в верхней части указывает на ранее начало совершения работы, в конце в верхней части – ранее окончание. Аналогичный смысл несут числа под стрелкой: в начале – позднее начало, в конце – позднее окончание. В центре луча (число с чертой) указывается резерв времени совершения данной работы:

$$R_{ij} = t_{ij}^{no} - t_{ij}^{nn} = t_{ij}^{po} - t_{ij}^{pn}, \quad (7.1.2)$$

где t_{ij}^{no} – позднее окончание работы;

t_{ij}^{nn} – позднее начало работы;

t_{ij}^{po} – ранее окончание работы;

t_{ij}^{pn} – ранее начало работы.

Таблица 7.1.2.1 – результаты расчета сетевого графика

№	$t_{ож}$	t_{ij}^{PH}	t_{ij}^{PO}	t_{ij}^{NH}	t_{ij}^{NO}	R_{ij}
0-1	3	0	3	0	3	0
1-2	1	3	4	3	4	0
2-3	2	4	6	4	6	0
3-4	2	6	8	6	8	0
4-5	3	8	11	8	11	0
5-6	7	11	18	11	18	0
5-7	7	11	18	11	18	0
6-8	7	18	25	18	25	0
8-9	3	25	28	25	28	0
9-10	5	28	33	28	33	0
9-11	5	28	33	28	33	0
10-12	5	33	38	33	38	0
12-13	5	38	43	38	43	0
13-14	5	43	48	43	48	0
14-15	3	48	51	48	51	0
15-16	4	51	55	51	55	0
15-17	2	51	53	53	55	2
17-18	3	55	58	55	58	0
18-19	8	58	66	58	66	0
19-20	2	66	68	66	68	0
20-21	2	68	70	68	70	0
21-22	4	70	74	74	78	4
21-23	8	70	78	70	78	0
21-24	4	70	74	74	78	4
23-25	5	78	83	7	83	0

Продолжение таблицы 7.1.2.1

23-26	5	78	83	7	83	0
25-27	5	83	88	83	88	0
26-28	5	83	88	83	88	0
28-29	5	88	93	88	93	0
29-30	8	93	101	98	106	5
29-31	5	93	98	93	98	0
31-32	4	98	102	98	102	0
32-33	4	102	106	102	106	0
29-34	5	93	98	96	101	3
34-35	5	98	103	101	106	3
30-36	7	106	113	106	113	0
36-37	5	113	118	115	120	2
36-38	5	113	118	113	118	0
36-39	4	113	117	116	120	4
39-40	3	117	120	120	123	3
37-40	3	118	121	120	123	2
38-40	5	118	123	118	123	0
40-41	5	123	128	123	128	0
41-42	3	128	131	128	131	0
42-43	2	131	133	131	133	0
43-44	5	133	138	133	138	0
44-45	10	138	148	138	148	0
45-46	3	148	151	156	159	8
45-47	11	148	159	148	159	0
47-48	4	159	163	159	163	0

Заполнив сетевой график, определим критический путь (наиболее продолжительный): 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-8, 8-9, 9-10, 10-12, 12-13,

13-14, 14-15, 15-16, 16-17, 17-18, 18-19, 19-20, 20-21, 21-23, 23-26, 26-28, 28-29, 29-31, 31-32, 32-33, 33-30, 30-36, 36-38, 38-40, 40-41, 41-42, 42-43, 43-44, 44-45, 45-47, 47-48. Таким образом, для выполнения всех работ НИР потребуется 163 дня. С учетом рабочих и выходных дней составим календарный график выполнения работ

6.1.3. Генеральный линейный график проекта

Для небольших работ целесообразно применять линейный график. Линейный график показывает, сколько времени затрачивается на работу. Длина ленты линейного графика равна календарному времени выполнения этой работы с учетом планового направления на нее соответствующих ресурсов.

6.2. Составление сметы расходов на выполнение НИР

6.2.1. Фонд заработной платы

Фонд заработной платы состоит из основного фонда и дополнительного:

$$ФЗП = ФЗП_{осн} + ФЗП_{доп}. \quad (7.2.1)$$

Таблица 7.2.1 – оклады участников НИР

Должность	Оклад
Доцент (руководитель)	27500 р
Лаборант (ассистент, техник)	17500 р
Инженер	30000 р

Карта занятости исполнителей проиллюстрирована на рисунке 7.2.1

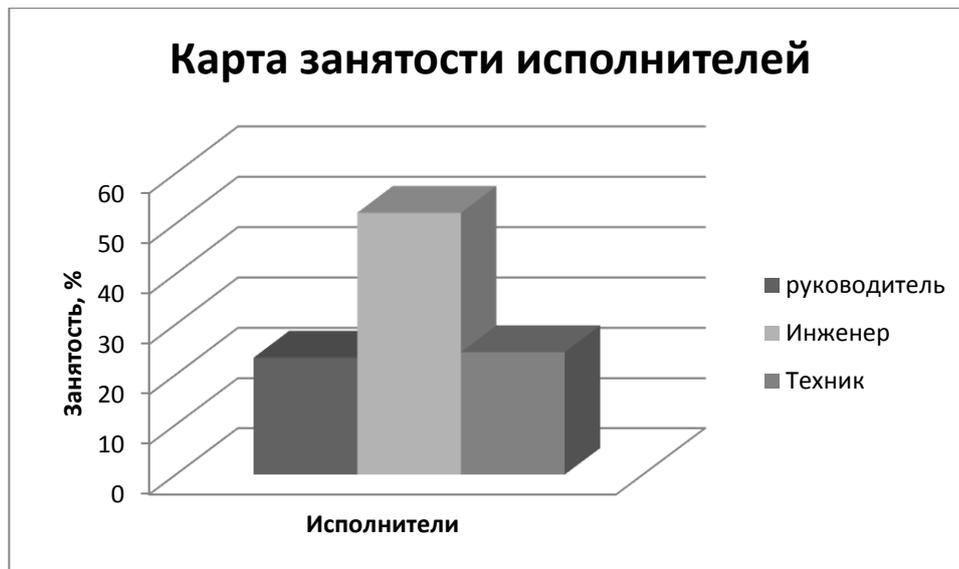


Рисунок 7.2.1 – карта занятости исполнителей

В таблице 7.2.1 указаны оклады участников НИР. На диаграмме указана занятость исполнителей в процентах. На основании этих данных рассчитаем основной ФЗП:

$$\Phi ЗП_{осн} = 7,5 \cdot (0,5 \cdot 27500 + 0,2 \cdot 17500 + 30000) = 393\,750 \text{ р.}$$

Дополнительный ФПЗ:

$$\Phi ЗП_{доп} = (10 \div 17)\% \cdot \Phi ЗП_{осн} = 0,10 \cdot 393\,750 = 39\,375 \text{ р.}$$

Таким образом, фонд заработной платы:

$$\Phi ЗП = 393\,750 + 39\,375 = 433\,125 \text{ р.}$$

6.2.2. Отчисления во внебюджетные фонды

Начисления в фонд по оплате труда:

$$Вот = 30,2\% \cdot \Phi ЗП = 0,302 \cdot 433\,125 = 130\,803 \text{ р } 75 \text{ коп.}$$

6.2.3. Услуги сторонних организаций

Работы по наладке оборудования будут производиться сторонними организациями, оплата которых так же будет учтена в смете. Для выполнения

данного проекта нам потребуются услуги организаций, такие как сварочные, сверлильные и токарные работы.

Таблица 7.2.3 – затраты на услуги сторонних организаций

Наименование услуги:	Затраты, руб
- сварочные работы	8 400
- сверлильные работы	6 000
- токарные работы	5 600

6.2.4. Стоимость материальных запасов

$$C_{мз} = C \cdot N_{эл} \cdot t.$$

где $C = 3 \frac{P}{кВт \cdot час}$ – тариф на электроэнергию;

$N_{эл} = 24,5 кВт$ – мощность вакуумной камеры;

$t = 60 ч$ – время работы выпарного аппарата.

$$C_{мз} = 3 \cdot 24,5 \cdot 60 = 4410р.$$

6.2.5. Расчет стоимости основных средств

Расчет затрат на теоретическую разработку

Таблица 7.2.5.1 - Стоимость закупаемых расходных материалов

№ п/п	Наименование расходного материала	Кол-во	Цена	Стоимость
1	Бумага для принтера А4 «Снегурочка»	1	220	220
2	Картридж для принтера «Brother»	1	1000	1000
3	Ручка	5	15	75
4	Карандаш	4	25	100

5	Листы А1	6	25	150
---	----------	---	----	-----

Продолжение таблицы 7.2.5.1

6	Ластик	1	10	10
7	Корректор	1	50	50
8	Батарейки для компьютерной мыши	2	50	100
9	Тетрадь для расчетов	3	7	21
10	Папка для бумаг	2	40	80
11	Мультифора	50	2	100

Итого : С_{р.м.} =1906

Расчет затрат на оборудование

Таблица 7.2.5.2 - стоимость оборудования и материалов, используемых в экспериментальной установке

№	Наименование	Кол-во	цена	стоимость
1	Насос механический пластинчато-роторный типа ЗНВР-1	2	27 400	54 800
2	Насос паромасляный диффузионный типа Н-1С-Б	1	10 210	10 210
3	Течеискатель типа ПТИ-7А	1	20 886	20 886
4	Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3	1	49 999	49 999
5	Милливольтметр типа В2-36	1	24 500	24 500
6	Источник питания типа ВСА-5А	1	7 000	7 000
7	Двухкоординатный самописец Н-307	1	7 500	7 500
8	Вакуумный затвор	1	15 000	15 000
9	Вентиль-натекатель КРП-16-2	4	1000	4 000
10	Вакуумная термопарная (ионизационная)	2	1 000	2 000

	лампа			
--	-------	--	--	--

Продолжение таблицы 7.2.5.2

11	Лампа накаливания	1	30	30
12	Параболический отражатель	1	750	750
13	Вентиль (на воду)	3	750	2 250
14	Корпус вакуумной камеры	1	1 750	1 750
15	Кожух печи	1	150	150
16	Трубка из кварцевого стекла	1	100	100
17	Тепловые экраны (фольга)	4	10	40
18	Вакуумные шланги	3м	200	600
19	Водяные шланги	4м	80	240
20	Проводники термопар	6м	100	600
21	Нить нагрева (вольфрам)	5м	120	600

Итого С_{о.м.}=203 005 руб.

Расчет затрат на материалы и комплектующие

Таблица 7.2.5.3 – стоимость стандартных изделий, используемых в экспериментальной установке

№	Наименование	Кол-во	цена	стоимость
1	Фланец d=295mm	4	1050	4200
2	Фланец d=90mm	6	450	2700
3	Фланец d=210mm	1	900	900
4	Фланец d=100mm	1	550	550
5	Смотровое стекло 110/13	1	500	500
6	Смотровое стекло 50/12	1	300	300
7	Втулка фторопластовая 50/23	1	80	80
8	Втулка фторопластовая d=23mm	4	80	320
9	Прокладка из вакуумной резины	10	30	300
10	Шайба резиновая d=24mm	2	30	60

11	Болт М16	8	50	400
----	----------	---	----	-----

Продолжение таблицы 7.2.5.3

12	Гайка М16	8	40	320
13	Шайба М16	8	20	160
14	Болт М8	10	30	300
15	Шайба М8	10	15	150
16	Болт М6	12	25	300
17	Гайка М6	12	20	240

Итого $C_{с.и.} = 11\,780$ руб.

Стоимость основных средств:

$$C_{ос} = C_{р.м.} + C_{о.м.} + C_{с.и.},$$

где $C_{р.м.} = 1906$ р – стоимость расходных материалов

$C_{о.м.} = 203\,005$ р – стоимость основных материалов;

$C_{с.и.} = 11\,780$ р – стоимость стандартных изделий.

$$C_{ос} = 1906 + 203005 + 11780 = 216\,691.р.$$

6.2.6. Составление сметы расходов

Таблица 7.2.6 - Смета расходов

Наименование статей расходов	Статьи расходов по кодам ЭКР	Всего, тыс. руб.
Фонд заработной платы основной	211	393,750
Фонд заработной платы дополнительной		39,375
Фонд заработной платы общий		433,125
Начисления на выплаты по оплате труда, 30.2 %	213	130,804

Продолжение таблицы 7.2.6

Командировки:		
расходы по оплате суточных	212	-
транспортные расходы по служебным командировкам	222	-
компенсация стоимости жилья	226	-
Оплата услуг связи	221	1,5
Арендная плата за пользование имуществом	224	5
Прочие услуги:	226	
- в том числе оплата НИР сторонних организаций (не более 50% общего объема договора);		20
Увеличение стоимости основных средств	310	216,691
Увеличение стоимости материальных запасов	340	4,410
Итого прямые расходы :		811,530
Накладные расходы, 10 %		81,153
Цена договора:		892,683

7. Автоматизация автоматических процессов и производств

7.1. Описание объекта регулирования

Объектом регулирования в данной работе является вакуумная электропечь.

Вакуумными называются электропечи, в рабочем пространстве которых давление газовой среды поддерживается при давлении ниже атмосферного. Основным элементом является нагревательный модуль, который в вакуумных печах в большинстве случаев устанавливается внутри вакуумной камеры. Она представляет собой герметичный сосуд, к которому подсоединена система вакуумных насосов. Вакуумная электропечь является универсальным инструментом, в котором можно проводить практически любой вид термообработки, используемый в промышленности, как то: вакуумная термообработка или пайка.

Электрическая печь сопротивления (ЭПС) — электротермическая установка, в которой тепло выделяется за счет протекания тока по системе проводников. Установки такого типа по способу выделения тепла делятся на две группы: косвенного действия (тепло выделяется в нагревательных элементах) и прямого действия (тепло выделяется в нагреваемом изделии). Электрические печи сопротивления классифицируются по назначению, по температурному режиму, конструкции и принципу действия, по рабочей среде.

ЭПС широко используются в промышленности, лабораторных и научных исследованиях для плавления, сушки, предварительного нагрева, обжига, закалки и других видов термической обработки разнообразных материалов благодаря следующим достоинствам:

- Возможность равномерного нагрева изделий до температур 2500°C;
- Компактность конструкции и высокая мощность нагрева;
- Автоматизация управления, возможность интегрирования в промышленные технологические цепочки;

-Простота регулировки рабочих режимов, в том числе при сложных графиках температурного воздействия;

-Использование эффективных средств герметизации – вакуум, среда защитных газов, совместимость с режимами специальной атмосферы при химико-термическом воздействии.

ЭПС обеспечивают сравнительно точный и равномерный нагрев при высоком КПД и скорости нагрева, могут работать с защитной атмосферой и вакуумом, что позволяет применять их для широкого круга технологических процессов.

Принцип действия ЭПС основан на выделении тепла в проводнике, по которому протекает электрический ток. Количественно преобразование электрической энергии в тепловую энергию Q в проводнике с активным сопротивлением R при протекании тока I за время t описывается законом Джоуля - Ленца в интегральной форме: $Q = I^2 R t$.

По конечной температуре нагрева ЭПС подразделяют на низкотемпературные (до 700 °С), среднетемпературные (от 700 до 1200 °С), высокотемпературные (выше 1200 °С). По назначению: плавильные и термические. По режиму работы различают ЭПС периодического действия и непрерывного действия.

Электрическая печь прямого действия позволяет обеспечить стремительный нагрев детали до необходимых температур за считанные секунды. Однако громоздкость и другие конструктивные сложности, а также трудность с оперативной регулировкой режимов ограничивают применение таких установок. Большая часть ЭПС выполняется по косвенной схеме, с использованием нагревательных элементов из жаропрочных материалов.

В лабораторной установке используется вакуумная печь косвенного действия, работающая при температурах порядка 1000 °С. Она представляет собой водоохлаждаемый цилиндр, по краям которого приварены фланцы. На фланцы накручиваются крышки, в одну из которых вмонтированы датчики вакуума, а вторая крышка служит для крепления вывода тоководов, термопар

и водяного охлаждения. Нагреватель печи изготавливается из проволоки толщиной 1,0 мм. Внутрь нагревателя помещается медный стакан с образцом. Температура печи измеряется термопарой, а разность температур охранного и основного нагревателя – дифференцированной термопарой.

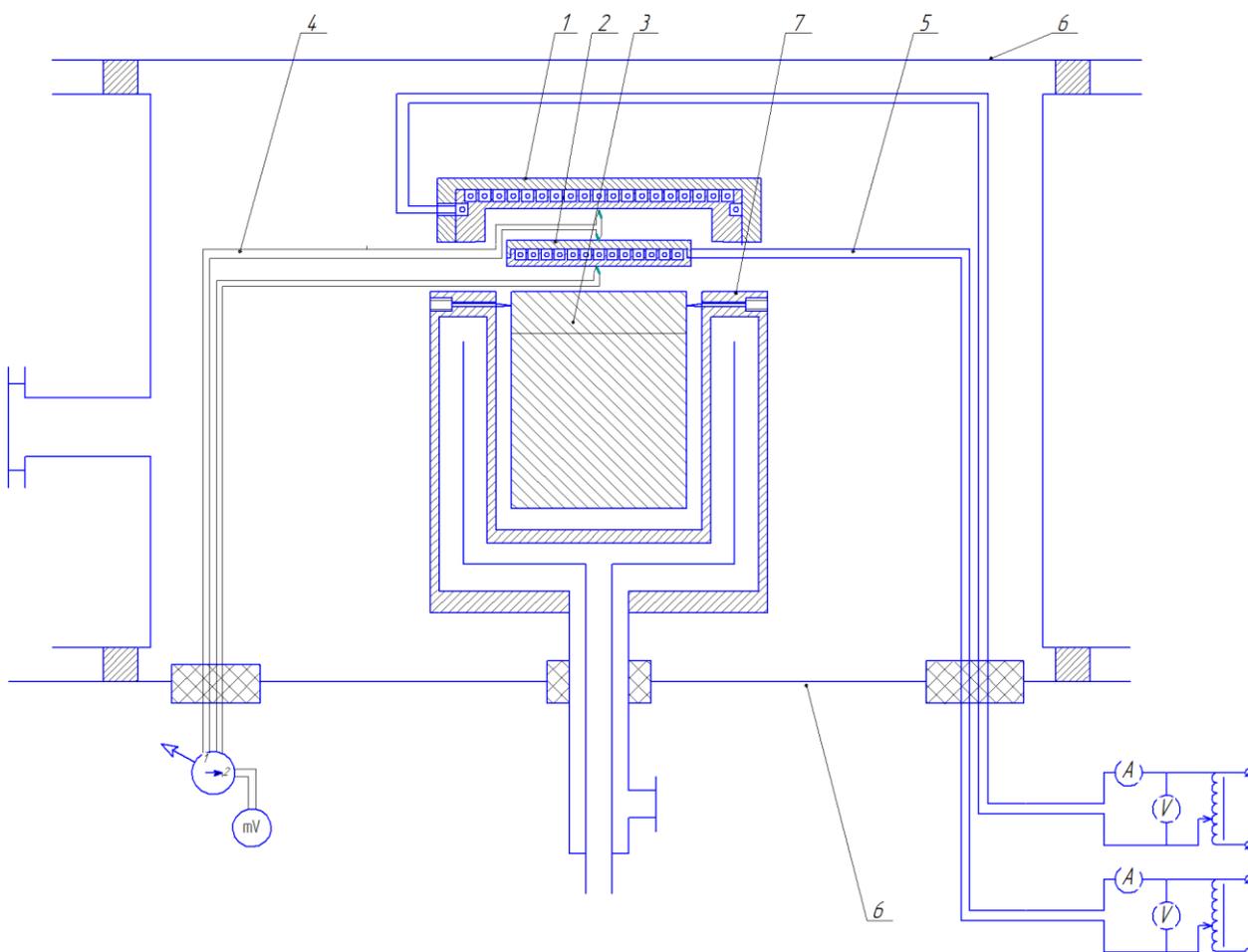


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема установки

1 – охранный нагреватель; 2 –нагреватель; 3 –образец;
4 – термопары; 5 – тоководы; 6 – крышки фланцев; 7 – колориметр.

7.2. Обоснование выбранной схемы автоматического регулирования

Целью автоматического регулирования является поддержка температуры печи неизменной. Постоянство температуры необходимо для

выполнения граничных условий эксперимента, а так же снижения погрешностей измерений.

Температура печи задается задатчиком температуры и поддерживается с помощью регулятора температуры, который управляет работой трансформатора, питающего нагреватель. Сигнал для управления работой регулятора снимается с термопар, закрепленных в нагревателях.

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 (ИМ) - 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.

В схеме также может присутствовать блок ручного управления (БРУ), назначением которого является переключение цепей управления исполнительным механизмом. Например, в случае отказа регулятора, схема управления может быть переключена с автоматического на дистанционное (ручное) управления с БРУ.

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.

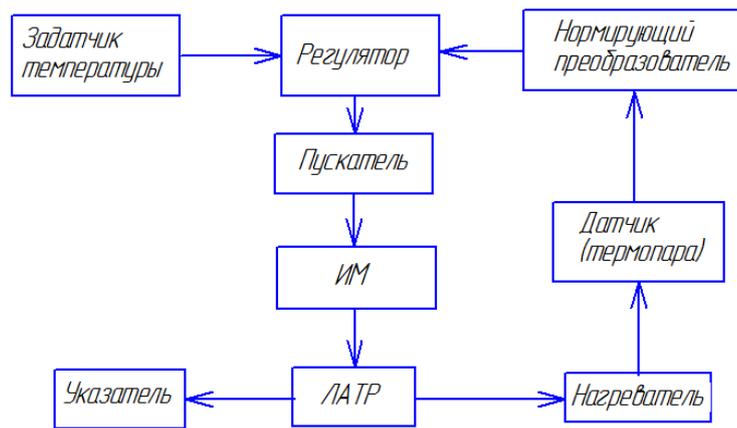


Рисунок 9.2 - Структурная схема управления температурой печи

7.3. Разработка функциональной схемы управления печью

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.

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 (ТСА) на технологическом оборудовании и на щитах;
- согласованы параметры измерительных каналов.

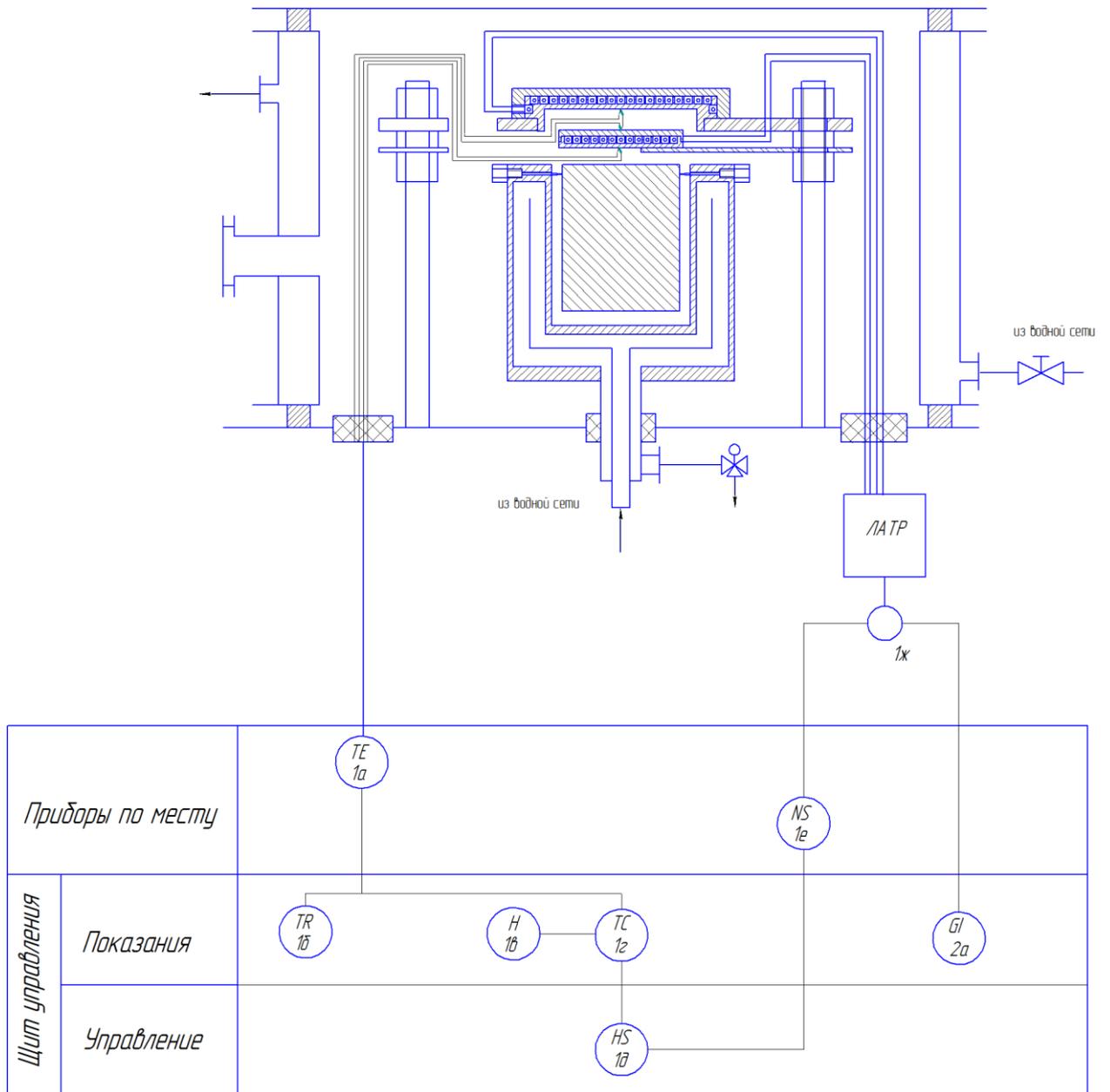


Рисунок 9.3 - Функциональная схема управления печью

Заключение

В ходе выполнения дипломной работы было изучено большое количество теоретического материала по теме исследования теплофизических свойств материалов в виде книжной информации, статей и публикаций как за прошлые годы, так и последних лет. Это дало глубокое понимание в вопросе о методах исследования теплопроводности веществ, в частности, стационарного определения коэффициента теплопроводности твердых материалов методом ограниченного цилиндра.

Был выбран и обоснован метод решения двумерной стационарной задачи теплопроводности исходя из методов оптимизации. Этот метод был реализован в среде Pascal.

Актуальность данной темы продиктована быстрыми и интенсивными темпами внедрения ЭВМ в различные области науки и техники, в частности в процесс обучения студентов, занимающихся глубокими исследованиями теплофизических свойств материалов: решение одномерных задач не дает такой точности, как решение многомерных, кроме того применение имитационного моделирования процесса значительно сокращает время вычисления и дает более точный результат.

На основе данного метода была спроектирована экспериментальная установка, с помощью которой можно исследовать металлические образцы в форме цилиндра для определения их коэффициентов теплопроводности. Надо отметить, что стационарный метод, реализуемый в данной установке, осуществим на практике в условиях лаборатории, что может быть использовано студентами для более глубокого понимания теоретического материала и для закрепления полученных знаний на практике.

В данной дипломной работе разработана схема автоматического регулирования температуры нагрева печи. В процессе работы над темой также рассмотрена экономическая составляющая вопроса: произведено сетевое планирование работ, построен календарный график, рассчитаны

затраты, необходимые на разработку темы. Учтены вопросы безопасности, такие как производственная, электрическая и пожарная.

Список использованных источников:

1. А.С. Заворин, А.В. Кузьмин, Ю.Я. Раков – методы определения теплопроводности конденсированных сред. Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 183 с.
2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. Учебное пособие для ВУЗов. – 3е изд., - М.: Энергия, 1979. 320с.
3. Вакуумная техника : Справочник /Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 360с.
4. К.П. Шумский – Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения, издание второе, переработанное, дополненное. – М.: Машиностроение
5. Глейзер, Мерра, Сепетоски, Комсток и Эмсли. Измерение коэффициента теплопроводности при температурах выше 1000°C // Приборы для научных исследований. 1962. -Т.33-№1.-С.62-68.
6. *Hoch M and Nitti D A 1963 New Method for the Determination of Thermal Conductivities between 1000 and 3000°C (Ohio: Cincinnati University) ASD TR61-528*
7. Осетинская Т.Д., Подоба А.П.. Применение метода стягивания потока для определения теплопроводности твердых тел// Промышленная теплотехника- 1981-Т.4.- №1.-. С.30-34.
8. Осетинская Т.Д., Цендровский В.А., Вишневский А.С. Устройство для измерения теплопроводности монокристаллов алмаза // ИФЖ- 1977-Т.XXXII.- №4.-. С.620-624.
9. Пелецкий В.Э. О роли двумерности температурного поля в образцах при исследованиях коэффициента теплопроводности методами продольного теплового потока//ТВТ.- 1968.-т.6-С.133-138.
10. Серых Г. М., Колесников Б.П., Сысоев В. Г. Прибор для комплексного определения теплофизических характеристик материалов // Измерения, контроль, автоматизация. – 1981. - №1. – с. 85-91.

11. Д.Л. Тимрот, В.Э. Пелецкий. Теплофизика высоких температур, 1, №2, 1963.
12. Д.Л. Тимрот, В.Э. Пелецкий. Теплофизика высоких температур, 3, №2, 1965.
13. В.Э. Пелецкий, Я.Г. Соболев. Новая экспериментальная установка для исследования коэффициента теплопроводности и электропроводных материалов в диапазоне температур 500-3000°К, ТВТ, 1968, том 6, выпуск 6, 1100-1107
14. Пелецкий В.Э., Патрушева Л.Г. Установка для исследования теплопроводности конструкционных материалов при высоких температурах // ТВТ. – 1986. – Т.24. - №1. – С.137-143.
15. Желобцов Е.А., Исакаев Э.Х., Пелецкий В.Э., Тюфтяев А.С. Метод исследования теплопроводности конструкционных материалов и экспериментальная установка // Перспективные материалы. – 2009. - №6. – С.98-102.
16. Пелецкий В.Э., Тимрот Д.Л., Воскресенский В.,Ю. Высокотемпературные исследования тепло- и электропроводности твердых тел, М., «Энергия», 1971.
17. С.А.Чивилихин. Вычислительные методы в технологиях программирования. Элементы теории и практикум, – СПб: СПбГУИТМО, 2008. –108с.
18. Вазов В., Форсайт Дж. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных, - Издательство иностранной литературы, Москва, 1963. – 484с.
19. Пипко А.И., Плисковский В.Я. Основы вакуумной техники: учебник для техникумов. М.: Энергоиздат, 1981. – 432с.
20. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» С.В. Романенко, Ю.В. Анищенко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 11 с.

21. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
22. ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих»
23. ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»
24. СанПиН 2.2.4.723–98 «Переменные магнитные поля промышленной частоты (50Гц) в производственных условиях»
25. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
26. ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»
27. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
28. СП 52.13330.2011 со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
29. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы»
30. СанПиН 5160-89 «Санитарные правила для механических цехов»
31. СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту»
32. ГОСТ 12.1.019-79 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
33. М.К. Полтев – «Охрана труда в машиностроении»
34. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями».
35. ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения».

36. ГОСТ Р 22.0.08-96 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях».
37. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования».
38. ГОСТ 12.1.033-81 «Система стандартов безопасности труда.

Пожарная безопасность. Термины и определения»

39. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

40. Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 N 125-ФЗ.

41. Федеральный закон "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования" от 24.07.2009 N 212-ФЗ.

42. Федеральный закон "О трудовых пенсиях в Российской Федерации" от 17.12.2001 N 173-ФЗ.