

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
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛУЧИСТОГО НАГРЕВА ОБРАЗЦОВ
<u>УДК 621.016.7.001.24</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5011	Колобова Дарья Владимировна		

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

Код резул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	полученные знания для обучения и воспитания 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

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

Код резул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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	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 резул ь- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	
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	Колобова Дарья Владимировна

Тема работы:

Разработка метода измерения теплопроводности с использованием лучистого нагрева образцов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

--	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.01.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
---------------------------------	--

<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>	
---	--

Раздел	Консультант
<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
<p>Доцент кафедры АТЭС</p>	<p>Раков Ю.Я.</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5011</p>	<p>Колобова Дарья Владимировна</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5011	Колобовой Дарье Владимировне

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	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	Колобова Дарья Владимировна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 98 страниц, 13 рисунков, 19 таблиц, 26 источников, и 2 приложений.

Ключевые слова: теплопроводность, одномерная задача, вакуум, лучистый нагрев.

Объектом исследования в данной работе является лабораторный стенд для исследования теплопроводности твердых материалов в форме пластины.

Цель проекта – разработать метод измерения теплопроводности с использованием лучистого нагрева образцов материала.

В процессе исследования была составлена программа решения поставленной задачи теплопроводности для пластины в программе Pascal.

В результате исследования была показана принципиальная схема установки, рассмотрены вопросы производственной, пожарной и электробезопасности при выполнении работ на данной установке. Был произведен расчет освещения в помещении лаборатории и уровень шума при работающем оборудовании.

Основные эксплуатационные, технологические, конструктивные характеристики – работа в широком спектре температур, высокая точность результатов, универсальность.

Степень внедрения: атомная промышленность.

Область применения: любая техническая отрасль.

Значимость работы в универсальности установки - эффективной особенности с точки зрения экономики.

В будущем планируется улучшение и совершенствование методов изучения коэффициента теплопроводности.

Графический материал:

ФЮРА.430011.001 СЗ. Принципиальная схема установки.

ФЮРА.430011.002 СБ. Вакуумная камера. Сборочный чертеж.

ФЮРА.430011.003 МЧ. Компоновочный чертеж проектируемого лабораторного стенда.

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

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Демонстрационный лист.

Детализовочный чертеж основных элементов вакуумной камеры.

Демонстрационный лист.

СПИСОК ОПРЕДЕЛЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

Теплопроводность - процесс передачи теплоты при непосредственном соприкосновении тел или отдельных частиц тела, имеющих разные температуры, обусловлена движением микрочастиц тела.

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.

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 $\varepsilon = 1$.

Тепловое излучение (лучистый теплообмен)– это процесс передачи энергии путем электромагнитных волн. При тепловом излучении происходит двойное превращение энергии – внутренняя энергия излучающего тела переходит в энергию электромагнитного излучения и обратно, лучистая энергия, поглощаясь телом, переходит во внутреннюю.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	15
2. ТЕОРИЯ МЕТОДА	19
2.1. Математическая постановка задачи	23
2.2. Составление конечно-разностных уравнений аппроксимаций	24
3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА	27
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ	30
5. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ	34
5.1. Расчет на прочность стенки вакуумной камеры	34
5.2. Расчет на прочность стенки водяной рубашки вакуумной камеры	36
5.3. Расчет системы охлаждения стенки вакуумной камеры	37
5.4. Расчет торцевого охлаждения исследуемого образца	40
5.5. Расчет времени, необходимого для откачки камеры	41
6. РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ СТЕНДА	43
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	49
7.1. Характеристики сетевого графика	53
7.2. Анализ сетевого графика	56
7.3. Составление сметы расходов на выполнение договора	57
8. АВТОМАТИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ	60
8.1. Описание объекта регулирования	60
8.2. Структурная схема автоматического регулирования	62
8.3. Функциональная схема управления	63
8.4. Выбор технических средств АСУ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ВВЕДЕНИЕ

подавляющее большинство новых технических направлений имеет одну особенность – чрезвычайно большую интенсификацию рабочих процессов в соответствующих установках и аппаратах. В результате работы оборудования и отдельных элементов в широких диапазонах температур при воздействии мощных тепловых потоков в различных средах повышаются параметры процессов. Для оценки устойчивости работы оборудования при высоких температурах необходимо знание температурных полей и теплофизических характеристик материалов.

В настоящий момент времени, коэффициент теплопроводности находится преимущественно с помощью стационарных методов пластины и цилиндра. В первую очередь такой выбор характеризуется тем, что данный метод прост в использовании за счет решений одномерных задач теплопроводности для вывода расчетных формул. Для эксплуатации данного метода необходимо соблюдение следующего условия – тепловой поток, проходящий через исследуемый образец должен быть одномерным, что приводит в необходимости выбора тела образца с максимальной протяженностью. Однако в то же время рост температур усложняет задачу организации одномерности теплового потока, а из-за сложностей, возникающих при обработках некоторых материалов, свойства и характеристики которых, отвечают требованиям экспериментальной установки, изготовление их не представляется возможным. В связи с этим методика проведения эксперимента усложняется.

Для решения задач теплопроводности при помощи не очень сложных экспериментальных установок используют электронные вычислительные машины. Сложностью в выборе такого метода является обработка результатов измерений.

В рамках данного дипломного проекта рассматривается нестационарный метод измерения теплопроводности, с решением

одномерной задачи теплопроводности для косвенно нагреваемого лучистым потоком исследуемого образца в форме стержня. Основываясь на выбранном методе, проектируется экспериментальная установка.

К существенным преимуществам такого метода относятся: высокая точность при сравнительно не большом времени измерения, широкий диапазон температур, а так же возможность использовать образцы небольших размеров. К недостаткам относится необходимость измерений температурных полей вдоль образца.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На текущий момент существует много способов определения тепло- и температуропроводности твердых тел.

В случаях наличия у исследуемого образца стандартной геометрической формы тела, решение задачи теплопроводности можно легко получить аналитически. Но, как правило, в практической реальности чаще всего имеют место быть задачи теплопроводности, решить которые аналитическим методом не представляется возможным, либо это не является эффективным. Такая вероятность, может следовать из наличия у исследуемых объектов форм сложной геометрии или нелинейности математических моделей, построенных для решения задачи.

Методы измерения коэффициента теплопроводности материалов.

Исследование теплопроводности материалов выполняются в широком диапазоне температур с использованием двух групп методов – стационарных и нестационарных.

К простым методам, а, следовательно, более совершенным, так как в их основу положены исследования неизменности температурных полей во времени относятся стационарные методы измерения.

В основу нестационарных методов положены исследования изменяющихся в течение времени в связи с определенным законом температурных полей. Реализация таких методов более сложная, основной трудностью является то, что для положительного исхода эксперимента, в ходе его проведения сложно организовать реализацию условий, заложенных в теории. Однако нестационарные методы позволяют помимо данных о теплопроводности получить информацию о температуропроводности и теплоёмкости вещества.

В качестве примера рассмотрим метод продольного теплового потока.

Этот метод имеет широкое применение для исследования металлов и других материалов, имеющих относительно большую теплопроводность.

Один конец длинного образца, (например, стержня), который имеет площадь поперечного сечения F , попадает под воздействие равномерного теплового потока Q . Между двумя сечениями образца, расположенными на расстоянии l один от другого, измеряют разность температур $\Delta t_1 = t_1 - t_2$. Если боковые тепловые потери исследуемого образца отсутствуют, то теплопроводность будет рассчитываться по формуле, характерной для метода плоского слоя:

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{F \cdot (t_1 - t_2)}. \quad (1.1)$$

Такая конфигурация образца дает возможность создания одномерного температурного поля и точность измерения расстояния между изотермическими плоскостями l . Сложностью метода является создание одномерного осевого теплового потока, его измерение и учет тепловых потерь с боковых поверхностей образца. Защитой цилиндрического образца от боковых тепловых потерь может служить охранный цилиндр (рис. 1), вдоль которого создается температурное поле, повторяющее поле образца.

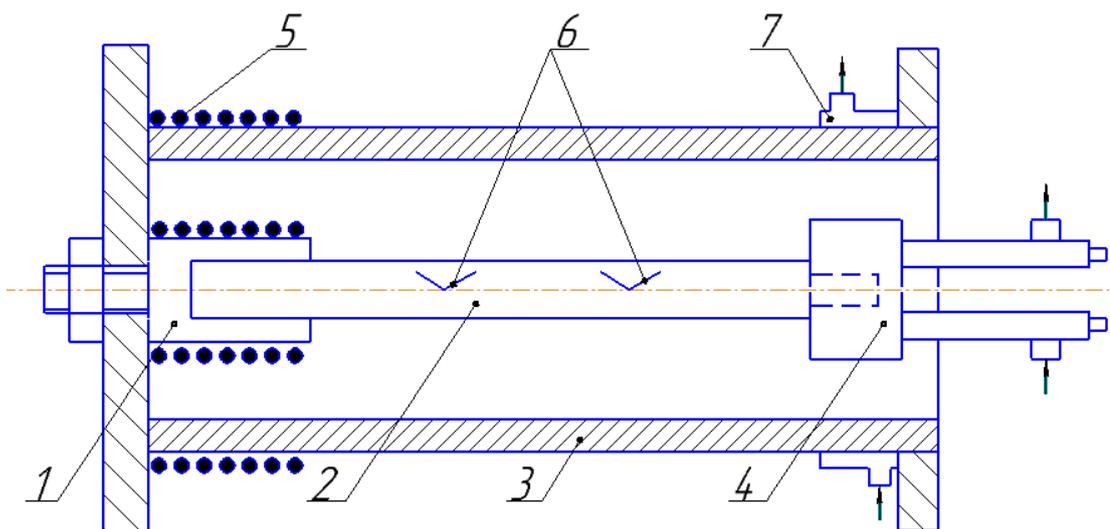


Рисунок 1 - Схема установки: 1 – блок нагревателя; 2 – образец; 3 – охранный цилиндр; 4, 7 – холодильники; 5 – нагреватель охранный цилиндра; 6 – термопары;

Удачным применением метода теплового потока может служить пример исследования теплопроводности композиционных материалов в

области низких температур (ниже 80 К). В этом случае тепловые потери с боковой поверхности образца (рис. 2) в вакууме определяются только излучением и при температурах ниже 80К составляют малую долю основного теплового потока.

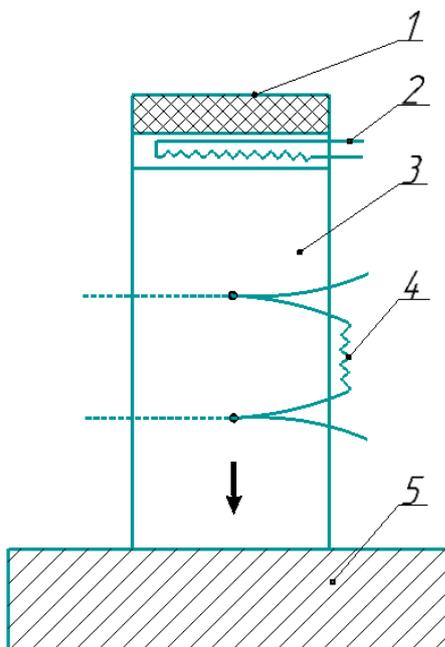


Рисунок 2 - Схема установки для измерения в области низких температур:

1 – изоляция; 2 – нагреватель; 3 – образец; 4 – дифференциальные термопары; 5 – медный блок;

При определении теплопроводности металлов и других электропроводящих материалов может быть использован метод Егера и Диссельхорста, основанный на решении одномерного уравнения теплопроводности с внутренними источниками теплоты для стержня, нагреваемого электрическим током.

При отсутствии теплоотдачи с боковой поверхности стержня (рис. 3) расчетная формула имеет вид:

$$\lambda = \frac{U \cdot \sigma_e}{8\Delta t}, \quad (1.2)$$

где σ_e - электрическая проводимость исследуемого образца;

U - падение напряжения на образце; Δt - разность температур между серединой и концом стержня при условии симметричного по длине распределения температур.

Если в эксперименте измерить силу тока I то расчётная формула будет иметь вид:

$$\lambda = \frac{I \cdot l}{8\Delta t \cdot F}, \quad (1.3)$$

где l , F – длина и площадь сечения стержня соответственно.

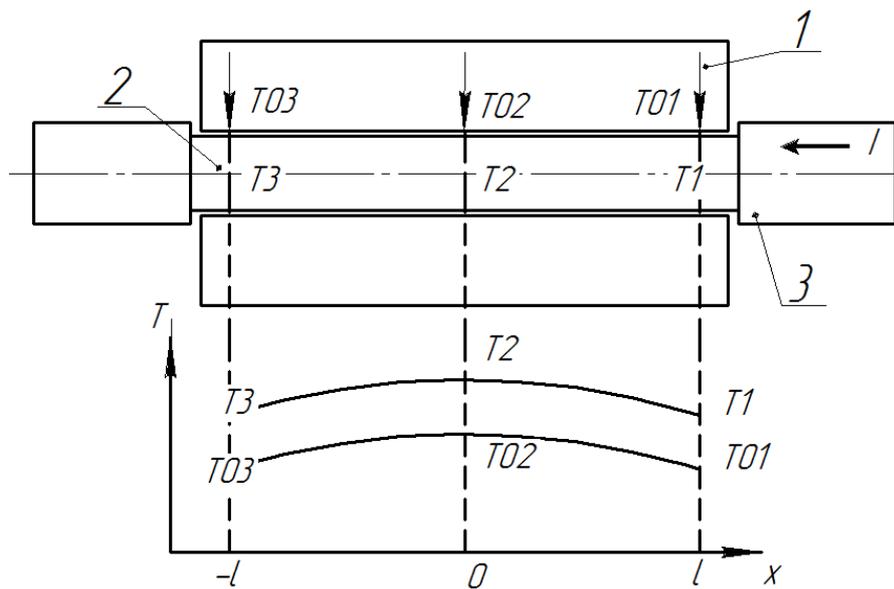


Рисунок 3 - Схема метода Егера и Диссельхорста: 1 – электропечь;

2 – образец; 3 – цапфы крепления образца;

T_{10} , T_{20} , T_0 , T_1 , T_2 , T_3 – места заделки термопар и измеряемые ими температуры;

При наличии теплообмена с боковой поверхности в формуле (1.3) необходимо использовать уточнённое значение Δt с учётом тепловых потерь.

2. ТЕОРИЯ МЕТОДА

Упрощенная трактовка математической модели процесса зачастую может быть отвергнута за счет использования численных методов решения задач. В настоящий момент времени наибольшей ценностью в области приближенных решений уравнений теплопроводности обладает метод конечных разностей, или метод сеток.

Основой метода конечных разностей является замена производных на их приближенные значения, выраженные через разности значений функции в дискретных точках – сеточных узлах. В итоге такого преобразования осуществляется замена дифференциального уравнения на эквивалентное соотношение конечных разностей, решение которого определяется выполнением несложных алгебраических операций.

Окончательный результат решения дается выражением, по которому значение «будущего» потенциала (температуры) в данной точке (узле) является функцией времени ее «настоящего» потенциала и « настоящего» потенциала смежных узловых точек. Повторяемость одинаковых операций при расчете полей температуры создает большие удобства для применения современной вычислительной техники, благодаря чему эффективность работы во много раз увеличивается.

Приближенную замену первой и второй производных через разностные отношения выражаются следующим образом, пусть дана некоторая функция $y = f(x)$, для которой при $x = x_i$:

$$y'_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{h}, \quad (2.1)$$

$$y''_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h}. \quad (2.2)$$

Приближенное значение второй производной y_i'' , функции $y = f(x)$ при $x = x_i$, выражается следующей формулой:

$$y_i'' = \frac{1}{h} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h} \right) = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2}. \quad (2.3)$$

Однородное уравнение теплопроводности для изолированного тонкого стержня длиной L :

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (0 \leq x \leq L). \quad (2.4)$$

Так как функция $T(x, \tau)$ зависит от двух переменных x и τ , то используется сетка прямоугольного типа (рис. 4). На оси абсцисс откладываем отрезок длиной L и делим его на n равных частей. Полученный шаг на оси абсцисс обозначим через $h = \frac{L}{n}$. Точки деления (узлы) на оси x имеют абсциссы $x = 0, x = h, \dots, x = L$.

По оси ординат отложим значения времени τ через равные промежутки t . Проводим через полученные узлы на осях координат прямые, параллельные координатным осям, которые образуют прямоугольную сетку. Значения T в узлах, лежащих на осях координат и на прямой, параллельной оси ординат и расположенной от нее на расстоянии L , находятся из начального и граничных условий.

Задача приближенного численного интегрирования уравнения (2.4) по методу сеток состоит в нахождении приближенного значения функции T в каждом узле сетки.

Обозначим через $T_{i,k}$ истинное значение температуры в точке стержня $x = ih$ в момент $\tau = kt$, т.е. в узле, отмеченном на рис. 4., символом i, k .

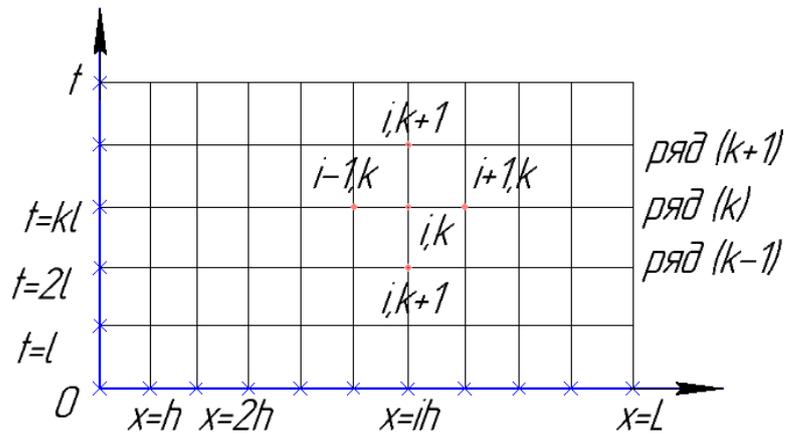


Рисунок 4 - Схема расчета по сетке прямоугольного типа

Заменим частные производные $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ и $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ в точке (ih, kl) через разностные отношения по формулам (2.1) – (2.3), т.е. положим:

$$\frac{\partial T_{i,k}}{\partial \tau} = \frac{T_{i,k+1} - T_{i,k-1}}{l} + \varepsilon_1, \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial^2 T_{i,k}}{\partial x^2} = \frac{T_{i-1,k} - 2T_{i,k} + T_{i+1,k}}{h^2} + \varepsilon_2, \quad (2.6)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - остаточные члены, стремящиеся к нулю при стремлении к нулю l и h . Тогда в узле (ih, kl) дифференциальное уравнение (2.4) заменяется следующим соотношением:

$$\frac{T_{i,k+1} - T_{i,k-1}}{l} + \varepsilon_1 = a \left(\frac{T_{i-1,k} - 2T_{i,k} + T_{i+1,k}}{h^2} + \varepsilon_2 \right), \quad (2.7)$$

$$T_{i,k+1} = \left(1 - \frac{2la}{h^2} \right) T_{i,k} + \frac{la}{h^2} (T_{i-1,k} - T_{i+1,k}) + lR, \quad (2.8)$$

где $R = a\varepsilon_2 - \varepsilon_1$;

Отбрасывая в (2.8) остаточный член lR , получаем разностное уравнение:

$$\mathcal{G}_{i,k+1} = \left(1 - \frac{2la}{h^2}\right) \mathcal{G}_{i,k} + \frac{la}{h^2} (\mathcal{G}_{i-1,k} + \mathcal{G}_{i+1,k}), \quad (2.9)$$

в котором через $\mathcal{G}_{i,k}$ обозначено приближенное значение величины $T_{i,k}$ в том же узле (ih, kl) .

Формула (2.9) позволяет вычислять значения \mathcal{G} в узлах горизонтального ряда $(k+1)$ по значениям \mathcal{G} , находящимся только в одном предшествующем ряду (k) . Поэтому с помощью формулы (2.9) можно найти значения \mathcal{G} в узлах первого горизонтального ряда (при $\tau = l$) по известным из краевых условий значениям температуры в узлах самой оси Ox при $(\tau = 0)$. Таким образом, получив значения \mathcal{G} в первом ряду, по той же формуле находим значения в узлах второго горизонтального ряда, т.е. при $\tau = 2l$.

Этот процесс построения можно продолжать как угодно далеко, так как значения температуры в узлах прямых $x = 0$ и $x = L$ будут известны из граничных условий.

2.1. Математическая постановка задачи

Коэффициент теплопроводности образцов в форме пластины определяется с помощью решения одномерной нестационарной задачи описанной в [2].

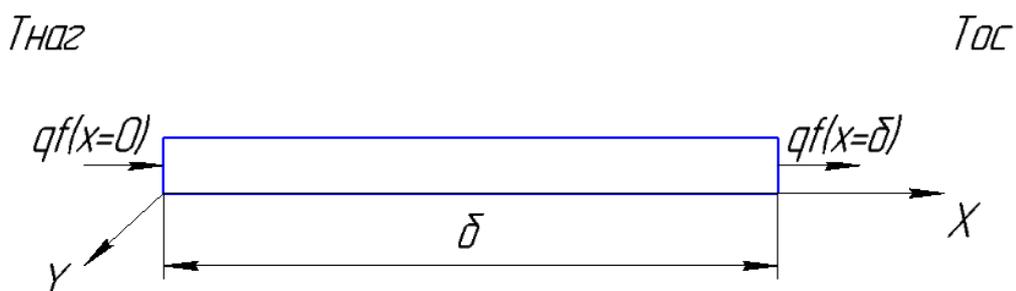


Рисунок 5 - Образец в форме пластины в одномерной постановке задачи

Рассмотрим образец в форме ограниченной пластины с размерами L (размер пластины вдоль оси Y настолько мал, что им пренебрегаем). На левой границе образец нагревается тепловым потоком, падающим от нагревателя с постоянной температурой $T_{наг}$. (рис. 5). Образец расположен внутри вакуумной камеры, стенки которой имеют постоянную температуру окружающей среды T_{oc} и зачернены.

Тогда математическая постановка квазиобратной коэффициентной одномерной нестационарной задачи теплопроводности для прямоугольной пластины примет вид:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (2.1.1)$$

с начальным условием

$$\tau = 0: T(x, 0) = T_0 = const, \quad (2.1.2)$$

и граничными условиями

$$x = 0: \varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{наг}^4 - T_{x=0}^4) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (2.1.3)$$

$$x = \delta: -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) = \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{x=0}^4 - T_{oc}^4), \quad (2.1.4)$$

где $T(x)$ – температура тела; δ – размер образца вдоль координаты X ; σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана; λ – коэффициент теплопроводности; ε – степень черноты; T_{oc} – температура окружающей среды; $T_{наг}$ – температура, исходящая от нагревателя;

Получить аналитическое решение задачи из-за нелинейности в уравнении теплопроводности и граничных условий 2-го рода, является невозможным. Это значит, что для решения задачи необходимо использование численных методов, позволяющих получить приближенные значения. В данной работе был выбран метод конечных разностей.

2.2. Составление конечно-разностных уравнений аппроксимаций

Суть метода конечных разностей состоит в решении краевых задач, которые составлены при замене производных в дифференциальном уравнении путем разложения в ряд Тейлора искомой функции в окрестности каждой узловой точки.

Для решения полученной нелинейной системы конечно-разностных уравнений воспользуемся итерационным методом последовательной верхней релаксации или ускоренным методом Либмана [4]. Данный метод использует линейную экстраполяцию по результатам двух последовательных смещений.

Тогда аппроксимация конечно-разностных уравнений (2.1.1) - (2.1.4) примет вид:

$$\frac{T[i]^{k+1} - T[i]^k}{\Delta \tau} = a \frac{T[i+1]^k - 2T[i]^k + T[i-1]^k}{\Delta x^2}, \quad (2.2.1)$$

$$T[i]^{k+1} - T[i]^k = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} (T[i+1]^k - 2T[i]^k + T[i-1]^k), \quad (2.2.2)$$

$$T[i]^{k+1} = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T[i+1]^k + \left(1 - \frac{2a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2}\right) \cdot T[i]^k + \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \cdot T[i-1]^k, \quad (2.2.3)$$

$$T[i]^{k+1} = C1 \cdot T[i+1]^k + C2 \cdot T[i]^k + C3 \cdot T[i-1]^k. \quad (2.2.4)$$

При $x=0$:

$$\varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{наз}^4 - T[1]^4) = -\lambda \frac{(T[2] - T[1])}{\Delta x}, \quad (2.2.5)$$

$$\varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{наз}^4 - T[1]^4) + \lambda \frac{(T[2] - T[1])}{\Delta x} = 0. \quad (2.2.6)$$

При $x=\delta$:

$$\varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T[Nx]^4 - T_{OC}^4) = -\lambda \frac{(T[Nx] - T[Nx-1])}{\Delta x}, \quad (2.2.7)$$

$$\varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T[Nx]^4 - T_{OC}^4) + \lambda \frac{(T[Nx] - T[Nx-1])}{\Delta x} = 0, \quad (2.2.8)$$

где i, k – точки в пространственной сетке; $T_{i,k}$ – температура в узлах пространственной сетки; Δx – шаг сеточной области; Nx – количество узлов сеточной области в направлении оси X ; q_f – плотностной тепловой поток, нагревающий образец;

Реализацию итерационного метода выразим из уравнений (2.2.1)-(2.2.8) искомые температуры и осуществим их преобразование по формулам Ньютона – Рафсона:

При $x=0$:

$$T[1]^{m+1} = T[1]^m - \frac{f(T[1]^m)}{f'(T[1]^m)}, \quad (2.2.9)$$

$$T[1]^{m+1} = T[1]^m + \frac{\varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{наг}^4 - T[1]^4) + \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T[2] - T[1])}{4 \cdot \varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot T[1]^3 + \frac{\lambda}{\Delta x}}, \quad (2.2.10)$$

При $x=\delta$:

$$T[Nx]^{m+1} = T[Nx]^m - \frac{f(T[Nx]^m)}{f'(T[Nx]^m)}, \quad (2.2.11)$$

$$T[Nx]^{m+1} = T[Nx]^m - \frac{\varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T[Nx]^4 - T_{OC}^4) + \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T[Nx] - T[Nx-1])}{4 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot T[Nx]^3 + \frac{\lambda}{\Delta x}}, \quad (2.2.12)$$

где m – номер итерации; $T^{m+1}(i, k)$ – новое значение температуры, рассчитанное данным методом; $f(T^{m+1})$ и $f(T^m)$ – функции изменения температуры в узловой точке; $f'(T^{m+1})$ и $f'(T^m)$ – производные функции изменения температуры в узловой точке.

Обязательно соблюдение интегрального теплового баланса – идентичность тепловых потоков поступающих и уходящих с поверхностей образца.

$$q_{f(x=0)} = \varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{НАГ}^4 - T_{x=0}^4), \quad (2.2.13)$$

$$q_{f(x=\delta)} = \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T_{x=\delta}^4 - T_{oc}^4), \quad (2.2.14)$$

где $q_{f(x=0)}$, $q_{f(x=\delta)}$ – входящий и исходящий тепловые потоки.

7. 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.

Метод сетевого планирования и управления предназначен для разработки исходного плана реализации комплекса работ и принятия эффективных решений в процессе выполнения плана. Применение сетевого планирования и управления позволяет повысить качество и эффективность управления сложными комплексами работ, сократить сроки их выполнения и требуемые ресурсы.

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:

1. График должен иметь только одно начальное событие (исток) и только одно конечное событие (сток);
2. Ни одно событие не может произойти до тех пор, пока не будут закончены все входящие в него работы;

3. Ни одна работа, выходящая из какого-либо события, не может начаться до тех пор, пока не произойдет данное событие;
4. График должен быть упорядоченным. [8]

Перечень работ, необходимых для выполнения данного дипломного проекта:

- 0 – Выдача задания НИР;
- 1- Обзор литературы
- 2- Изучение методов теплопроводности
- 3- Выбор метода
- 4- Математическая постановка задачи
- 5- Решение поставленной одномерной задачи теплопроводности
- 6- Написание блок-схемы решения задачи
- 7- Написание компьютерной программы
- 8- Проверка программы
- 9- Отладка программы
- 10- Имитационное моделирование
- 11- Обработка результатов моделирования
- 12- Анализ информации по ЭУ
- 13- Изучение предоставленных установок
- 14- Выбор установки
- 15- Разработка чертежа установки
- 16- Организация рабочей зоны
- 17- Транспортировка ЭУ на рабочее место
- 18- Проведение эксперимента
- 19- Анализ полученных результатов, проверка
- 20- Оформление результатов ИМ, формирование выводов
- 21- Оформление основной части ВКР
- 22- Написание раздела «Социальная ответственность»
- 23- Анализ полученного задания
- 24- Сбор информации, проведение необходимых расчетов

- 25- Оформление раздела «Социальная ответственность»
- 26- Написание раздела «Экономика»
- 27- Разработка сетевого и линейного графиков
- 28- Расчеты и составление сметы
- 29- Оформление раздела
- 30- Написание раздела «АСУ»
- 31- Выбор оборудования регулирования
- 32- Структурная схема
- 33- Оформление раздела
- 34- Проверка разделов
- 35- Устранение недочетов
- 36- Оформление дополнительной части ПЗ ВКР
- 37- Заключение
- 38- Окончательное оформление ПЗ ВКР

В таблице 3, расположенной ниже, представлены списки работ, выполняемых в ходе данного дипломного проекта.

Таблица 3 - Список работ

Шифр работы	Наименование работ	Количество работников, n_{ij} , чел.	Длительность работы t_{ij} , сут.
0-1	Получение задания	руководитель, инженер	1
1-2	Обзор литературы	инженер	12
2-3	Изучение методов определения теплопроводности	инженер	5
3-4	Выбор метода	инженер	2
4-5	Математическая постановка задачи	руководитель, инженер	2
5-6	Решение поставленной одномерной задачи теплопроводности	инженер	4
6-7	Написание блок-схемы решения задачи	Инженер	4

Продолжение таблицы 3

7-8	Написание программного обеспечения	руководитель, инженер	7
8-9	Проверка программы	руководитель, инженер	2
6-9	Отладка программы	инженер	11
9-10	Проведение имитационного моделирования	инженер	5
10-11	Обработка результатов ИМ	инженер	2
11-20	Анализ результатов ИМ	инженер	1
20-21	Оформление основной части ПЗ ВКР	инженер	4
21-22	Написание раздела «Социальная ответственность»	инженер	11
22-23	Анализ полученного задания	инженер	1
23-24	Сбор информации, проведение необходимых расчетов	инженер	6
24-25	Оформление раздела «Социальная ответственность»	инженер	6
25-34	Проверка раздела «Социальная ответственность»	руководитель	8
2-12	Анализ информации по ЭУ	Лаборант инженер	12
12-13	Изучение предоставленных установок	инженер	3
13-14	Выбор установки	инженер	2
14-16	Организация рабочей зоны	инженер, лаборант	2
16-17	Транспортировка ЭУ на рабочее место	инженер, лаборант	2
17-18	Проведение эксперимента	инженер, лаборант	4
18-19	Анализ полученных результатов, проверка	руководитель, инженер	5
19-20	Формирование выводов	инженер	4

Продолжение таблицы 3

21-26	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	инженер	18
26-27	Разработка СГ и ЛГ	инженер	5
27-28	Проведение необходимых расчетов, составление сметы	инженер	2
28-29	Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	инженер	3
29-34	Проверка раздела преподавателем	руководитель	4
14-15	Разработка чертежа установки	инженер	15
15-30	Написание раздела «АСУ»	инженер	9
30-31	Выбор элемента регулирования	Руководитель, инженер, лаборант	3
31-32	Разработка структурной схемы	инженер	3
32-33	Оформление раздела «АСУ»	инженер	4
33-35	Проверка раздела	руководитель, инженер	5
35-36	Оформление дополнительной части ПЗ ВКР	инженер	14
34-36	Оформление дополнительной части ПЗ ВКР	инженер	4
36-37	Заключение	инженер	3
37-38	Окончательное оформление ПЗ ВКР	инженер	5

7.1. Характеристики 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:

$$R_{ij} = t_{ij}^{no} - t_{ij}^{nn} = t_{ij}^{po} - t_{ij}^{pn}, \quad (7.1.1)$$

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}^{pn}	t_{ij}^{po}	t_{ij}^{nn}	t_{ij}^{no}	R_{ij}
0-1	0	1	0	1	0
1-2	1	13	1	13	0
2-3	13	18	13	18	0
3-4	18	20	18	20	0
4-5	20	22	20	22	0
5-6	22	26	22	26	0
6-7	26	30	26	30	0
7-8	30	37	30	37	0
8-9	37	39	37	39	0
6-9	26	37	26	37	0

Продолжение таблицы 4

9-10	37	39	39	44	2
10-11	44	46	44	46	0
11-20	46	47	46	47	0
20-21	47	51	47	51	0
21-22	51	62	51	62	0
22-23	62	63	62	63	0
23-24	63	69	63	69	0
24-25	69	75	69	75	0
25-34	75	83	75	83	0
2-12	13	25	13	25	0
12-13	25	28	25	28	0
13-14	28	30	28	30	0
14-16	30	32	30	32	0
16-17	32	34	32	34	0
17-18	34	38	34	38	0
18-19	38	43	38	43	0
19-20	43	47	43	47	0
21-26	51	69	51	69	0
26-27	69	74	69	74	0

Продолжение таблицы 4

27-28	74	76	74	76	0
28-29	76	79	76	79	0
29-34	79	83	79	83	0
14-15	30	45	30	45	0
15-30	45	54	45	54	0
30-31	54	57	54	57	0
31-32	57	60	57	60	0
32-33	60	64	60	64	0
33-35	64	69	64	69	0
35-36	69	83	69	83	0
34-36	83	87	83	87	0
36-37	83	90	87	90	4
37-38	90	95	90	95	0

7.2. Анализ сетевого графика

Заполнив сетевой график, определим критический путь (наиболее продолжительный): 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-20, 20-21, 21-26, 26-27, 27-28, 28-29, 29-34, 34-36, 36-37, 37-38.

Таким образом, для выполнения всех работ проекта потребуется 95 дней.

По данным таблицы 3 строим сетевой и линейный графики работ, которые представлены на демонстрационном листе ФЮРА.693100.004 ТЗ.

Сложность сетевого графика оценивается коэффициентом сложности, который определяется по формуле:

$$K_{сл} = \frac{n_{раб}}{n_{соб}}, \quad (7.2.1)$$

где $n_{раб}$ - количество работ; $n_{соб}$ - количество событий.

Сетевые графики, имеющие коэффициент сложности от 1,0 до 1,5, являются простыми, от 1,51 до 2,0 – средней сложности, более 2,1 – сложными.

$$K_{сл} = \frac{42}{28} = 1,5. \quad (7.2.2)$$

Согласно формуле (7.2.2) получаем

Поскольку $K_{сл} < 1,5$, то сетевой график является простым.

7.3. Составление сметы расходов на выполнение договора

В осуществлении работ по данному договору было задействовано 3 человека: руководитель проекта - доцент кафедры АТЭС, ассистент и инженер.

Оклад доцента составляет 27 500 рублей в месяц, инженера – 30 000, а оклад ассистента - 17 500 рублей в месяц. Все работы согласно договору были выполнены в течение 95 рабочих дней или 4 месяцев и 20 дней с учетом 6 дневной рабочей недели и праздников.

Исходя из этого заработная плата каждого работника:

$$ЗП_{ин} = 30000 \cdot 4 + \frac{30000 \cdot 20}{31} = 139355 \text{ руб.}, \quad (7.3.1)$$

$$ЗП_{доц} = 27500 \cdot 4 + \frac{27500 \cdot 20}{31} = 127742 \text{ руб.}, \quad (7.3.2)$$

$$ЗП_{ac} = 17500 \cdot 4 + \frac{17500 \cdot 20}{31} = 81200 \text{ руб.} \quad (7.3.3)$$

В итоге фонд заработной платы составил:

$$ЗП = ЗП_{доц} + ЗП_{инж} + ЗП_{ac} = 127742 + 139355 + 81200 = 348297 \text{ руб.} \quad (7.3.4)$$

Начисления на выплаты по оплате труда равны:

$$ВнФ = (ФСС + ПФР + ФФОМС) \cdot ЗП = 0,3 \cdot 348297 = 104489 \text{ руб.}, \quad (7.3.5)$$

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

ПФР = 22% - выплаты в фонд пенсионного страхования;

ФФОМС = 5,1% - выплаты в фонд обязательного медицинского страхования.

Таблица 5 – Стоимость закупаемых расходных материалов

Наименование расходного материала	Кол-во	Цена	Стоимость
Принтер «Brother»	1	20 000	20 000
Бумага для принтера А4 «Снегурочка»	1	220	220
Картридж для принтера «Brother»	4	1000	4000
Ручка	10	30	300
Карандаш	10	25	250
Листы А1	100	25	250
Ластик	10	10	100
Корректор	2	50	100
Батарейки для компьютерной мыши	4	100	400
Тетрадь для расчетов	5	30	150
Папка для бумаг	10	40	400
Мультифора	100	2	200
Итого:			26370

Таблица 6– Стоимость оборудования и материалов установки

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб./шт.	Стоимость, руб.
Лампа ДКСР - 10000	1	28000	28000
Компрессор	1	6855	6855
Насос механический пластинчато-роторный типа ЗНВР-1	2	900	1800
Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3	1	704	704
Милливольтметр типа В2-36	1	812	812
Источник питания типа ВСА-5А	1	1235	1235

Продолжение таблицы 6

Шланг ½ 10 м	1	403	403
Фланцы	4	1473	5892
Труба из нержавеющей стали	1	326	326
Преобразователь универсальный	1	2 300	2 300
Хомуты для шлангов 15-24/12	20	38,94	779
Вентиль (на воду)	3	75	225
Корпус вакуумной камеры	1	250	250
Трубка из кварцевого стекла	1	10	10
Тепловые экраны (фольга)	4	2	8
Кожух печи	1	15	15
Проводники термопар, 6м	1	10	10
Нить нагрева (вольфрам), 5м	1	12	12
Прочее	-	-	10000
Итого			59 636

Накладные расходы примем в размере 10% от основных средств. На услуги связи выделим 300 рублей в месяц на 1 человека или 4500 руб.

Таблица 7 – Смета на выполнение работ

Наименование статей расходов	Всего, руб.
Оплата труда	348 297
Начисления на выплаты по оплате труда	104 489
Оплата услуг связи	4 500
Увеличение стоимости основных средств	26 370
Увеличение стоимости материальных запасов	59 636
Арендная плата за пользование имуществом	0
Итого прямые расходы	526 922
Накладные расходы	5 963,6
Итого без НДС	532 885
НДС	96 356
Итого с НДС	645 611