

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
Установка для измерения теплопроводности твердых тел стационарным методом УДК 621.1.016.7.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Кусков Яков Александрович		

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 экологии 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 технологических 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		

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	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	международных стандартов <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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		<i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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>
P21	Составлять техническую документацию и	Требования ФГОС (ПСК-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	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	Кускову Якову Александровичу

Тема работы:

Установка для измерения теплопроводности твердых тел стационарным методом	
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>Конструирование установки для измерения тепловых свойств конструкционных материалов.</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	Кусков Яков Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Кускову Якову Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалиста	Направление/специальность	Атомные электрические станции и установки

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- 1. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР*
- 2. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР*
- 3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1. Сетевой график выполнения работ*
- 2. Линейный график выполнения работ*
- 3. Параметры работ сетевого графика*
- 4. Смета расходов на выполнение договора*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сергейчик С.И.	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Кусков Я.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 90 страниц, 14 рисунков, 19 таблиц, 27 источников и 1 приложения.

Ключевые слова: теплопроводность, одномерная задача, плоский слой, вакуумная камера, вакуум,.

Целью проекта является конструирование экспериментальной установки для измерения тепловых свойств конструкционных материалов.

В процессе выполнения проекта была разработана принципиальная схема лабораторной установки, спроектирована вакуумная камера, создана, создана 3D модель камеры и измерительного участка, построен сетевой график выполнения работ по проектированию, изготовлению и сборке лабораторного стенда, спроектирована схема автоматического управления температурой нагревательного элемента.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики разработанной установки: 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.

Использованные программы: Microsoft Office 14, CorelDraw X8, SolidWorks 2014, MathType, Siemens NX 9

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Теплопроводность – процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела, имеющих различные температуры.

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·К).

Плотность теплового потока – количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности. Единица измерения коэффициента теплопроводности является Вт/м².

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
2. ТЕОРИЯ МЕТОДА ПЛАСТИНЫ.....	25
3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА.....	30
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ.....	32
5. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ СТЕНДА.....	37
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	40
7.1 Планирование НИР	40
7.2 Анализ сетевого графика.....	45
7.3 Смета расходов на выполнение НИР	48
7.3.1 Расчет затрат на заработную плату.....	48
7.3.2 Расчет затрат на наладку оборудования	48
7.3.3 Расчет затрат на расходные материалы	49
7.3.4 Расчет затрат на комплектующие	50
7.3.5 Расчет затрат на оборудование.....	50
7.3.6 Расчет стоимость основных средств.....	51
7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Развитие науки и производства нуждается в точных данных по теплофизическим свойствам веществ, находящихся в твердом, жидком и газообразном состоянии, в частности знание их теплопроводности. В настоящее время известны многочисленные методы измерения коэффициента теплопроводности, из них выделяют стационарные и не стационарные методы определения коэффициента теплопроводности. Чаще всего используются стационарные методы пластины и цилиндра. Популярность данных методов вызвана их простотой, так как при выводе расчётных формул используется решение одномерных задач теплопроводности. Главными недостатками указанных методов являются создание одномерного теплового потока, проходящего через исследуемый образец, а также длительность установления необходимого теплового режима при каждой заданной температуре. В результате для создания однородного теплового потока необходимо выбирать образцы большей протяженности.

Нестационарные методы основаны на исследовании меняющихся во времени по не линейному закону температурных полей. Они более сложны в реализации. Основная трудность состоит в том, что в эксперименте сложно реализовать условия, заложенные в теории метода.

Использование электронных вычислительных машин позволяет решать задачи теплопроводности для двухмерных и трехмерных температурных полей с помощью сравнительно не сложных экспериментальных установок. Основная сложность при этом возникает при обработке результатов измерений.

В данном дипломном проекте рассматривается стационарный метод измерения коэффициента теплопроводности, в котором используется

решение одномерной задачи теплопроводности методом плоского слоя. На основе метода конструируется лабораторная установка.

Существенным преимуществом этого метода является: возможность использования образцов небольших размеров, высокая точность, относительно не высокое время измерения, широкий интервал температур.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях. Обзор литературы показал, что в настоящее время для измерения коэффициента теплопроводности наиболее часто применяется стационарный метод пластины. Одним из основных преимуществ данного метода является простота расчетных формул, так как при их выводе используются решения одномерных стационарных задач теплопроводности для неограниченной пластины. Использование одномерных тепловых потоков позволяет исключить большой объем работы, возникающей при анализе двух- и трехмерных температурных полей. Использование ЭВМ позволяет существенно расширить круг задач, которые могли бы быть положены в основу экспериментального определения теплофизических свойств.

Родоначальником отечественных установок является прибор М. П. Стаценко (1927 г.). Позднее появилось большое количество различных вариантов одно- и двух-пластинчатых приборов, предназначенных для измерения теплопроводности плоских проводников теплоты как при положительных, так и при отрицательных температурах.

Ниже приведены некоторые варианты измерительных установок, основанные на стационарном методе определения теплопроводности

Автоматизированный прибор ИТС-А-20 разработан в межфакультетской учебной лаборатории «Инновационные технологии» СПбГУНиПТ [1]. Прибор предназначен для измерения теплопроводности однородных твердых неметаллических материалов, теплопроводящих пастообразных веществ и жидкостей при нормальных условиях.

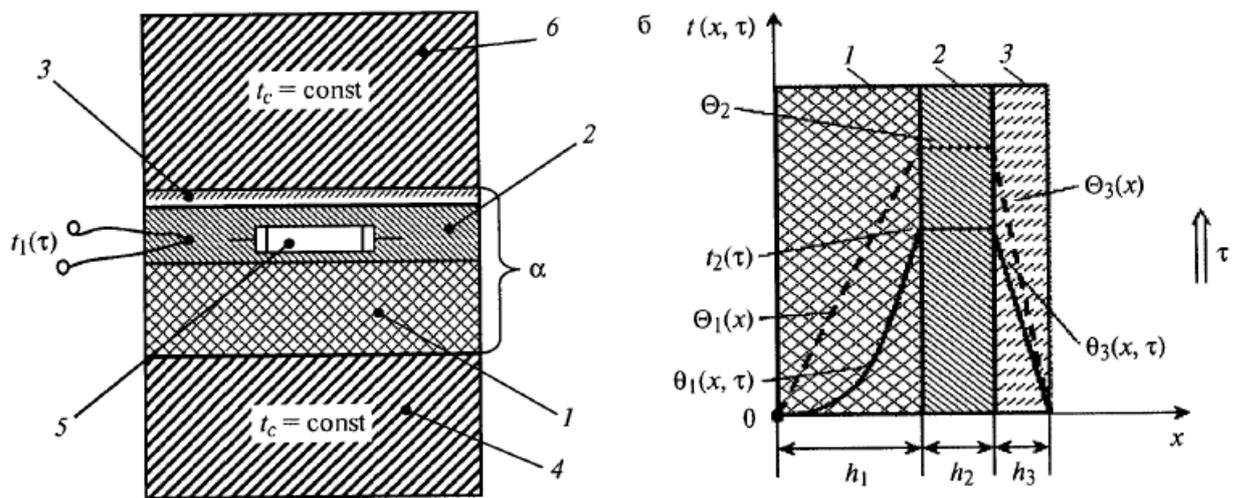


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки.

Сущность данного метода заключается в том, что образец 1 состоит в тепловом контакте с металлическим ядром 2, в котором находится электрический нагреватель 5. С противоположной стороны нагревателя располагаются тонкая теплоизоляционная прослойка 3, обеспечивающая выгодное соотношение между тепловыми потоками через образец и саму прослойку, и верхний блок 6, который в процессе опыта сохраняет температуру окружающей среды. Нижняя рабочая грань образца контактирует с внешней изотермической средой 4.

С помощью данной математической модели были получены расчетные соотношения для определения теплопроводности твердых материалов.

$$\lambda_s = \frac{h}{\frac{W_2 / K_a - K_n(h)}{S} - 2P_k} \quad (4)$$

h – высота образца, м;

S – площадь поперечного сечения образца, м²;

W_2 – мощность нагревателя, Вт;

$K_n(h)$ – тепловая проводимость ячейки, учитывающая влияние тепловых

потерь через теплоизоляционную прослойку и теплообмен через боковые грани образца;

$2R_k$ — контактное сопротивление, $\text{м}^2 \text{К/Вт}$.

Параметры $K_n(h)$, K_a и $2R_k$ являются постоянными тепловой ячейки. Относительная погрешность измерения теплопроводности составляет 3-5%. Теплопроводность исследуемых образцов может составлять 0,10—7,0 (Вт/м К).

Т. Г. Грищенко и др. [2] был создан способ определения ТФС плоских образцов материалов и устройство для его осуществления. В основу способа определения теплофизических характеристик положено решение одномерной стационарной задачи теплопроводности для бесконечной однородной пластины толщиной $h=2H$. Авторам данной работы удалось добиться высокой точности измерений за счет улучшения теплового контакта с поверхностями тепломеров, контактирующих с исследуемым образцом.

Схема, использованная в работе, представлена на рисунке 1.

На рисунке 2 обозначены тепломеры 1 и 2, контактирующие с исследуемым образцом 15, дополнительные тепломеры 3 и 4, датчики 5 и 6 температуры поверхности тепломеров 1 и 2, контактирующих с исследуемым образцом, пары корректирующих датчиков 7,8 и 9, 10 температуры, технологические контакты прослойки 11 и 12, прослойки 13 и 14, имитирующие балластные тепловые сопротивления, исследуемый образец 15, нагнетатели 16 и 17.

Устройство реализующее способ, содержит теплообменник 18, тягу 19, коромысло 20, винт 21, шарнир 22, стакан 23, подвижный кран 24, колпак 25, защитный кожух 3.

Способ определения теплофизических характеристик плоских образцов материалов, заключающихся в измерении плотности теплового потока, проходящего через противоположные рабочие поверхности, плоского образца, температур этих поверхностей, измерении плотностей теплового

потока по толщине тепломеров, одновременно являющихся образцами сравнения с известными теплофизическими свойствами, и вычисления искомых характеристик, отличающихся тем, что с целью уменьшения погрешности и температуропроводности, дополнительно измеряют перепады температур на прослойках, имитирующих балластные тепловые сопротивления контакта, а искомая теплопроводность определяется по формуле:

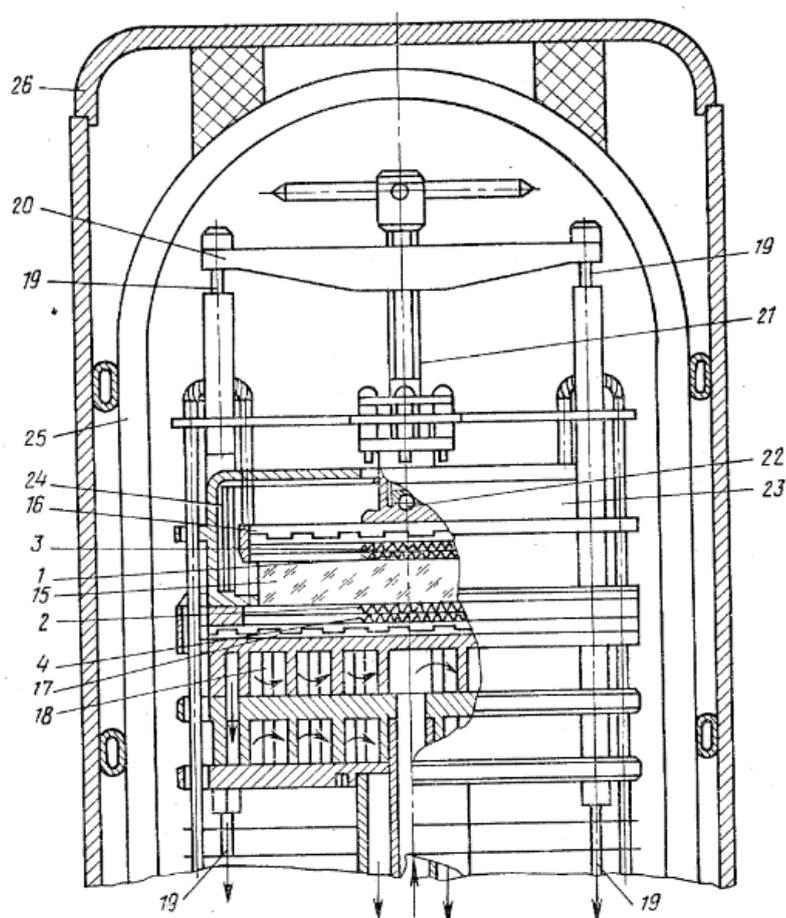


Рисунок 2 - Конструктивная схема устройства [2]

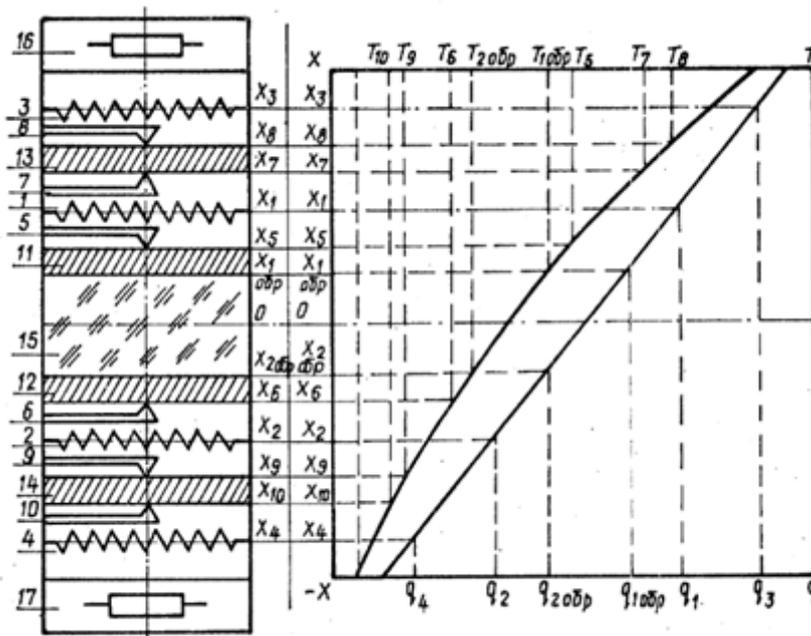


Рисунок 3 - Схема расположения термомеров, датчиков температуры и прослоек относительно образца, так же графики распределения температур и плотностей потока по сечениям [2]

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot h \cdot (q_1 + q_2)}{\Delta(T_{5-6}) - \chi(\Delta T_{7-8} + \Delta T_{9-10})};$$

Где λ - теплопроводность; h - толщина образца; q_1, q_2 - плотности теплового потока проходящего через поверхность исследуемого образца; T_{5-6} - разность температур сечений, проходящих через координаты термочувствительных элементов датчиков температуры поверхностей термомеров, контактирующих с исследуемым образцом; ΔT_{7-8} и ΔT_{9-10} - перепады температур на прослойках имитирующих балластовые тепловые сопротивления контакта; χ - безразмерные константы, не зависящие от температуры.

Стабильность теплового контакта термомеров 1 и 2 с исследуемым образцом обеспечена применением металлической эвтектики, наносимой на

поверхность технологических контактов прослоек 11 и 12 тепломеров 1 и 2, контактирующих с исследуемым образцом 15, а также постоянной сдвливающей нагрузкой, создаваемой с помощью механизма нагружения. Механизм нагружения передает усилие на образец 15 через тяги 19, коромысло 20, винт 21 и шарнир 22, скрепленный с нагревателем 16.

Для уменьшения теплообмена с окружающей средой и создания требуемого температурного режима верхний нагреватель 16 и образец 15 окружены подвижным экраном, выполненным в виде стакана 23, из высокотеплопроводного материала.

Общую погрешность измерения авторы оценивают величиной 2%. Такая погрешность достигнута за счет учета теплового сопротивления контакта технологических прослоек, путем измерения корректирующими датчиками температур, а так же за счет улучшения теплового контакта соприкасающихся поверхностей тепломеров и исследуемого образца путем покрытия поверхностей тепломеров, контактирующих с исследуемым образцом, металлической эвтектикой, теплопроводность которой в несколько порядков выше, чем эффективная теплопроводность газов или жидких смазок, применяемых обычно для снижения контактного теплового сопротивления.

Похожий метод был описан в работе [3]. В работе представлена установка для исследования высокотемпературной (1000 - 1700 °С) вакуумной изоляции методом плоского слоя.

В работе [4] описывается универсальное устройство для определения теплопроводности широкого класса веществ: твердых тел, жидкостей, расплавов, газов и т.д., при различных давлениях, концентрациях и температурах.

Описывается устройство для определения теплопроводности абсолютным стационарным методом плоского слоя, содержащий измерительный прибор и ячейку. Прибор изготовлен из меди, содержит

охранный элемент в виде пористого стакана, насыщенного термоэлектриком, которая в паре с медью имеет высокую термоэдс, что позволяет контролировать тепловые потери с высокой точностью. Ячейка изготовлена из стали 12Х18Н10Т, снабжена сильфоном.

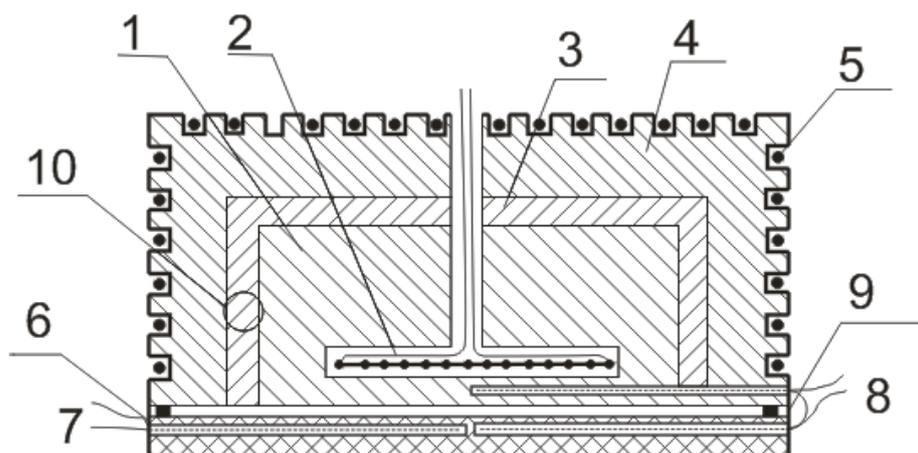


Рисунок 4 - Прибор для измерения теплопроводности

1,4 - внутренний и наружный медные блоки; 2,5 - внутренний и наружный нагреватели; 3 - керамический охранный стакан, сообщающие поры, которой, насыщены металлом, полупроводником или окислом; 6 - "холодильник"; 7,8 - абсолютная (T) и дифференциальная (ΔT) термопары; 9 - фиксированный зазор; 10 – разрез керамического стакана

Устройство работает следующим образом. Тепло, выделяемое рабочим нагревателем 2 в измерительном блоке, достигает защитный стакан 3 и создает градиент температуры на поверхности 3, в результате чего возникает разность термоэдс на термопаре 4-3-1. Термоэдс дифференциальной термопары поступает на потенциометр Р348, усиливается и подается на ВРТ-3 (высокоточный регулятор температуры). ВРТ-3 автоматически подбирает мощность нагревателя 5 в наружном компенсационном блоке 4. Добиваемся отсутствия градиента температуры на 3 и компенсации потерь тепла от

внутреннего нагревательного блока 1 через защитный стакан 3. Таким образом, добиваемся того, чтобы все тепло, выделяемое, нагревателем 2 направлялась вертикально вниз, через слой исследуемого вещества – рисунок 4. Электрический сигнал поверхностной дифференциальной термопары пропорционален разности температур на поверхности стакана 3, а нулевое значение сигнала означает отсутствие потока тепла через нее. Тепло, выделяемое рабочим нагревателем 2 в измерительном приборе (см. рисунок 4) проходит сверху вниз через слой исследуемого вещества в сторону "холодильника" 6, создает на ней градиент температуры ΔT , который оценивается термопарой 8.

Температура определяется компенсационным методом, который считается наиболее точным методом измерения температуры. Средняя температура "горячей" или "холодной" пластин в измерительном устройстве определяется при помощи абсолютной термопары (T_2), а перепад температуры в слое исследуемого вещества – дифференциальной термопарой (ΔT). Точность измерения температуры с помощью термопары (T_2) и потенциометра Р363-1 составляет $\pm 0,05^\circ$. Точность измерения градиента температуры дифференциальной термопарой (ΔT) на порядок выше и составляет около $0,005^\circ$. Получение стабильного значения градиента температур ($\Delta T = \text{const}$) (перепад температуры в слое исследуемого вещества) означает, что достигнут заданный режим, и можно определять теплопроводность. Для этого используется показание абсолютной термопары (температура T_2), и зная геометрические размеры измерительного блока (L и S), рассчитывается мощность внутреннего нагревателя в измерительном блоке (P), перепад температуры в слое исследуемого вещества (ΔT). Коэффициент теплопроводности (λ) оценивается по закону Фурье по формуле для стационарного метода плоского горизонтального слоя:

$$\lambda = P \cdot L \cdot S^{-1} \cdot \Delta T^{-1}$$

где λ - коэффициент теплопроводности [$\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$];

P - мощность внутреннего нагревателя, прошедшая через образец [Вт];

L - толщина образца [м];

S - эффективная рабочая поверхность прибора [м^2];

ΔT - перепад температуры на образце [К].

При оценке перепада температуры на слое исследуемого вещества учитывалось падение температуры на толщине металла, от концов термопары (от спая) до рабочих поверхностей „горячей” и „холодной” пластин устройства для измерения теплопроводности (см рисунок 2):

$$\Delta T = \Delta T_{\text{изм}} - \Delta T_{\text{м}}$$

где $\Delta T_{\text{изм}}$ - перепад температуры, измеренный дифференциальной термопарой, $\Delta T_{\text{м}}$ - перепад температуры по толщине металла.

Температуру определяли при помощи медь-константановых термопар, которые индивидуально градуировались по образцовому платиновому термометру сопротивления.

Для измерения теплопроводности веществ под давлением устройство помещается внутри автоклава 6, где и создаются необходимые давления (см. рисунок 5).

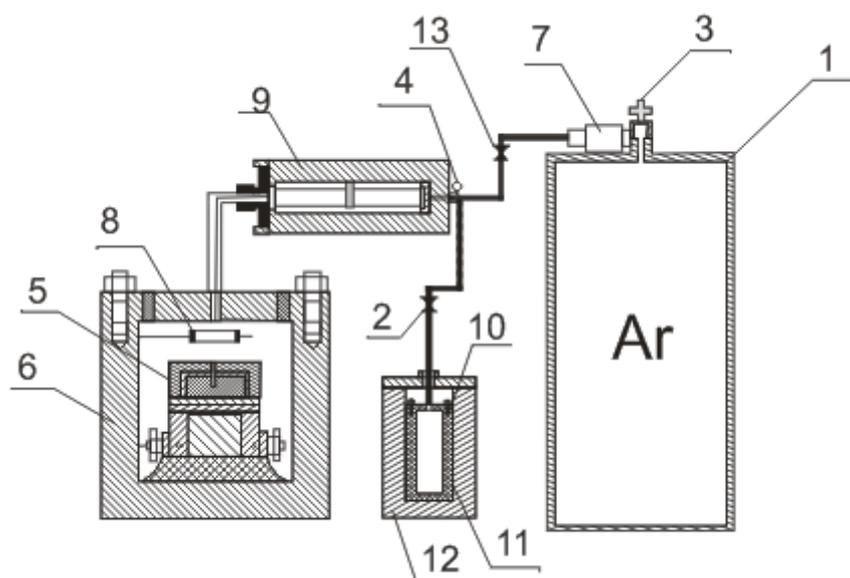


Рисунок 5 - Принципиальная схема установки для создания давления: 1 - баллон с аргоном; 2,3,13 – вентили; 4 – образцовый манометр (МО); 5 – устройство для измерения теплопроводности; 6 – автоклав; 7 – система очистки аргона; 8 – сильфон из фторопласта-4; 9 – камера высокого давления с дифференциальным сильфоном; 10 – термокомпрессор (сосуд с охлажденным аргоном); 11 – нагреватель; 12 – сосуд с жидким азотом

Давление до 15МПа создается сжатым аргоном из баллона, а выше – с использованием жидкого аргона.

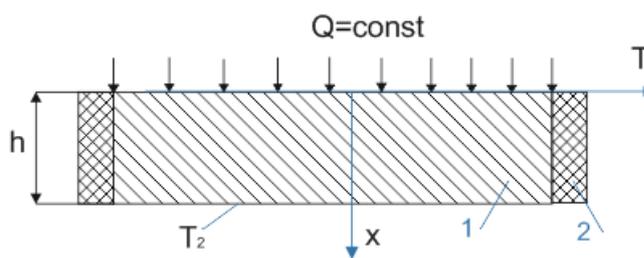
Представленное устройство для измерения теплопроводности, содержащее измерительный прибор и ячейку. Устройство работает по абсолютному стационарному методу плоского горизонтального слоя, позволяет определять теплопроводность твердых, жидких и газообразных веществ в широкой области параметров состояния, включая критическую область.

Применение отдельной ячейки позволяет измерять этим устройством большой спектр веществ в широком интервале параметров состояния.

Устройство позволяет с погрешностью, не превышающей 1,2%, исследовать теплопроводность газов, жидкостей, твердых тел, пористых материалов, насыщенных флюидами в интервале температур 100-700К и давлениях до 100 МПа, включая окрестности фазовых переходов и критического состояния вещества.

2. ТЕОРИЯ МЕТОДА ПЛАСТИНЫ

Расчетная формула метода пластины выводится на основе решения стационарного одномерного уравнения



теплопроводности для неограниченной пластины без учета зависимости коэффициента теплопроводности от температуры

Рисунок 6 – К постановке задачи:
1 – образец; 2 – тепловая изоляция

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями

$$x = 0; \quad Q = -\lambda \frac{dT}{dx} F \quad (2)$$

$$x = h; \quad T = T_2 \quad (3)$$

где T_2 – температура холодной стенки; K ;

F – площадь поверхности теплообмена, m^2 ;

h – толщина образца, m ;

x – текущая координата, m ;

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

Q – тепловой поток, $Вт$;

q – плотность теплового потока, $Вт/м^3$;

Интегрируя уравнение (1) два раза и определяя константы интегрирования с помощью граничных условий (2) и (3), получим формулу для расчета значений температуры в любой точке образца

$$T(x) = (h-x) \frac{Q}{\lambda \cdot F} + T_2 \quad (4)$$

Разность температур двух изотермических поверхностей с координатами $x=x_1$ и $x=x_2$ рассчитывается по формуле

$$T(x_1) - T(x_2) = (x_2 - x_1) \frac{Q}{\lambda \cdot F} \quad (5)$$

Из выражения (5) следует расчетная формула метода пластины для определения теплопроводности

$$\lambda = \frac{(x_2 - x_1) \cdot Q}{[T(x_1) - T(x_2)] \cdot F} \quad (6)$$

Из расчетной формулы (6) следует, что для определения коэффициента теплопроводности необходимо в опыте измерить тепловой поток, проходящий через пластину, и температуры $T(x_1)$ и $T(x_2)$ (или разность температур $T(x_1) - T(x_2)$) в двух точках с координатами x_1 и x_2 .

Рабочая формула (6) справедлива, если процесс распространения тепла подчиняется уравнению теплопроводности (1), т.е. когда:

- 1) отсутствуют потери тепла с боковых поверхностей (боковой теплообмен) и, следовательно, температурное поле в образце одномерное;
- 2) теплопроводность вещества не зависит от температуры.
- 3) размеры образца удовлетворяют соотношению $h/l \leq 0,1$, т.е. отношение толщины l образца к его ширине h или диаметру (если образец круглый) мало.

В случае, когда коэффициент теплопроводности не остается постоянным, а является величиной, зависящей от температуры, вместо уравнения (1) используется дифференциальное уравнение:

$$\frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{d\nu}{dx} \right) = 0 \quad (7)$$

где ν - избыточная температура, отсчитываемая от температуры в точке с координатой $x=0$.

Для вывода расчетной формулы с поправкой решают одномерное стационарное уравнение теплопроводности, в котором зависимость коэффициента теплопроводности от температуры предполагается линейной, т.е.

$$\lambda = \lambda_0(1 + K_\lambda \nu) \quad (8)$$

где λ_0 - значение коэффициента теплопроводности при температурах $\nu = 0$; K_λ - относительный температурный коэффициент теплопроводности

$$K_\lambda = \frac{1}{\lambda_0} \frac{d\lambda}{dT}$$

Математическая постановка задачи в этом случае имеет вид:

$$\frac{d}{dx} \left[\lambda_0(1 + K_\lambda \nu) \frac{d\nu}{dx} \right] = 0 \quad (9)$$

Для постоянной плотности теплового потока на поверхности плоской стенки при $x=0$ граничные условия выражаются соотношениями:

$$\nu_{x=0} = 0; \quad \frac{d\nu}{dx} = -\frac{q}{\lambda}. \quad (10)$$

Опыт показывает, что абсолютная величина относительного температурного коэффициента теплопроводности для большинства не металлов обычно лежит в пределах $0 \leq K_\lambda \leq 0,04$. Поэтому второе слагаемое стоящее в круглых скобках в уравнении (9) при перепаде температур в образце $|\nu| \leq 100^\circ \text{C}$ будет иметь значение

$$|K_\lambda \nu| \leq 0.1 \quad (11)$$

При соблюдении условия (11) комплекс $K_\lambda \nu$ может рассматриваться как величина более высокого порядка малости, по сравнению с единицей. Благодаря этому условию уравнению теплопроводности (9) можно придать такой вид, что его нелинейные члены будут поправками к основным линейным членам, т.е.

$$\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d}{dx}(K_\lambda v \frac{dv}{dx}) = 0 \quad (12)$$

где второе слагаемое более высокого порядка малости, чем первое.

Для решения дифференциального уравнения (12) с граничными условиями (2) и (3) воспользуемся методом последовательных приближений, который предполагает решение в два этапа. На первом этапе уравнение решается без учета нелинейных членов, содержащих малый параметр K_λ . Этот этап был проделан выше и в результате было получено решение в нулевом приближении (5). Второй этап дает решение в первом приближении. Для этого во второе слагаемое уравнения (12) вместо температуры v подставляется найденное решение в нулевом приближении, после чего уравнение линеаризуется и принимает вид:

$$\frac{d^2v}{dx^2} + K_\lambda \left(\frac{q}{\lambda}\right)^2 = 0 \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (13), получим решение в виде:

$$v = -\frac{K_\lambda}{2} \left(\frac{q}{\lambda}\right)^2 x^2 + C_1 x + C_2 \quad (14)$$

Используя граничные условия (2) и (3), для определения констант интегрирования C_1 и C_2 получаем окончательное выражение для температурного поля в неограниченной пластине с учетом линейной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры:

$$v = -\frac{q \cdot x}{\lambda_0} \left(1 + \frac{K_\lambda}{2} \frac{q}{\lambda_0} x\right) \quad (15)$$

Теперь разность температур двух изотермических поверхностей с координатами $x=x_1$ и $x=x_2$ равна:

$$v_1 - v_2 = \frac{q(x_2 - x_1)}{\lambda_0} \left[1 + \frac{K_\lambda}{2} \frac{q}{\lambda_0} (x_2 + x_1) \right] \quad (16)$$

Выражение (16) можно представить в виде

$$\lambda_0 = \frac{q \cdot (x_2 - x_1)}{v_1 - v_2} \left[1 + \frac{K_\lambda}{2} \frac{q}{\lambda_0} (x_2 + x_1) \right] \quad (17)$$

Учитывая, что

$$\frac{q}{\lambda_0} \approx \frac{v_1 - v_2}{x_2 - x_1}$$

Формула принимает вид:

$$\lambda_0 = \lambda^* \cdot (1 + \psi_x) \quad (18)$$

где λ^* рассчитывается на основе выражения (16), а ψ_x – по формуле:

$$\psi_x = \frac{1}{2} K_\lambda (v_1 - v_2) \frac{x_2 + x_1}{x_2 - x_1} \quad (19)$$

Выражение (19) является поправкой на зависимость коэффициента теплопроводности от температуры в формуле (18).

При измерениях стационарными методами полученное в опыте значение λ^* обычно считают соответствующим средней температуре образца

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (20)$$

После проведения опытов находится действительное значение λ_0 . Для этого строится график температурной зависимости для коэффициента теплопроводности, с помощью которого определяется температурный коэффициент K_x , а затем по соотношению (19) значение поправки в формуле (18).

3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

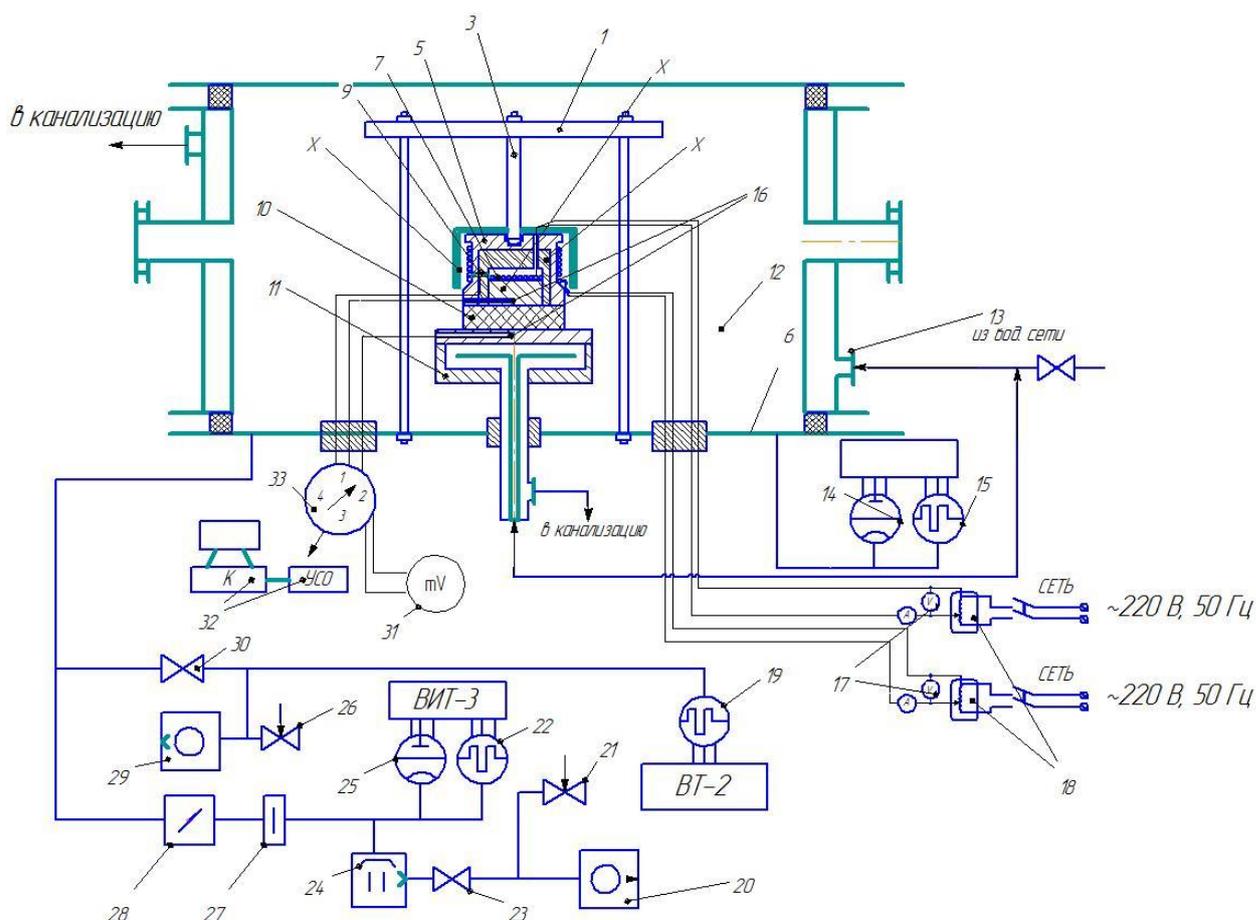


Рисунок 7 – Принципиальная схема установки

На рисунке 7 показана принципиальная схема установки для измерения коэффициента теплопроводности. Исследуемый образец 10 помещается внутрь водоохлаждаемой вакуумной камеры 13, где закрепляется между нагревателем и холодильником 11. Для уменьшения потерь тепла от основного нагревателя 5 установлен экран нагревателя 7 выполненный из фольги, который установлен между нагревающим элементом 4 и охранным нагревателем 8. Подача напряжения на нагреватель осуществляется от источника постоянного тока 18, напряжение и силу тока на котором осуществляется при помощи вольтметра и амперметра 17. Измерение температур на поверхностях образца осуществляется хром-копелевыми

преобразователями температуры 16, которые вместе с дифференциальной термопарой 9 подключаются к переключателю 33 типа ПТМ-4, а измерение осуществляется вольтметром постоянного тока 31, либо с помощью устройства связи (УСО) подключается к ЭВМ 32 для автоматической записи и обработки полученных результатов.

Постоянная сдвливающая нагрузка на образец осуществляется механизмом нагружения, выполненного из винта коромысла 1, на котором установлен дополнительный экран 2, и винта 3, на конце которого установлен шарик с целью уменьшения тепловых потерь.

Для создания высокого вакуума в камере $P \approx 10^{-2} - 10^{-5} \text{ Па}$ служит диффузионный насос 24 типа Н-05С, который через водяную ловушку 27 и вакуумный затвор 28 соединяется с фланцем вакуумной камеры 6. Предварительное разряжение в системе осуществляется с помощью пластинчато-роторного насоса 20 типа 2НВР-5РМ. В установке предусмотрена байпасная линия, служащая для откачки из вакуумной камеры воздуха после замены исследуемого образца, без остановки диффузионного паромасляного насоса, что уменьшает время проведения эксперимента. В байпасную линию входят: механический насос 29, вентиль 23, 30 и натекагель 26, 21. Измерения вакуума в системе осуществляется с помощью термопарных 15, 19, 22 и ионизационных 14, 25 преобразователей давления. В качестве вторичных приборов для измерения сигналов с манометрических преобразователей давления служат вакуумметры типов ВИТ-3 и ВТ-2.

4. КОНСТРУИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ

В лабораторной установке обогреваемый образец помещается в вакуумную камеру. Конструкция данной камеры показана на рисунке 8.

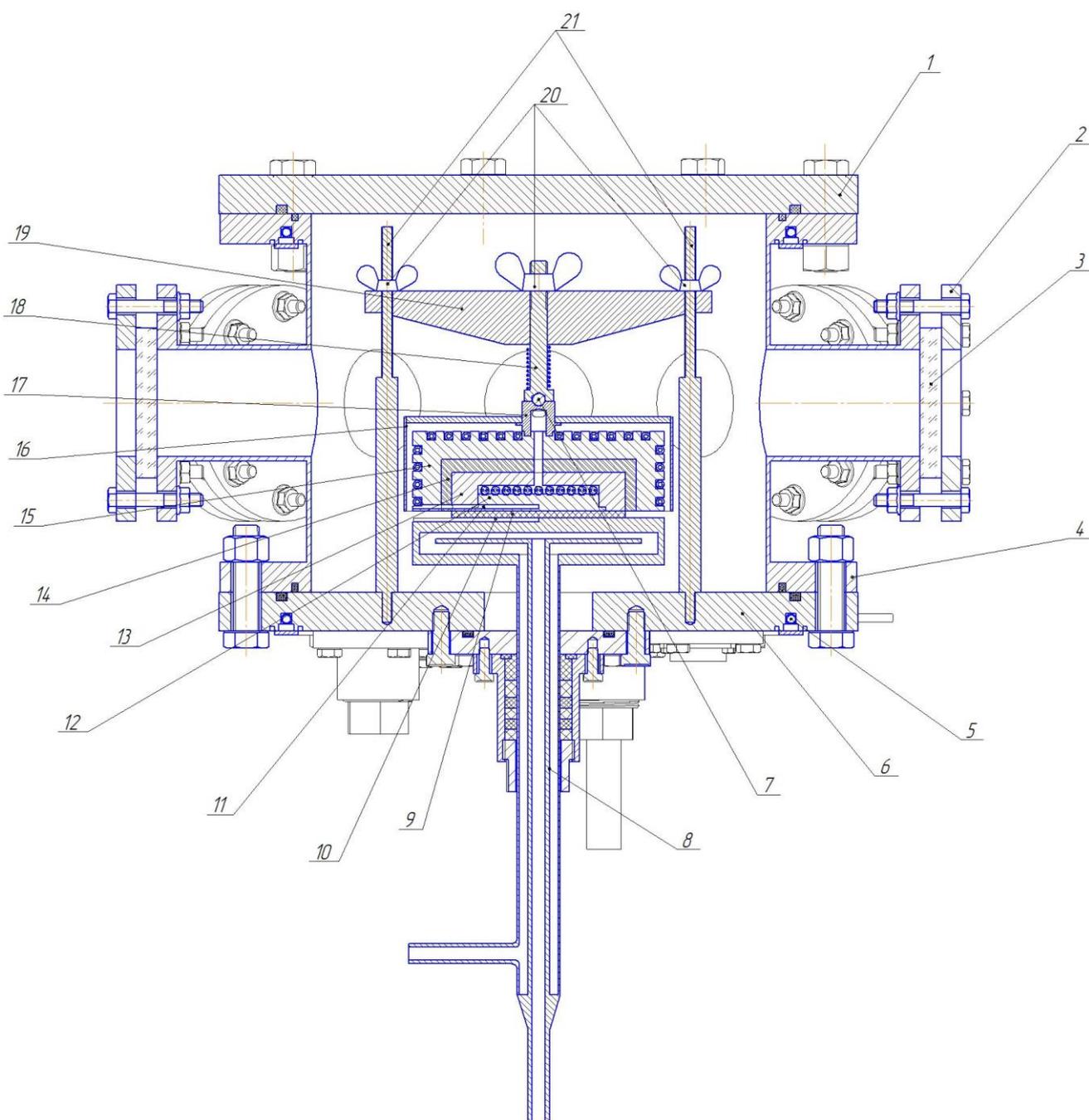


Рисунок 8 – Конструкция вакуумной печи:

1 – Верхний фланец; 2 – Фланец смотрового окна; 3 – Кварцевое стекло; 4 – Корпус вакуумной камеры; 5 – Трубка водяного охлаждения; 6 – Нижний водоохлаждаемый фланец; 7 – Шарик; 8 – Водоохлаждаемое основание; 9 – Образец; 10 – Термопарный разъем; 11 – Нижняя часть нагревателя; 12 – Термопарный разъем нагревателя; 13 – Верхняя часть нагревателя; 14 – Керамический стакан; 15 – Охранный нагреватель; 16 – Охранный стакан; 17 – Втулка; 18 – Винт; 19 – Струбцина; 20 – Гайка-барашек; 21 – Тяга

Образец в форме пластины 9 помещается на водоохлаждаемое основание 8. Подвод воды к основанию 8 осуществляется через специальные вводы. Они выполнены в виде конструкции «труба в трубе». Закреплено основание на нижней крышке камеры 6. На образец устанавливается нагреватель. Нагреватель выполнен из нижней 11 и верхней части, между которыми установлен нагревательный элемент выполненный из керамических бусинок внутри которых помещена нихромовая проволока. Для ликвидации тепловых потерь через торец и боковую поверхность на верхнюю часть нагревателя 13 надевается керамический охранный стакан 14. На стакан 14 надевается наружный охранный нагреватель 15 в форме стакана, с находящимся в нем компенсационным нагревателем. Охранный 15 и основной нагреватель 11, 13 выполнены из меди и образуют дифференциальную термопару медь – термоэлектрик – медь (15 – 14 – 13), которая регистрирует интегральную разность термоэдс – разность температур между внутренней и наружной поверхностями 14. Нулевое значение в цепи дифференциальной термопары означает отсутствие потока тепла через керамический стакан 14.

Изготовление нагревателей 11,13,15 из меди обусловлено тем, что медь имеет высокую теплопроводность и хорошо выравнивает температуру.

Охранный керамический стакан 14 представляет собой пористую матрицу, которая насыщается жидкими растворами никеля и меди, с последующим восстановлением их до оксидов непосредственно в порах матрицы-носителя. Добавление никеля и меди обусловлено тем, что они имеют высокую термоэдс [5], и в тоже время низкую теплопроводность [6].

Для измерения температуры на «нагревателе» образца в блоке нагревателя 11, 13, 14, 15 изготовлено специальное отверстие 12 для ввода хромель-копелевого преобразователя температуры. С той же целью в «холодильнике» 8 вырезана лунка 10 в которую приваривается хромель-копелевый преобразователь температуры и зачищают сварной шов с целью получения ровной поверхности.

Для уменьшения тепловых потерь с охранного нагревателя 15 на втулку 17 устанавливается охранный стакан 16, выполненный из стального диска, на который при помощи точечной сварки по кругу закреплен тонкий металлический лист.

При проведении исследования образца необходимо плотное соприкосновение между «холодильником»-образцом-«нагревателем», оно достигается путем создания сдавливающей нагрузки через тяги 21, коромысло 19, винт 18 и шарнир 7, 17, с крепленный охранным нагревателем 15.

Для термостатирования вакуумной камеры в конструкции предусмотрено водяное охлаждение 5 выполненное в виде кольцевой трубки установленной в специальное отверстие на нижнем фланце 6 и на фланце в верхней части вакуумной камеры 4. Элементы вакуумной камеры: фланцы, крышки фланцев, вводы и охлаждаемое основание выполнены из аустенитной нержавеющей стали марки 0X18H10T, так как она имеет высокую жаропрочность, хорошую свариваемость, хорошую пластичность и вследствие этого высокую технологичность при деформации. Неразборные соединения элементов установки выполнены с использованием ручной

аргодуговой сварки, а для уплотнения разборных элементов вакуумной системы используется белая вакуумная резина. Вводы воды и термоэлектрические вводы выполнены конструктивно однотипно, по типу грибкового уплотнения. Такая конструкция позволяет относительно просто проводить замену и изменять расположение различных элементов в пространстве камеры.

Для ввода термопар в камеру используется многоэлектродный вакуумный ввод изображенный на рисунке 9. Описание данного типа ввода приведено в [7].

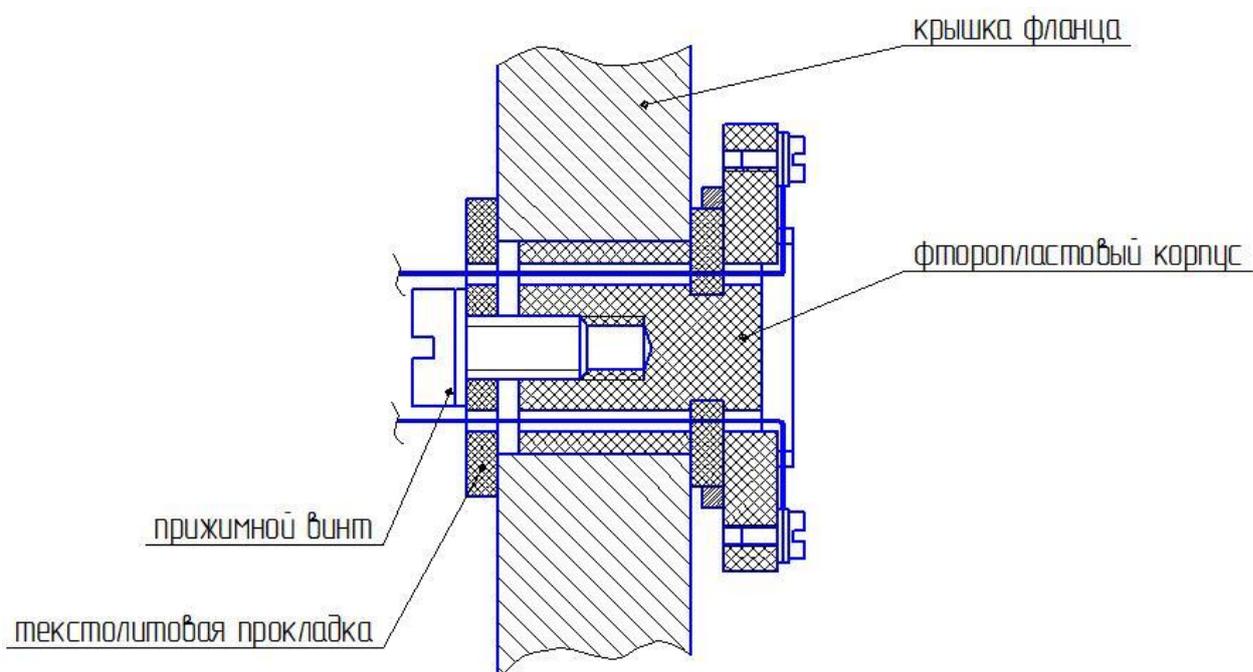


Рисунок 9 – Конструкция вакуумного токоввода

Основой конструкции многоэлектродного вакуумного ввода является фторопластовый корпус, совмещающий функции несущего элемента, межэлектродного изолятора, клеммой колодки и гайки для крепления ввода в отверстие вакуумной камеры. Корпус крепится в отверстии вакуумной камеры при помощи винта и прокладки из стеклотекстолита. Уплотнение

всех стыков осуществляется одной эластичной прокладкой, изготовленной из вакуумной резины, ограниченной бандажным кольцом. Проволочные электроды диаметром 0,1 – 1 мм продеваются через уплотняющую прокладку при помощи медицинской иглы. Электроды не имеют разрывов, что важно в том случае, когда они являются ветвями термопар. При необходимости в вакуумном объеме электроды могут быть разведены на клеммы, образованные резьбовыми отверстиями в корпусе ввода и винтами 5. Количество вводимых электродов определяется диаметром имеющегося отверстия в вакуумной камере. При диаметре 20 мм удастся достаточно свободно разместить 12 электрод

5. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ СТЕНДА

Компоновка лабораторного стенда была проведена с учетом рационального использования рабочего места. Рабочее место обеспечивает удобную рабочую позу, исключает ненужное перемещение. Чертеж лабораторного стенда приведен в графическом листе ФЮРА.ХХХХХХ.005 МЧ

1. Спроектирована вакуумная камера описанная в 5 главе и рассчитанная в 6 главе;
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° ;
7. Клапаны и натекатели;

Для питания нагревателя, работающего при постоянном токе и для регулирования его мощности, используется выпрямитель.

Выпрямитель питается от трехфазной сети 380/220 – 50 Гц. Потребляемая от сети мощность 18 кВт. Коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,6$. Напряжение холостого хода выпрямителя – 60 В. Максимальное падение напряжение – 45 В. Ток через нагреватель регулируется плавно от 30 до 300 ампер. Величина пульсации напряжения $\leq 12\%$.

Выпрямитель представляет собой каркасный шкаф размером 650x450x1500 мм и весом 500 кг. В шкафу расположены понижающий трехфазный трансформатор, кремниевые диоды ВК-200, с радиаторами водяного охлаждения и реле расхода воды и воздуха, дроссели насыщения, воздушный фильтр и блок управления.

Количество воды необходимое для подачи воды для охлаждения диодов не должно быть меньше 3 л/мин.

Включение выпрямителя, нагрев нагревателя, регулировка тока на нагревателе и контроль режимов осуществляется с помощью блока управления выпрямителя.

Насосы вакуумные пластинчато–роторные типа ЗНВР-1Д двухступенчатой конструкции, с масляным уплотнением предназначены для откачки из герметичных объемов воздуха, химически неагрессивных газов и парогазовых смесей, предварительно очищенных от капельной влаги и механических загрязнений, от атмосферного давления до предельного остаточного.

В качестве основного насоса применяется диффузионный паромасляный насос типа Н-05С предназначенный создания высокого вакуума

Расположены насосы под вакуумной камерой. Основные технические характеристики механических насосов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики насосов

Наименование	ЗНВР-1Д [10]	Н-05С [11]
Быстрота действия, л/с	1	100
Предельное остаточное давление, мм.рт.ст	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Количества заливаемого масла, л	0,5	0,4
Частота вращения ротора в насос, с^{-1}	46,6	-
Мощность электродвигателя, Вт	250	0,5
Напряжение сети, В	380	220
Потребляемая мощность из сети, Вт	300	-
Уровень звука, дБ	70	-
Средняя наработка на отказ, ч	$2 \cdot 10^{-3}$	-
Габариты, мм		
длина	320	364
ширина	130	210
высота	200	155

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Сетевое планирование и управление – это комплекс графических и расчетных методов, организационных мероприятий, обеспечивающих моделирование, анализ и динамическую перестройку плана выполнения сложных проектов и разработок.

7.1 Планирование НИР

Метод сетевого планирования и управления предназначен для разработки исходного плана реализации комплекса работ и принятия эффективных решений в процессе выполнения плана. Применение сетевого планирования позволяет повысить качество и эффективность управления сложными комплексами работ и управлять сроками выполнения работ.

Сетевой график отражает состав, связи и последовательность выполнения комплекса работ и событий, направленных на достижение конечного результата.

Подготовка исходных данных для построения сетевого графика включает:

- определение начального и конечного событий;
- составление перечня всех событий, следующих за начальным и без которых не может произойти конечное событие;
- составление списка работ, соединяющих намеченные события;
- определение продолжительности выполнения каждой работы.

При построении сетевого графика должны учитываться следующие четыре правила:

- график должен иметь только одно начальное событие (исток) и только одно конечное событие (сток);
- ни одно событие не может произойти до тех пор, пока не будут закончены все входящие в него работы;

- ни одна работа, выходящая из какого-либо события, не может начаться до тех пор, пока не произойдет данное событие;

- график должен быть упорядоченным.

В разработке проекта участвуют 3 специалиста:

- 1- Руководитель
- 2- Инженер
- 3- Лаборант

Таблица 3 - Данные сетевого графика

№	Название работы	Исполнители	Длительность работы t_{ij} , сут
0-1	подбор персонала	1	1
1-2	анализ литературы	2	2
1-3	поиск информации по другим экспериментальным установкам	3	2
2-3	объединение информации	2	4
3-4	ознакомление с найденной информацией	1,2,3	4
4-5	проектирование ЭУ	2	7
5-6	расчет элементов установки	2	3
5-7	моделирование 3D модели установки	3	15
7-8	разработка компоновки стенда	3	2
6-9	расчет стоимости необходимых материалов и оборудования	2	1
9-10	закупка материала	2	1
8-10	изготовление элементов ЭУ и стенда	3	15
10-11	покупка измерительного оборудования	1	7
10-12	организация рабочего места	3	3
11-14	транспортировка к месту сборки	1	5

Продолжение таблицы 3

12-13	покупка вспомогательного оборудования	2	1
13-14	сборка и установка ЭУ	3	7
14-15	установка водяного охлаждения установки	3	4
14-16	установка вакуумных насосов	2	1
15-17	проверка герметичности установки	3	2
16-17	сборка остальных элементов внутри корпуса установки	2	2
17-18	проверка водяного охлаждения	2,3	1
18-19	проверка выпрямителя напряжения нагревателя	2,3	1
19-20	проведение первичной серии испытательных экспериментов	2,3	7
20-21	формирование отчетов по проделанным экспериментам	2	1
21-22	устранение недочетов	3	3
22-23	формирование отчетов по проделанным экспериментам	2	2
22-24	проведение вторичной серии экспериментов	3	5
23-24	устранение недочетов	3	1
24-25	проведение НИР	2,3	60
24-26	обработка и анализ полученных данных	2,3	10
24-27	расчет сметы	1	3
25-29	формирование отчета	2	10
26-28	завершение НИР	2,3	5
27-28	написание заключения о проделанной работе	1	7

По данным таблицы 1 можно построить сетевой график, который будет отражать состав, связи и последовательность выполнения комплекса работ и событий, направленных на достижение конечного результата.

Для расчета параметров сетевого графика воспользуемся секторным методом, при котором кружки событий делятся на четыре сектора, в которых записываются номер события (верхний сектор), раннее время свершения события T_i^P (левый сектор), позднее время свершения события T_i^H (правый сектор) и резерв события R_i (нижний сектор).

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:

$$R_{i,j}^n = t_j^n - t_i^p - t_{ij} = t_{ij}^{no} - t_{ij}^{po} - t_{ij}. \quad (59)$$

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 4 - Результаты расчета сетевого графика

№	t_{ij}^{PH}	t_{ij}^{PO}	t_{ij}^{NH}	t_{ij}^{NO}	R_{ij}
0-1	0	1	0	1	0
1-2	1	3	1	3	0
1-3	1	7	1	7	0
2-3	3	7	3	7	0
3-4	7	11	7	11	0
4-5	11	18	11	18	0
5-6	18	21	18	48	27
5-7	18	33	18	33	0
7-8	33	35	33	35	0
6-9	21	22	48	49	27
9-10	22	50	49	50	0
8-10	35	50	35	50	0
10-11	50	57	50	57	0
10-12	50	53	50	53	0
11-14	57	62	57	62	0
12-13	53	55	53	55	0
13-14	55	52	55	62	10
14-15	62	66	62	66	0
14-16	62	63	62	63	0
15-17	66	68	66	68	0
16-17	63	68	66	68	0
17-18	68	69	68	69	0

Продолжение таблицы 4

18-19	69	70	69	70	0
19-20	70	77	70	77	0
20-21	77	78	77	78	0
21-22	78	81	78	81	0
22-23	81	83	81	83	0
22-24	81	88	81	88	0
23-24	83	88	83	88	0
24-25	88	148	88	148	0
24-26	88	91	88	153	62
24-27	88	91	88	151	60
25-29	148	158	148	158	0
26-28	91	98	153	158	60
27-28	91	98	151	158	60

7.2 Анализ сетевого графика

Определив все параметры сетевого графика, можно построить линейный график работ, который показывает, сколько времени затрачивается на работу. Длина ленты линейного графика равна календарному времени выполнения этой работы с учетом планового направления на нее соответствующих ресурсов.

Заполнив сетевой график, определим критический путь (наиболее продолжительный): 0-1, 1-2, 1-3, 3-4, 4-5, 5-7, 7-10, 10-11, 11-14, 14-15, 15-17, 17-18, 18-19, 19-20, 20-21, 21-22, 22-24, 24-25, 25-29.

Таким образом, для выполнения всех работ НИР потребуется 158 дней.

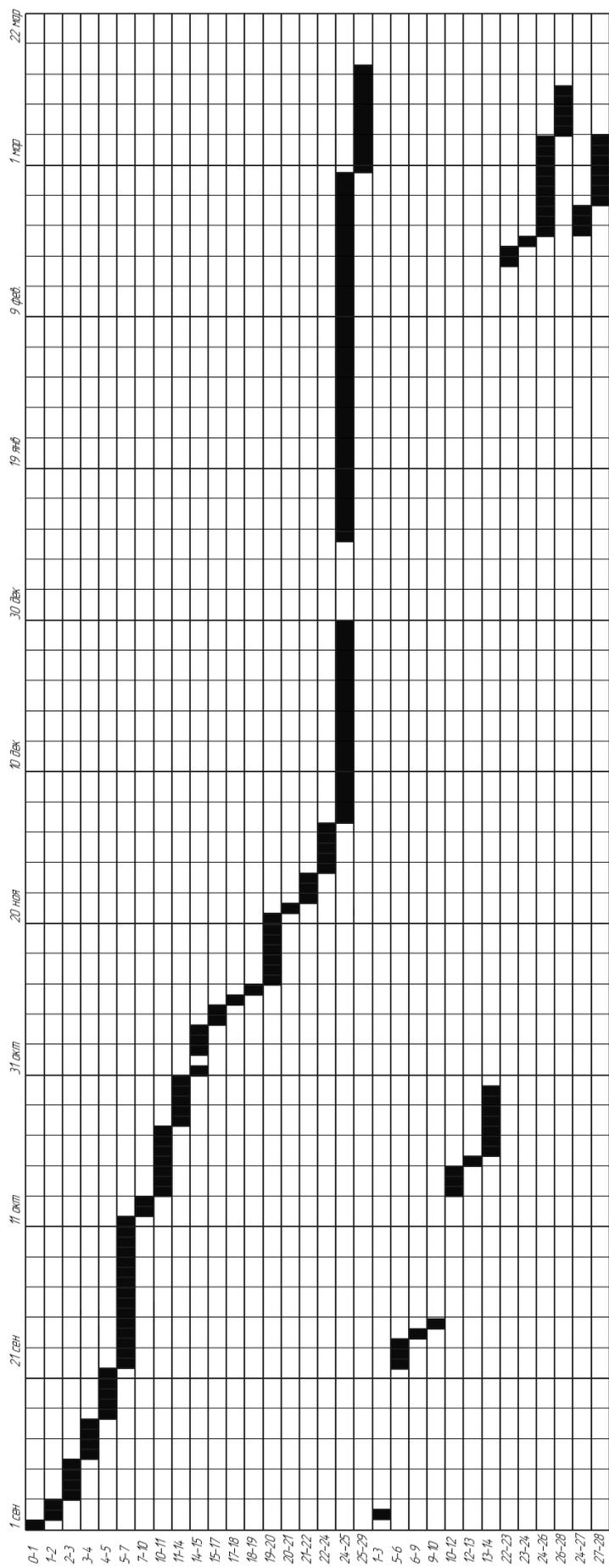


Рисунок 10 - Линейный график выполнения работ

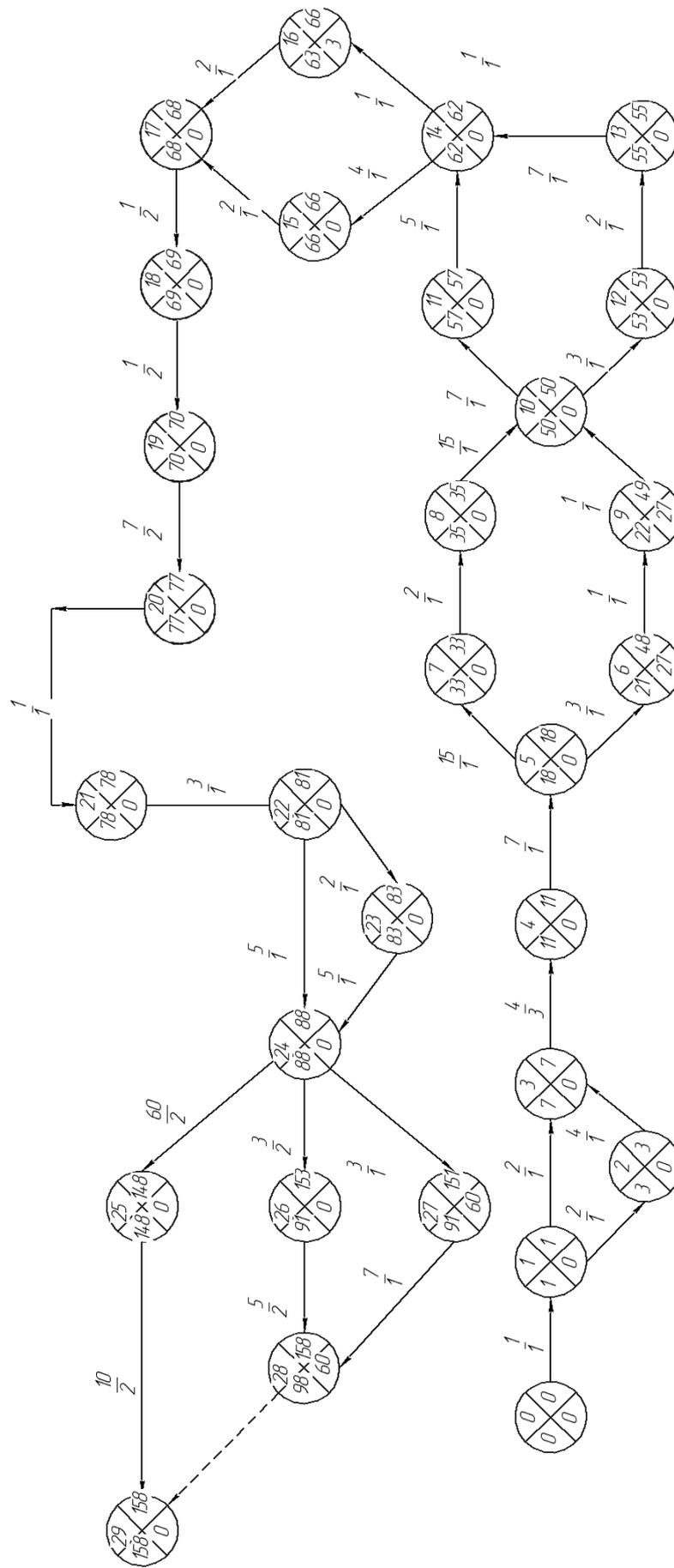


Рисунок 11 - Сетевой график выполнения работ

7.3 Смета расходов на выполнение НИР

Смета составляется с целью планирования расходов. В ней перечисляются виды расходов, их денежная оценка по статьям.

7.3.1 Расчет затрат на заработную плату

$$\Phi ЗП = \Phi ЗП_{осн} + \Phi ЗП_{доп}. \quad (2.2)$$

Таблица 5 – Оклады участников НИР

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

В таблице 5 указаны оклады участников НИР. На основании этих данных рассчитаем основной ФЗП:

$$\Phi ЗП_{осн} = 7.5 \cdot (0,5 \cdot 27500 + 17500 + 30000) = 459375 \text{ р.}$$

Дополнительный ФПЗ:

$$\Phi ЗП_{доп} = (10 \div 17)\% \cdot \Phi ЗП_{осн} = 0,15 \cdot 459375 = 68906 \text{ р.}$$

Таким образом, фонд заработной платы:

$$\Phi ЗП = 459375 + 68906 = 528281 \text{ р.}$$

Начисления в фонд по оплате труда:

$$Вот = 30,2\% \cdot \Phi ЗП = 0,302 \cdot 308700 = 159540 \text{ р } 95 \text{ коп.}$$

7.3.2 Расчет затрат на наладку оборудования

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 6 – Дополнительные работы

Наименование услуги:	Затраты, руб
- сварочные работы	6000
- сверлильные работы	1500
- токарные работы	2000

Стоимость материальных запасов:

$$C_{мз} = C \cdot N_{эл} \cdot t.$$

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

$N_{эл} = 20 кВт$ – мощность вакуумной камеры;

$t = 50 ч$ – время работы вакуумного насоса.

$$C_{мз} = 3 \cdot 20 \cdot 50 = 3000 р.$$

7.3.3 Расчет затрат на расходные материалы

Таблица 7 - Стоимость закупаемых расходных материалов

№ п/п	Наименование расходного материала	Кол-во	Цена	Стоимость
1	Бумага для принтера А4 «Снегурочка»	1	220	220
2	Листы А1	10	25	250
3	Тетради для расчетов	5	20	100
4	Папка для бумаг	2	40	80
5	Мультифора	50	2	100
6	Другие канцтовары	-	-	500

Итого : $C_{р.м.} = 1250$

7.3.4 Расчет затрат на комплектующие

Таблица 8 – 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 М089F	1	1200	1200
6	Источник питания типа ВСА-5А	1	7 000	7 000
8	Вакуумный затвор	1	15 000	15 000
9	Вентиль-натекатель КРП-16-2	4	1000	4 000
11	Лампа накаливания	1	30	30
13	Вентиль на системе водоснабжения	3	750	2 250
14	Корпус вакуумной камеры	1	1 750	1 750
15	Кожух печи	1	150	150
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 (нихром)	20м	200	4000

Итого $C_{o.m.} = 172905$ руб.

7.3.5 Расчет затрат на оборудование

Таблица 9 – 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 50/12	1	300	300
6	Втулка фторопластовая 50/23	1	80	80
7	Втулка фторопластовая d=23mm	4	80	320

Продолжение таблицы 9

8	Прокладка из вакуумной резины	10	30	300
9	Шайба резиновая d=24mm	2	30	60
10	Болт М16	10	50	500
11	Гайка М16	10	40	400
12	Шайба М16	10	20	200
13	Болт М8	10	30	300
14	Шайба М8	10	15	150
15	Болт М6	12	25	300
16	Гайка М6	12	20	240

Итого $C_{с.и.} = 11\,500$ руб.

7.3.6 Расчет стоимость основных средств

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

где $C_{р.м.} = 1250$ р – стоимость расходных материалов

$C_{о.м.} = 172\,905$ р – стоимость основных материалов;

$C_{с.и.} = 11\,500$ р – стоимость стандартных изделий.

$$C_{ос} = 1250 + 172905 + 11500 = 185\,655 \text{ рублей}$$

Таблица 10 - Смета расходов на выполнение НИР

Наименование статей расходов	Статьи расходов по кодам ЭКР	Всего, руб.
Фонд заработной платы основной	211	459,375
Фонд заработной платы дополнительной		68,906
Фонд заработной платы общий		528,281
Начисления на выплаты по оплате труда, 30.2 %	213	159,541
Командировки:		-
расходы по оплате суточных	212	
транспортные расходы по служебным командировкам	222	-
компенсация стоимости жилья	226	-
Оплата услуг связи	221	2
Арендная плата за пользование имуществом	224	8
Прочие услуги: - в том числе оплата НИР сторонних организаций (не более 50% общего объема договора); - оплата по договорам гражданско-правового характера;	226	30
Увеличение стоимости основных средств	310	185,655
Увеличение стоимости материальных запасов	340	3
Итого прямые расходы :		913,477
Накладные расходы, 10 %		91,348
Цена договора:		1004,825

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ