

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

Институт: Электронного обучения  
 Специальность: 140404 Атомные электрические станции и установки  
 Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ</b>

УДК 621.472.006.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>3-6101</b>	<b>Дерусов Андрей Игоревич</b>		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Ст. преподаватель ка- федры АТЭС</b>	<b>М.А.Вагнер</b>	<b>-</b>		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2017 г.

					<b>ФЮРА.693470.001 ПЗ</b>			Лист
							1	
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				

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

---

Институт Электронного обучения  
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:

<b>дипломной работы</b> (бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
<b>3-6101</b>	<b>Дерусову Андрею Игоревичу</b>

Тема работы:

<b>Исследование характеристик оптических печей</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**20 января 2017 года**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

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

Объектами исследования являются лабораторные установки малой мощности – оптические печи. Режим работы непрерывный. Способ нагрева – лучистый поток, не оказывающий влияния на окружающую среду. Так же в работе описана теория метода и изложены результаты проведённых исследований.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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"> <li>1. Обзор методов исследования теплового потока</li> <li>2. Постановка математической задачи метода исследования</li> <li>3. Разработка принципиальной схемы установки</li> <li>4. Расчёт ключевых элементов установки</li> <li>5. Проектирование лабораторной установки</li> <li>6. Результаты исследования</li> <li>7. Заключение</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная схема высокотемпературной установки для определения плотности теплового потока, сборочный чертёж вакуумной камеры, компоновочный чертёж установки для определения плотности теплового потока, чертёж сборочной единицы вакуумной камеры.</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент</b></p>	<p><b>Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента</b></p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p><b>Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</b></p>
<p><b>Автоматизация технологических процессов</b></p>	<p><b>Андык В.С., доцент кафедры автоматизации технологических процессов</b></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p><b>10 июня 2016 года</b></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>		<p><b>10.06.16</b></p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-6101</p>	<p>Дерусов Андрей Игоревич</p>		<p><b>10.06.16</b></p>

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-6101	Дерусову Андрею Игоревичу

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.04.04 Атомные станции и установки

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

- 1. График проведения и бюджет НИ*
- 2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.10.16
---	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сергейчик С. И.	к.т.н.		10.10.16

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Дерусов А.И.		10.10.16

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-6101	Дерусову Андрею Игоревичу

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АТЭС</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Специалист</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>14.04.04 Атомные станции и установки</b>

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

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

1. Оптические печи

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

**1. Производственная безопасность**

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

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

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

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

**1. Производственная безопасность**

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

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

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

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

**2. Экологическая безопасность:**

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу

**2. Экологическая безопасность:**

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на

(выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.10.16
--	----------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-6101	Дерусов Андрей Игоревич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 84 страниц, 16 рисунков, 18 таблиц, 21 источника и 2 приложений.

Ключевые слова: высокотемпературные оптические печи, мощность теплового потока, характеристики оптических печей.

Объектом исследования являются экспериментальные лабораторные установки для исследования теплопроводности непрозрачных материалов, оптические высокотемпературные печи.

Целью проекта является исследование и сравнение характеристик оптических печей разных видов, а также усовершенствование экспериментальной лабораторной установки.

В процессе выполнения проекта были исследованы характеристики трёх высокотемпературных оптических печей, усовершенствована вакуумная камера путем разработки и установки в вакуумную полость механизма для перемещения образца, а также датчика для измерения мощности теплового потока. Так же в вакуумную полость был установлен световод, который предназначен для выравнивания светового потока. Разработан и изготовлен координатный столик с экспоненциальным датчиком теплового потока. Рассмотрены вопросы пожарной, производственной и электробезопасности при выполнении работ на установке.

Особенностью конструкции данной установки является наличие световода в вакуумной полости, позволяющего выравнивать тепловой поток в каждой точке фокального пятна, а также координатного механизма, позволяющего регулировать положение датчика и образца в пространстве.

Область применения данного устройства: научно-техническая деятельность, атомная и авиакосмическая промышленность.

Экономическая эффективность лабораторной установки заключается в её низкой себестоимости по сравнению с аналогами.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

**Плотность теплового потока** - количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности,  $Вт/м^2$ .

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

**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  $\varepsilon = 1$ .

**Коэффициент теплопроводности** - коэффициент учитывающий количество теплоты, проходящее через однородный образец материала единичной длины и единичной площади за единицу времени при единичной разнице температур,  $Вт/м \cdot К$ .

**Удельная теплоёмкость** - физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать единичной массе данного вещества для того, чтобы его температура изменилась на единицу,  $кДж/кг \cdot К$ .

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1. Методы измерения теплового потока.....	13
1.2. Виды высокотемпературных оптических печей.....	14
1.3. Виды датчиков для измерения теплового потока.....	16
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	21
2.1. Конструкции и характеристики оптических печей.....	21
2.2. Методы исследования характеристик оптических печей.....	21
3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА.....	21
3.1. Принципиальная схема экспериментальной установки для измерения мощности теплового потока.....	21
4. КОСТРУИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ.....	21
5. РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ.....	21
5.1. Расчёт экспоненциального датчика.....	21
5.2. Расчёт стенки вакуумной камеры на прочность.....	21
5.3. Время откачки до глубокого вакуума из камеры.....	21
6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	21
6.1. Расчёт скорости изменения температур для моноэллипсоидной печи типа «УРАН - 1».....	21
6.2. Расчёт значений плотности теплового потока для моноэллипсоидной печи типа «УРАН - 1».....	21
6.3. Расчёт погрешности измерений.....	21
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	22
7.1. Характеристики сетевого графика.....	24
7.2. Анализ сетевого графика.....	28
7.3. Составление сметы расходов на выполнение договора.....	28
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	31
8.1. Производственная безопасность.....	31

8.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	31
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	31
9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ .....	31
9.1. Описание объекта регулирования.....	31
9.2. Структурная схема автоматического регулирования.....	31
9.3. Функциональная схема управления.....	31
9.4. Выбор технических средств АСР.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	31
Графический материал:	
ФЮРА.693470.002 СБ. Вакуумная камера. Сборочный чертёж.	
ФЮРА.693470.003 СЗ. Принципиальная схема установки.	
ФЮРА.693470.004 МЧ. Оптическая печь малой мощности «УРАН -1».	
Компоновочный чертёж.	
ФЮРА.693470.005.С2. Функциональная схема автоматического управления оптической печи.	
ФЮРА.693470.006. Световод в сборе.	
Результаты исследований. Демонстрационный лист.	

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие атомной промышленности неразрывно связано с обеспечением прочности и надёжности эксплуатируемых конструкций в широком спектре рабочих температур - от низких до предельно высоких. В связи с этим, исследование изменения характеристик различных материалов и конструкций в ответ на высокоинтенсивное воздействие тепловых потоков играет важную роль при проектировании и строительстве атомных станций, а также при анализе и прогнозировании возможных последствий аварий, сопровождающихся высокоэнергетическим воздействием на окружающую среду.

При горении различных веществ органического и неорганического происхождения в окружающую среду передается значительное количество энергии, т.к. температура пламени при сгорании органических соединений достигает 1300...2500 К, а при горении металлов 3000...3500 К. Таким образом, проблемы радиационного теплопереноса и воздействия излучения на конструкционные материалы имеют исключительно важное практическое значение при оценке огнестойкости конструкций, а также при разработке методов огне- и теплозащиты технических средств, работоспособность которых должна сохраняться и в экстремальных условиях.

В связи с этим, вопрос исследования характеристик высокотемпературных оптических печей, широко используемых в атомной и авиакосмической промышленности, безусловно является актуальным.

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Методы измерения тепловых потоков разделяют на прямые и косвенные. В первом случае регистрируемый сигнал связан с тепловым потоком пропорциональной зависимостью. В косвенных методах регистрируемые величины связаны с тепловым потоком функциональными зависимостями. В общем случае, определение тепловых потоков сводится к обращению операторов и относится к области решения граничных обратных задач теплопроводности (ОЗТ).

В теплофизических исследованиях широкое распространение находят методы, основанные на решениях ОЗТ. Эти методы применяют при исследованиях процессов сопряженного теплообмена, теплообмена излучением, процессов термического разрушения теплозащитных материалов при высокоинтенсивном нагреве и др. Важное достоинство методов ОЗТ - возможность создания на их основе малогабаритных датчиков, конструктивно оформленных как элементы исследуемой системы, что позволяет контролировать локальные значения теплового потока непосредственно в условиях натурального нагрева.

Обычно в качестве исходных данных, при определении теплового потока посредством решения ОЗТ, используют зависимости локальных температур в калориметрическом элементе от времени. Таким образом, плотность теплового потока является важнейшим параметром, определяющим тепловое состояние объекта испытаний.

Поскольку измеренный поток излучения (поток к калориметру) содержит частичное отражение падающего излучения и собственное излучение чувствительного (калориметрического, тепловоспринимающего) элемента, то для него справедливо соотношение:

$$q_{рез} = A_n q_{над} - \varepsilon_n \sigma_\epsilon T_n^4, \quad (1.1)$$

где  $A_n$  и  $\varepsilon_n$  - поглощательная и излучательная способности калориметрического элемента;  $q_{над}$  - плотность потока падающего излучения;

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

$\sigma_e$  – постоянная Больцмана;  $T_n$  – температура поверхности. Если измерения проводят в условиях, когда температура поверхности калориметрического элемента невысока, то излучением с поверхности можно пренебречь, т. е.

$$q_{рез} = A_n q_{над}.$$

Известно, что поглощательная способность сильно зависит от материала, обработки поверхности, температуры и спектральных свойств поверхности тепловоспринимающего элемента, а также спектрального состава падающего излучения. Поэтому для улучшения метрологических характеристик датчиков потока излучения на поверхность наносят покрытие, полученное осаждением образующейся при горении органических веществ сажи. [1]

### 1.1. Методы измерения теплового потока

*Метод идентификация теплового потока по измерениям температуры в одной точке* [1].

Математическая модель метода решения обратных задач теплопроводности, описанного в [8], предполагает одномерный теплоперенос в калориметрическом элементе. Соответствующая краевая задача (начало системы координат совмещено с тыльной теплоизолированной поверхностью калориметрического элемента) имеет вид:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (1.2)$$

$$t = 0, \quad T(x; t) = 0, \quad 0 \leq x \leq h,$$

$$x = h, \quad q_{рез}(t) = \lambda \frac{\partial T}{\partial x},$$

$$x = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0,$$

где  $h$  – толщина калориметрического элемента;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности нагреваемого материала;  $c_p$  – удельная теплоёмкость при постоянном давлении;  $\rho$  – давление.

После интегрирования уравнения теплопроводности с учетом краевых задач, авторы предлагают выражение для получения результирующего

значения мощности теплового потока, которое имеет вид:

$$q_{рез}(t) = \rho \left[ (c_0 + c_1 T_0) \left( T'_0 + \frac{1}{3} h^2 b' \right) h + h^3 b c_1 \left( \frac{1}{3} T'_0 + \frac{1}{5} b' h^2 \right) \right]. \quad (1.3)$$

Таким образом, измерив температуру на тыльной поверхности калориметрического элемента, можно по формуле (1.3) определить нестационарный тепловой поток.

*Метод идентификация теплового потока по измерениям температуры в двух точках.*

Если температуры измеряют в двух точках калориметрического элемента, то для определения теплового потока можно воспользоваться результатами работы [8]. Зная законы изменения избыточной температуры в точках с координатами  $x = x_1$  и  $x = x_2$ , отсчитываемыми от нагреваемой поверхности, плотность теплового потока можно вычислить по формуле:

$$q_{рез}(t) = \lambda_0 \left[ \frac{\psi_1(t) - \psi_2(t)}{(1 - \beta)x_2} + \Phi_1(t) + \Phi_2(t) \right], \quad (1.4)$$

где  $\psi_1(t)$  и  $\psi_2(t)$  – изменения избыточной температуры в точках  $x = x_1$  и  $x = x_2$ .

Описанные выше методы учитывают градиент температур в датчике в процессе измерения величины падающего теплового потока, однако, эти изменения являются незначительными по сравнению с измеряемыми величинами. В связи с этим нами было принято решение об упрощении задач исследования путем пренебрежения перепадом температур на поверхности датчика и его тыльной стороны, что приведено в результатах данной работы.

## **1.2. Виды высокотемпературных оптических печей**

Первым источником нагрева, который был применен в оптических нагревательных системах, было солнце. И в 1921 г. была построена первая современная солнечная печь. Однако работа солнечных печей в значительной степени зависит от климатических условий и погоды.

Необходимость получения высокоинтенсивных и стабильных во времени

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

лучистых потоков привела к идее создать высокотемпературные печи близкие по характеристикам к солнечным. Поэтому в оптических печах всё более широкое применение нашли различные высокотемпературные искусственные источники, спектр которых достаточно близок к солнечному.

Первыми установками радиационного нагрева, в которых в качестве источников излучения применяли искусственные излучатели, были установки с лампами накаливания, нихромовыми спиралями и графитовыми нагревательными элементами, использованные для сушки материалов инфракрасными лучами. Эти установки обеспечивают нагрев образцов до 150 - 250 °С.

Виды оптических печей:

- Оптические печи с лампами накаливания.

Позволяют получать температуру в фокальном пятне 1000 - 1500 °С.

- Оптическая печь с графитовым нагревательным элементом.

Обеспечивает нагрев материалов до 1700 °С и применяется для плавки стали, испытание высокотемпературных термопар и др. Излучателем является графитовый элемент в виде полусферической чаши. Он разрезан так, что продольные прорезы в графите позволяют получать длину нагревателя равную двум метрам при сечении 1 см<sup>3</sup>.

- Оптические печи с дуговой лампой высокой интенсивности.

Применение дуговой лампы высокой интенсивности в качестве источника лучистой энергии позволило создать установки с различными по мощности лучистыми потоками.

- Оптические печи с газоразрядными источниками излучения.

Применение ксеноновых ламп в качестве источника излучения в оптических печах позволило устранить большинство недостатков, присущих установкам с дуговыми лампами высокой интенсивности. Оптические печи с ксеноновыми лампами сверхвысокого давления в которой создается температура нагрева 1500 - 2000 °С, в ней не выделяются газы, загрязняющие

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

загрязняющие окружающую среду, это объясняется тем, что дуговой разряд происходит в герметичном баллоне.

Все оптические печи, как правило, оборудованы камерой для помещения в нее испытуемого образца, в которой осуществляется нагрев или термическая обработка материалов при высоких температурах в условиях вакуума или какой-либо контролируемой среды.

### 1.3. Виды датчиков для измерения теплового потока

#### *Экспоненциальный датчик.*

Методика измерений датчиком этого типа основана на регулярном тепловом режиме второго рода [7], устанавливаемом в нагреваемой постоянным тепловым потоком пластине.

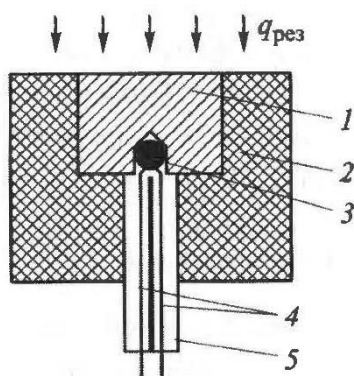


Рисунок 1.1 - Экспоненциальный датчик [1]

где 1 – калориметрический элемент; 2 – теплоизолирующая трубка; 3 – спай термопары; 4 – электроды; 5 – двухканальная электрическая трубка.

Экспоненциальный датчик представляет собой чувствительный элемент с заделанной в него термопарой 3, помещенный в теплоизолирующую втулку 2. Особых требований к местоположению термопары не предъявляют, если только она не искажает температурное поле вследствие тепло оттока по термоэлектродам 4. В этом смысле целесообразнее применять термопару с наименьшим диаметром термоэлектродов и крепить ее к тыльной поверхности чувствительного элемента 1. Чувствительный элемент обычно изготавливают из меди или графита. Простота конструктивного исполнения и малые габаритные размеры экспоненциального датчика способствуют его широкому распространению в практике теплофизических исследований.



На основе такого датчика были разработаны калориметрические панели, позволившие измерить поля излучения блоков радиационных нагревателей на большой поверхности.

*Асимптотический датчик теплового потока.*

Широкое распространение в теплофизических исследованиях получил асимптотический датчик теплового потока Гордона. Важное преимущество: малая инерционность (около 0,1 с), широкий диапазон измеряемых тепловых потоков, высокая чувствительность и непосредственное преобразование теплового потока в регистрируемый сигнал. Однако необходимость использования проточного холодильника приводит к увеличению габаритных размеров измерительного блока (типичный размер составляет 30 ... 40 мм).

Конструктивно датчик представляет собой массивный медный блок 3 с круглым отверстием, закрытым константановой фольгой 2, выполняющей роль чувствительного элемента, внешняя (тепловоспринимающая) поверхность которого покрыта тонким слоем хромоникелевой шпинели с интегральной поглощательной способностью 0,9.

Константановая фольга прижата к медному блоку втулкой 1, припаянной к нему после запрессовки. ТермоЭДС горячего спая термопары, образованной константанов фольгой и приваренным в центре константанового диска медным электродом 4 диаметром 0,2 мм, по проводникам 8 передается на регистрирующий прибор.

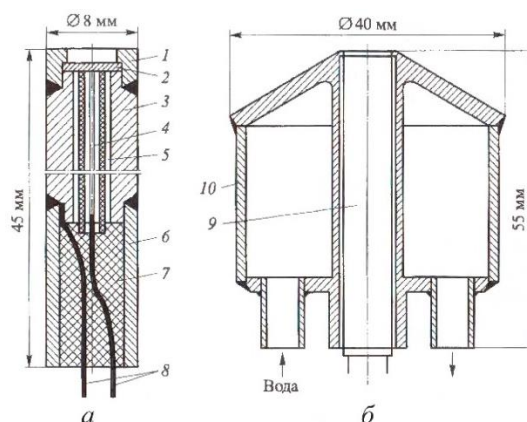


Рисунок 1.2 - Асимптотический датчик [1]

где 1 – втулка; 2 – константановая фольга; 3 – медный блок; 4 – электрод; 5 – керамический изолятор; 6 – корпус; 7 – эпоксидная смола; 8 – проводники; 9 – датчик; 10 – холодильник.

Электрод 4 изолирован от медного блока 3 керамическим изолятором 5. Медный блок припаян к корпусу 6, во внутренней полости которого эпоксидной смолой 7 закреплены проводники 8. В рабочем состоянии датчик 9 помещен в холодильник 10, охлаждаемый проточной водой. Принцип работы датчика Гордона основан на зависимости подводимого к чувствительному элементу теплового потока от разности температур между центром чувствительного элемента и его периферией, которая измеряется дифференциальной термопарой, составленной из медного электрода 4, константановой фольги 2 и медного охлаждаемого блока 3. Благодаря тому, что масса константановой фольги значительно меньше массы медного блока, стационарное термоэлектрическое состояние датчика устанавливается достаточно быстро, что позволяет весьма просто измерять нестационарные тепловые потоки.

Датчики этого типа выпускаются промышленностью. Для некоторых практических приложений были разработаны и изготовлены датчики этого типа для измерения тепловых потоков плотностью до  $5 \text{ МВт/м}^2$  [180].

#### *Водоохлаждаемый радиометр.*

Для измерения мощных тепловых потоков ( $3 \text{ МВт/м}^2$  и более) в течение длительного времени воздействия может быть использован водоохлаждаемый радиометр. Металлический блок, выполняющий функции калориметрического элемента 1 теплоизолированный по боковой поверхности, с одного торца подвергают облучению, а с другого - охлаждают проточной водой.

В стационарном режиме нагрева в блоке устанавливается распределение температуры, измерение которой термопарами 2 в двух сечениях калориметрического элемента позволяет определить градиент температуры, а следовательно, и падающий тепловой поток.

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

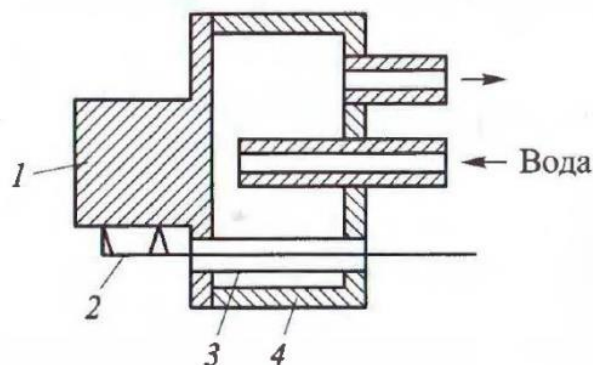


Рисунок 1.3 - Водоохлаждаемый радиометр [1]

где 1 – металлический блок (калориметрический элемент); 2 – термопара; 3 – канал для термоэлектродов; 4 – корпус.

Точность измерения тепловых потоков датчиками рассматриваемого типа зависит от ряда факторов: качества теплоизоляции боковой поверхности; точности определения координат установки термопар; достоверности данных о коэффициенте теплопроводности материала приемного блока.

При комплексной оценке погрешность измерений теплового потока водоохлаждаемым радиометром составляет  $5 \div 10\%$ , а инерционность  $5 \div 10$  с., в зависимости от конструктивного исполнения.

*Датчики теплового потока, основанные на методах решения ОЗТ.*

Для идентификации тепловых потоков разработан ряд датчиков, базирующийся на некоторых известных методах решения ОЗТ. Типичная схема такого датчика приведена на рисунке 1.4.

Датчик представляет собой чувствительный (калориметрический) элемент 1 из металла, закрепленный в теплоизолирующей втулке 2. Температура в локальных точках калориметрического элемента измеряется термопарами 4, число которых и координаты установки зависят от используемого метода обработки данных по определению плотности потока излучения.

Датчик представляет собой чувствительный (калориметрический) элемент 1 из металла, закрепленный в теплоизолирующей втулке 2.

Температура в локальных точках калориметрического элемента измеряется термопарами 4, число которых и координаты установки зависят от используемого метода обработки данных по определению плотности потока излучения.

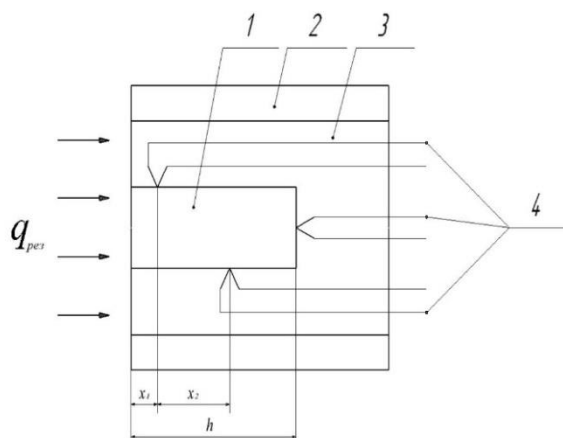


Рисунок 1.4 - Датчики теплового потока, основанные на методах решения ОЗТ где 1 – калориметрический элемент; 2 – теплоизолирующая трубка; 3 – экран; 4 – термопары.

Датчик представляет собой чувствительный (калориметрический) элемент 1 из металла, закрепленный в теплоизолирующей втулке 2. Температура в локальных точках калориметрического элемента измеряется термопарами 4, число которых и координаты установки зависят от используемого метода обработки данных по определению плотности потока излучения. Для выравнивания температурного поля по сечению калориметрического элемента служит цилиндрический экран 3, выполненный из того же материала, что и элемент.

Математическая модель предполагает одномерный теплоперенос в калориметрическом элементе.

## **2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**2.1. Конструкции и характеристики оптических печей**

**2.2. Методы исследования характеристик оптических печей**

## **3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА**

**3.1. Принципиальная схема экспериментальной установки для измерения мощности теплового потока**

## **4. КОСТРУИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ**

## **5. РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ**

**5.1. Расчёт экспоненциального датчика**

**5.2. Расчёт стенки вакуумной камеры на прочность [5]**

**5.3. Время откачки до глубокого вакуума из камеры**

## **6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**6.1. Расчёт скорости изменения температур для моноэллипсоидной печи типа «УРАН - 1»**

**6.2. Расчёт значений плотности теплового потока для моноэллипсоидной печи типа «УРАН - 1»**

**6.3. Расчёт погрешности измерений**

					ФЮРА.693470.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

## 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:

- 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.

Для создание установки необходимо выполнение следующих работ.

Таблица 7.1 – Список работ

Шифр работы	Наименование работы	Длительность работы $t_{ij}$ , сут	Кол-во работников $n_{ij}$ , чел
0-1	Формирование задачи	3	2
1-2	Подбор литературы	4	2
2-3	Изучение методов определения теплофизических свойств материалов	7	1
3-4	Аналитическое представление нахождения температуропроводности	11	1
3-5	Изучение имеющихся установок	7	2
4-7	Моделирование эксперимента на компьютере	10	2
5-6	Разработка принципиальной схемы установки	5	1
6-7	Разработка чертежей	12	1
7-8	Приобретение необходимых комплектующих	15	1
8-9	Организация рабочего места. Подготовка необходимого места для проведения исследований	7	3
9-10	Изготовление экспоненциального датчика	5	1
10-11	Изготовление координатного столика	2	1
11-12	Монтаж экспоненциального датчика	8	2
12-13	Изговление световода	5	1
13-14	Монтаж световода	2	1
11-15	Сбор вакуумной камеры	1	2
15-16	Монтаж вакуумной камеры	1	2
16-17	Подключение насоса к вакуумной камере	1	1

Продолжение таблицы 7.1

14-17	Организация водоснабжения стенда	4	1
17-18	Проверка лабораторного стенда на установленные требования электробезопасности	2	2
18-19	Проверка работы водного охлаждения	2	1
19-21	Проверка воздушного охлаждения	2	1
18-20	Подготовка коммутации	4	2
20-21	Проверка работы однофазного преобразователя мощности	1	2
21-22	Устранение недочетов	7	3
22-23	Настройка фокального пятна	5	2
23-24	Измерение плотности теплового потока	5	2
24-25	Обработка и анализ полученных данных	5	1
25-26	Написание заключения о проделанной работе	10	1

### 7.1. Характеристики сетевого графика

Ранний срок свершения события  $t_j^p$  определяется величиной наиболее длительного отрезка пути от исходного до рассматриваемого события, причем  $t^p(1) = 0$ , а  $t^p(N) = t_{kp}(L)$ :

$$t_j^p = \max(t_i^p + t_{ij}), \quad (7.1)$$

где  $t_i^p$  - ранний срок наступления предшествующего  $i$ -ого события,

$t_{ij}$  - время выполнения работ,  $N$  - завершающее событие.

Поздний срок свершения события  $t_i^n$  характеризует самый поздний допустимый срок, к которому должно совершиться событие, не вызывая при этом срыва срока свершения конечного события:

$$t_i^n = \min(t_j^n - t_{ij}). \quad (7.2)$$



Этот показатель определяется «обратным ходом», начиная с завершающего события, с учетом соотношения  $t^n(N) = t^p(N)$ .

Резерв времени  $R_i$   $i$ -ого события определяется как разность между поздним и ранним сроками его свершения:

$$R_i = t_i^n - t_i^p. \quad (7.3)$$

Резерв времени события показывает, на какой допустимый период времени можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения комплекса работ.

Критические события резервов времени не имеют, так как любая задержка в свершении события, лежащего на критическом пути, вызовет такую же задержку в свершении завершающего события. Таким образом, определив ранний срок наступления завершающего события сети, мы тем самым определяем длину критического пути.

Раннее начало работы равняется раннему сроку наступления предшествующего события, т.е.

$$t_{ij}^{pn} = t_i^p. \quad (7.4)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{ij}^{po} = t_{ij}^{pn} + t_{ij} = t_i^p + t_{ij}. \quad (7.5)$$

Позднее время окончания работы:

$$t_{ij}^{no} = t_j^n. \quad (7.6)$$

Позднее начало работы:

$$t_{ij}^{mn} = t_{ij}^{no} - t_{ij} = t_j^n - t_{ij}. \quad (7.7)$$

Полный резерв времени показывает, на сколько можно увеличить время выполнения конкретной работы при условии, что срок выполнения всего комплекса работ не изменится:

$$R_{i,j}^n = t_j^n - t_i^p - t_{ij}. \quad (7.8)$$

Частичный резерв первого рода – это часть полного резерва работы, позволяющая видеть, какая доля полного резерва может быть использована

для увеличения продолжительности данной работы или последующих за ней работ, чтобы в результате указанного увеличения максимальные пути, проходящие через эти работы не превысили по продолжительности критического пути сетевой модели:

$$R_{i,j}^{nI} = t_j^n - t_i^n - t_{ij}. \quad (7.9)$$

Частичный резерв второго рода – это часть полного резерва работы, позволяющая видеть, какая доля полного резерва может быть использована для увеличения продолжительности данной работы или других, предыдущих ей работ, чтобы резервы времени последующих работ, лежащих на данном пути не изменились:

$$R_{i,j}^{nII} = t_j^p - t_i^p - t_{ij}. \quad (7.10)$$

Таблица 7.2 – Сроки свершения событий

Номер события	Сроки свершения события: ранний $t_j^p$	Сроки свершения события: поздний $t_j^n$	Резерв времени, $R_i$
0	0	0	0
1	3	3	0
2	7	7	0
3	14	14	0
4	25	28	3
5	21	21	0
6	26	26	0
7	38	38	0
8	53	53	0
9	60	60	0
10	65	76	11
11	67	78	11
12	68	68	0
13	73	73	0
14	75	75	0
15	69	73	4
16	70	74	4
17	79	79	0
18	81	81	0
19	83	84	1

Продолжение таблицы 7.2

20	85	85	0
21	86	86	0
22	93	93	0
23	98	98	0
24	103	103	0
25	108	108	0
26	118	118	0

Таблица 7.3 – Параметры работ сетевого графика

Работа (i,j)	Ранние сроки		Поздние сроки		Резерв времени		
	начало	окончание	начало	окончание	полный	резерв I-го рода	резерв II-го рода
0-1	0	3	0	3	0	0	0
1-2	3	7	3	7	0	0	0
2-3	7	14	7	14	0	0	0
3-4	14	25	14	28	3	3	0
3-5	14	21	14	21	0	0	0
4-7	25	38	28	38	3	0	3
5-6	21	26	21	26	0	0	0
6-7	26	38	26	38	0	0	0
7-8	38	53	38	53	0	0	0
8-9	53	60	53	60	0	0	0
9-10	60	65	60	76	11	11	0
10-11	65	67	76	78	11	0	0
11-12	60	68	60	68	0	0	0
12-13	68	73	68	73	0	0	0
13-14	73	75	73	75	0	0	0
11-15	68	69	68	73	4	4	0
15-16	69	70	73	74	4	0	0
14-17	67	79	78	79	11	0	11
16-17	75	79	75	79	0	0	0
17-18	79	81	79	81	0	0	0
18-19	81	83	81	84	1	1	0
19-21	83	86	84	86	1	0	1

Продолжение таблицы 7.3

18-20	81	85	81	85	0	0	0
20-21	85	86	85	86	0	0	0
21-22	86	93	86	93	0	0	0
22-23	93	98	93	98	0	0	0
23-24	98	103	98	103	0	0	0
24-25	103	108	103	108	0	0	0
25-26	108	118	108	118	0	0	0

## 7.2. Анализ сетевого графика

Сетевой график, линейный график выполнения работ приведены на листе ФЮРА.693470.007 ТЗ.

Критический путь: 0-1, 1-2, 2-3, 3-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-12, 12-13, 13-14, 14-17, 17-18, 18-20, 20-21, 21-22, 23-24, 24-25, 25-26.

Продолжительность критического пути: 118 суток.

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

$$K_{сл} = \frac{n_{раб}}{n_{соб}}, \quad (7.11)$$

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.

Согласно формуле (62) получаем:

$$K_{сл} = \frac{30}{26} = 1,15. \quad (7.12)$$

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 и 2 исполнителя - ассистенты данной кафедры.

					ФЮРА.693470.001 ПЗ		Лист
							28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Таблица 7.4 – Основные средства

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб/шт	Стоимость, руб
Ноутбук	1	37999	37999
Мультиметр	1	5000	5000
Мышь оптическая	1	450	450
<b>Итого</b>			<b>43 449</b>

Оклад доцента составляет 27 500 рублей в месяц, а оклад ассистента - 17 500 рублей в месяц. Все работы согласно договору были выполнены в течение 118 рабочих дней или 4 месяцев и 27 дней с учетом 6 дневной рабочей недели и праздников.

Исходя из этого заработная плата каждого работника:

$$ЗП_{доц} = 27500 \cdot 4 + \frac{27500 \cdot 16}{25} = 127600 \text{ руб.}, \quad (7.13)$$

$$ЗП_{ас} = 17500 \cdot 4 + \frac{17500 \cdot 16}{25} = 81200 \text{ руб.} \quad (7.14)$$

В итоге фонд заработной платы составил:

$$ЗП = ЗП_{доц} + 2 \cdot ЗП_{ас} = 127600 + 2 \cdot 81200 = 290000 \text{ руб.} \quad (7.15)$$

Начисления на выплаты по оплате труда равны:

$$ВнФ = (ФСС + ПФР + ФФОМС) \cdot ЗП = 0,3 \cdot 290000 = 87000 \text{ руб.}, \quad (7.16)$$

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 7.5 – Начисление заработной платы

Должность	Кол-во мес.	ставка, руб/мес.	ЗП за всё время, руб
Доцент	4	27500	127600
Ассистент	4	17500	81200
Инженер	4	17500	81200
<b>Итого</b>			<b>290 000</b>

Накладные расходы примем в размере 10% от основных средств. Работы по наладке оборудования будут производиться сторонними организациями, оплата которых так же будет учтена в смете. На услуги связи выделим 300 рублей в месяц на 1 человека или 4500 руб.

Таблица 7.6 – Расходные материалы и их стоимость

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб/шт	Стоимость, руб
Лампа 170Вт	1	203	203
Уголок металлический	1	195	195
Планка МДФ	1	78	78
Направляющая 30мм	1	105	105
Провод медный	1м	68	68
Фланцы	4	1473	5 892
Труба из нержавейки	2м	226	226
Преобразователь универсальный	1	2 300	2 300
Хомуты для шлангов 15-24/12	20	38,94	779
Прочее	-	-	10 000
<b>Итого</b>			<b>19 846</b>

Таблица 7.7 – Смета на выполнения работ

Наименование статей расходов	Всего, руб
Оплата труда	290000
Начисления на выплаты по оплате труда	87000
Оплата услуг связи	4500
Увеличение стоимости основных средств	43 449
Увеличение стоимости материальных запасов	19 846
Прочие услуги:	
- сварочные работы	10 000
- сверлильные работы	5 000
- токарные работы	20 000
Арендная плата за пользование имуществом	0
<b>Итого прямые расходы</b>	<b>19 846</b>
Накладные расходы	459 949
<b>Итого без НДС</b>	<b>479 795</b>
НДС	62 373
<b>Итого с НДС</b>	<b>542 168</b>

## **8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **8.1. Производственная безопасность**

**8.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности**

### **8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

## **9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ**

### **9.1. Описание объекта регулирования**

### **9.2. Структурная схема автоматического регулирования**

### **9.3. Функциональная схема управления**

### **9.4. Выбор технических средств АСР**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**