

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

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и  
инжиниринг**

НОЦ И.Н.Бутакова

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Установка для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом.</b>

УДК 536.331.536.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Чау Тхань Ньан		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Ю.К. Атрошенко	к.т.н. доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.А.Вагнер	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2021 г.

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

Код	Результат освоения ООП
P1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
P2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений.
P3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
P4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке и иностранном(ых) языке(ах) для академического и профессионального взаимодействия
P5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
P6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
P7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
P9	Способен решать задачи профессиональной деятельности с использованием базовых знаний естественнонаучных дисциплин и информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
P10	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт для реализации исследований в области создания, модернизации и эксплуатации ядерных энергетических установок
P11	Способен проводить математическое моделирование физических процессов и аппаратов технологического оборудования АС, в том числе на базе пакетов автоматизированного проектирования и исследований
P12	Способен формулировать цели и задачи исследований в области создания и повышения эффективности эксплуатации АС, выбирать методику и средства проведения научных исследований, выполнять и анализировать результаты НИОКР, участвовать в испытаниях оборудования
P13	Способен участвовать в организации безопасной экономичной эксплуатации реакторной установки, оборудования и технологических систем энергоблока атомной электростанции, анализировать технологические процессы, режимные ограничения, алгоритмы управления и защиты АС, проводить контроль параметров

Код	Результат освоения ООП
	сред
P14	Способен участвовать в проектировании элементов оборудования и технологических систем атомных станций с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий
P15	Способен применять и разрабатывать техническую документацию в соответствии с требованиями государственных, отраслевых и ведомственных стандартов и осуществлять проектно-конструкторскую деятельность в соответствии с техническим заданием в области профессиональной деятельности
P16	Способен проводить технико-экономический анализ и оценку конкурентоспособности и экономической эффективности проектируемых систем, оборудования и АС в целом
P17	Способен анализировать и рассчитывать ядерно-физические и нейтронно-физические процессы термодинамические, теплогидравлические, физико-химические и технологические процессы на атомной станции
P18	Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности, организовывать мероприятия по обеспечению ядерной, радиационной, технической, пожарной безопасности, выполнению требований охраны труда в процессе производства электрической и тепловой энергии на атомных станциях, в том числе при обращении с ядерным топливом
P19	Способен организовать работу малых коллективов исполнителей, планировать работу персонала, разрабатывать оперативные планы работы первичных производственных подразделений, организовывать рабочие места
P20	Способен участвовать в проведении испытаний основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок, проводить физические эксперименты на этапах физического энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом
P21	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности, выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств
P22	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач в сфере ядерной энергетики и технологий, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
P23	Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС (и ЯЭУ) применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС

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

---

Институт Энергетический

Специальность подготовки **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**

Кафедра «Атомных и тепловых электростанций»

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

\_\_\_\_\_

(Подпись)

\_\_\_\_\_

(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ**

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5052</b>	<b>Чау Тхань Ньан</b>

Тема работы:

**Установка для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом.**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**24 января 2021 года**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

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

Конструирование установки для измерения тепловых свойств конструкционных материалов.

<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>	<p>Обзор литературы Теория метода Принципиальная схема установки Конструкция установки Расчет элементов вакуумной камеры Компоновка измерительного стенда Проведение измерений и обработка результатов Автоматизация автоматических процессов и производств</p> <p>8.1. Описание системы контроля температуры и вакуума установки</p> <p>8.2. Выбор технических средств для реализации систем контроля</p> <p>8.3. Проектирование функциональной схемы</p> <p>Социальная ответственность</p> <p>9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>9.2. Производственная безопасность</p> <p>9.3. Экологическая безопасность</p> <p>9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p> <p>10. Финансовый менеджмент</p> <p>10.1. Планирование НИР</p> <p>10.2. Анализ сетевого графика</p> <p>10.3. Смета расходов на выполнение НИР</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Сборочный чертеж лабораторной установки</p> <p>2. Компоновочный чертеж лабораторной установки</p> <p>3. Функциональная схема экспериментальной установки</p> <p>4. Деталировочные чертежи основных элементов.</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>Гузырь В.В., Доцент ОСГН ШБИП</b></p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p><b>Мезенцева И.Л., Ассистент ООД ШБИП</b></p>
<p><b>Автоматизация технологических процессов</b></p>	<p><b>Атрошенко Ю. К., доцент НОЦ И.Н.Бутова ИШЭ</b></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном</b></p>	

<b>языках:</b>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Раков Ю. Я.	к.т.н.		<b>15.07.20</b>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Чау Тхань Ньан		<b>15.07.20</b>

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

Студенту:

Группа 5052	ФИО Чау Тхань Ньан
----------------	-----------------------

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н.Бутакова
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

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

*Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):  
материально-технических, энергетических, финансовых,  
информационных и человеческих*

*Нормы и нормативы расходования ресурсов*

*Используемая система налогообложения, ставки налогов,  
отчислений, дисконтирования и кредитования*

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

*Оценка коммерческого потенциала, перспективности и  
альтернатив проведения НИ с позиции  
ресурсоэффективности и ресурсосбережения*

*Планирование и формирование бюджета научных  
исследований*

*Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,  
бюджетной, социальной и экономической эффективности  
исследования*

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	15.10.20
---	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.В. Гузырь.	к.э.н., доцент		15.10.20

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Чау Тхань Ньан		15.10.20

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5052	Чау Тхань Ньан

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И.Н.Бутова</b>
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Тема ВКР:

<b>Установка для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<p><i>Объект исследования: Установка для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом</i></p> <p><i>Область применения: : любая отрасль техники</i></p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <i>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i></p>	<p><i>-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i></p> <p><i>-ГОСТ 12.0.003-2015</i></p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b> <i>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</i></p>	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>-Отклонение показателей микроклимата</i></li> <li><i>-Превышение уровня шума</i></li> <li><i>-Недостаточная освещенность рабочей зоны</i></li> <li><i>-Умственное перенапряжение</i></li> <li><i>-Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человек</i></li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p><i>-Проектирование и сборка установки в данной ВКР не имеет производственных масштабов, ее производство и эксплуатация не оказывает заметного влияния на окружающую среду.</i></p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p><i>Возможные ЧС: наводнения, удар молнии, пожар на объекте, взрыв</i></p> <p><i>Наиболее типичная ЧС: пожар</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.10.20
--	----------

Задание выдал консультант:



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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Чау Тхань Ньан		15.10.20

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 97 страниц, 16 рисунков, 20 таблиц, 27 источников.

Ключевые слова: интегральная степень черноты, степень черноты, калориметрический метод, вакуумная камера, вакуум.

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

В процессе выполнения проекта была разработана принципиальная схема лабораторной установки, спроектирована вакуумная камера, создана 3D модель камеры и измерительного участка, построен сетевой график выполнения работ по проектированию, изготовлению и сборке лабораторного стенда, спроектирована схема автоматического контроля параметров установки. Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики разработанной установки: работа в широком спектре температур, высокая точность результатов, универсальность.

Степень внедрения: атомная промышленность.

Область применения: любая отрасль техники.

Экономическая эффективность установки заключается в ее универсальности.

В будущем планируется улучшение и совершенствование методов изучения степеней черноты.

Использованные программы: Microsoft Office 16, Excel 2016, MathType, Автокад 2020.

## Список определений

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  $\varepsilon = 1$ .

Лучистый теплообмен — перенос тепловой энергии в виде электромагнитных волн между двумя взаимно излучающими поверхностями.

Тепловой поток – количество теплоты, переносимое через какую-либо поверхность в процессе теплообмена.

Тепловое излучение — электромагнитное излучение, испускаемое телами за счёт их внутренней энергии.

Вакуумная камера — ограниченный объём, в котором создаётся вакуум.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	15
1. Обзор литературы .....	17
2. Теория метода .....	24
3. Принципиальная схема установки .....	26
4. Конструкция установки .....	29
5. Расчет элементов вакуумной камеры .....	34
5.1 Расчет на прочность стенки вакуумной камеры .....	35
5.2 Тепловой расчет печи экспериментальной установки .....	36
5.3 Электрический расчет печи экспериментальной установки .....	38
5.4 Расчет системы охлаждения стенки вакуумной камеры .....	39
6. Компоновка измерительного стенда .....	42
7. Проведение измерений и обработка результатов .....	48
7.1. Определение ошибок измерений .....	48
8. Автоматизация автоматических процессов и производств .....	49
8.1. Описание системы контроля температуры и вакуума установки .....	49
8.2. Выбор технических средств для реализации систем контроля .....	50
8.2.1. Средства измерения вакуума .....	50
8.2.2. Средства измерения температуры .....	59
8.2.3. Средства измерения расхода .....	61
8.3. Проектирование функциональной схемы .....	62
9. Социальная ответственность .....	64
9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	64
9.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	64
9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	66
9.2 Производственная безопасность .....	69
9.2.1 Отклонение показателей микроклимата .....	70
9.2.2 Превышение уровня шума .....	71
9.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	72
9.2.4 Умственное перенапряжение .....	74
9.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека .....	75
9.3 Экологическая безопасность .....	75
9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	76
9.4.1 Анализ вероятных ЧС .....	76

9.4.2	Анализ причин, которые могут вызвать ЧС .....	76
9.4.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	77
10.	Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	79
10.1.	Планирование НИР .....	79
10.2	Анализ сетевого графика.....	85
10.3	Расчет капитальных затрат .....	89
10.3.1	Расчет затрат на оборудование.....	89
10.3.2	Расчет затрат на расходные материалы.....	90
10.4.	Расчет эксплуатационных затрат .....	90
10.4.1	Расчет затрат на заработную плату .....	90
10.4.2	Расчет затрат на наладку оборудования .....	91
10.4.3	Расчет затрат на комплектующие.....	91
10.5.	Уровень рентабельность проекта ( Точка безубыточности ).....	92
	Заключение .....	95
	Список используемых источников.....	96

## **Графический материал:**

ФЮРА.ХХХХХХ.002 СБ. Лабораторная установка. Сборочный чертеж.

ФЮРА.ХХХХХХ.003 МЧ. Компоновочный чертеж проектируемого лабораторного стенда.

ФЮРА.421000.004 С2. Функциональная схема экспериментальной установки

ФЮРА.ХХХХХХ.005 СБ. Детализованные чертежи основных элементов.

## Введение

Во многих установках и оборудовании с высокими температурами передача тепла происходит в виде излучения

Излучение реального нагретого тела можно рассчитать, если известна его степень черноты. Эта величина показывает отношение энергии излучения нагретого тела к энергии излучения абсолютно черного тела при одной и той же температуре. Причем если определяется энергия теплового излучения во всем интервале длин волн от 0 до  $\infty$ , то излучение нагретого тела характеризуется интегральной степенью черноты  $\varepsilon_t$ , если же определяется энергия в очень узком интервале длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda + \Delta\lambda$ , то излучение характеризуется спектральной степенью черноты  $\varepsilon_\lambda$ . Теория теплового излучения абсолютно черного тела подробно изложена во многих работах, например, [1—3], поэтому здесь приводятся лишь основные соотношения, которые понадобятся в дальнейшем

Распределение энергии по длинам волн во всей области спектра теплового излучения абсолютно черного тела было установлено Планком на основе квантовой теории

$$I_{\lambda,T}^0 = c_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{-c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} \Delta\lambda \quad (1)$$

где  $I_{\lambda,T}^0$  - энергия, излучаемая в полусферу абсолютно черным телом с единицы поверхности в единицу времени внутри спектрального интервала  $\lambda - (\lambda + \Delta\lambda)$  при температуре  $T$  (спектральная интенсивность излучения);  $c_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup>;  $c_2 = 1,438 \cdot 10^{-2}$  м·град.

Для расчета излучения абсолютно черного тела часто используют более простую формулу

$$I_{\lambda,T}^0 = c_1 \lambda^{-5} e^{\frac{-c_2}{\lambda T}} \quad (2)$$

Она дает достаточное для практики приближение по сравнению с формулой (1) до температур порядка 3500° К. Зависимость полной энергии полусферического излучения абсолютно черного тела от температуры описывает закон Стефана Больцмана

$$E_T^0 = \sigma T^4 \quad (3)$$

где T - температура черного тела;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана

Среди множества доступных методов исследования интегральной излучательной способности можно выделить три основных: радиационный, калориметрический и нестационарный методы

В данном дипломном проекте рассматривается калориметрический метод для определения интегральной степени черноты. Сущность метода является непосредственным измерением излучаемого тепла исследуемого тела, которое помещается в замкнутой оболочке (степень черноты оболочки известна). Исследуемое тело и оболочка необходимы иметь цилиндрическую или шаровую формы. На основе метода конструируется лабораторная установка.



## 1. Обзор литературы

Обзор литературы показал, что в настоящей работе интегральную степень черноты электропроводных материалов при температурах выше  $1200^{\circ}\text{K}$  определяли калориметрическим методом с нагреванием образца в виде тонкостенной трубки проходящим через него электрическим током. Это позволило в одном опыте соединить два метода метод трубки (наиболее точный для определения  $\varepsilon_t$ ) и метод нити (наиболее точный для определения  $\varepsilon_\lambda$ ).

Метод нити:

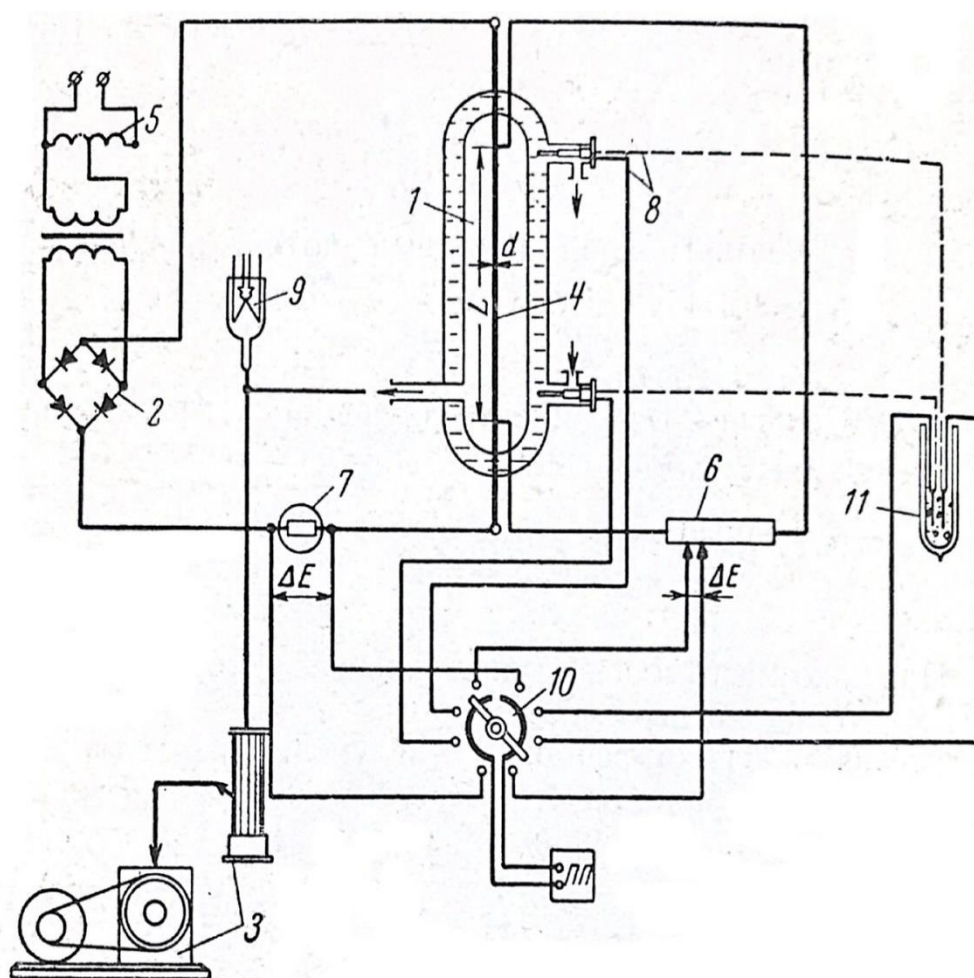


Рис. 1.1 – Схема опытной установки [4,5].

1- стеклянный сосуд; 2-селеновый выпрямитель; 3-вакуумные насосы; 4 - исследуемая проволока; 5 -автотрансформатор; 6 - делитель напряжения; 7-

нормальное сопротивление; 8 -термопара; 9-термопарный манометр; 10 - переключатель; 11 -сосуд со льдом

На рис. 1.1 исследуемое тело представляет собой тонкую и длинную нить 4, помещают ее в стеклянный сосуд 1 и нагревают электрическим током от селенового выпрямителя 2 .Сосуд с двойными стенками для охлаждения его водопроводной водой [4,5]. Регулировка мощности подводимого тока производится автотрансформатором 5 селенового выпрямителя. Измеряют ток  $I$ , протекающий через нить определяется с помощью включенного в схему нормального сопротивления 7 и падение напряжения на участке  $\Delta u$  с постоянной температурой измеряется с помощью потенциометра. Расход мощности нагрееания нити определяется по фрмуле:

$$Q = I\Delta u \quad (4)$$

Температура нити определяется по температурному изменению ее омического сопротивления. Тогда для определения  $\varepsilon_t$  используется формула:

$$\varepsilon_t = \frac{I\Delta u}{\sigma T^4 F} \quad (5)$$

где  $\Delta u$  - падение напряжения на изотермическом участке; $I$ -ток, протекающий через нить;  $F$ -поверхность излучающего изотермического участка нити;  $T$ - температура нити

Недостатком метода нити является трудность измерения ее температуры.Для этого предварительно определяют либо зависимость удельного электросопротивления от температуры, либо монохроматическую излучательную способность для эффективной длины волны используемого пирометра.Иногда для измерения температуры к исследуемой нити приваривают термопару ,при этом возникает отвод тепла по термопаре , который бывает трудно учитывать.

Метод трубки:

Метод «трубки» является наиболее распространенным и точным вариантом калориметрического метода в связи с тем, что при  $T > 1100 \text{ K}$  внутри трубки просто осуществляется модель черного тела, и это позволяет провести точное измерение температуры внутренней стенки, а при более низких температурах вывод термопар можно осуществлять внутри трубки.

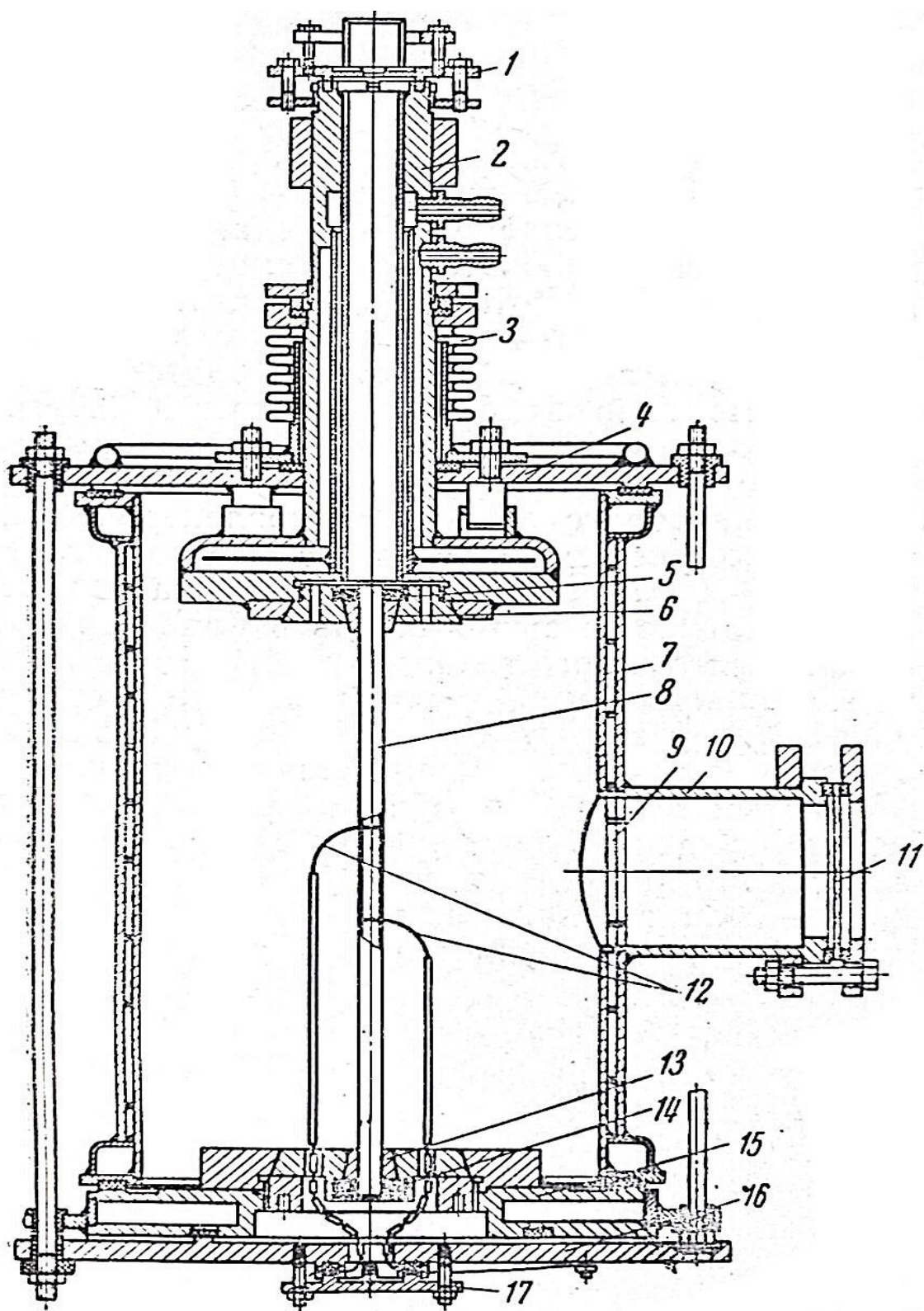


Рис. 1.2 – Общий вид установки [6]

1- фланец; 2-трубчатый токоподвод; 3 - сиффон; 4-крышка; 5, 14 - гайки; 6, 13 - графитовые конусы; 7-корпус печь. 8- трубчатый образец; 9-экраны; 10-

патрубок; 11-смотровое окно; 12-потенциальные отводы; 15 -токоподвод; 16, 17 -крышки.

На рис. 1.2 приведена схема опытной установки для измерения степен черноты полного полусферического излучения до 3000° К на образцах в и форме полых цилиндров при нагревании, как и в предыдущем случае, за счет непосредственного пропускания через них переменного электрического тока [6,7]. Образцы 8 имеют диаметр 8—15 и длину 300 мм. Они помещаются в вакуумную печь и закрепляются в медных токоподводах 2 и 15 с помощью графитовых конусов 6 и 13 и гаек 5 и 14. Для измерения температуры опытных образцов в них осуществляется модель черного тела. Для этого в средней изотермической части внутри образца устанавливаются экраны,имеющие небольшие отверстия. Расстояние между экранами соответствует длине изотермического участка образца. На фланце 1 укрепляется призма полного внутреннего отражения. Она позволяет менять ход лучей, исходящих из опытной трубки. На 90° для удобства визирования оптическим пирометром. Тепловое расширение образца воспринимается подвижным соединением с сильфоном 3 токоподвода 2 и крышкой 4. К образцу подключаются потенциальные отводы 12. Степень черноты полного полусферического излучения вычисляется по зависимости

$$\varepsilon = \frac{I\Delta u}{\sigma F_0 \psi(T) T^4} \quad (6)$$

Где  $I, \Delta u$ - сила тока и падение напряжения на изотермическом участке образца;  $\sigma$ - постоянная в законе Стефана-Больцмана ; $F_0$ -излучающая боковая поверхность образца длиной  $l_0$  при комнатной температуре;  $\psi(T)$ -поправка на изменение поверхности излучения за счет расширения образца при его истинной температуре  $T$ , °К.

Максимальная ошибка измерений  $\varepsilon$  для температур около 3000° К составляет  $\pm 6\%$ .

Достоинство этой методики состоит в измерении на одном образце всех величин, необходимых для определения  $\varepsilon_t$  и  $\varepsilon_\lambda$ , в то время как в методе нити  $\varepsilon_\lambda$ , необходимая для расчета истинной температуры, определяется на другом объекте (трубка или клин Менденхолла), который может отличаться по свойствам от нити. Правда, точность измерения тока, проходящего через трубку, хуже, чем точность измерения через нить, так как токи через трубку достигают величин (1500 а и более). Но при имеющемся в настоящее время оборудовании для измерения не только постоянного, но и переменного токов вклад этой ошибки в погрешность определения  $\varepsilon$  меньше, чем вклад ошибки поверхности нити пересчетом с измеренной яркостной температуры. Одно из преимуществ принятой методики-возможность одновременного определения трех величин: вместе с  $\varepsilon_t$  и  $\varepsilon_\lambda$  измеряется также удельное электросопротивление, являющееся одной из наиболее важных электрофизических характеристик большинства конструкционных материалов.

Существует одна разновидность калориметрического метода, которая часто применяют для исследования неэлектропроводных материалов при относительно невысоких или низких температурах: Исследуемый образец выполняют в виде пустотелой сферы (или цилиндра), внутрь которой введен нагреватель. Сферу помещают в вакуумную камеру большого объема. Излучательную способность рассчитывают по электрической мощности нагревателя и измеренной температуре [8]

В последние годы в связи с использованием новых источников нагрева возможности калориметрического метода расширились. В частности, в Институте высоких температур АН СССР определяют излучательную способность металлов с нагревом их электронной бомбардировкой [9]. Этот метод, обладая несколько меньшей точностью, чем вариант с нитью, стержнем и приведенным в настоящей работе методе с трубкой, имеет неоспоримое преимущество, связанное с простотой изготовления образца, необходимого для такого исследования, что особенно важно при разработке новых материалов.

В заключение отметим, что калориметрический метод определения интегральной степени черноты всегда связан с измерением мощности, подводимой к образцу и истинной температуры излучающей поверхности.

## 2. Теория метода

Лучистый теплообмен между телами, образующими замкнутую систему, можно определить по формуле:

$$Q_{12} = \frac{[E_0(T_1) - E_0(T_2)]H_{12}}{1 + \varphi_{12}\left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \varphi_{21}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \quad (7)$$

где  $Q_a$  - результирующий лучистый поток, который первое тело посылает на второе;  $E_0(T_1)$ ,  $E_0(T_2)$  - энергия полного излучения при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно;  $\varphi_{12} = \frac{H_{12}}{F_1}$  и  $\varphi_{21} = \frac{H_{21}}{F_2}$ , - коэффициенты облученности;  $H_{12}$  и  $H_{21}$  - взаимные поверхности излучения;  $F_1$  и  $F_2$  - поверхности излучения первого и второго тел;  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  - излучательная способность тел.

Для трубки 1, концентрически расположенной в оболочке 2, справедливо  $\varphi_{12} = 1$ ;  $H_{12} = \varphi_{12}F_1 = F_1$ ;  $\varphi_{21} = \frac{H_{21}}{F_2} = \frac{F_1}{F_2}$ . Величина, стоящая в знаменателе формулы (7) (приведенная степень черноты), определяется из выражения:

$$\frac{1}{\varepsilon_{пр}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \quad (8)$$

Следует отметить, что формулы (7) и (8) справедливы для лучистого теплообмена серых тел. Для несерых тел приведенную степень черноты рассчитать очень сложно, даже если имеются спектральные характеристики двух тел. В нашем случае можно ограничиться использованием формул для серых тел, так как отличие приведенной степени черноты от собственной излучательной способности исследуемого образца небольшое. В формуле (8) член, учитывающий отклонение  $\varepsilon_2$ , оболочки от единицы, тем меньше, чем больше  $F_2$ , по сравнению с  $F_1$ . Для этого исследуемый образец помещают в вакуумную камеру с диаметром, примерно в 20 раз большим диаметра образца. Для увеличения величины  $\varepsilon_2$ , внутреннюю стенку камеры покрывают аквадагом с  $\varepsilon_2 = 0,96$ . При указанных условиях расчетная формула лучистого теплообмена упрощается:



$$Q_{12} = [E_0(T_1) - E_0(T_2)]F_1\varepsilon_1 \quad (9)$$

Тогда получаем формулу для определения  $\varepsilon_1$  в виде:

$$\varepsilon_1 = Q_{12}/[E_0(T_1) - E_0(T_2)]F_1 \quad (10)$$

В формуле (9) излучение абсолютно черного тела рассчитано на основе закона Стефана-Больцмана  $E_0(T) = \sigma T^4$ . В опыте величину теплового потока по электрической мощности, подводимой к образцу. Окончательная формула для определения интегральной степени черноты имеет вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{I\Delta u}{\sigma(T_1^4 - T_2^4)F_1} \quad (11)$$

### 3. Принципиальная схема установки

Принципиальная схема экспериментальной установки для определения степени черноты электропроводных материалов калориметрическим методом изображена на рисунке 3.1.

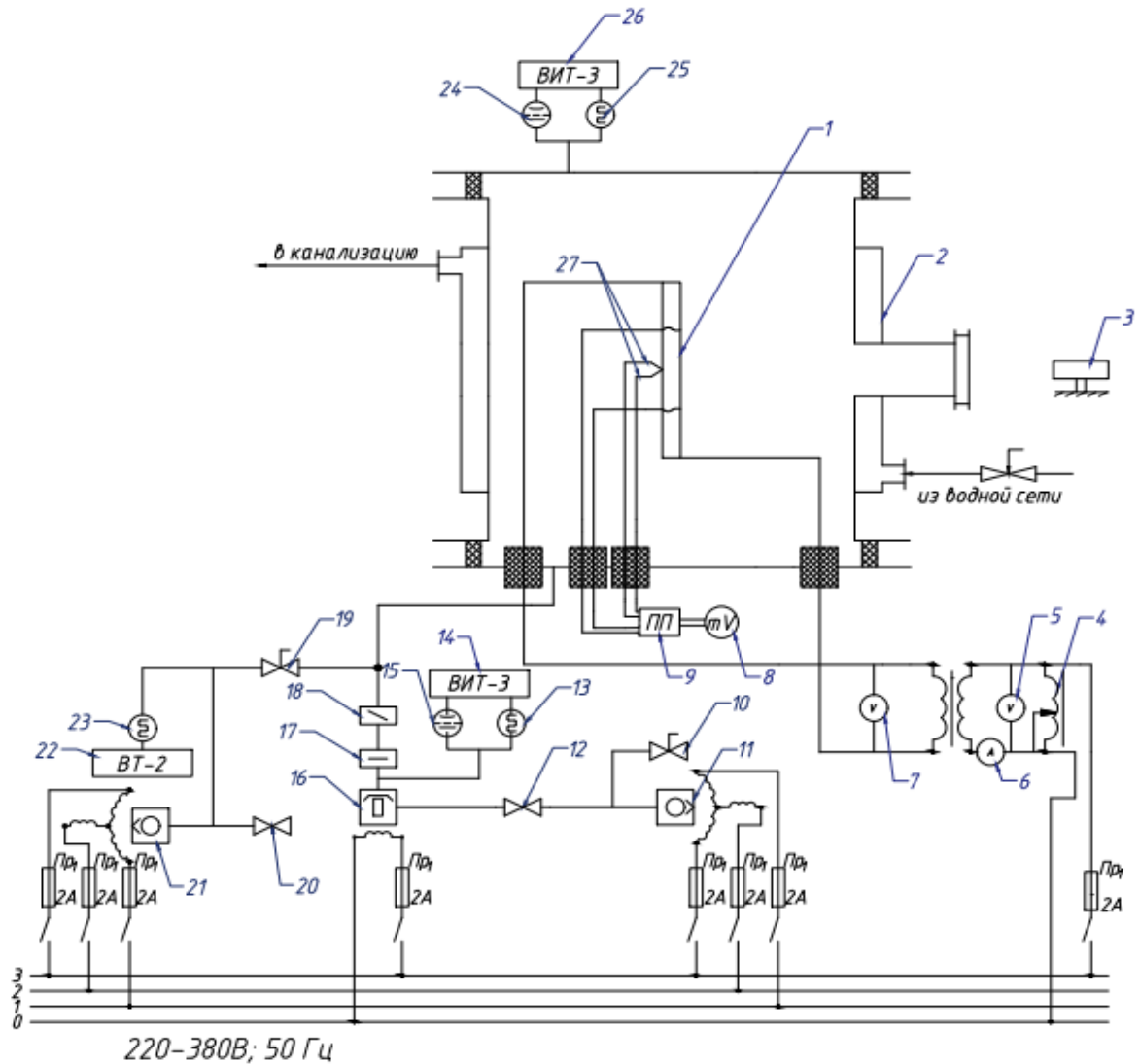


Рис. 3.1 – Принципиальная схема экспериментальной установки

1-исследуемый образец; 2-вакуумная камера; 3-пирометр; 4-автотрансформа; 5-вольтметры; 6-амперметры; 7-вольтметры; 8-мультиметр; 9-переключатель; 10-вентиль; 11-механический пластинчатый – роторный насос; 12-нагреватели; 13- ионизационные преобразователи; 14-вакуумметры типов ВИТ – 3; 15-термопарные преобразователи; 16-диффузионный насос; 17-водяная ловушка; 18- вакуумный затвор; 19-вентиль; 20-нагреватели; 21-механический

пластинчатый – роторный насос; 22-вакуумметр типа ВТ-2А; 23-ионизационные преобразователи; 24-термопарные преобразователи; 25-ионизационные преобразователи; 26- вакуумметры типа ВИТ – 3; 27-термопары.

Исследуемый образец 1 помещается в вакуумной камере 2 .Он представляет собой трубку, внутри которого осуществляется модель черного тела . Нагрев вверхней поверхности образца осуществляется пропусканием через него электрического тока. На образец необходимо иметь участок с постоянной температурой  $T_1$  , на котором снимается падение напряжения  $U$ . Исходя из этого выберем определенную длину и диаметр трубки . Для металлических образцов полная длина опытной трубки составляет около 300 мм при диаметре 9-12 мм.К образцу подавали переменный электрический ток от сети 220 В. Регулировка напряжения производится автотрансформатором 4 , ток измеряется с помощью амперметра 6,7. Падение напряжения на опытном участке определяется милливольтром 9. Для дистанционного определения температуры исследуемого образца используется пирометром 3 через смотровое окно.

Для создания высокого вакуума в камере  $P \approx 10^{-5}$ Па служит диффузионный насос 16 типа Н – 05С, который через водяную ловушку 17 и вакуумный затвор 18 и далее соединяется с корпусом вакуумной камеры. Сначала идет разряжение в системе с помощью механического пластинчатого – роторного насоса типа ЗНВР-1Д 11. Также в установке предусмотрена байпасная линия, она помогает существенно сократить время проведения эксперимента за счет того, что установленный в ней насос создает предварительный вакуум в камере после замены исследуемого образца, без остановки диффузионного паромасляного насоса. В байпасную линию входят: механический насос 21, вентиль 19 и натекагель 20. Измерение вакуума в системе осуществляется с помощью термопарного 25 (для среднего вакуума) и ионизационного 24 (для глубокого вакуума, в нашем случае около  $P \approx 10^{-5}$ Па)

преобразователей давления, которые установлены на верхнем фланце камеры. В качестве вторичных приборов для измерения сигналов с манометрических преобразователей давления служат вакуумметры типов ВИТ – 3 и ВТ -2.

#### 4. Конструкция установки

Конструкция вакуумной камеры показана на рисунке 4.1.

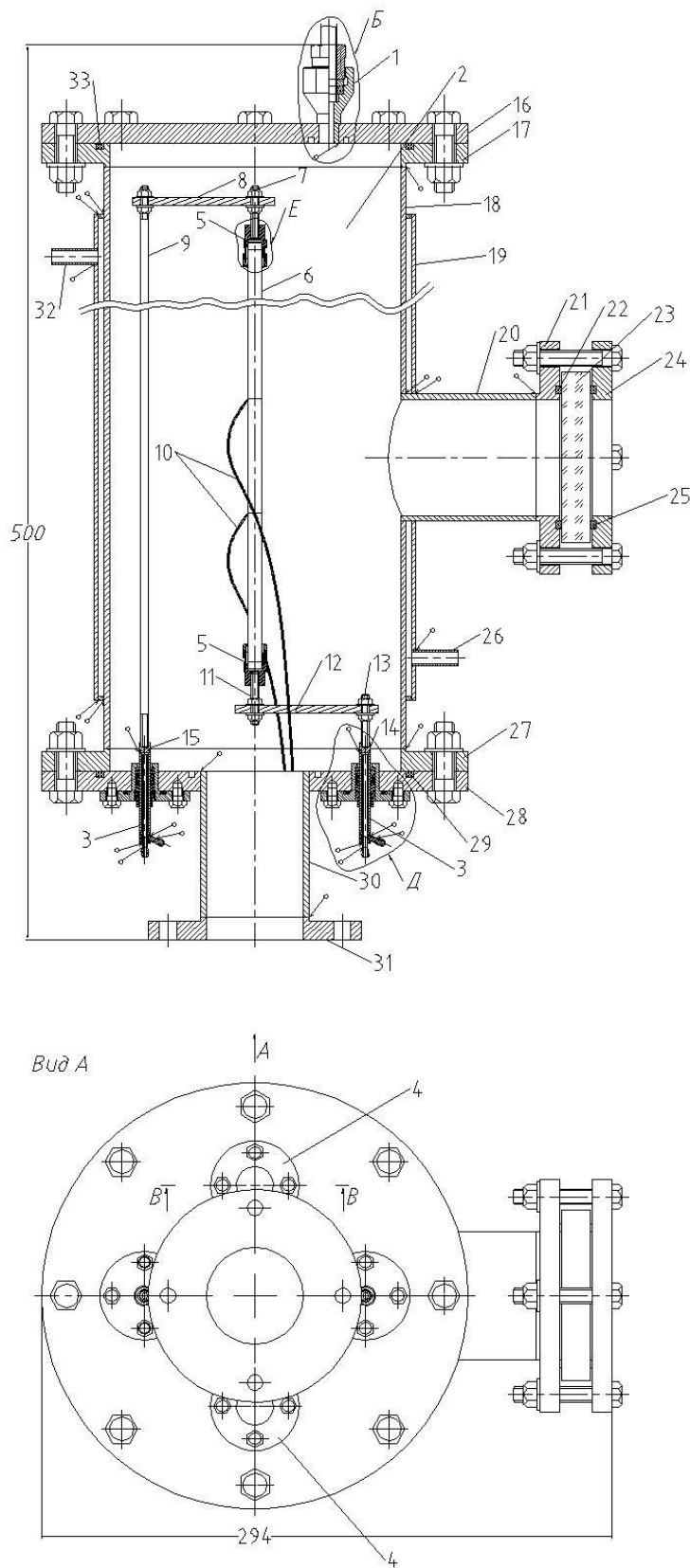


Рис. 4.1 – Конструкция экспериментальной установки

Вакуумная камера имеет днища 17,27 и крышки 16,28 .Днища привариваются к обечайке 18 и составляют с ним одно целое. Крышки уплотняются в днищем через резиновую прокладку 29,33 и закрепляется с помощью болтов . Для компенсации тепловых деформаций , выделяющейся внутри камеры при проведении опыта в высокотемпературных условиях , к установке приварена рубашка водяной охлаждения 19. Водяное охлаждение предотвращает от коробления и подовок стенок корпус из-за равномерности его нагрева и также препятствует выделению тепла в рабочее помещение.

Для визуального наблюдения за экспериментальным процессом и измерения температура исследуемого образца используется смотровое окно , сваренный к камере. Смотровое окно состоит из корпуса 20 , стекла 23 , уплотнительной прокладки 22 , кольца 25 и фланцев 21,24 .Стекло крепится к корпусу при помощи фланцев четырьмя болтами и гайками . Элементы вакуумной камеры: обечайка , днища крышки, рубашка водяной охлаждения выполнены из аустенитной нержавеющей стали марки 0X18H10T, так как она имеет высокую жаропрочность, хорошую свариваемость, хорошую пластичность и вследствие этого высокую технологичность при деформации и наличие ржавчины существенно увеличивает время откачки и уменьшает предельного вакуума.

Во вакуумной камеры 2 помещается исследуемый образец 6, который представляет собой электропроводную трубку .Для точного измерения температуры поверхности образца , внутри которого осуществляется модель черного тела.Образец закрепляется на токоподводящих стержнях 9,14 и медных лапах 8,12 при помощи цангового зажима 5. Таким образом образец может свободно расширяться при нагреве.

Для подсоединения к высоковакуумным установкам стеклянных и металлических трубок диаметром до 32 мм широко используется зажимное

соединение с резиновым уплотнением грибкового типа ,которое приварен к верхней крышке (Рис 4.2). Здесь уплотняющая прокладка из резины 4 , расположенная между стенками корпуса 2 и подсоединяемой деталью, под давлением нажиной гайки 1 и кольца 3 прижимается к корпусу грибка и к уплотняемой поверхности детали за счет чего и обеспечивается вакуумная герметичность

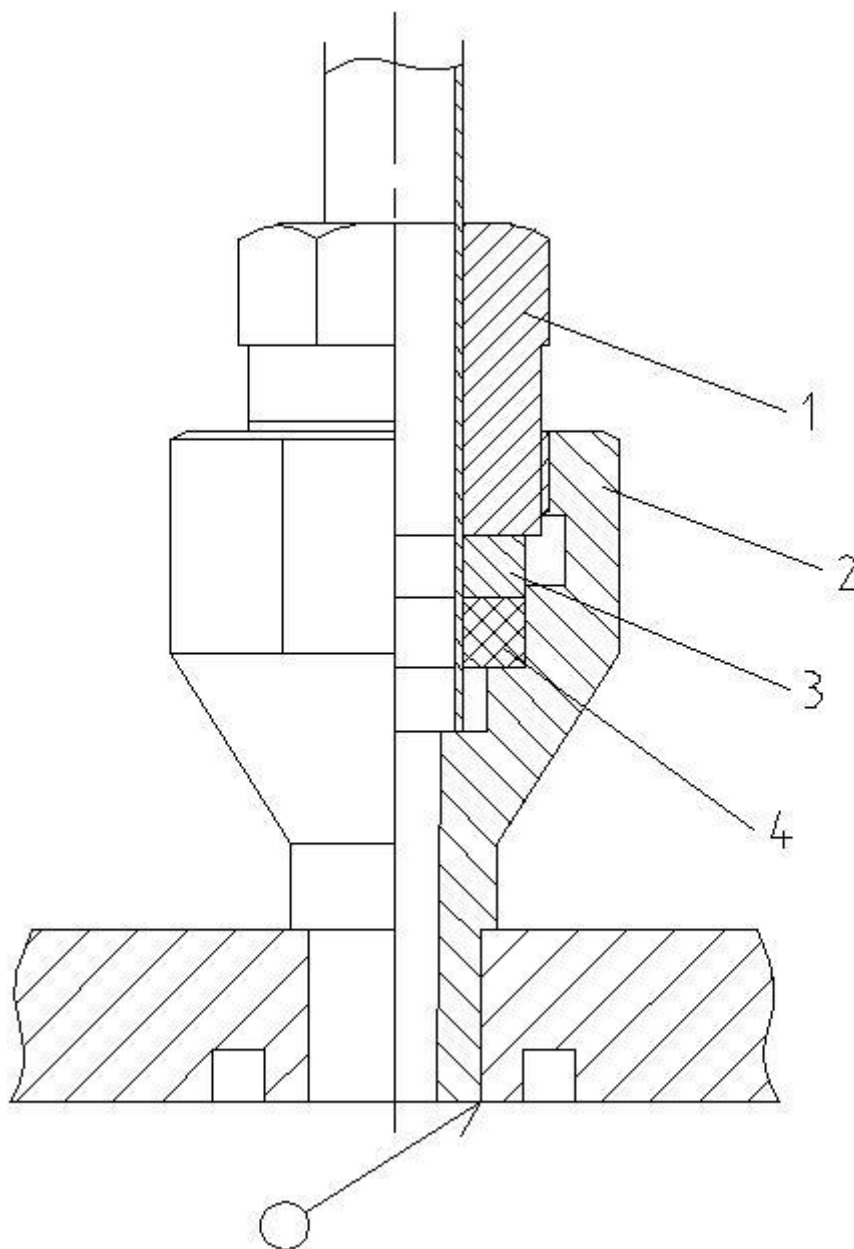


Рис. 4.2 – Штуцерное соединение грибкового типа

Для измерения падения напряжения на опытном участке образца в него закладывают потенциал-металлические выводы. Из вакуумной камеры эти

выводы выводятся через потенциальный ввод (рис 4.3). На крышке уплотняется прокладкой 1 корпус 5, в котором изоляционными втулками 3 с прокладками 4 уплотняются потенциально-металлические выводы с помощью накидной гайки 2. Материалом прокладки служит резина а изоляционных втулок- фторопласт

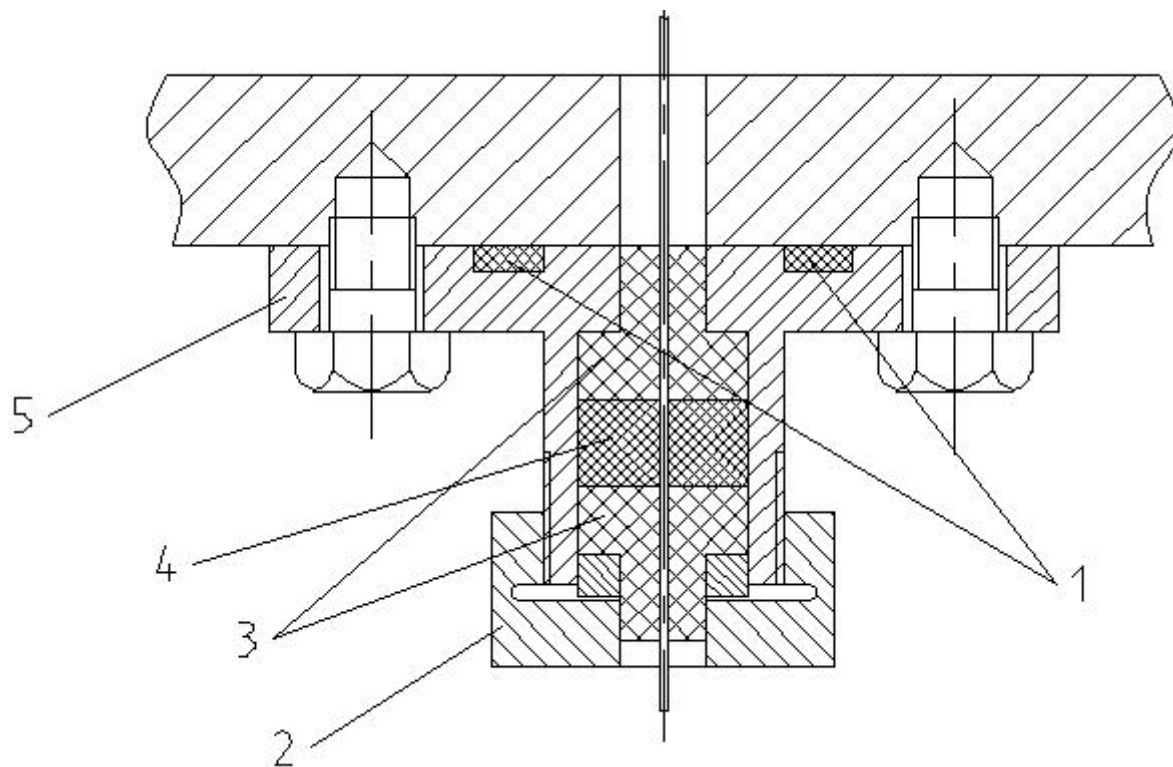


Рис. 4.3 – Потенциальный ввод

Для пропускания тока через образец используется водоохлаждаемые электрические вводы, которые уплотняются на нижней крышке через резиновую прокладку и закреплены с помощью винтов. На рисунке 4.4 показана конструкция такого ввода



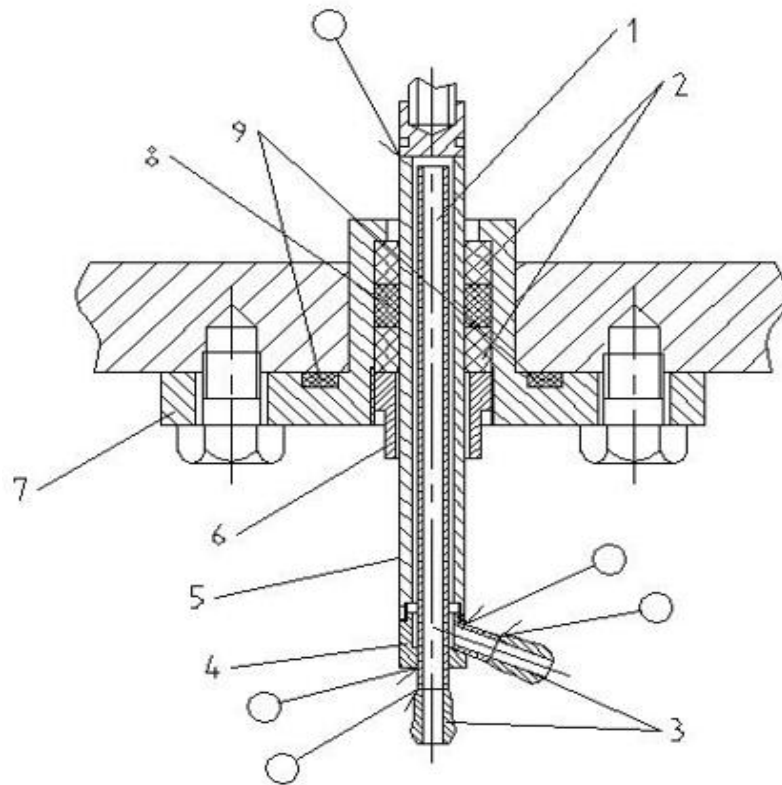


Рис. 4.4 – водоохлаждаемые электрические вводы

На крышке стакан 7 уплотняется прокладкой 9 . Гайка 6 затягивает сальник 8 в корпусе ввода 5. Материал для прокладок служит резина а изоляторы 2 изготовлены из каремики.Во время работы для охлаждения через штуцера 3 и трубку 1 подается вода.

## 5. Расчет элементов вакуумной камеры

На рис. 5.1, схематично, представлена конструкция вакуумной электрической печи. Основными элементами печи являются: прямонакальный трубчатый нагреватель 1, токовводы 2, обечайка 3, изготовленная из нержавеющей стали и водяная рубашка 4. Известны материал нагревателя и геометрические размеры элементов печи: внутренний диаметр нагревателя  $d_{в}=10$  мм, толщина стенки трубчатого нагревателя  $b_1=0,1$  мм, внутренний диаметр и высота обечайки  $D=150$  мм,  $H=300$  мм, ширина зазора для прохода воды в водяной рубашке  $b_2 = 3$  мм, высота водяной рубашки  $H'=250$  мм, длина нагревателя  $L=200$  мм. Внутренняя поверхность обечайки зачернена сажей. Температура обечайки не должна превышать  $55^{\circ}\text{C}$ . Температура воды на входе в водяную рубашку равна  $15^{\circ}\text{C}$ .

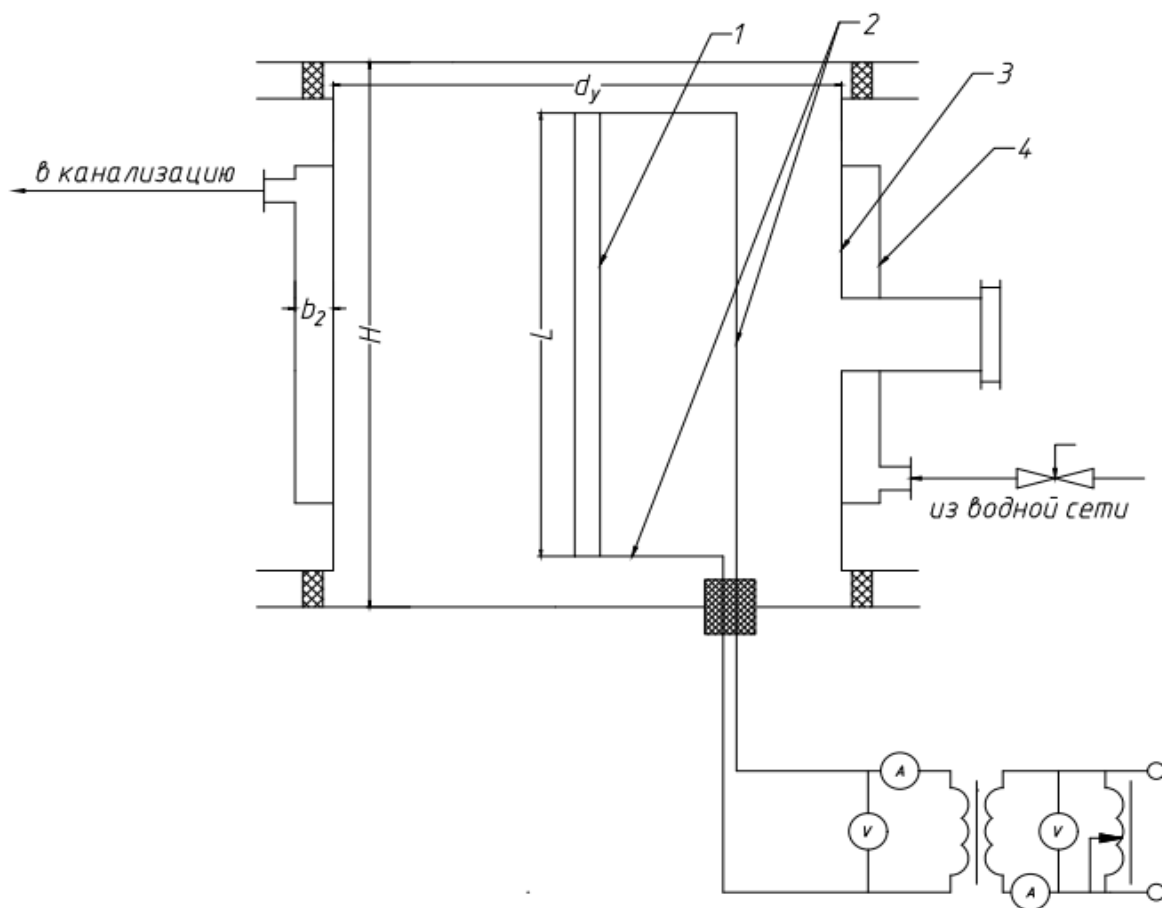


Рис. 5.1 – Схема вакуумной печи

1-Прямокальный трубчатый нагреватель ; 2- токовводы ; 3-обечайка , изготовленная из нержавеющей стали ; 4- водяная рубашка .

### 5.1 Расчет на прочность стенки вакуумной камеры

Целью данного расчета является определение толщины стенок обечайки и водяной рубашки ; расход воды необходимый для охлаждения стенки вакуумной камеры

Исходные данные :

Внутренний диаметр  $D=150$  мм;

Высота обечайки  $H=300$  мм;

Ширина зазора для прохода воды в водяной рубашке  $b_2 = 3$  мм;

Высота водяной рубашки  $H'=250$  мм;

Давление воды в водяной рубашке  $P_B = 6 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2}$ .

Решение

Толщина цилиндрической стенки обечайки камеры определяется по формуле:

$$s = 1.25D \cdot \left( \frac{P_H}{E_t} \cdot \frac{H}{D} \right)^{0,4} \pm c$$

Здесь:

$E_t = 202 \cdot 10^9 \frac{H}{M^2}$  -коэффициент упругости материала обечайки при  $t=55^\circ C$

$P_H$  -расчетное наружное давление аппарата принимаем по формуле:

$$P_H = P_B + P_{ж}$$

$P_{ж} = 10^4 \cdot H' = 10^4 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^3 \frac{H}{M^2}$  -гидростатическое давление жидкости

Тогда

$$s = 1.25 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{(6 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^3) \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{202 \cdot 10^9 \cdot 150 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,4} = 1.52 \text{ мм}$$

Прибавку  $c = 0,2 \cdot 10^{-3}$  мм. Окончательно принимаем  $s=1.5$  мм

Толщина стенки водяной рубашки зависит от давления воды в водоохлаждающей полости.

$$s' = 1.25 D' \cdot \left( \frac{P_B}{E_t} \cdot \frac{H'}{D'} \right)^{0,4} \pm c$$

Где :

$E_t = 206 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  -коэффициент упругости материала рубашки при  $t=15^\circ\text{C}$

$D' = D + 2 \cdot s + 2 \cdot b_2 = 159$  мм -внутренний диаметр водяной рубашки

$$s' = 1.25 \cdot 156 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^5}{206 \cdot 10^9} \cdot \frac{250 \cdot 10^{-3}}{159 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,4} = 1.43 \text{ мм}$$

Прибавку  $c = 0,2 \cdot 10^{-3}$  мм. Окончательно принимаем  $s'=1.5$  мм

## 5.2 Тепловой расчет печи экспериментальной установки

Требуется:

Определить следующие характеристики вакуумной печи:

1. Мощность печи при рабочей температуре нагревателя  $T$ , равной 0,8 от температуры его плавления.
2. Перепад температуры , в стенке нагревателя при стационарном режиме без учета отвода тепла к токовводам

Исходные данные :

Материал нагревателя -вольфрам;

Внутренний диаметр нагревателя  $d_{в}=10$  мм;

Толщина стенки трубчатого нагревателя  $b_1=0,1$  мм;

Длина нагревателя  $L=200$  мм;

Внутренний диаметр  $D=150$  мм;

Высота обечайки  $H=300$  мм;

Ширина зазора для прохода воды в водяной рубашке  $b_2 = 3$  мм;

Температура обечайки  $t_{об}=55^\circ\text{C}$

Температура воды на входе в водяную рубашку равна  $t_{вх} 15^\circ\text{C}$ .

Среда нагревателя: вакуум  $p \leq 10^{-4}$  Па

### Решение

Площадь наружной поверхности нагревателя:

$$F_H = \pi \cdot (d_B + 2b_1) \cdot L = \pi \cdot (10 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площадь внутренней поверхности обечайки:

$$F_{об} = \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 0,1413 \text{ м}^2$$

Приведенная степень черноты между нагревателем и обечайкой:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_H} + \frac{F_H}{F_{об}} \left( \frac{1}{\varepsilon_{об}} - 1 \right)} = \frac{1}{\frac{1}{0,35} + \frac{6,4 \cdot 10^{-3}}{0,1413} \left( \frac{1}{0,95} - 1 \right)} \approx 0,35$$

$\varepsilon_H$ -интегральная степень черноты наружной поверхности нагревателя;

$\varepsilon_{об}$ -интегральная степень черноты внутренней поверхности обечайки.

Рабочая температура нагревателя :

$$t_H = 0,8 \cdot t_{пл} = 0,8 \cdot 3422 = 2737,6^\circ\text{C}$$

$t_{пл}$  -температура плавления вольфрама.

Тепловой поток от нагревателя к обечайки вакуумной камеры из -за отсутствия воздуха передается только путем излучения

Мощность нагревателя при рабочей температуре нагревателя  $t_H$  :

$$Q = \varepsilon_{np} \cdot \sigma_0 \cdot (T_H^4 - T_{об}^4) \cdot F_H = 0,35 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot ((2737,6 + 273)^4 - (55 + 273)^4) \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} = 10432 \text{ Вт}$$

$\sigma_0$  - постоянная Стеффана-Больцмана.

Перепад температуры в стенке нагревателя при стационарном режиме без учета отвода тепла к токовводам определяется по формуле, которая получается из решения одномерной стационарной задачи теплопроводности для полого цилиндра при наличии постоянного внутреннего источника тепла:

$$\Delta T_H = \frac{Q \cdot d_2}{2 \cdot \lambda \cdot F_H} \left[ 1 - \frac{2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 - 1} \right] = \frac{10432 \cdot (10 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 130 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3}} \left[ 1 - \frac{2 \cdot \ln \frac{(10 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}}}{\left(\frac{(10 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - 1} \right] = 1,26^\circ \text{C}$$

Где  $d_1$  и  $d_2$  - внутренний и наружный диаметры нагревателя;

$\lambda$  - теплопроводность вольфрама.

### 5.3 Электрический расчет печи экспериментальной установки

Требуется определить электрические характеристики нагревателя (ток  $I$ , напряжение  $U$  и сопротивление  $R$ ).

Решение

Электрические характеристики нагревателя (ток  $I$ , напряжение  $U$  и сопротивление  $R$ ) рассчитываются с использованием закона Джоуля-Ленца, закона Ома и выражения, связывающего электрическое сопротивление проводника с удельным электрическим сопротивлением материала  $\rho_s$  и его геометрическими размерами длиной  $L$  и площадью сечения  $S$  соответственно:

$$R = \rho_s \cdot \frac{L}{S} = \rho_s \cdot \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot [(d_B + 2b_1)^2 - d_B^2]} = 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{4 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot [(10 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3}]^2 - (10 \cdot 10^{-3})^2} = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$Q=U \cdot I; U=I \cdot R \rightarrow I = \sqrt{\frac{Q}{R}} = \sqrt{\frac{10432}{3,47 \cdot 10^{-3}}} = 1734 A \rightarrow U = 1734 \cdot 3,47 \cdot 10^{-3} = 6 B$$

Таблица 5.1 – Полученные результаты для некоторых материалов нагревателя

Материал	Q,Вт	U,В	I,А	$R \cdot 10^{-3}$ , Ом	$\Delta T$ , °С
W	10432	6	1734	3,47	1,26
Ta	5666	6,7	851	7,82	1,64
Mo	3324	3,2	1048	3,02	0,33
Nb	2622	4,8	545	8,83	0,76

#### 5.4 Расчет системы охлаждения стенки вакуумной камеры

Требуется определить массовый  $G$  и объемный  $V$  расходы воды, протекающей через водяную рубашку, для обеспечения температуры обечайки менее  $55^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от поверхности обечайки к жидкости, протекающей через водяную рубашку.

Исходные данные :

Мощность нагревателя  $Q=10432$  Вт

Предельная температура обечайки  $t_{об}^{np}=55^{\circ}\text{C}$

Температура на входе водяной рубашке  $t_{ex}=15^{\circ}\text{C}$

Внутренний диаметр обечайки  $D=150$  мм;

Толщина обечайки  $=1,5$  мм

Ширина зазора для прохода воды в водяной рубашке  $b_2 = 3$  мм;

Внутренний диаметр обечайки  $D'=159$  мм

Решение

Температуры воды на выходе водяной рубашке:

$$t_{\text{вых}} = \frac{t_{\text{об}}^{np} + t_{\text{ex}}}{2} = \frac{55 + 15}{2} = 35^{\circ}\text{C}$$

Средняя температура воды в трубках:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{вbx}} + t_{\text{ex}}}{2} = \frac{35 + 15}{2} = 25^{\circ}\text{C}$$

Определяем теплофизические свойства воды по давлению воды и по средней температуре:

$$\rho = 997 \text{ кг/м}^3; c_p = 4178 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}; \nu = 9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda = 0,6085 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \text{Pr} = 6,22.$$

Массовый расход воды необходимый для охлаждения стенки вакуумной камеры :

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q}{c_p \cdot (t_{\text{вbx}} - t_{\text{ex}})} = \frac{10432}{4178 \cdot (35 - 15)} = 0,125 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Объемный расход воды:

$$V_{\text{воды}} = \frac{G_{\text{воды}}}{\rho} = \frac{0,125}{997} = 1,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Средняя скорость жидкости , протекающей в водяной рубашке :

$$w = \frac{G_{\text{воды}}}{S_p} = \frac{4 \cdot G_{\text{воды}}}{\pi \cdot (D^2 - (D + 2 \cdot s)^2)} = \frac{4 \cdot 0,125}{\pi \cdot ((159 \cdot 10^{-3})^2 - ((150 + 2 \cdot 1,5) \cdot 10^{-3})^2)} = 85 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Рейнольдса Критерий:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot 2 \cdot b_2}{\nu} = \frac{85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-7}} = 56,7 \cdot 10^4$$

Для обеспечения турбулентного режима движения Нуссельта Критерий рассчитывается по формуле :



$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_2}\right)^{0,25} = 0,021 \cdot (56,7 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 6,22^{0,43} \cdot \left(\frac{6,22}{3,24}\right)^{0,25} = 2174$$

Где  $Pr_1$ ,  $Pr_2$  - Числа Прандтля при средней температуре воды и предельной температуре обечайки

Коэффициент теплоотдачи от поверхности обечайки к жидкости :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{2 \cdot b_2} = \frac{2174 \cdot 0,6085}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 220480$$

## 6. Компоновка измерительного стенда

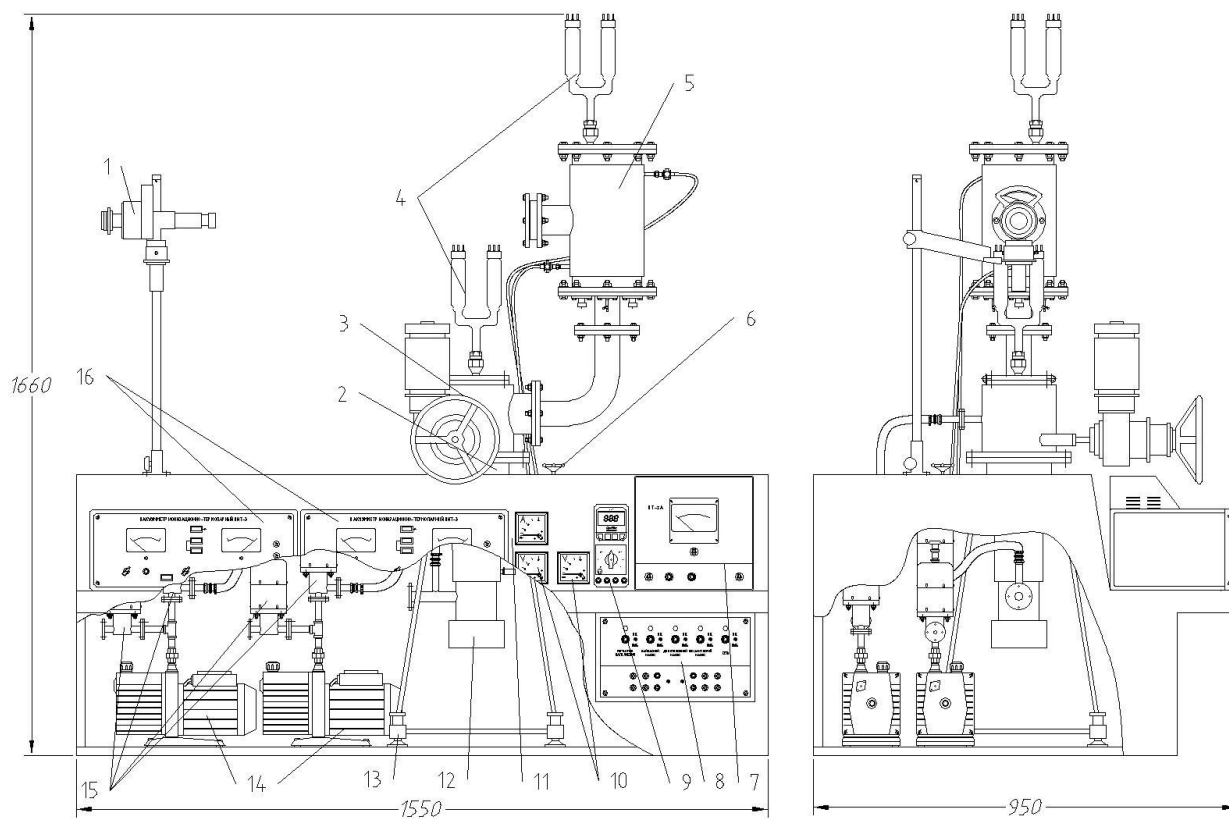


Рис. 6.1 – Компоновка измерительного стенда

1-пирометр; 2-водяная ловушка; 3-вакуумный затвор; 4-термопарный и ионизационный образатели; 5-вакуумная камера; 6-вентиль охлаждающей воды; 7-вакуумметр ВТ-2; 8-Блок выпрямители ; 9-мультиметр; 10-вольтметр; 11-амперметр; 12-диффузионный насос; 13-стойка; 14-механический насос; 15-запорно-регулирующий вентиль;16-вакуумметр ВИТ-3.

На рисунке 6.1 показана компоновка измерительного стенда .

Стенда состоит из двух этажа .На верхнем этаже расположены пирометр 1, который служит для дистанционного определения температуры образца и вакуумная камера 5 которая соединяется с затвором 3.

На нижнем этаже находятся ионизационно-термопарный вакуумметр ВИТ-3 16; вольтметр 10; амперметр 11; мультиметр 9 и термопарный вакуумметр ВТ-2 7.

Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3 предназначен для измерения давлений воздуха в лабораторных и производственных условиях. Вакуумметр может эксплуатироваться при следующих условиях: температура окружающей среды от 10 до 35°С,

относительная влажность до 80% (при температуре 20°С),

атмосферное давление  $100000 \pm 4000$  Па ( $750 \pm 30$  мм рт.ст.),

напряжение питающей сети  $220 \pm 22$  В, частота 50 Гц.

Основные области применения:

Электровacuумная и полупроводниковая промышленность,

Металлургическая промышленность,

Пищевая промышленность,

Космические исследования, ядерная физика и др.

Диапазон измерительных вакуумметром давлений от  $10^2$  до  $10^{-5}$  Па

Вакуумметр термопарный типа ВТ-2 предназначен для измерения давления воздуха и представляет собой прибор, состоящий из термопарной манометрической лампы, измерительного блока, включающего схему для питания термопары, и стрелочного прибора, измеряющего термо-э.д.с термопары. Вакуумметр термопарный используется для работы в лабораторных и производственных условиях.

Пределы измерения давления вакуумметром термопарный от 1 мм рт. ст. до  $10^{-3}$  мм рт. ст.

Внутри стенда расположен агрегат , который состоит из основных сборочных единиц: затвора вакуумного Ду-85, ловушку охлаждаемой Ду-85 2, насоса высоковакуумного паромасляного Н-05С 12, стойки 13, двух механических насосов ЗНВР-1Д 14 и вентилей дистанционного управления 15.

Вакуумный затвор предназначен для герметичного перекрытия высоковакуумных коммуникаций. Затвор исполняется с условными проходами 85мм . Механическая прочность деталей затвора обеспечивает герметичное перекрытие коммуникаций при перепаде давления в одну атмосферу как с одной, так и с другой стороны заслонки затвора. Узлы и детали затвора, сообщающиеся с вакуумной полостью, выполнены из конструкционных углеродистых сталей, позволяющих эксплуатировать затворы в установках с паромасляными насосами. Затворы сохраняют работоспособность при температуре  $+50 \div +25^{\circ}\text{C}$  и при давлении  $760 + 5 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст.

Открытие затворов производится после выравнивая давления на противоположных сторонах заслонки. Допустимый перепад давлений при открытии не более 10 мм рт.ст.

Таблица 6.1 – Технические характеристики затворы:

Наименование	Затвор Ду-85У
Диаметр условного прохода	85 мм
Тип электродвигателя	АОЛ-012-4
Мощность электродвигат	80 Вт
Время открытия (закрытия)	2 с
Натекание	0,05 л мк рт.ст./сек
Габариты	295x529x372 мм

Таблица 6.2 – Технические характеристики затворы:

Наименование	Затвор Ду-85У, вертикаль.впускной фланец
Наружный диаметр	145 мм
Внутрен.диаметр	85мм
Диаметр центральной линии болтов	125мм
Диаметр отверстий под болты	9мм
Количество отверстий под болты	4 шт.
Паз для уплотняющей прокладки	Ø100xØ90x3,5 мм

Ловушка охлаждаемая предназначена для предотвращения попадания пара масла, вылетающего из паромасляного насоса в откачиваемый объем. Это осуществляется как за счет конструкции вымораживающего устройства, делающей ловушку непросматриваемой на свет, так и за счет конденсации пара масла при соприкосновении с холодными пластинками вымораживающего устройства.

Таблица 6.3 – Технические характеристики ловушки:

Наименование	Ловушка охлаждаемая Ду 85
Пропускная способность	133 л/сек
Минимальная температура пластин	170°С
Расход жидкого азота, на предварительное охлаждение в установившемся режиме	0,9 л/ч
Время на предварительное охлаждение	0,12 ч
Время действия ловушки без доливки жидкого азота при работе сосудами Дьюара	0,5 ч
Рабочее давление в сосуде Дьюара	2,5.мм рт. ст

емкостью 15 л.	
Высота корпуса, мм	32 , мм
Вес, кг	2,1, кг
Внутренний диаметр.	86, мм
Диаметр центральной линии шпилек	125 мм
Количество шпилек	8
Диаметр шпилек	М6

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

Диффузионный паромасляныйнасос типа Н-05С предназначенный создания высокого вакуума

Основные технические характеристики механических насосов приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Технические характеристики насосов

Наименование	ЗНВР-1Д	Н-05С
Быстрота действия л/с	1	100
Предельное остаточное давление, мм.рт.ст	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Количества заливаемого масла, л	0,5	0,4
Частота вращения ротора в насос $c^{-1}$	46,6	-
Мощность электродвигателя ,Вт	250	0,5

Напряжени сети, В	380	220
Потребляемая мощность из сети, Вт	300	-
Уровень звука, дБ	70	-
Средняя наработка на отказ, ч	$2 \cdot 10^{-3}$	-
Габариты, мм		
длина	320	364
ширина	120	210
высота	200	155

Для питания образца, работающего при постоянном токе и для питания агрегата используется блок выпрямители 8, который приваривается к передней части стенда .

Таблица 6.5 – Технические характеристики блок выпрямители:

Количество фаз	3
Сеть	3x380 В, 50 Гц
Выходное напряжение	0..230 В
Номинальный ток нагрузки, А	До 2000А
Вход управления / входное сопротивление	0-10 В / 20 кОм
Точность поддержания выходного напряжения в режиме табилизации напряжения	2% $U_n$
Точность поддержания тока в режиме стабилизации тока	2% $I_n$
Время стабилизации тока при скачке напряжения сети или нагрузки на 10% в режиме стабилизации тока	2..3 сек

## 7. Проведение измерений и обработка результатов

### 7.1. Определение ошибок измерений

Формула для определения интегральной степени черноты имеет вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{Q}{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot F_1} = \frac{I \cdot \Delta u}{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot \pi \cdot d_n \cdot L}$$

Логарифм этой функции имеет значение:

$$\ln \varepsilon_1 = \ln I + \ln \Delta u - \ln \sigma - \ln(T_1^4 - T_2^4) - \ln \pi - \ln d_n - \ln L$$

а полный дифференциал функции:

$$d(\ln \varepsilon_1) = \frac{d\varepsilon_1}{\varepsilon_1} = \frac{dI}{I} + \frac{d(\Delta u)}{\Delta u} - \frac{4 \cdot dT_1}{T_1} + \frac{4 \cdot dT_2}{T_2} - \frac{dd_n}{d_n} - \frac{dL}{L}$$

Следовательно, относительная ошибка измерений интегральной степени черноты составит величину:

$$\frac{\Delta \varepsilon_1}{\varepsilon_1} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta(\Delta u)}{\Delta u} + \frac{4 \cdot \Delta T_1}{T_1} + \frac{4 \cdot \Delta T_2}{T_2} + \frac{\Delta d_n}{d_n} + \frac{\Delta L}{L}$$

Здесь  $\Delta$  - абсолютные ошибки при измерении отдельных величин с помощью имеющихся приборов.



## 8. Автоматизация автоматических процессов и производств

### 8.1. Описание системы контроля температуры и вакуума установки

Структурная схема контроля температуры и вакуума установки для определения интегральной степени черноты калориметрическим методом показана на рисунке 8.1 .

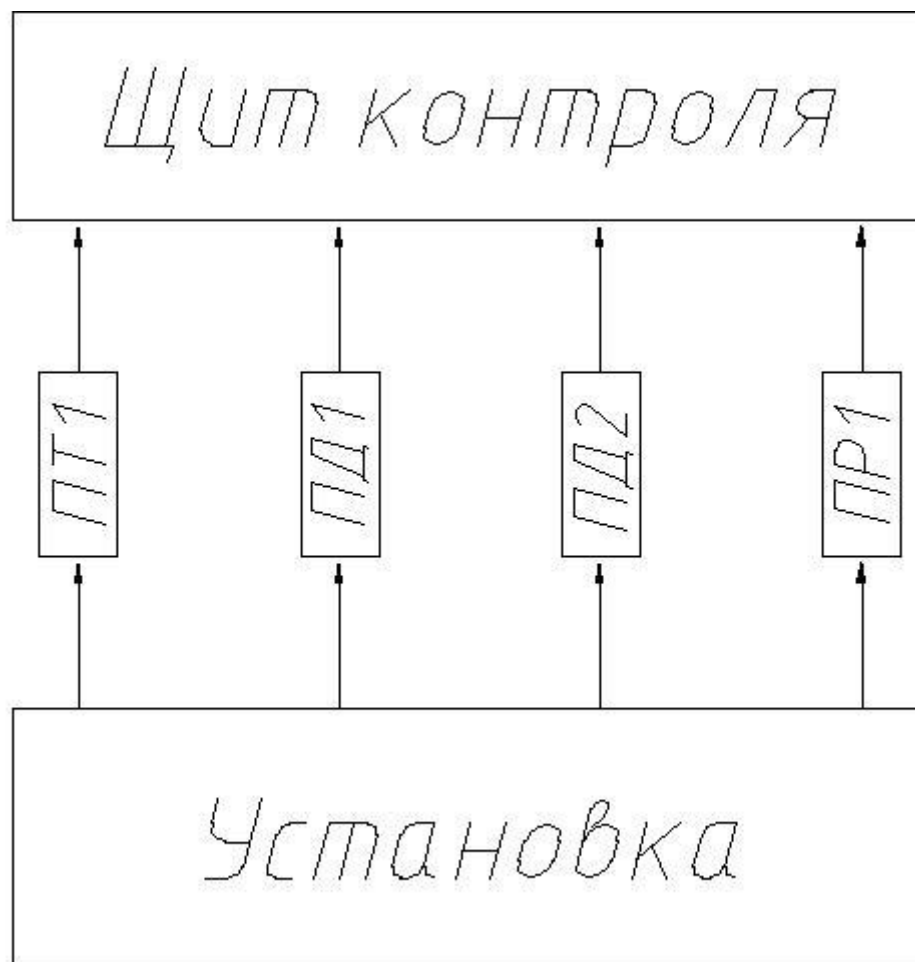


Рис. 8.1 – Структурная схема системы контроля температуры и вакуума установки для определения интегральной степени черноты калориметрическим методом

ПТ1 – преобразователь температуры, ПД1, ПД2 – преобразователи давления, ПР1 – преобразователь расхода.

Целью является разработка системы автоматического контроля параметров работы установки – температуры, давления, расхода.

Сигналы от преобразователей давлений и преобразователей температуры поступают в БЩУ. Далее оператор следит за показаниями приборов.

## **8.2. Выбор технических средств для реализации систем контроля**

### **8.2.1. Средства измерения вакуума**

В вакуумной аппаратуре промышленного назначения, а также в аппаратуре, используемой при проведении большинства научно-исследовательских работ, наиболее широкое применение находят деформационные, теплоэлектрические, радиоизотопные, ионизационные и магнитные электроразрядные манометры. Наиболее высокую точность измерения (от долей процента до нескольких процентов) имеют деформационные манометры, однако они могут измерять давления главным образом в диапазоне низкого вакуума.

Следует отметить, что в большинстве случаев требования, предъявляемые к точности измерений давлений в высоковакуумной аппаратуре, не бывают слишком высокими. Иногда вообще достаточно знать лишь порядок величины давления. Погрешность же около 10% вполне удовлетворяет при проведении многих научно-исследовательских работ. Поэтому значительная часть изготавливаемых промышленностью вакуумметров является индикаторными приборами, погрешность измерения которых колеблется от 10 до 60% измеряемой величины.

В деформационных манометрах (которые иногда называются вакуумметрами) мерой давления служит деформация чувствительного элемента, в качестве которого обычно используется трубка Бурдона, мембрана или сильфон.

Принцип действия манометра с трубчатым чувствительным элементом основан на использовании эффекта изменения радиуса кривизны тонкостенной серповидной трубки в результате изменения давления в ее полости. В мембранных манометрах используется эффект прогиба мембраны в результате

воздействия на ее стенки избыточного давления, приложенного с одной из сторон мембраны. С целью повышения чувствительности и исключения влияния внутренних напряжений мембрана обычно снабжается концентрическими гофрами. Сильфонные манометры по принципу своей работы мало отличаются от мембраны, но имеют значительно больший ход чувствительного элемента. Поскольку в большинстве случаев деформации трубки, мембраны или сильфона очень малы, то для их индикации обычно применяют трансформирующие приспособления, увеличивающие показания отсчетного устройства (стрелки). Такими приспособлениями могут являться механические системы, индукционные, емкостные датчики и др. Основные параметры и характеристики деформационных манометров приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Основные параметры и характеристики деформационных манометров [11]

Наименование	Тип	Диаразон измеряемых давлений мм рт.ст	Характеристика регистрации давления	Чувствительность	Габаритные размеры	Примечания
Деформационный манометр	ДММ-40 ДММ-100	0-40 0-100	Индукционный датчик	17,5 мВ/мм рт.ст. 0,75 мВ/мм рт.ст.	580x170x170	выпускаются также модификации ДММ-250 ДММ-400 ДММ-630 пределом 250 400 630 мм рт.ст соответственно
Вакууметр	МТИ ВТИ	0-760	Стрелочный	5 мм рт.ст./дел.шкалы 10 мм рт.ст./дел.шкалы	205x150x50	с полной трубкой выпускаются двух классов точности: 0,5 и 1
Мановакуумметр электроконтактный	ЭКМ мод.1401	0-700		20 мм рт.ст./дел.шкалы	205x105x95	Электроконтактный двухпозиционный предназначенный для измерения сигнализации и позиционного регулирования
Вакууметр	МЭД мод.2303 и 2306	0-760	Электрический индукционный	10 мм рт.ст./дел.шкалы	250x200x82	
Вакууметр образцовый	В018Р	0-760	Стрелочный	760 мм рт.ст./дел.шкалы	220x180x49	с одновитковой трубчатой пружиной выпускается классов 0,35 и 0,5

Отечественной промышленностью выпускаются также стрелочные вакуумметры и мановакуумметры (ГОСТ 1011-53, группа П14).

Деформационные манометры по сути дела являются единственными применяемыми в промышленности манометрами для измерения вакуума, на чувствительный элемент которых непосредственно воздействует давление разреженного газа. В остальных манометрах (или, как их иначе называют, манометрических преобразователях или датчиках) давление (или плотность газа) преобразуется в электрический сигнал, который затем усиливается с помощью измерительной установки. Манометрический преобразователь в комплекте с измерительной установкой называются обычно вакуумметром. Диапазоны давлений, измеряемых вакуумметрами, выпускаемыми отечественной промышленностью, представлены на рис. 8.2, а их основные параметры — в табл. 8.2.

Основные параметры и характеристики отечественных манометрических приведены в табл. 8.3

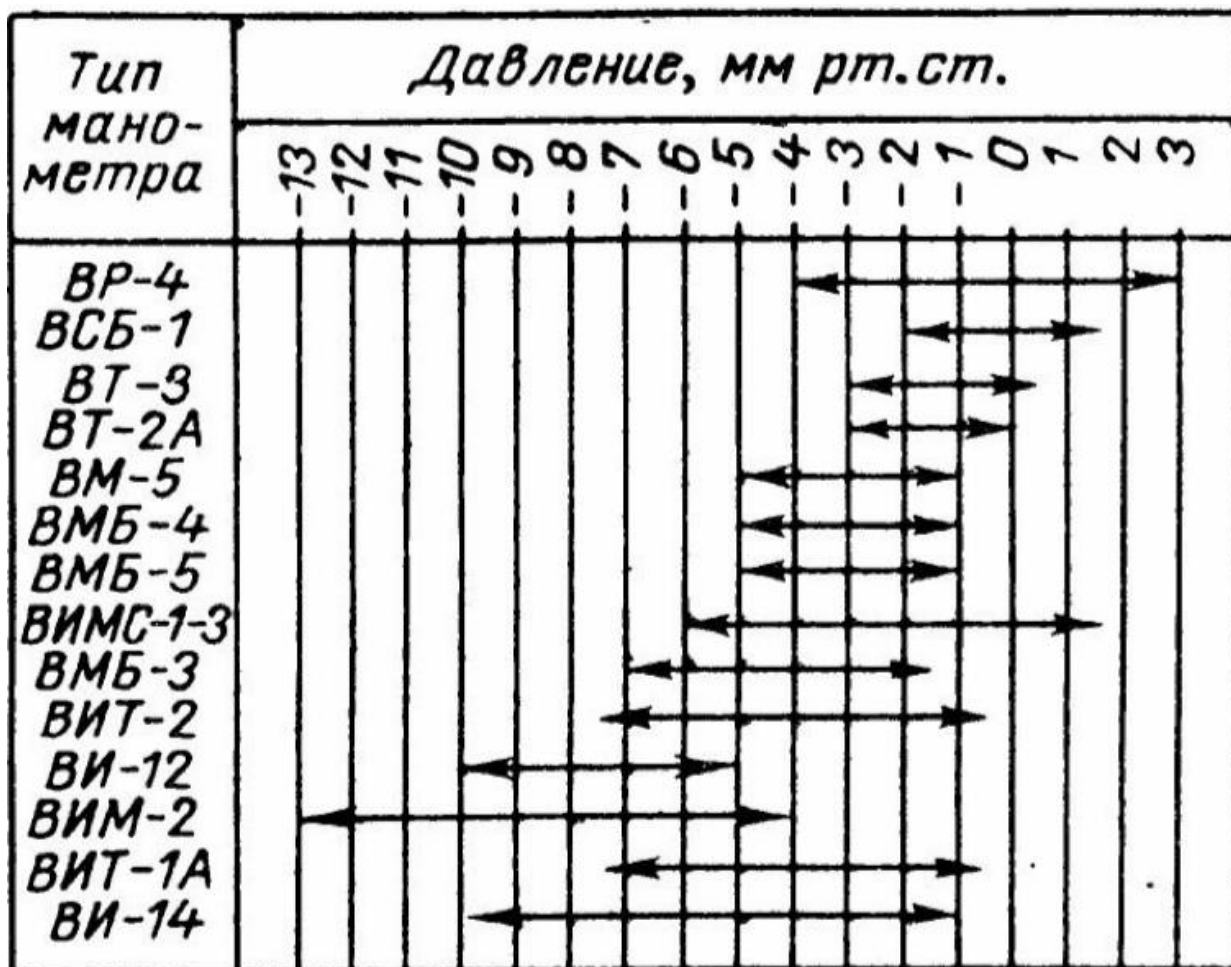


Рис. 8.2 – Диапазон давлений, измеряемых различными вакуумметрами

Таблица 8.2 – Основные параметры различных вакуумметров[11]

Наименование	Тип	Диапазон, мм рт.ст.		Габаритные размеры, мм	Вес, кг	Потребляемая мощность,Вт	Тип датчика
		Измерения	Блокировки				
Радиоизотопный	ВР-4	$760 \cdot 10^{-4}$	-	386x275x295	15	60	МР-8
Сопротивления	ВСБ-1	$30 \cdot 10^{-2}$	$30 \cdot 10^{-2}$	390x260x240	14	-	МТ-6
Термопарный	ВТ-3	$5 \cdot 10^{-3}$	-	320x185x150	4,5	35	ЛТ-2,ЛТ-4М
Термоэлектрический	ВТ-2А	$1 \cdot 10^{-3}$	-	266x148x257	9	50	ЛТ-2,ЛТ-4М, МТ8
Магнитный электроразрядный	ВМ5	$10^{-1} \cdot 10^{-5}$	$10^{-1} \cdot 10^{-5}$	311x274x364	14	100	ММ-15
	ВМБ-4			311x274x264	13	80	
	ВМБ-5			386x320x300	14	220	
Инверсно-магнетронный и сопротивления	ВИМС1-3	$30 \cdot 10^{-6}$	-	250x240x230	8	140	ММ-22 МТ-6
Магнитный электроразрядный	ВМБ-3А	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-6}$	380x290x240	18,5	150	ММ-13, М-4А
Ионизационный и термоэлектрический	ВИТ-2	$2 \cdot 10^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-8}$	-	320x280x215	10	75	ЛТ-2, ЛТ-4М, МТ-8, ЛМ-2, ЛМ-3, ЛМ3-2
	ВИТ-1А			390x225x210	16		
Ионизационный	ВИ-12	$10^{-5} \cdot 10^{-10}$	-	440x320x240	30	275	ИМ-12, МИ-12-8
	ВИ-14	$10^{-1} \cdot 10^{-10}$					
Инверсно-магнетронный	ВИМ-2	$10^{-4} \cdot 10^{-13}$	-	380x373x240	22	120	ММ-14М

Таблица 8.3 – Основные параметры и характеристики отечественных манометрических [11]

Наименование	Тип	Габаритные размеры, мм		Диапазон измерения, мм рт.ст.	Вес, кг	Тип вакуумметра
		Диаметр	Высота			
Теплоэлектрический	МТ-8	78	66	$5 \cdot 10^{-1} - 10^{-3}$	0,43	ВТ-2А, ВСБ-1, ВИМС1-3
	МТ-6	20	175	$30 \cdot 10^{-2}$	0,025	
Термопарный	ЛТ-2	32	280	$5 \cdot 10^{-3}$	0,05	ВТ-3, ВТ-2А, ВИТ-2, ВИТ-1А
	ЛТ-4М	32	108	$2 \cdot 10^{-1} - 10^{-3}$	0,04	ВТИ-1А, ВИТ-2, ВТ-2А
Магнитный электроразрядный	ММ-13М-4	80	205	$2 \cdot 10^{-5} - 10^{-7}$	2,3	ВМБ-3А
	ММ-13М-4А	100	205	$2 \cdot 10^{-5} - 10^{-7}$	2,3	ВМБ-3А
	ММ-15	70	157	$10^{-1} - 2 \cdot 10^{-5}$	1,4	ВМ-5, ВМБ-4, ВМБ-5
Инверсно-магнетронный	ММ-22	90	70	$10^{-2} - 10^{-6}$	0,9	ВИМС-1-3
	ММ-14М	90	142	$10^{-4} - 2 \cdot 10^{-13}$	2,3	ВИМ-2
Радиоизотопный Ионизационный Тоже	МР-8	60	200	$760 \cdot 10^{-4}$	0,9	ВР-4
	ЛМ-2	32	280	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-8}$	0,05	ВТ-3, ВИТ-2, ВИТ-1А
	ЛМ-3	32	280	$10^{-2} - 5 \cdot 10^{-8}$	0,05	ВИТ-1А, ВИТ-2
	ЛМ-3-2	90	100	$10^{-2} - 5 \cdot 10^{-8}$	0,5	ВИТ-2, ВИТ-1А
	ИМ-12	90		$10^{-3} - 10^{-10}$	0,6	ВИ-12
	МИ-12-8	90		$10^{-5} - 10^{-10}$		ВИ-12
	ИМ-14	90	80	$10^{-1} - 10^{-10}$	-	-



Работа термоэлектрических преобразователей основана на зависимости теплопроводности разреженного газа от его плотности, т. е. от количества молекул в единице объема, способных при своем движении переносить тепло. В терморезистивном преобразователе (типа ЛТ-2 ЛТ-4М) в результате изменения давления меняется температура спая, а следовательно и термоэлектродвижущая сила, по величине которой судят о давлении. В преобразователях типа МТ-6 и МТ-8 при изменении давления меняется температура нити, а следовательно, и ее сопротивление, по величине которого судят о давлении.

Принцип действия радиоизотопного преобразователя типа МР-8 основан на свойстве альфа-частиц ионизировать газ, в результате чего образуется ионный ток, пропорциональный давлению газа. Преобразователь можно присоединять к вакуумной системе с помощью грибовидного уплотнения  $Dy=20$  мм

Работа магнитных электроразрядных преобразователей основана на ионизации молекул остаточного газа в результате возникновения разряда между помещенными в магнитное поле электродами, а мерой давления служит величина разрядного тока. Преобразователь типа ММ-15 присоединяется к вакуумной системе через фланец  $Dy=20$ , преобразователи типа ММ-13М-4 и ММ-13М-4А — через фланец  $Dy=20$ , преобразователи ММ-14 и ММ-22 — через фланец  $Dy=50$ .

Принцип действия ионизационных преобразователей основан на ионизации молекул остаточных газов электронами, летящими от накаливаемого катода, а мерой давления служит величина ионного тока, измеренная при постоянстве тока эмиссии катода. Преобразователи ЛМ-2, ЛМ-3, ИМ-12 помещены в баллон из стекла марки С49-2, поэтому они могут быть припаяны к вакуумной установке из этого же стекла. Ионизационный преобразователь типа ЛМ-3 является модификацией преобразователя типа ЛМ-2. Вместо вольфрамового катода в нем используется воздухостойкий иридиевый катод с

покрытием из окиси иттрия , чем обеспечивается возможность измерения давления воздуха и других газов до  $10^{-2}$ мм рт. ст. Для цельнометаллических высоковакуумных и сверхвысоковакуумных систем могут использоваться конструкции ионизационных преобразователей тока типа ЛМ-3-2, МИ-12-8.

Выбран термопарный преобразователь давления ЛТ-2 (для среднего вакуума) и ионизационный (для глубокого вакуума, в нашем случае около  $P \approx 10^{-5}$ Па) преобразователь давления ЛМ-2. В качестве вторичного

прибора для измерения сигналов с манометрических преобразователей давления служат вакуумметры типов ВИТ – 3 .

### **8.2.2. Средства измерения температуры**

В качестве первичных преобразователей температуры используют термопреобразователи сопротивления (ТПС) и термоэлектрические преобразователи (ТЭП). Термопреобразователи выпускаются в двух видах: поверхностные и погружаемые. В настоящее время выпуск стандартных термопреобразователей освоен промышленной группой «Метран», заводом «Эталон» и другими предприятиями. Номинальное значение температуры теплоносителя (воды) составляет °С.

Для измерения температуры могут быть использованы термоэлектрические преобразователи (ТЭП) или термопреобразователи сопротивления (ТПС), имеющие выходной сигнал в виде ТЭДС (для ТЭП) и сопротивления (для ТПС) или унифицированный выходной токовый сигнал (0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА).

Выбор ТЭП произведен согласно таблице 8.4

Для измерения температуры принят ТЭП типа ТХА Метран-211-01. Показания от термопар идут сначала на малогабаритный галетный переключатель поворотного типа ПГ2-12-6П8НВК, затем, после выбора термопары с помощью переключателя, сигнал поступает на мультиметр цифровой прецизионный, 2 канала, IT-8-RUT.

Таблица 8.4 – Технические характеристики термоэлектрических преобразователей [25]

Тип	Класс допус-ка	НСХ	Пределы измерений, °С		Условное давление, МПа	Материал защитной арматуры	Длина монтажной части, мм	Область применения	Завод-изготовитель
			нижний	верхний					
ТХА Метран-201*-01 ТХК Метран-202*-01	2	К L	-40 -40	800(1000) 600	0,4; 6,3	12Х18Н10Т, ХН78Т	60...3150	Газообразные и жидкие среды	ПГ «Метран», г. Челябинск
ТХА Метран-231-06	2	К	-40	1000	0,4; 6,3	12Х18Н10Т, ХН78Т	280, 320, 420	Газообразные среды, продукты сгорания	
ТХА Метран-231*-04 ТХК Метран-232*-04	2	К L	0 0	800(900) 600	0,4(-0,4); 6,3(-0,5)	12Х18Н10Т, ХН45Ю	250...1000	Продукты сгорания жидкого (газообразного) топлива	
ТХА Метран-231*-01 ТХК Метран-232*-01	2	К L	0	600	60(-12); 25,5(-10)	12Х1МФ	80...200	Перегретый пар	
ТХК Метран-232*-14	2	L	0	400	–	12Х18Н10Т	320...1600	Поверхности твердых тел	
ТХА Метран-241-01 ТХК Метран-242-01	2	К L	-40 -40	200 400	–	Латунь Л63; 12Х18Н10Т	10...1600	Поверхности твердых тел, подшипники	
ТПП Метран-211-01	2	S	0	1300	0,4	Корунд КВПТ	320...2000	Газовые среды	
ТХАУ-205 ТХАУ-205-Ех	±0,5 %;	K(4...20 мА)	0	400...1200	0,1; 6,3	12Х18Н10Т	60...1600	Нейтральные и агрессивные среды	
ТХКУ-205 ТХКУ-205-Ех	±1,0 %; ±1,5 %	L(4...20 мА)		400...600					
ТПП-0192 ТПР-0192 ТПР-0292	2	S B B	0 +600 +600	+1300 +1600 +1600	0,4	Корунд	320...2000	Окислительные и нейтральные среды	
ТХА 9312	2	К	-40	+900	0,4...6,3	08Х20Н14С2 12Х18Н10Т	120...2000	Газообразные и жидкие среды	
ТХК 9312	2	L	-40	+600					
ТПП2 821 004 ТПР2 821 005 ТПР2 821 006	2	S B B	0 +300 +300	+1300 +1600 +1600	0,4	Корунд с добавкой двуокиси титана	200...2000	Окислительные и нейтральные газовые среды	Опытный завод «Эталон», г. Омск

\* – Количество чувствительных элементов 1 или 2

### 8.2.3. Средства измерения расхода

Для измерения расхода воды для охлаждения вакуумной камеры в процессе работы выбран счетчик воды. Счетчиком воды называется конструкция, измеряющая количество объема проходящего по водопроводу потока за единицу времени. Измерения считаются в м<sup>3</sup>. С помощью прибора наблюдатель может видеть, какое именно количество теплоносителя расходуется.

Современные водосчетчики делятся на: - тахометрические – принцип работы которых основан на подсчете количества вращений крыльчатого элемента. Крыльчатка заключена внутри и вращается от потока воды, при этом в защищенной от потоков части находится прибор, отвечающий за точность показаний.

- вихревые - конструкция, функционал которой заключен в том, что система водопровода создает вихри, частота которых пропорциональна скорости течения жидкости. Именно на этом основаны исчисления оборудования.

-магнитные - магнитное поле индуцируется со скоростью, пропорциональной силе поступающего потока.

- ультразвуковые -преобразователи измеряют расходы воды путем анализа акустического эффекта колебаний ультразвука, возникающего при протекании потока жидкости через водомер.

Также водосчетчики делятся по количеству трубопроводов, которые могут обслужить:

1. Одноканальные;
2. Двухканальные;
3. Многоканальные.

Выбран счетчик воды типа Норма СВКМ-15 с диапазоном рабочих температур от 5 до 30°C. Диапазон измерений расхода от 0,06 до 3 м3/ч. Метрологический класс: класс А

### **8.3. Проектирование функциональной схемы**

Функциональная схема представляет собой технический документ, который определяет функционально-блочную структуру систем контроля технологического процесса.

В ходе разработки функциональной схемы системы контроля решены следующие задачи:

1. Определение управляющего воздействия на технологический процесс;
2. Контроль параметров технологических процессов и состояния оборудования;
3. Получение основной информации о технологическом процессе и объекте управления.

Эти задачи решены на основе анализа условий работы технологического оборудования, критериев и законов управления объектом, требований, предъявляемых к точности контроля и регистрации, а также качеству регулирования.

Функциональная схема разработана с учетом структурной схемы.

Сигналы по вакуумметрическому давлению формируются датчиками 1а, 2а, сигнал от которых поступает на вакуумметр 1б.

Сигналы по температуре формируются преобразователями температуры 3а и подаются на галетный переключатель, с помощью которого выбирается требуемый термоэлектрический преобразователь, сигнал от которого идет на мультиметр 3б.

Расход воды для охлаждения вакуумной камеры в процессе работы измеряется водосчетчиком 4а по месту.

## **9. Социальная ответственность**

Целью данной дипломной работы является проектирование и создание установки для определения интегральной степени черноты калориметрическим методом. Данной установкой является вакуумная электропечь. Вакуумными называются электропечи, в рабочем пространстве которых давление газовой среды поддерживается при давлении ниже атмосферного. Она представляет собой водоохлаждаемый цилиндр, по краям которого приварены фланцы. На фланцы накручиваются крышки, в одну из которых вмонтированы датчики вакуума, а вторая крышка служит для крепления вывода тоководов, термопар. Внутри вакуумная электропечь помещается исследуемый образец, через который пропускает электрический ток.

Лаборатория представляет собой помещение, рассчитанное на 12 рабочих мест, оборудованное компьютерами, компрессорами, насосами и т. д.. В лаборатории находятся два окна, имеется кондиционер, используется искусственное и естественное освещение.

### **9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **9.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Отношения между работником и работодателем регулируются трудовым кодексом РФ. Согласно трудовому кодексу РФ, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда.

Продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:



Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов;

при 30-часовой рабочей неделе и менее – 6 часов.

Продолжительность рабочего дня или смены, непосредственно предшествующих нерабочему праздничному дню, уменьшается на один час.

Ночное время – время с 22 часов до 6 часов. Продолжительность работы (смены) в ночное время сокращается на один час без последующей отработки.

В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Правилами внутреннего трудового распорядка или трудовым договором может быть предусмотрено, что указанный перерыв может не предоставляться работнику, если установленная для него продолжительность ежедневной работы (смены) не превышает четырех часов.

Всем работникам предоставляются выходные дни (еженедельный непрерывный отдых).

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы только в случаях, установленных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, получении

образования и продвижении по службе, обеспечения личной безопасности работников, контроля количества и качества выполняемой работы и обеспечения сохранности имущества.

Все персональные данные работника следует получать у него самого. Если персональные данные работника возможно получить только у третьей стороны, то работник должен быть уведомлен об этом заранее и от него должно быть получено письменное согласие. Работодатель должен сообщить работнику о целях, предполагаемых источниках и способах получения персональных данных, а также о характере подлежащих получению персональных данных и последствиях отказа работника дать письменное согласие на их получение.

Законодательством РФ запрещена дискриминация по любым признакам и принудительный труд.

### **9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Согласно системе стандартов безопасности труда тезисно можно заключить, что рабочее место при выполнении работ должно быть:

1. организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

2. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

3. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

Что же касается зон для выполнения ручных операций и размещения управления, то при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если

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

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

- высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног. Регулируемые параметры следует выбирать по номограмме, приведенной на рисунок 9.2;

- высоты сиденья и подставки для ног (при нерегулируемой высоте рабочей поверхности). В этом случае высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме (рисунок 9.1) для работающего ростом 1800 мм. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

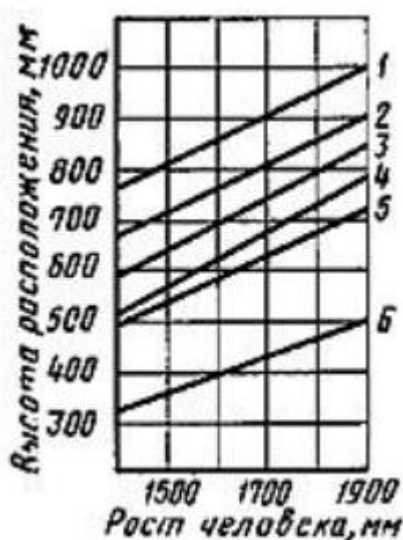


Рис. 9.1 – Номограмма зависимости высоты рабочей поверхности для разных видов работ(1-4), пространства для ног (5) и высоты рабочего сиденья (6) от роста человека

Ссылаясь на госстандарт системы «Человек-машина» выделим главные положения, устанавливающие основные требования и взаимосвязь между человеком и рабочим местом(машиной) :

### ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

При взаимном расположении элементов рабочего места необходимо учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором

### ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;

- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

## ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Средства отображения информации необходимо группировать и располагать группы относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют. При этом средства отображения информации необходимо размещать в пределах групп так, чтобы последовательность их использования осуществлялась слева направо или сверху вниз.

Лицевые поверхности индикаторов следует располагать в оптимальной зоне информационного поля в плоскости, перпендикулярной нормальной линии взора оператора, находящегося в рабочей позе. Допускаемое отклонение от этой плоскости - не более  $45^\circ$ ; допускаемый угол отклонения линии взора от нормальной - не более  $25^\circ$  для стрелочных индикаторов и  $30^\circ$  для индикаторов с плоским изображением.

## 9.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015, опасные и вредные факторы по характеру происхождения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- социально-экономические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, представлен в табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Исследования	Разработка	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548- 96; 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96; 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; 4. СП 52.13330.2016; 5. ГОСТ Р 12.1.019- 2009 ССБТ;
2. Превышение уровня шума	+	+	
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	
5. Умственное перенапряжение	+	+	
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	

### 9.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления

## 9.2.2 Превышение уровня шума

Шум – сочетание беспорядочных по силе и частоте звуков.

Шум ухудшает условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: он затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает необратимые изменения в органах слуха человека, ослабляет внимание, ухудшает память, снижает реакция, увеличивает число ошибок при работе.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» в помещениях лабораторий для проведения экспериментальных работ уровень шума не должен превышать 75 дБА.

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

Основными источниками шума в лабораторной установке являются компрессор с ресивером для нагнетания воздуха и водяной центробежный насос.

Основной характеристикой звукового поля является уровень его звукового давления  $N$ , который можно найти по формуле:

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

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

Вычисли эффективное звуковое давление  $p_i$ :

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

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

Звуковое давление нескольких источников  $N$  суммируется по следующей формуле:

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

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

Таблица 9.2. Звуковое давление источников шума

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

Вычисляем общий уровень шума:

$$N = \frac{20 \lg(p_1 + p_2 + \dots + p_n)}{p_0} = \frac{20 \lg(0,224 + 0,502)}{2 \cdot 10^{-4}} = 71,2 \text{ дБ}$$

По полученным расчетам можно смело заключить, что уровень шума является допустимым.

### 9.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточность освещенности приводит к напряжению органов зрения, ослабляет внимание, что приводит к преждевременной утомляемости. Избыток освещенности вызывает ощущение рези в глазах и ослеплению. Неправильное направление света на рабочем месте дезориентирует рабочего.

Расположение источников света в помещении определяются следующими размерами:

$H$  – высота помещения;  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом;  $h_{п}$  – высота подвеса светильника(источника света) над полом;  $h_c$  – высота свеса источника света от перекрытия.



Внесем габариты лаборатории, в которой располагается установка – 8000 мм – длина лаборатории, 5000 мм – ширина, 3000 мм – высота.

$$h_p = 0,75 \text{ м};$$

$$h_{\text{п}} = H - h_c = 3 - 0,2 = 2,8 \text{ м};$$

$h = h_{\text{п}} - h_p = 2,8 - 0,75 = 2,05 \text{ м}$  – высота светильника над рабочей поверхностью.

Для светильников люминесцентными лампами без защитной решетки типов ОД, ОДО  $\lambda=1,4$ .

Расстояние  $L$  между источниками света определим как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,05 = 2,87 \text{ м};$$

Расстояние от крайнего ряда до стены составит:

$$l = L/3 = 2,87/3 = 0,955 \text{ м}.$$

Световой поток группы люминесцентных ламп определяется по формуле:

$$\Phi = (E_n \cdot S \cdot K \cdot Z) / (N \cdot \eta),$$

где  $E_n = 300 \text{ лк}$  (нормируемая минимальная освещенность по СП 52.13330.2011;  $S = A \cdot B = 8 \cdot 5 = 40 \text{ м.кв.}$  – площадь помещения;  $K$  – коэффициент запаса. Для помещения с малым выделением пыли  $K=1,5$ ;  $Z$  – коэффициент неравномерности, отношение  $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ . Для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ ;  $N$  – число ламп. Примем  $N=8$ ;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $p_c$  и потолка  $p_{\text{п}}$ .

Для лаборатории:  $p_c = 30\%$  – стены оклеены светлыми обоями;  $p_{\text{п}} = 50\%$  –

ПОТОЛОК ЧИСТЫЙ БЕТОННЫЙ.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / (h \cdot (A + B)) = 40 / (2,05 \cdot (8 + 5)) = 1,5.$$

Коэффициент использования светового потока светильника равен 52%.

Световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = (E_n \cdot S \cdot K \cdot Z) / (N \cdot \eta) = (300 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / (8 \cdot 0,52) = 4760 \text{ люмен.}$$

Выбираем светильник ОД-2-80 с лампой ЛБ 80:

Световой поток лампы 5200 лм; Количество ламп – 2; Мощность – 80 Вт;

Габариты светильника: длина – 1531 мм, ширина – 266 мм, высота – 198 мм.

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = P_0 \cdot N = 80 \cdot 8 = 640 \text{ Вт}$$

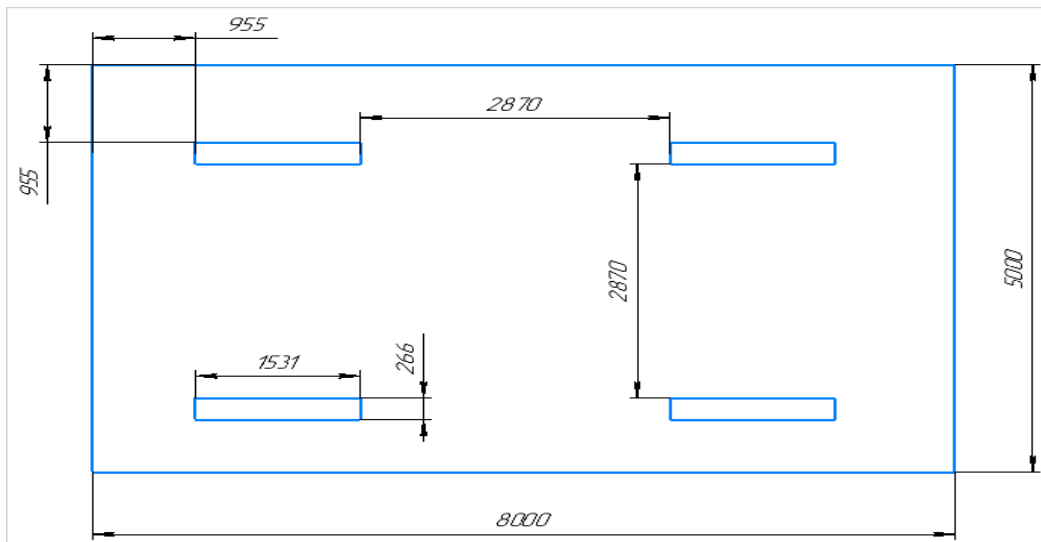


Рис. 9.2 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

#### 9.2.4 Умственное перенапряжение

Умственное перенапряжение вызывается информационной нагрузкой. Чтобы его избежать, необходимо устраивать небольшие перерывы в течение рабочего

дня продолжительностью не более 5 минут. При умственной работе, по сравнению с физической, потребление мозгом кислорода увеличивается в 15-20 раз. Если для умственной работы требуется значительное нервно-эмоциональное напряжение, то возможны значительные изменения кровяного давления, пульса. Продолжительная умственная работа может привести к сердечно-сосудистым и некоторым другим заболеваниям. Рабочее место позволяет делать перерывы в течение дня.

### **9.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Первое заключается в нагреве и ожогах различных частей и участков тела человека, второе — в изменении состава (разложение) и свойств крови и других органических жидкостей. Биологическое действие электрического тока выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма и в нарушении протекания в нем различных внутренних биоэлектрических.

Во время использования средства вычислительной техники или другими периферийными устройствами оператор должен осторожно обращаться с электропроводкой, аппаратами и приборами и всегда помнить, что, если не придерживаться правил безопасности, то это может угрожать здоровью и жизни человека.

## **9.3 Экологическая безопасность**

Экологическая безопасность - приемлемый уровень деструктивного влияния природных и антропогенных факторов экологических опасностей, которые представляют угрозу для окружающей среды и человека.

Проектирование и сборка установки в данной ВКР не имеет производственных масштабов, ее производство и эксплуатация не оказывает заметного влияния на окружающую среду. Возникающие в процессе

производства деталей установки твердые бытовые отходы идут на хранение и утилизацию на специальных полигонах. Сама установка по окончании срока службы отправляется на переработку.

Люминесцентные лампы- стеклянные отходы сортируются и сдаются предприятиям: «ЭКТОМ», ОАО «Полигон»

## **9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **9.4.1 Анализ вероятных ЧС**

В принципе, перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк. Ограничиваясь местоположением объекта и условиями его эксплуатации, его можно представить следующим (ориентировочным) вариантом:

– наводнение; – удар молнии; – пожар на объекте; – взрыв.

Наиболее вероятная ЧС – пожар.

### **9.4.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС**

Пожар в лаборатории может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся: короткое замыкание, перегрузка проводов, большое переходное сопротивление, искрение, статическое электричество.

Короткое замыкание может возникнуть вследствие ошибки при проектировании, старения изоляции, увлажнения изоляции, механической перегрузки.

### 9.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

К мерам по предупреждению пожара согласно относятся такие профилактические мероприятия, как (N 123-ФЗ):

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание противопожарных инструкций, планов эвакуации.

Под эвакуацией при пожаре понимается вынужденное организованное самостоятельное движение людей непосредственно наружу или в безопасную зону при возникновении угрозы воздействия опасных факторов пожара. Эвакуацией также считается несамостоятельное перемещение людей, относящихся к маломобильным группам населения, при помощи обслуживающего персонала, пожарной охраны, в том числе с использованием спасательных средств и средств индивидуальной защиты.

План эвакуации из лаборатории, находящейся в четвертом корпусе ТПУ представлен на рисунке 9.3.

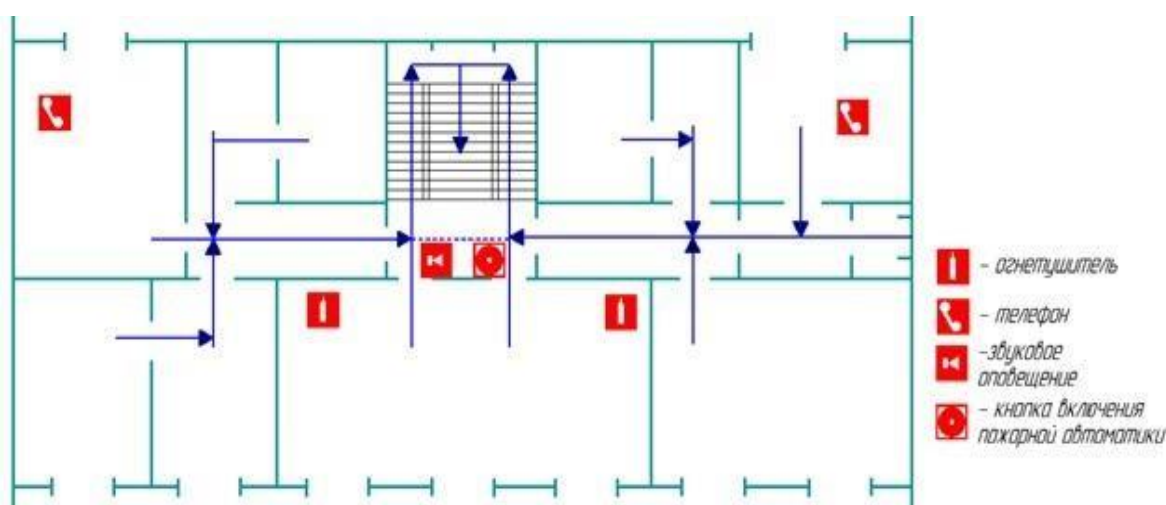


Рис. 9.3 – План эвакуации из лаборатории

### **Выводы по разделу**

В данном разделе рассмотрены основные вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения правил к безопасности труда, промышленной безопасности, экологии и ресурсосбережения. Установлено, что рабочее место исполнителя удовлетворяет требованиям безопасности и гигиены труда во время реализации проекта, а также вредное воздействие объекта исследования на окружающую среду не превышает норму.

## **10. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является определение сметы расходов на выполнение НИР (затрат на заработную плату, наладку оборудования, расходные материалы, комплектующие, оборудование, стоимость основных средств). Экспериментальная установка по определению интегральной степени черноты калориметрическим методом представляет из себя передвижной стол, на котором расположена вакуумная камера и компрессор. В вакуумную камеру помещается специальная электрическая печь для нагрева образцов. Также в состав установки входит большое количество измерительных приборов.

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

### **10.1. Планирование НИР**

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

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

Подготовка исходных данных для построения сетевого графика включает:

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

При построении сетевого графика должны учитываться следующие четыре правила:

- график должен иметь только одно начальное событие (исток) и только одно конечное событие (сток);

- ни одно событие не может произойти до тех пор, пока не будут закончены все входящие в него работы;

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

- график должен быть упорядоченным.

В разработке проекта участвуют 3 специалиста:

1- Руководитель

2- Инженер

3- Лаборант

Таблица 10.1 – Данные сетевого графика

№	Название работы	Исполнители	Длительность работы $t_{ij}$ , сут
0-1	подбор персонала	1	1
1-2	анализ литературы	2	2
1-3	поиск информации по другим экспериментальным установкам	3	2
2-3	объединение информации	2	4
3-4	ознакомление с найденной информацией	1,2,3	4
4-5	проектирование ЭУ	2	7
5-6	расчет элементов установки	2	3
5-7	моделирование 3D модели установки	3	15
7-8	разработка компоновки	3	2



	стенда		
6-9	расчет стоимости необходимых материалов и оборудования	2	1
9-10	закупка материала	2	1
8-10	изготовление элементов ЭУ и стенда	3	15
10-11	покупка измерительного оборудования	1	7
10-12	организация рабочего места	3	3
11-14	транспортировка к месту сборки	1	5
12-13	покупка вспомогательного оборудования	2	1
13-14	сборка и установка ЭУ	3	7
14-15	установка водяного охлаждения установки	3	4
14-16	установка вакуумных насосов	2	1
15-17	проверка герметичности установки	3	2
16-17	сборка остальных элементов внутри корпуса установки	2	2
17-18	проверка водяного охлаждения	2,3	1
18-19	проверка выпрямителя напряжения нагревателя	2,3	1
19-20	проведение первичной серии испытательных экспериментов	2,3	7

20-21	формирование отчетов по проделанным экспериментам	2	1
21-22	устранение недочетов	3	3
22-23	формирование отчетов по проделанным экспериментам	2	2
22-24	проведение вторичной серии экспериментов	3	5
23-24	устранение недочетов	3	1
24-25	проведение НИР	2,3	60
24-26	обработка и анализ полученных данных	2,3	10
24-27	расчет сметы	1	3
25-29	формирование отчета	2	10
26-28	завершение НИР	2,3	5
27-28	написание заключения о проделанной работе	1	7

По данным таблицы 10.1 можно построить сетевой график, который будет отражать состав, связи и последовательность выполнения комплекса работ и событий, направленных на достижение конечного результата.

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

Стрелками (лучами) обозначены работы, продолжительность (длительность) которых указываются в центре стрелки. Число, стоящее в начале луча в верхней части указывает на ранее начало совершения работы, в конце в верхней части – ранее окончание. Аналогичный смысл несут числа под

стрелкой: в начале – позднее начало, в конце – позднее окончание. В центре луча (число с чертой) указывается резерв времени совершения данной работы:

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

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

$t_{ij}^{nn}$  – позднее начало работы;

$t_{ij}^{po}$  – ранее окончание работы;

$t_{ij}^{pn}$  – ранее начало работы

Таблица 10.2 – Результаты расчета сетевого графика

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

14-16	62	63	62	63	0
15-17	66	68	66	68	0
16-17	63	68	66	68	0
17-18	68	69	68	69	0
18-19	69	70	69	70	0
19-20	70	77	70	77	0
20-21	77	78	77	78	0
21-22	78	81	78	81	0
22-23	81	83	81	83	0
22-24	81	88	81	88	0
23-24	83	88	83	88	0
24-25	88	148	88	148	0
24-26	88	91	88	153	62
24-27	88	91	88	151	60
25-29	148	158	148	158	0
26-28	91	98	153	158	60
27-28	91	98	151	158	60

## 10.2 Анализ сетевого графика

Определив все параметры сетевого графика, можно построить линейный график работ, который показывает, сколько времени затрачивается на работу. Длина ленты линейного графика равна календарному времени

выполнения этой работы с учетом планового направления на нее соответствующих ресурсов.

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

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

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

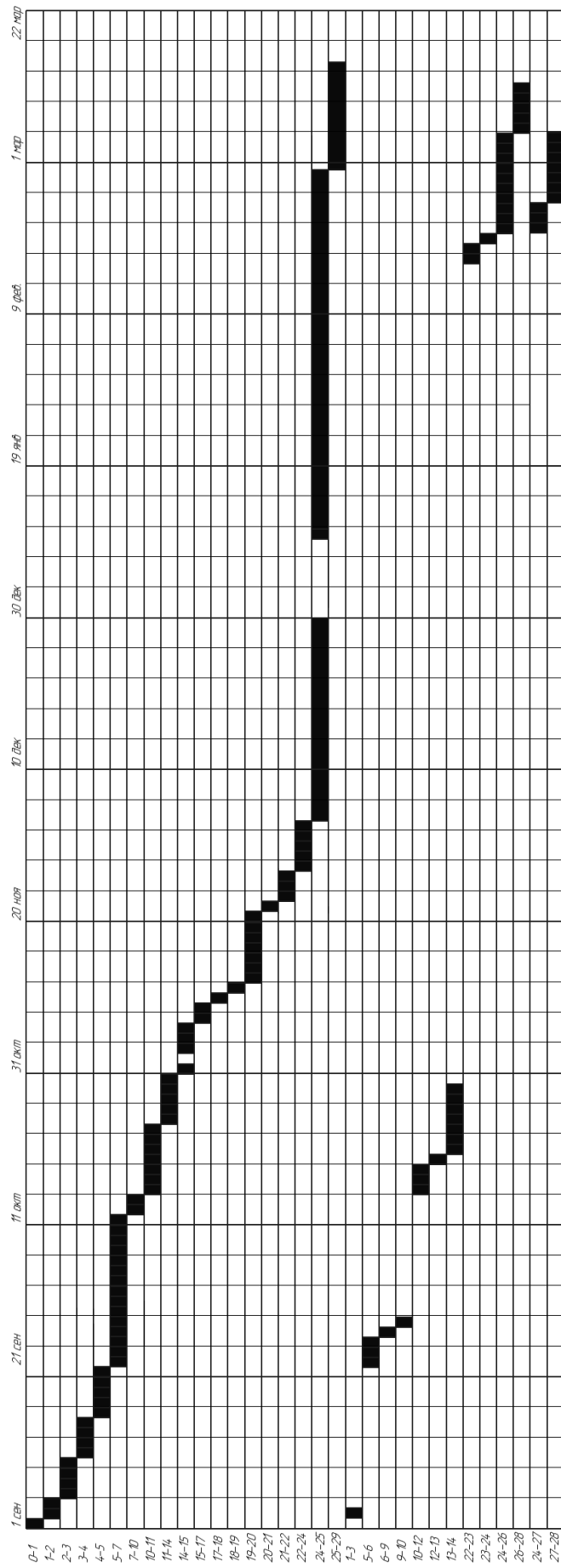


Рис. 10.1 - Линейный график выполнения работ

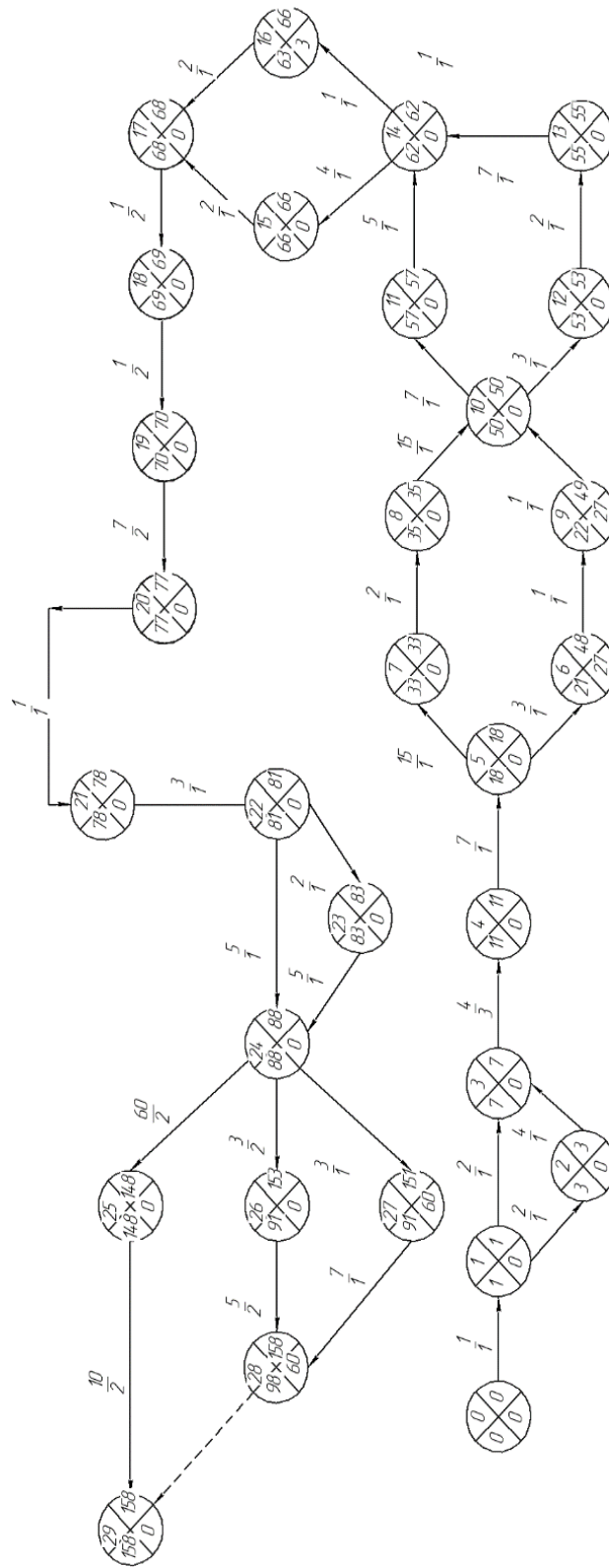


Рис.10.2 - Сетевой график выполнения работ



**Смета расходов на выполнение НИР:** Смета составляется с целью планирования расходов. В ней перечисляются виды расходов, их денежная оценка по статьям.

### 10.3 Расчет капитальных затрат

#### 10.3.1 Расчет затрат на оборудование

Таблица 10.3 – стоимость стандартных изделий, используемых в экспериментальной установке

№	Наименование	Кол-во	цена	стоимость
1	Фланец d=220mm	4	950	3800
2	Фланец d=120mm	6	550	3300
3	Фланец d=210mm	1	900	900
4	Фланец d=100mm	1	550	550
5	Смотровое стекло 60/15	1	400	400
6	Втулка фторопластовая 60/23	1	80	80
7	Втулка фторопластовая d=23mm	4	80	320
8	Прокладка из вакуумной резины	6	30	180
9	Шайба резиновая d=24mm	2	30	60
10	Болт М10	16	50	800
11	Гайка М10	16	40	640
12	Шайба М10	16	20	320
13	Болт М8	4	30	120
14	Шайба М8	4	15	60
15	Гайка М8	4	25	100
16	Шайба М5	8	10	80
17	Гайка М5	8	20	160
18	Винт М5	16	15	240

Итого С<sub>с.и.</sub>=12110 руб.

### 10.3.2 Расчет затрат на расходные материалы

Таблица 10.4 – Стоимость закупаемых расходных материалов

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

Итого : С<sub>р.м.</sub> =1250

### 10.4. Расчет эксплуатационных затрат

#### 10.4.1 Расчет затрат на заработную плату

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

Таблица 10.5 – Оклады участников НИР

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

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

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

Дополнительный ФПЗ:

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

Таким образом, фонд заработной платы:

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

Начисления в фонд по оплате труда:

$$Bom = 30,2\% \cdot \PhiЗП = 0,302 \cdot 308700 = 159540 \text{ р } 95 \text{ коп.}$$

#### 10.4.2 Расчет затрат на наладку оборудования

Работы по наладке оборудования будут производиться сторонними организациями, оплата которых так же будет учтена в смете. Для выполнения данного проекта нам потребуются услуги организаций, такие как сварочные, сверлильные и токарные работы.

Таблица 10.6 – Дополнительные работы

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

Стоимость материальных запасов:

$$C_{мз} = Ц \cdot N_{эл} \cdot t.$$

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

$N_{эл} = 10 кВт$  – мощность вакуумной камеры;

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

$$C_{мз} = 3 \cdot 10 \cdot 50 = 1500 \text{ р.}$$

#### 10.4.3 Расчет затрат на комплектующие

Таблица 10.7 – Стоимость оборудования и материалов, используемых в экспериментальной установке

№	Наименование	Кол-во	цена	стоимость
1	Насос механический пластинчато-роторный типа ЗНВР-1	2	27 400	54 800
2	Насос паромасляный диффузионный типа	1	10 210	10 210

	Н-1С-Б			
3	Течеискатель типа ПТИ-7А	1	20 886	20 886
4	Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3	1	49 999	49 999
5	Милливольтметр типа М089F	1	1200	1200
6	Источник питания типа ВСА-5А	1	7 000	7 000
8	Вакуумный затвор	1	15 000	15 000
9	Вентиль-натекатель КРП-16-2	4	1000	4 000
11	Лампа накаливания	1	30	30
13	Вентиль на системе водоснабжения	3	750	2 250
14	Корпус вакуумной камеры	1	1 550	1 750
15	Токоподводящий стержень	2	150	300
16	Медная лапа	2	200	400
17	Вакуумные шланги	3м	200	600
18	Водяные шланги	4м	80	320
19	Проводники термопар	6м	100	600
20	Образец	1	150	150
21	Нить нагрева (нихром)	20м	200	4000

Итого  $C_{o.m.} = 173495$  руб.

#### 10.5. Уровень рентабельность проекта ( Точка безубыточности )

$$C_{oc} = C_{p.m.} + C_{o.m.} + C_{c.u.},$$

где  $C_{p.m.} = 1250 p$  – стоимость расходных материалов

$C_{o.m.} = 173495 p$  – стоимость основных материалов;

$C_{c.u.} = 112110 p$  – стоимость стандартных изделий.

$$C_{oc} = 1250 + 173495 + 12110 = 186855 \text{ рублей}$$

Таблица 10.8 – Смета расходов на выполнение НИР

Наименование статей расходов	Статьи расходов по кодам ЭКР	Всего, руб.
Фонд заработной платы основной	211	459,375
Фонд заработной платы дополнительной		68,906
Фонд заработной платы общий		528,281
Начисления на выплаты по оплате труда, 30.2 %	213	159,541
Командировки:		-
расходы по оплате суточных	212	
транспортные расходы по служебным командировкам	222	-
компенсация стоимости жилья	226	-
Оплата услуг связи	221	2
Арендная плата за пользование имуществом	224	8
Прочие услуги:	226	30
- в том числе оплата НИР сторонних организаций (не более 50% общего объема договора);		
- оплата по договорам гражданско-правового характера;		
Увеличение стоимости основных средств	310	186,855
Увеличение стоимости материальных запасов	340	1,5
Итого прямые расходы :		916,177
Накладные расходы, 10 %		91,618
Цена договора:		1007,795

Точка безубыточности 1 007 795 рублей

**Вывод:**

На основании приведенных выше расчетов можно сделать вывод о том, что стоимость установки для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом достаточно высока, т.к. требуется большое количество материалы и покупные изделия и времени работы руководителя, инженера и лаборанта. В экспериментальной работе, такой как исследования в лаборатории, нам необходимо снизить производственные затраты. Стоимость сырья и материалов будет контролировать стоимость конечного продукта, поэтому для снижения затрат следует сосредоточиться на покупке сырья с меньшими затратами или найти способ экономичного и эффективного использования материалов например использовать доступные материалы. Кроме того, можно снизить трудозатраты за счет сокращения времени производства.

## **Заключение**

В ходе выполнения дипломной работы были проектировать установку для измерения интегральной степени черноты калориметрическим методом.

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

В итоге было спроектирован вакуумную камеру тепловой мощностью 10 кВт, габаритные размеры: высота экспериментальной установки – 500 мм, длина экспериментальной установки – 294 мм.

## Список используемых источников

1. Планк М. Теория теплового излучения. ИЛ, 1935.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. ГТТИ, 1947.
3. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. ГЭИ, 1962.
4. Осипова В. А. Определение коэффициента излучения твердого тела калориметрическим методом, изд. МЭИ, 1961.
5. Осипова, Варвара Александровна. Экспериментальное исследование процессов теплообмена : учебное пособие / В. А. Осипова. - 2-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Энергия, 1969. — 392 с.: ил.. - Библиография в конце глав..
6. Петров, В. А.. Излучательная способность высокотемпературных материалов / В. А. Петров. — Москва: Наука, 1969. - 80 с.: ил.. - Библиогр.: с. 78-79.
7. Чеховской В.Я., ТВТ, 1963, т. 1, № 1.
8. Shaw C. C. Ist Simposium surface effects on spacecraft materials. N Y., 1960.
9. Тумрот Д. Л., Пелецкий В. Э. Теплофизика высоких температур, 1, 168, 1963.
10. Персов Б.З. Расет и проектирование экспериментальных установок.- Москва-Инжевск: Институт компьютерных исследований, 2004.-348 с.
11. Данилин Б.С., Минайчев В.Е., Основны конструирования вакуумных систем. Под общ. ред. Р.А. Нилендера. М, «Энергия», 1791.
12. Розанов Л.Н., Вакуумная техника: Учеб. для вузов по спец. «Вакуумная техника».-2-е изд., перераб. и дол.- М.:выс. шк. 1990.-320 с.: ил.
13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)



14. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
15. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
16. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
18. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
19. СП 52.13330.2016 .Естественное и искусственное освещение
20. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
21. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
22. ГОСТ 12.1.033-81 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Термины и определения»;
23. СП 112.13330.2011 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
24. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
25. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. Томск: Изд. ТПУ, 2011 – 108 с.
26. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС
27. Бойцова Е.Л., Ворошилов Ф.А., Меньшикова Е.В. Технико-экономическое обоснование проектирования цеха химического производства. Томск: Изд. ТПУ, 2020 – 87 с.