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

Институт Институт электронного образования
Специальность 140404 Атомные электрические станции и установки
Кафедра Атомных и тепловых электростанций (АТЭС)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Экспериментальная установка для определения температуропроводности метода вспышки

УДК 621.1.016.4.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-6101	**Мейзер Александр Сергеевич**		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТП	**В.С. Андык**	**к.т.н., доцент**		

Нормоконтроль

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

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

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

_____ _____
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	**ФИО**
З-6101	**Мейзер Александр Сергеевич**

Тема работы:

Экспериментальная установка для определения температуропроводности метода вспышки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	**02.12.2016г. с 10384/с**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	**20 января 2017 года**

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	**Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента**
Социальная ответственность	**Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности**
Автоматизация технологических процессов	**Андык В.С., доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов**

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	**10 июня 2016 года**

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	Раков Ю.Я.	к.т.н., доцент		**10.06.16**

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-6101	Мейзер Александр Сергеевич		**10.06.16**

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-6101	Мейзер Александр Сергеевич

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ*	
2. *Разработка устава научно-технического проекта*	*Разработка устава научно-технического проекта*
3. *Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок*	*Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, организация закупок*
4. *Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности*	*Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности*
Перечень графического материала*(с точным указанием обязательных чертежей):*	
Сетевое планирование и управление созданием стенда тепломассообмена	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-6101	Мейзер Александр Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 85 страниц, 16 рисунков, 14 таблиц, 17 источников литературы, 0 приложений.

Ключевые слова: температуропроводность, коэффициент теплопроводности, метод вспышки, оптическия печь, вакуумная печь сопротивления.

Объектом исследования являются различные металлы.

Цель работы – создание экспериментального стенда для определения температуропроводности методом вспышке.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реда - вода при атмосферном давлении; интервал температур от 20 до 2000 ^{0}C.

В процессе работы проводилось изучение журнальных статей, книг и других источников по данной теме.

В ходе исследований были получены значения температуропроводности материалов.

Степень внедрения: использование установки в учебном процессе, в лабораторных условиях.

Область применения: теплофизика, теплоэнергетика.

Экономическая эффективность: упрощение и уменьшение затрат на конструирование установки для измерения температуропроводности методом вспышки.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, диаграммы построены в книге Microsoft Excel 2007, рисунки выполнены с помощью программы KOMPAS-3D V14, CorelDRAW X6, редактор формул Math Type 6.0.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в телах или между ними, обусловленный переменностью температуры в рассматриваемом пространстве.

2. Температуропроводность - физическая величина, характеризующая скорость изменения (выравнивания) температуры вещества в неравновесных тепловых процессах.

3. Коэффициент температуропровдномти - физический параметр вещества, численно равный отношению коэффициента теплопроводности к объекту теплоемкости вещества.

4. Вакуумная печь - устройство для получения высокой температуры для плавки металлов.

5. Оптическая печь – устройство, в котором лучистая энергия от какого-либо источника с помощью системы отражателей фокусируется на площадку диаметром обычно 1-30 мм, а в крупных печах до 350 мм, в результате чего на этой площадке может быть достигнута температура 1000-5000 ^{o}C .

λ - коэффициент теплопроводности;

Q - суммарный тепловой поток;

$(\nabla T)_n$ - проекция градиента температуры на направление нормами;

q_F - плотность вектора теплового потока, Вт/м^3;

q_v – мощность внутренних источников или стоков теплоты, Вт/м^3;

τ - время, с;

a - коэффициент температуропровдномти, м^2/с;

$\nabla^2 T$ Оператор Лапласа;

x, y, z - декартовы координаты;

r, φ, θ - радиус, азимутальный и полярный углы, соответственно;

$X(x)$ - функция, зависящая только от переменной x;

$\Theta(\tau)$ - Функция, зависящая только от τ ;

A^I, B^I, C - произвольные постоянные;

Q - количество энергии выделившейся в близи поверхности $x = 0$ образца, Дж;

ρ - плотность образца, кг/м^3;

C_p - удельная теплоемкость образца, Дж/кг К;

F - площадь облученной поверхности образца, м^2;

δ - толщина слоя, м;

T_i - максимальная температура задней поверхности пластины, ^oC ;

Fo - число Фурье;

I – сила тока, A;

U –напряжение, B;

R - сопротивление, $Ом$;

ε - степень черноты тантала;

σ_0 - постоянная Стефана-Больцмана;

T_H - температура нагревателя, ^oC ;

T_{OC} - температура окружающей среды, ^oC ;

P_A - нормальное атмосферное давление, $МН/м^2$;

P_B - давление в водоохлаждаемой рубашке, $МН/м^2$;

D_y - внутренний диаметр камеры, $мм$;

l' - длина камеры, $мм$;

E^t - модуль упругости стали, $Н/м^2$;

P_H - наружное давление;

c - добавка на допуск по толщине листа стенки.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..9

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... 10

2. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ……..……12

3. МЕТОД ВСПЫШКИ…….....17

4.ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ 21

6. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ…….29

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ…….38

8. РАЗДЕЛ«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ……..45

9. РАЗДЕЛ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»…….54

10. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ……..76

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…83

12. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...85

Графический материал:

1. ФЮРА.ХХХХХХ.002.СБ
2. ФЮРА.ХХХХХХ.003.МЧ
3. ФЮРА.ХХХХХХ.004.Т2
4. ФЮРА.ХХХХХХ.005.С0
5. ФЮРА.ХХХХХХ.006.ТБ

Введение

К теплофизическим свойствам относят следующие характеристики: температуропроводность, теплопроводность и теплоемкость. Температуропроводность - физическая величина, характеризующая скорость изменения (выравнивания) температуры вещества в неравновесных тепловых процессах.

Существующие методы определения теплопроводности материала подразделяют на стационарные и нестационарные. Метод лазерной вспышки относится к группе нестационарных методов. С точки зрения оперативности, полноты получаемой информации об объектах исследования и простоты реализации экспериментальных установок данные методы являются более перспективными.

Данный метод обладает следующим рядом преимуществ:

- экспрессность – измерения длятся секунды;
- малые размеры исследуемых образцов;
- неразрушающий метод;
- при помощи одного прибора можно определять термическую диффузию, теплопроводность и теплоемкость;
- высокая точность;
- более широкий интервал температур, чем для стационарных методов (возможны испытания расплавов).

К недостаткам метода относятся:

- высокая стоимость аппаратуры;
- повышенные требования к условиям эксперимента при испытании пористых и негомогенных материалов.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Метод определения коэффициента температуропроводности с помощью вспышек света был разработан в лаборатории радиологической защиты ВМФ США в 1962 году. Первооткрывателями данного метода можно считать троих ученых: Паркер, Радкин, Дженкинс.

Ими была собрана установка, схема которой показана на рисунке 1.1. С помощью нее были проведены исследования железа марки «Армко». Предельная температура исследований составляла 1800 $^{\circ}C$. [1]

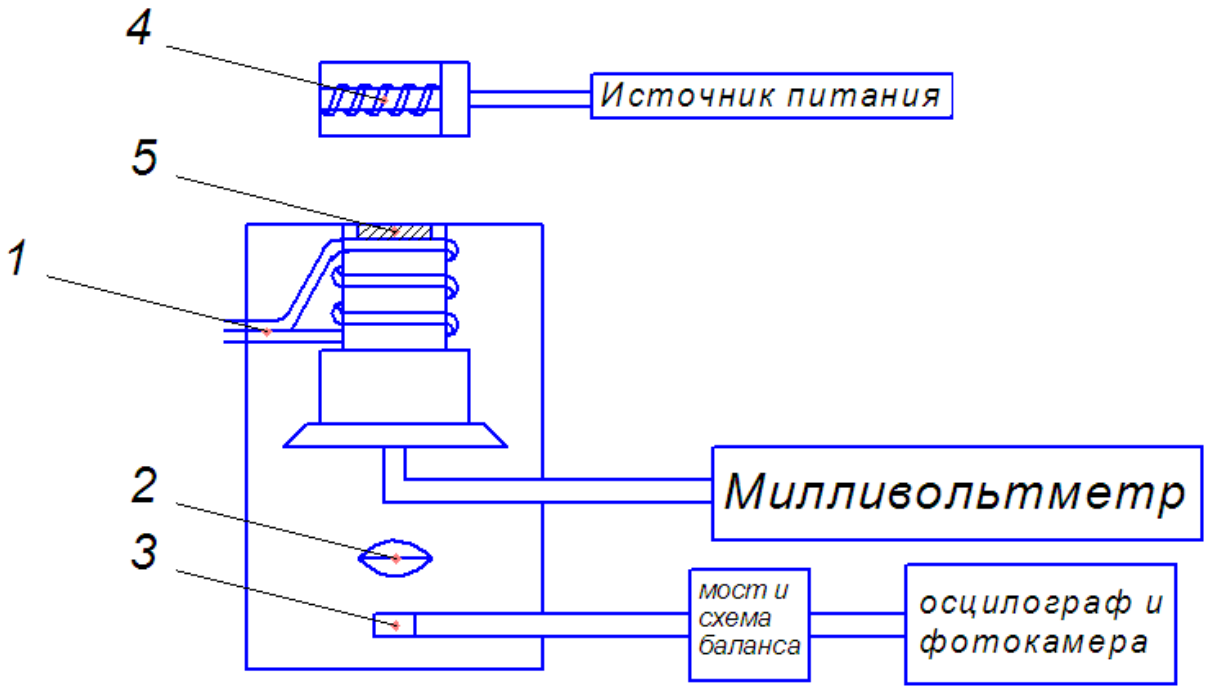

Рисунок 1.1 - Схема первой экспериментальной установки:
1 – индуктор; 2 – линза; 3 – фотосопротивление; 4 – импульсная лампа; 5 – образец. [1]

В вакуумной камере расположен индуктор внутренним диаметром 25 $мм$. Образец удерживается в индукторе опорой, выточенной из необожженного лавита и затем обожженной. Лавитовая опора служит также тепловым экраном,

устраняющим нагревание стенок камеры за счет излучения образца. В качестве верхнего окна камеры используется кварцевое стекло, поскольку обычное стекло лопается ввиду наличия больших градиентов температуры вблизи нагретого образца. Установившаяся температура, при которой проводятся измерения, определяется с помощью термопары, прикрепленной к краю образца и выведенной из вакуумной камеры. Для измерения температуры, превышающей верхний предел платино-платинородиевых термопар, используется оптический пирометр. Стеклянная линза, установленная под образцом, служит для фокусирования центральной части задней поверхности образца на фотосопротивление из сульфида свинца, которое регистрирует изменение температуры этой поверхности в пределах от 300 до $1800\ ^{\circ}C$. Нижний предел измерения обусловлен падением спектральной чувствительности фотосопротивления к излучению тел с меньшей температурой, а верхний — ограничен в данных экспериментах испарением материала образца, которое ухудшает прозрачность кварцевого окна и ослабляет интенсивность импульса энергии, падающей на переднюю поверхность образца. Линейность характеристики любой детектирующей системы должна сохраняться во всем диапазоне измерения. Линейность характеристики фотосопротивления вполне достаточна, поскольку изменение температуры образца, вызываемое импульсом, не превышает нескольких градусов. Следует отметить, что знать чувствительность детектора или падающую на образец тепловую мощность не нужно, так как в формулу (3.27.) входит только величина $t_{1/2}$, которую можно определить по калиброванной развертке осциллографа. [1]

Проведенные опыты дали хорошие результаты, но с развитием технологий повышаются температуры, при которых работают те или иные материалы. Поэтому было решено спроектировать установку для измерения температуропроводности методом Паркера, с диапазоном температур от комнатной до $2000\ ^{\circ}C$.

2. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

Один из общих законов физики – закон сохранения энергии и один из частных законов – закон теплопроводности Фурье позволяют построить количественную теорию для описания процессов пространственно-временных измерений температурных полей и тепловых потоков в конденсированных средах.

Согласно закону теплопроводности Фурье элементарный вектор теплового потока $d\vec{Q}$, обусловленный сосуществованием в теле неоднородности температур, действующий в данный момент времени в данной точке тела, прямо прямопропорционален существующему в этой же точке и в этот же момент времени градиенту температур ∇T и элементарной площадке dF :

$$d\vec{Q} = -\lambda \nabla T dF, \qquad (2.1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности (КТ), являющийся физическим параметром, характеризующим интенсивность процесса теплопроводности в веществе, и численно равный плотности теплового потока вследствие теплопроводности при градиенте температуры, равном единице.

Из уравнения (1) следует интегральное выражение закона Фурье:

$$Q = -\int_F \lambda (\nabla T)_n \, dF, \qquad (2.2)$$

где $Q = \int_F q_F dF$ – суммарный тепловой поток, через поверхность F ;

$(\nabla T)_n$ - проекция градиента температуры на направление нормами ;

$q_F = dQ / dF$ - плотность вектора теплового потока на внешнюю нормаль $\vec{n}$ к поверхности F в рассматриваемой точке.

Разрешив уравнения (2.1) и (2.2) относительно КТ (в последней формуле полагаем $\lambda = const$) получим:

$$\lambda = -\frac{q_F}{(\nabla T)_n}, \tag{2.3}$$

$$\lambda = \frac{Q}{\int_F (\nabla T)_n \, dF}. \tag{2.4}$$

Из соотношений (2.3) и (2.4) следует, что при экспериментальном определении КТ необходимо определить плотность теплового потока или тепловой поток и, соответственно, локальный или суммарный градиент температуры получают из решения уравнения теплопроводности для тел различной формы при выбранных начальных и граничных условий.

Вывод дифференциального уравнения теплопроводности базируется на законе сохранения энергии и законе Фурье (2.1). Закон сохранения энергии в данном случае выражается в том, что разность количеств тепла, вошедшего за элементарное время $d\tau$ в некоторый элементарный объем, вырезанный в теле, и вышедшего из него вследствие теплопроводности (с учетом внутренних источников или стоков тепла) полностью расходуется на изменение внутренней энергии рассматриваемого элементарного объема.

Уравнение теплопроводности для конденсированных сред имеет вид:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = div(\lambda \nabla T) \pm q_v, \tag{2.5}$$

где q_v – мощность внутренних источников или стоков теплоты, $Вт/м^3$;

τ - время, $с$; ρ - плотность, $кг/м^3$; c - удельная теплоемкость, $Дж/кгК$.

При постоянном КТ уравнение (1.5) упрощается и имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\nabla^2 T \pm \frac{q_v}{c\rho}, \tag{2.6}$$

где $a = \lambda / c\rho$ - коэффициент температуропровдномти, физический параметр вещества, численно равный отношению КТ к объекту теплоемкости вещества, $м^2 / с$. Коэффициент температуропроводности служит мерой быстроты выравнивания температуры в неравномерно нагретом теле. Чем больше а, тем скорее все точки тела достигнут одинаковой температуры. Иначе говоря, коэффициент температуропроводности характеризует собой тепловую инерцию тела.

Оператор Лапласа имеет вид в декартовых координатах:

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \tag{2.7}$$

в цилиндрических координатах

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \tag{2.8}$$

в сферических координатах

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2} ctg\,\theta \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2}, \tag{2.9}$$

где x, y, z - декартовы координаты; r, φ, θ - радиус, азимутальный и полярный углы, соответственно.

Для стационарных процессов теплопроводности скорость изменения температуры $\partial T / \partial \tau$ равна нулю, и тогда уравнение теплопроводности (2.5) сводится к виду:

$$\lambda \nabla^2 T \pm q_v = 0. \tag{2.10}$$

При отсутствии в теле внутренних источников или стоков тепла уравнение теплопроводности принимает наиболее простой вид:

$$\nabla^2 T = 0. \tag{2.11}$$

Методы определения КТ, коэффициента теплопроводности а и удельной теплоемкости с, использующие выражения (2.3)-(2.11) для

получения соответствующих расчетных формул, можно назвать градиентыми в отличие от других косвенных методов определения теплофизических свойств (ТФС), связывающих их численные значения с другими физико-химическими свойствами вещества (акустическими, ультразвуковыми, оптическими, электрическими и т.д.). Более конкретные (рабочие) соотношения, связывающих ТФС с регистрируемыми в опыте параметрами, зависят от конфигурации образца, режимов нагрева и охлаждения, а также от способа их осуществления в пространстве и времени и связаны с решением соответствующей краевой задачи теплопроводности. Классификация методов определения ТФС веществ приведена на рисунке 2.1. [2]

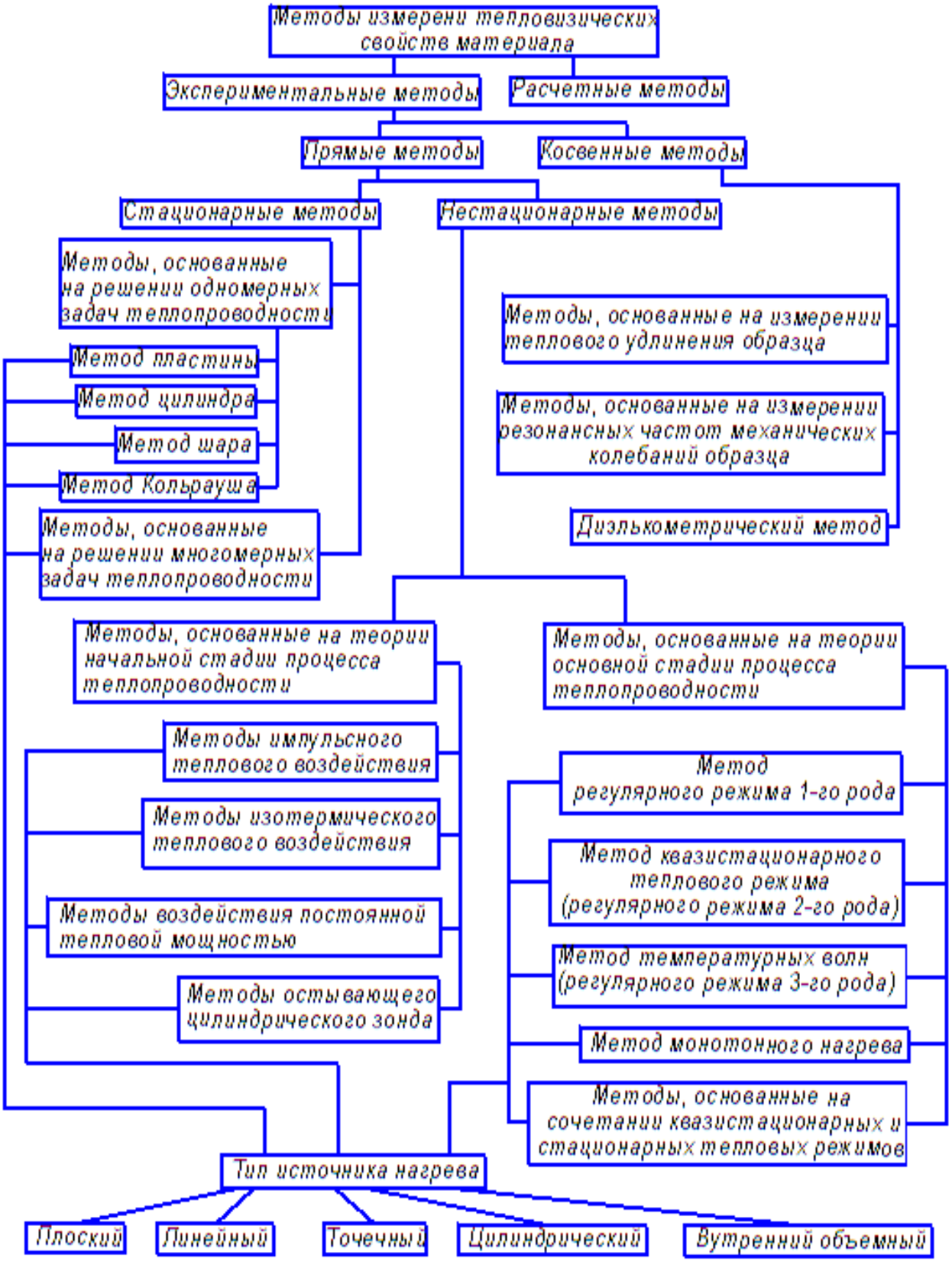

Рисунок 2.1 - Классификация методов измерения теплофизических свойств

3. МЕТОД ВСПЫШКИ

Рассмотрим рисунок 3.1. изотропную неограниченную пластину 1 имеющую начальное распределение температуры, описываемой какой-то функцией $f(x)$. Обе стороны пластины имеют идеальную тепловую изоляцию 2. Теплофизические свойства материала пластины не зависят от температуры.

Требуется определить распределение температуры в пластине для любого моменте времени $\tau > 0$.

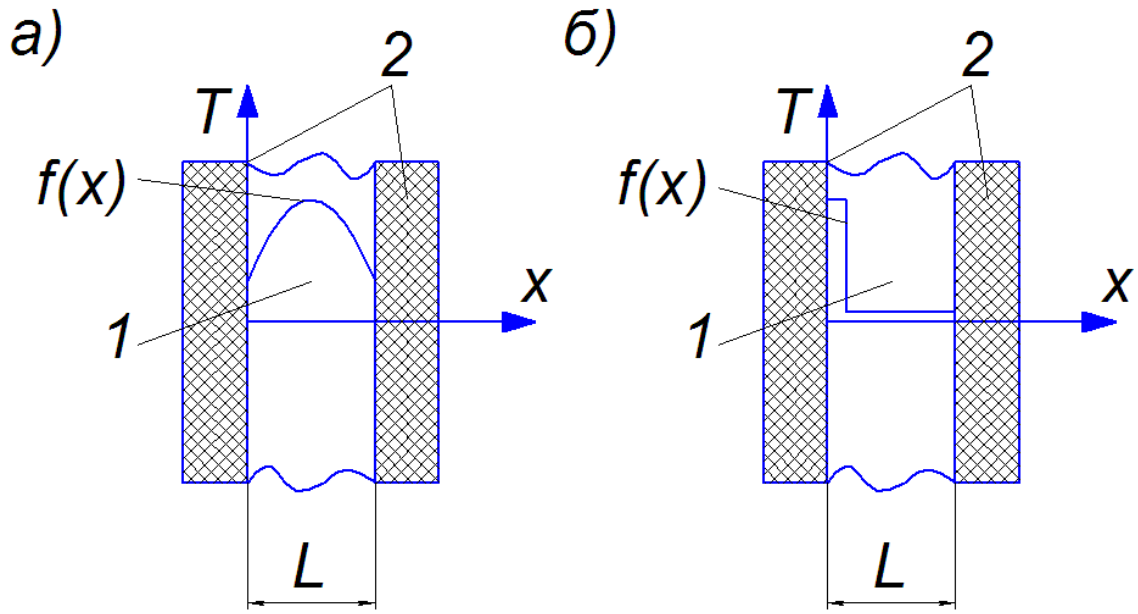

Рисунок 3.1 - Начальное распределение температуры по толщине образца:

а) – произвольное; б) – ступенчатое;

1 – неограниченная пластина;

2 – тепловая изоляция.

Математическую постановку задачи можно сформулировать следующим образом. Имеем одномерное нестационарное дифференциальное уравнение теплопроводности с начальным и граничными условиями:

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2}, \qquad \tau > 0, \qquad 0 < x < L, \tag{3.1}$$

$$\tau = 0, \qquad 0 \le x \le L \qquad T(x,0) = f(x), \tag{3.2}$$

$$\tau > 0, \qquad x = 0 \qquad \frac{\partial T(0,\tau)}{\partial x} = 0, \tag{3.3}$$

$$\tau > 0, \qquad x = L \qquad \frac{\partial T(L,\tau)}{\partial x} = 0. \tag{3.4}$$

Требуется найти $T(x,\tau)$.

Решим задачу (3.1)-(3.4) классическим методом разделения переменных – методом Фурье.

Предположим, что решение нашей задачи представлено в виде

$$T(x,\tau) = X(x)\Theta(\tau),$$

где - функция, зависящая только от переменной , а - зависящая только от τ. Тогда это произведение двух неизвестного вида функций должно удовлетворять уравнению теплопроводности (3.1) и краевым условиям (3.2)-(3.4). Подставим выражение $X(x)\Theta(\tau)$ в уравнение (3.1). В результате подстановки получим

$$X(x)\Theta(\tau) = aX''(x)\Theta(\tau). \tag{3.5}$$

Соберем переменные, содержащие τ и x, со1ответственно, в левой и правой частях уравнений

$$\frac{\Theta'(\tau)}{a\Theta(\tau)} = \frac{X''(x)}{X(x)} = -k^2. \tag{3.6}$$

или

$$\Theta' = -ak^2\Theta,$$

$$X'' = -k^2 X.$$

Полученное равенство упростили исходное уравнение с частными производными второго порядка, превратив его в два обыкновенных дифференциальных уравнения первого и второго порядка.

Их решения имеют вид:

$$\Theta(\tau) = C\,exp\left(-k^2 a\tau\right), \qquad X''(x) = A'\cos kx + B'\sin kx, \tag{3.7}$$

где A', B', C - произвольные постоянные.

Следовательно, решение уравнения теплопроводности можно записать в виде

$$T(x,\tau) = exp\left(-k^2 a\tau\right)\left(A\cos kx + B\sin kx\right), \tag{3.8}$$

где $A = CA'$, $B = CB'$ - произвольные постоянные.

Постоянные A, B и k находятся из удовлетворения полученного решения краевым условиям. Подставим сначала полученное решение в граничное условие (3.3), получим:

$$exp\left(-k^2 a\tau\right)\left(-Ak\sin(k\cdot 0) + Bk\cos(k\cdot 0)\right) = 0. \tag{3.9}$$

Для выполнения этого равенства необходимо положить $B = 0$, и тогда искомое решение приобретет вид:

$$T(x,\tau) = Aexp\left(-k^2 a\tau\right)\cos kx. \tag{3.10}$$

Удовлетворим полученное решение граничному условию получим

$$Aexp\left(-k^2 a\tau\right)k\sin kL = 0. \tag{3.11}$$

Это равенство будет выполняться, если $\sin kL = 0$, а поскольку $\sin$ функция круговая, то она будет иметь бесконечное множество решений при равенстве $kL = n\pi$, где $n = 0,1,2$ и т.д. Таким образом, константа k_n будет иметь множество значений

$$k_n = n\pi / L, \tag{3.12}$$

что влечет за собой наличие множества частных решений для температурного поля:

$$T_n(x,\tau) = A_n\,exp\left(-k_n^2 a\tau\right)\cos k_n x. \tag{3.13}$$

Общее решение задачи является суммой частных решений:

$$T(x,\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} T_n(x,\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \exp\left(-k_n^2 a\tau\right) \cos k_n x. \qquad (3.14)$$

Для определения константы A_n воспользуется начальным условием (3.2), получим

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos k_n x. \qquad (3.15)$$

Чтобы из этого равенства найти выражение для A_n, используем свойство ортогональности тригонометрических функций.

Система функций $f_1(x), f_2(x), f_3(x), \ldots, f_n(x)$ называется ортогональной в интервале $[a,в]$, если

$$\int_a^в f_i(x) f_g(x)\, dx = 0$$

при любых значениях i и g, но не равных друг другу.

Можно, например, показать, что система функций $\cos k_n x$ является ортогональной

$$I = \int_{-L}^{+L} \cos(k_m x) \cos(k_n x)\, dx.$$

Преобразуем подынтегральную функцию при помощи формулы

$$\cos\alpha \cos\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)\right].$$

Тогда интеграл I будет равен

$$I = \frac{\sin(k_m - k_n)L}{k_m - k_n} + \frac{\sin(k_m + k_n)L}{k_m + k_n}.$$

Воспользовавшись тригонометрической формулой

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha \cos\beta \pm \cos\alpha \sin\beta,$$

получим

$$I = \frac{2\left(k_m \sin k_m L \cdot \cos k_n L - k_n \cos k_m L \cdot \sin k_n L\right)}{k_m^2 - k_n^2}.$$

В нашем случае $k_m L = m\pi$, $k_n L = n\pi$, следовательно, $\sin k_m L = \sin k_n L = 0$. Числитель равен нулю, а знаменатель при $n \neq m$ отличен от нуля, следовательно, интеграл равен нулю.

Случай $m = n$ надо рассмотреть отдельно, так как числитель и знаменатель равны нулю. В этом случае имеем

$$I = \int_{-L}^{L} \cos^2 k_n x dx = 2\left[\frac{L}{2} + \frac{\sin^2 k_n L}{4k_n}\right]. \tag{3.16}$$

Воспользуемся этими формулами для определения постоянных коэффициентов A_n.

Умножим обе части равенства (3.15) на $\cos k_m x$ и проинтегрируем в пределах от $-L$ до $+L$, т.е.

$$\int_{-L}^{+L} f(x)\cos(k_m x)\,dx = \int_{-L}^{+L}\sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(k_n x)\cos(k_m x)dx = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \int_{-L}^{+L} \cos(k_n x)\cos(k_m x)\,dx. \tag{3.17}$$

Следовательно, можно написать:

$$A_0 = \frac{2\int_0^L f(x)\,dx}{2L} = \frac{1}{L}\int_0^L f(x)dx, \tag{3.18}$$

$$A_n = \frac{2}{L}\int_0^L f(x)\cos(k_n x)\,dx, \qquad n = 1,2,3,\ldots \tag{3.19}$$

При выводах неявно использовались два предположения: 1) интегралы (3.19) имеют конечное и определенное значение; 2)интеграл бесконечного ряда равен сумме интегралов отдельных членов ряда. Кроме того, для случая $n = 0$ в формуле (3.18) для раскрытия неопределенности во втором слагаемом использовано соотношение

$$\lim\left(\sin^2 k_n L / 2k_n L\right) \to 1. \tag{3.20}$$

Таким образом, можно написать общее решение нашей задачи:

$$T(x,\tau) = \frac{1}{L}\int_0^L f(x)\,dx + \frac{2}{L}\sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2 a\tau}{L^2}\right)\cos\frac{n\pi x}{L}\int_0^L f(x)\cos\frac{n\pi x}{L}dx. \tag{3.21}$$

Пусть начальное распределение температуры имеет в теплоизолированной пластине ступенчатый вид (рисунок 3.1б), причем величина δ очень мала $(\delta \to 0)$. Такое распределение температуры может иметь место, например, при импульсном воздействии лучистой энергии на поверхность пластины с координатой $x = 0$. Тогда математическое выражение для функции начального распределения температуры $f(x)$ запишется в виде:

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{Q}{\rho C_p F \delta} & 0 \le x \le \delta, \\ 0 & 0 \le x \le \delta, \end{cases} \qquad (3.22)$$

Где Q - количество энергии выделившейся в близи поверхности $x = 0$ образца, Дж; ρ - плотность образца, $кг/м^3$; C_p - удельная теплоемкость образца, $Дж/кгК$; F - площадь облученной поверхности образца, $м^2$; δ - толщина слоя, в котором сосредоточена выделившаяся энергия $(\delta \to 0), м$.

Подставим функцию $f(x)$ в выражение (3.21) и вычислив значения интегралов, получим:

$$T(x,\tau) = \frac{Q}{\rho C_p L F} + \frac{2Q}{\rho C_p L F} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin k_n \delta}{k_n \delta} exp\left(-k_n^2 a\tau\right) \cos k_n x. \qquad (3.23)$$

формулу (2.22) можно представить в виде

$$T(x,\tau) = \frac{Q}{\rho C_p L F}\left(1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} exp\left(-k_n^2 a\tau\right) \cos k_n x\right). \qquad (3.24)$$

На задней поверхности образца $x = L$ изменение температуры во времени запишется как

$$T(L,\tau) = \frac{Q}{\rho C_p L F}\left(1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 a\tau}{L^2}\right)\right). \qquad (3.25)$$

При введении безразмерных переменных

$\tilde{T} = T(L,\tau)/T_i, \qquad \zeta = \pi^2 Fo,$

где $T_i = \frac{Q}{\rho C_p L F}$ - максимальная температура задней поверхности пластины; $Fo = a\tau / L^2$ - число Фурье, уравнение (3.25) приводиться к виду

$$\tilde{T} = 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n exp\left(-n^2 \zeta\right). \qquad (3.26)$$

Зависимость $\tilde{T}(\zeta)$, рассчитанная по уравнению (3.26), графически представлено на рисунке 3.2.

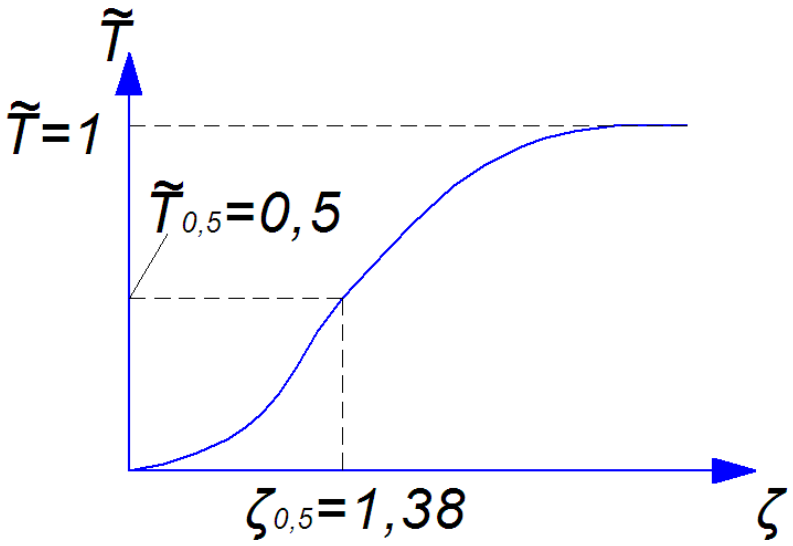

Рисунок 3.2 - Зависимость безразмерной температуры задней поверхности образца от безразмерного времени

Используя этот график можно определить, что для $\tilde{T} = 0,5$ величина $\zeta = \pi^2 Fo_{0,5} = 1,38.$ Тогда выражение для коэффициента температуропроводности примет вид:

$$a = 1,38\frac{L^2}{\pi^2 \tau_{0,5}} = 0,138\frac{L^2}{\tau_{0,5}}. \qquad (3.27)$$

Следовательно, коэффициент температуропроводности можно определить, зная толщину образца и время в секундах, необходимо для того, чтобы температура его задней поверхности достигла половины максимального приращения. КТ в этом случае находят (после независимого определения удельной теплоемкости C) при помощи соотношения $\lambda = C \cdot \rho \cdot a.$

4. ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Измерение температуропроводности методом «вспышки» проводились с использование оптической печи . Оптическая печь, используемая в лабораторной установке, выполнена по бипараболоидной схеме с импульсным источником лучистого потока Рисунок - 4.1.

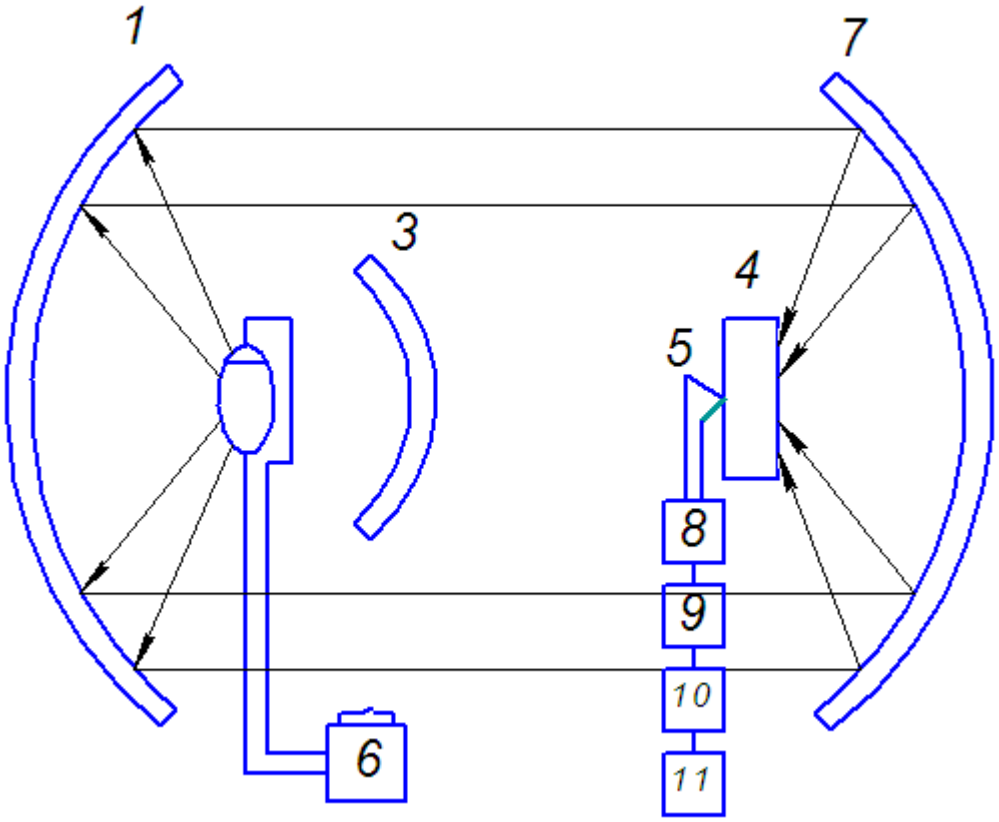

Рисунок 4.1 - Оптическая бипараболоидная печь

Основными элементами печи являются: импульсный источник лучистого потока 2, подключенный к источнику питания 6, бипароболоидные 7 отражатели, контротражатель 3 и образец 4 с укрепленной на тыльной стороне термопарой 5. Свободные концы термопары подсоединены к усилителю 8, амплитудно-цифровому преобразователю 9 и через интерфейс 10 к компьютеру 11.

Конструкция бипараболоидной оптической печи приведена на Рисунок - 4.1. В данной конструкции оптической печи образец перемещается вдоль горизонтальной плоскости с помощью микрометрического винта 10.

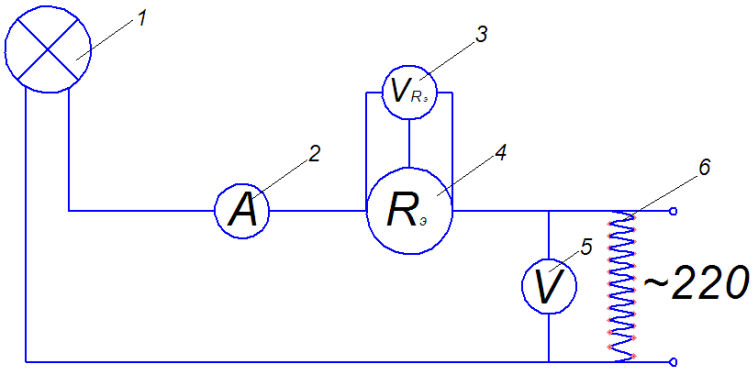

Рисунок 4.2 - Схема включения лампы накаливания

1 - лампа накаливания, 2 - амперметр, 3 – вольтметр катушки сопротивления, 4 – катушка сопротивления, 5 – вольтметр, 6 – регулятор напряжения (ЛАТР).

Сняты показания напряжений при которых лампа накаливания не сгорит и расщитанны сила тока, сопротивление, мощность лампы.

По закону $I = \frac{U}{R}$ Ома расщитаны сила тока на катушке и сопротивление на лампе накаливания:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{0,064}{0,01} = 6,4,$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{7,4}{6,4} = 1,16.$$

По закону Джоуля – Ленца расщитаны напряжения на лампа и катушке:

$$W = I^2 R = IU = 6,4^2 \cdot 1,16 = 47,5;$$

$$W = 6,4^2 * 0,01 = 0,41.$$

Результаты эксперимента и расчеты приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты расчета на лампе и катушке

На лампе				На катушке			
U, В	I, А	R, Ом	W, Вт	U, В	I, А	R, Ом	W, Вт
7,4	6,4	1,16	47,5	0,064	6,4	0,01	0,41
11,5	8,07	1,43	93,12	0,0807	8,07	0,01	0,65
13,65	9	1,52	123,12	0,09	9	0,01	0,81
14,5	9,2	1,57	132,8	0,092	9,2	0,01	0,85
16,5	9,9	1,68	164,7	0,099	9,9	0,01	0,98

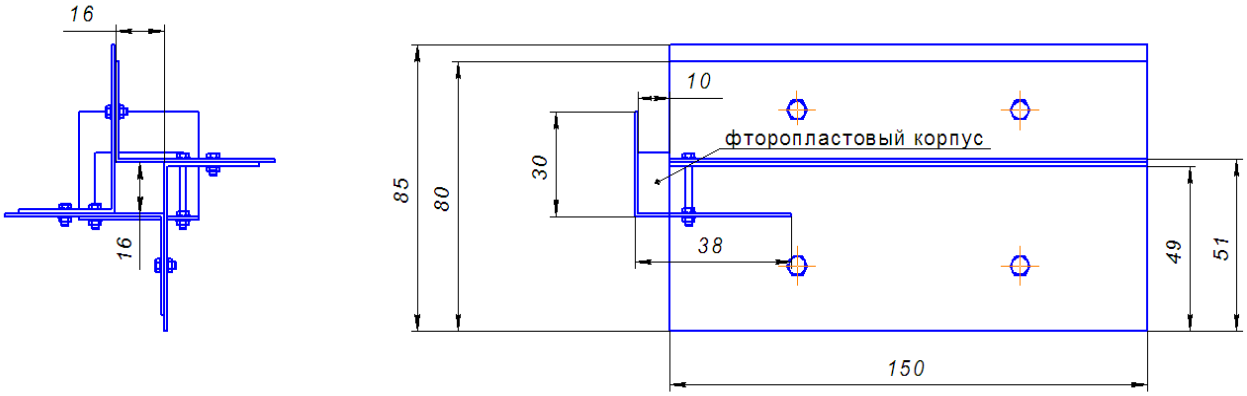

Рисунок 4.3 – Отражающий короб

Для некоторых материалов и более полного представления теплофизических свойств, необходим нагрев материалов. В атмосферной среде трудно нагреть некоторые металлы, да и такая среда плохо удовлетворяет граничным условиям. Поэтому было решено спроектировать вакуумную камеру, в которой образец подвергался предварительному нагреванию, а уже затем на него пускался импульс. Так же примените вакуума обусловлено окислением и разрушением некоторых металлов (вольфрам, молибден, тантал) под воздействием высоких температур. На рисунке 4.3 приведена конструкция вакуумной камеры, которая используется в проектируемом стенде.

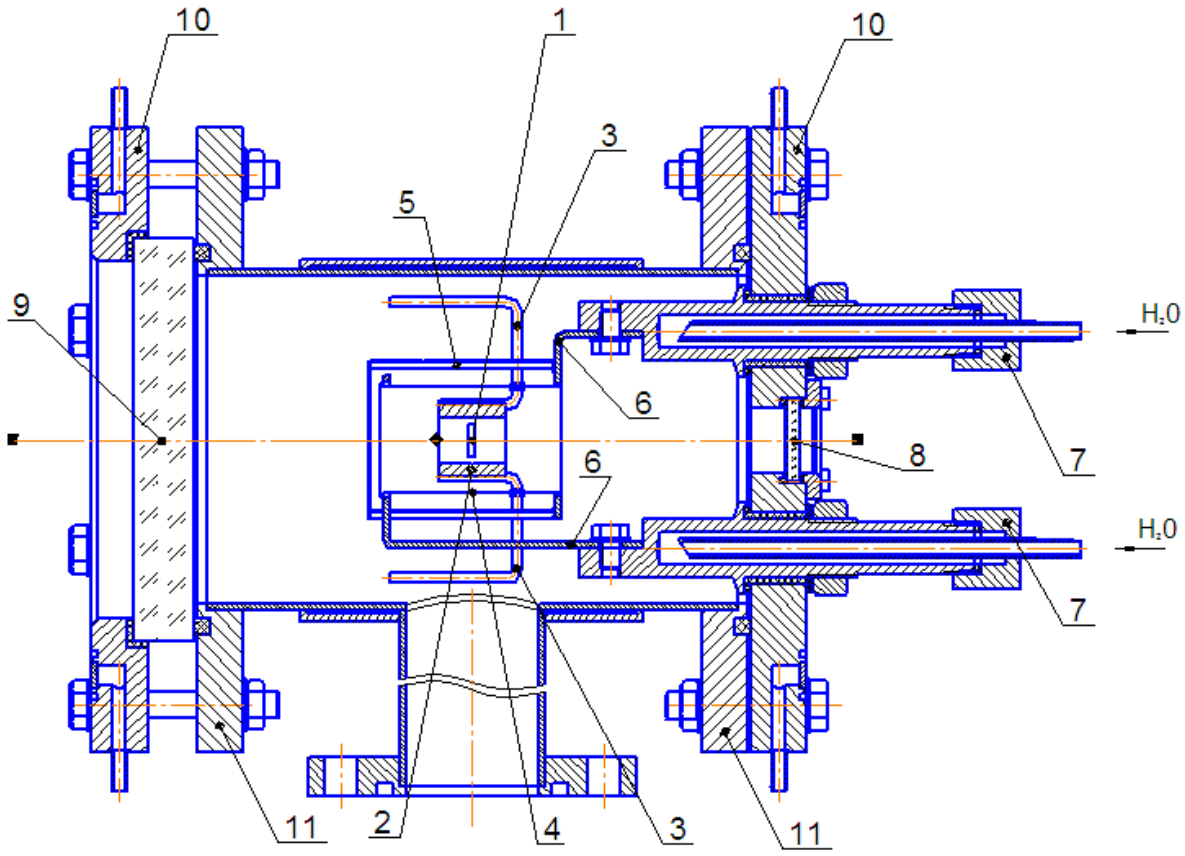

Рисунок 4.3 - Конструкция вакуумной печи сопротивления:

1 – образец; 2 – молибденовый «стакан»; 3 – опоры «стакана»; 4 – печь; 5 – тепловые экраны; 6 – токоподводящие шины; 7 – электрические токовводы; 8 – окно для пирометра; 9 – смотровое окно; 10 – водоохлаждаемые крышки фланцев; 11 – фланцы

Образец, в форме тонкой квадратной пластины, помещается в закладную часть, изготовленную из молибдена. Помимо держателя образца, закладная часть необходима для выравнивания теплового поля, которое создается печкой сопротивления. Материал для изготовления печи – тонкая танталовая фольга. Данный материал обладает высокой температурой плавления, хорошо поддается всем видам механической обработки (гибка, сверление, сварка).[3]

Для снижения тепловых потерь и уменьшения потребляемой нагревателем мощности, были применены тепловые экраны. В данном случае они изготовлены из вольфрамовой фольги. Нагреватель приваривается

контактной сваркой к токоподводящим шинам. Экраны же крепятся только к одной из шин, чтобы не допустить короткого замыкания. [3]

Для подвода тока используются сильноточные токовводы. Для исключения нагрева свыше допустимой температуры они охлаждаются водой. В крышке фланце, к которой крепятся вводы, так же охлаждается водой, так как в ней нем выделяется значительное количество тепла. [4]

Смотровые окна используются для измерения температуры печи и образца, а так же для облучения образца импульсным потоком. [4]

5. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

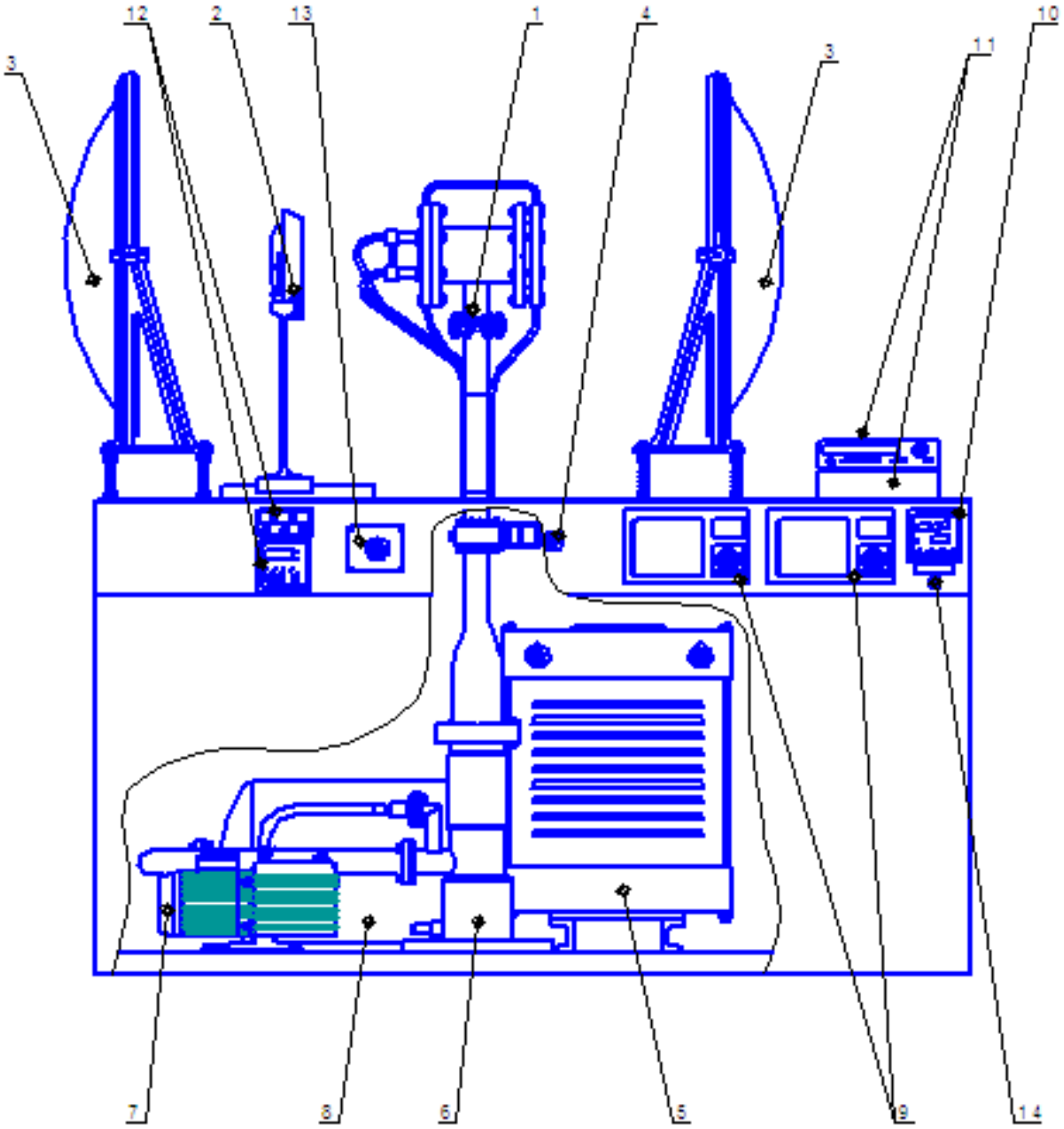

Рисунок 5.1 - Компоновочный чертеж

Исследуемый образец 15 помещен в закладную часть 16. Для уменьшения потерь тепла, образец удерживается на тонких проволоках, которые обеспечивают точечный контакт поверхностей. Закладная часть с образцом размещается в печи сопротивления 17.

Температура образца и закладной части измеряется с помощью термопар 18. Для уменьшения погрешностей измерений, холодные концы термопар помещены в сосуд Дьюара 19. После чего, сигнал идет на милливольтметры 20. Помимо показаний термопар, температуру можно определить оптическим пирометром 21. Для этого предусмотрен монтаж смотрового окна 13.

Регулирование мощности печи осуществляется с помощью трансформатора 24, который подключен к стабилизатору напряжения 26. Это необходимо для поддержания постоянной величины входного напряжения. Чтобы не перегреть печь, необходимо знать значение силы тока. Зная, что токи у нас большие и напрямую амперметр 22 подключить невозможно, мы устанавливаем трансформатор тока 23. Вольтметр 25 подключается параллельно трансформатору. Ток, заданной величины, подается на нагреватель через вакуумные охлаждаемые токовводы 12.

Когда образец нагрет до необходимой температуры с помощью печи, на одну из его сторон, подается короткий импульс энергии. В нашем случае роль такого источника играет бипараболойдная оптическая печь 32 с источником излучения 31. Импульс попадает на образец через смотровое окно 14, которое, так же, как и окно 13 изготовлено из кварца.

Для создания высокого вакуума, служит диффузионный насос 6 типа НС-1, который через ловушку 7 и вакуумный затвор 8 соединяется с корпусом камеры.

Предварительное разрежение в системе осуществляется с помощью механического насоса 1 типа 3НВР-1Д. В установке предусмотрена байпасная линия, служащая для откачки воздуха из камеры после замены образца, без остановки диффузионного паромасленного насоса, что уменьшает время проведения эксперимента. В байпасную линию входят: насос механический 1 типа 3НВР-1Д; вакуумный вентиль 3; натекатель 2. Измерение вакуума в байпасной линии осуществляется с помощью

термопарного преобразователя давления 30, который соединен с вакуумметром 28.

Высокий вакуум в камере и перед диффузионным насосом измеряется с помощью термопарных и ионизационных преобразователей давления. В качестве вторичных приборов измерения сигнала с преобразователей используют вакуумметры 27.

Форвакуумный баллон 5 необходим для отключения механического насоса. При установление выского вакуума, газовые потоки малы. Это позволяет оставить в работе только пароструйный насос. Перекрыв вентиль 3, откачка воздуха будет вестись в баллон, а не на всас механического насоса.

Для обеспечения комфортных условий работы и перегрева стенок камеры используется водяной контур (водяная рубашка). Так же, водяное охлаждение имеют крышки фланцев. Вода поступает через вентиль 33. После прохождения полного контура, она сливается в канализацию.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследуемыми металлами были выбраны:

1. Медь;
2. Сплав титана;
3. Нержавеющая сталь.

Каждый эксперимент проводился три раза.

Зная толщину образца и время в секундах, необходимое для того, чтобы температура его задней поверхности достигла половины максимального приращения, определим температуропроводность для каждого металла.

1. Медь

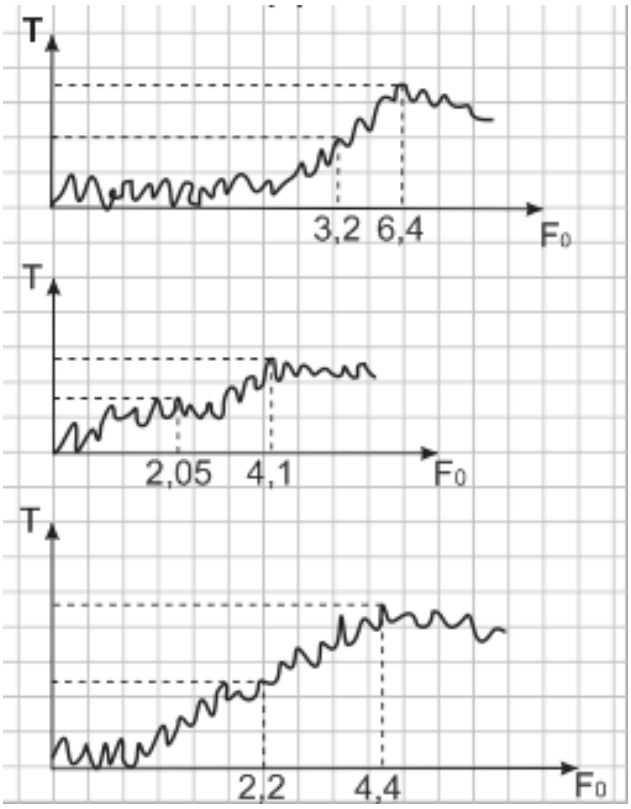

Рисунок 6.1 – Показания самописца исследуемого образца- меди

Где T - температура, F_o – время температуры задней поверхности достигшее максимального приращения, $S/см$;

2. Сплав титана

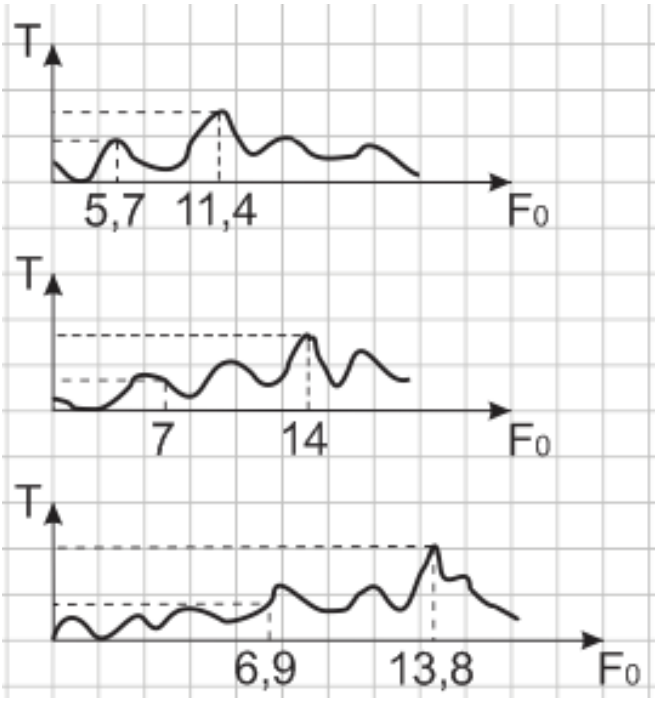

Рисунок 6.2 – Показания самописца исследуемого образца – сплава титана

Где T - температура, F_o – время температуры задней поверхности достигшее максимального приращения, $S/см$;

3. Нержавеющая сталь

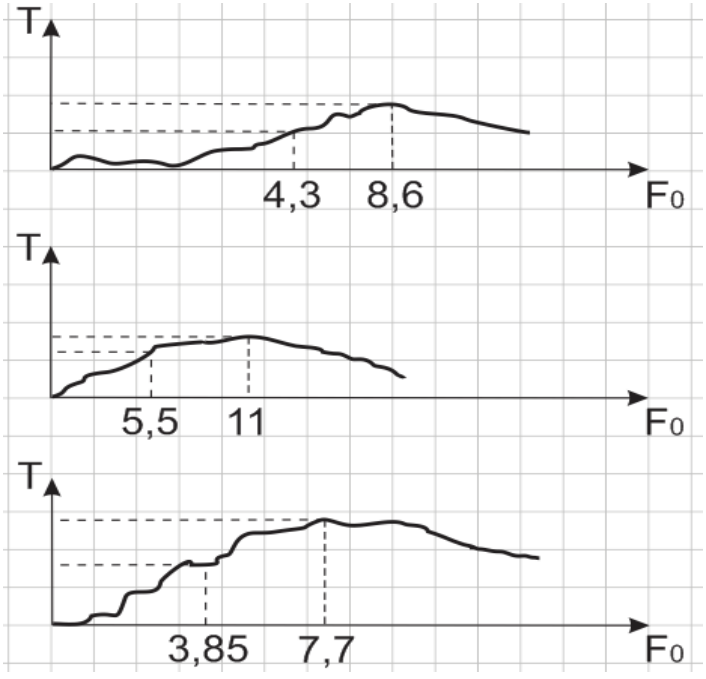

Рисунок 6.3 – Показания самописца исследуемого образца – нержавеющей стали

Где T - температура, F_o – время температуры задней поверхности достигшее максимального приращения, $S/см$;

4. Нержавеющая сталь

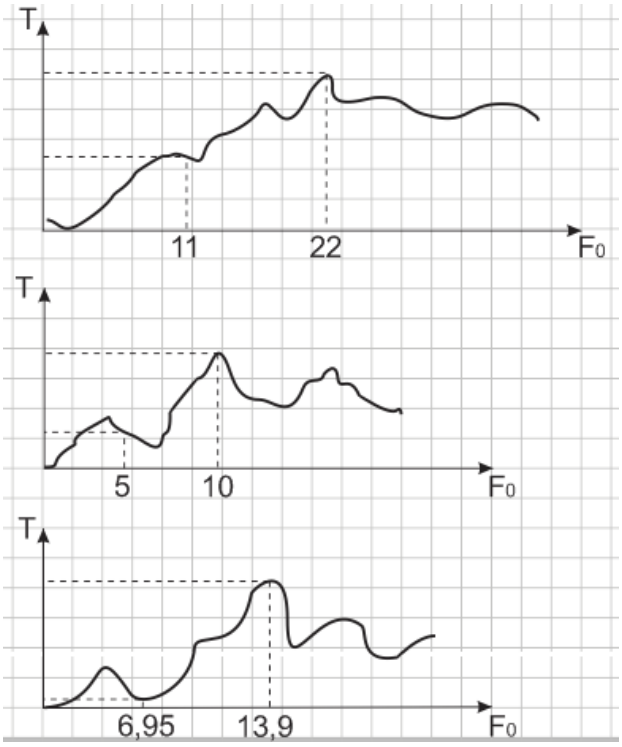

Рисунок 6.4 – Показания самописца исследуемого образца – нержавеющей стали

Где T - температура, F_o – время температуры задней поверхности достигшее максимального приращения, $S/см$.

Таблица 6.1 - Сравнение полученных результатов с эталонными

	Расчетная температуропроводность, $м^2/с$	Эталонная температуропроводность, $м^2/с$
Медь	$4{,}31 \cdot 10^{-7}$ $6{,}73 \cdot 10^{-7}$ $6{,}27 \cdot 10^{-7}$	$1{,}11 \cdot 10^{-4}$
Сплав титана	$3{,}49 \cdot 10^{-9}$ $2{,}84 \cdot 10^{-9}$ $2{,}88 \cdot 10^{-9}$	$6{,}22 \cdot 10^{-6}$
Нержавеющая сталь L=1,1	$1{,}28 \cdot 10^{-8}$ $1 \cdot 10^{-8}$ $1{,}43 \cdot 10^{-8}$	$3{,}35 \cdot 10^{-6}$
Нержавеющая сталь L=0,1	$6{,}07 \cdot 10^{-7}$ $1{,}336 \cdot 10^{-6}$ $9{,}59 \cdot 10^{-7}$	$3{,}35 \cdot 10^{-6}$

7. РАЗДЕЛ

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

7.1 Общие сведения о сетевом планировании управления

Сетевое планирование – метод управления, основанный на использовании математического аппарата теории графов и системного подхода для отображения и алгоритмизации комплексов взаимосвязанных работ, действий или мероприятий для достижения четко поставленной цели.

Основная цель сетевого планирования - сокращение до минимума продолжительности проекта.

Задача сетевого планирования состоит в том, чтобы графически, наглядно и системно отобразить и оптимизировать последовательность и взаимозависимость работ, действий или мероприятий, обеспечивающих своевременное и планомерное достижение конечных целей. Для отображения и алгоритмизации тех или иных действий или ситуаций используются экономико-математические модели, которые принято называть сетевыми моделями, простейшие из них - сетевые графики. С помощью сетевой модели руководитель работ или операции имеет возможность системно и масштабно представлять весь ход работ или оперативных мероприятий, управлять процессом их осуществления, а также маневрировать ресурсами.

Следует выделить следующие понятия, необходимые для сетевого планирования.

Работа – производственный процесс, требующий затрат времени и материальных ресурсов и приводящий к достижению определенных результатов.

По своей физической природе работы можно рассматривать как действие (например, заливка фундамента бетоном, составление заявки на материалы, изучение конъюнктуры рынка), процесс (пример - старение отливок, выдерживание вина, травление плат) и ожидание (процесс, требующий только затраты времени и не потребляющий никаких ресурсов; является технологическим (твердение цементной стяжки) или организационным (ожидание сухой погоды) перерывом между работами, непосредственно выполняемым друг за другом.

По количеству затрачиваемого времени работа может быть:

· действительной, то есть протяжённым во времени процессом, требующим затрат ресурсов;

· фиктивной (или зависимостью), не требующей затрат времени и представляющей связь между какими-либо работами: передача измененных чертежей от конструкторов к технологам, сдача отчета о технико-экономических показателях работы цеха вышестоящему подразделению.

Событие — это факт окончания одной или нескольких работ, необходимых и достаточных для начала следующих работ. События устанавливают технологическую и организационную последовательность работ. События ограничивают рассматриваемую работу и по отношению к ней могут быть начальными и конечными. Начальное событие определяет начало работы и является конечным для предшествующих работ. Исходным считается событие, которое не имеет предшествующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика. Завершающее – событие, которое не имеет последующих работ в рамках рассматриваемого сетевого графика. Граничное событие - событие, являющееся общим для двух или нескольких первичных или частных сетей.

Путь - это любая последовательность работ в сети, в которой конечное событие каждой работы этой последовательности совпадает с начальным событием следующей за ней работы. Путь от исходного до завершающего

события называется полным. Путь от исходного до данного промежуточного события называется путем, предшествующим этому событию. Путь, соединяющий какие-либо два события, из которых ни одно не является исходным или завершающим, называется путем между этими событиями.

Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Путь, имеющий максимальную длину, называют критическим.

Для сетевой модели типа "работы-вершины" используются такие обозначения, как *веха* – некое ключевое событие, обозначающее окончание одного этапа и начало другого; *дуга* – связь между работами.

Различают различные типы связей в сетевой модели:

- начальные работы;
- конечные работы;
- последовательные работы;
- работы (операции) дробления;
- работы (операции) слияния;
- параллельные работы.

Наиболее распространенными направлениями применения сетевого планирования являются:

- целевые научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки сложных объектов, машин и установок, в создании которых принимают участие многие предприятия и организации;
- планирование и управление основной деятельностью разрабатывающих организаций;
- планирование комплекса работ по подготовке и освоению производства новых видов промышленной продукции;
- строительство и монтаж объектов промышленного, культурно-бытового и жилищного назначения;

- реконструкция и ремонт действующих промышленных и других объектов;
- планирование подготовки и переподготовки кадров, проверка исполнения принятых решений, организация комплексной проверки деятельности предприятий, объединений, строительно-монтажных организаций и учреждений.

Использование методов сетевого планирования способствует сокращению сроков создания новых объектов на 15...20%, обеспечению рационального использования трудовых ресурсов и техники.

7.2 Построение сетевого графика

Создание лабораторного стенда состоит из выполнения работ, представленных в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Исходные данные

Шифр работы	Наименование работы	Длительность работы t_{ij}, сут	Кол-во работников n_{ij}, чел
0-1	Исследование областей использования процессов тепломассообмена	5	1
0-2	Изучение схемы и принципа действия лабораторной установки	5	1
1-3	Анализ проведения опытов на установке методом вспышки	7	1
2-4	Изучение метода вспышки для определения теплопроводности	15	1
4-5	Описание изученного материала, выявление недостатков установок прошлых лет	27	2
5-3	Разработка конструкции рабочих элементов лабораторного стенда	20	1
5-6	Укладка электропроводки	5	1
6-7	Представление результатов расчета	10	1
7-8	Утверждение результатов расчета	3	1

Продолжение таблицы 7.1

8-9	Приобретение необходимого оборудования для создания стенда	15	1
9-10	Создание стенда	30	3
7-11	Разработка методики проведения экспериментов	8	1
11-12	Проведение экспериментов на лабораторном стенде	10	2
10-12	Обработка экспериментальных данных	20	2
12-13	Представление результатов экспериментов	10	1
10-14	Анализ результатов экспериментов	25	1
13-15	Сравнительный анализ полученных результатов с результатами прошлых лет	10	1
14-15	Составления заключения о проделанной работе	20	2

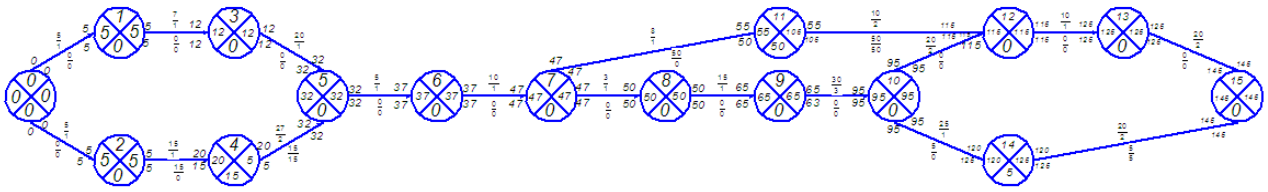

Рисунок 7.1 - Сетевой график выполнения работ

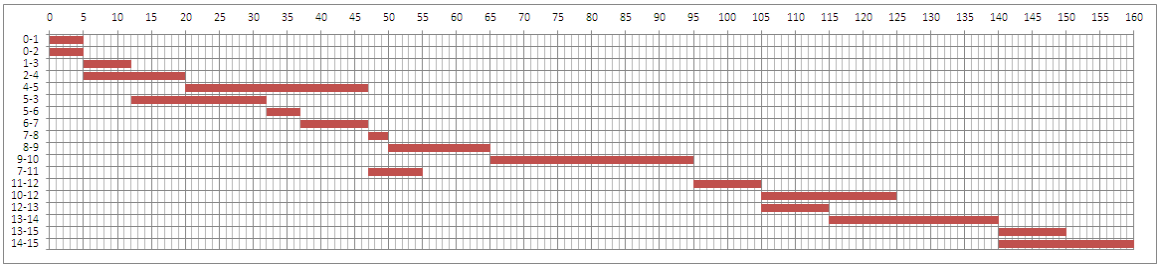

Рисунок 7.2 - Линейный график выполнения работ

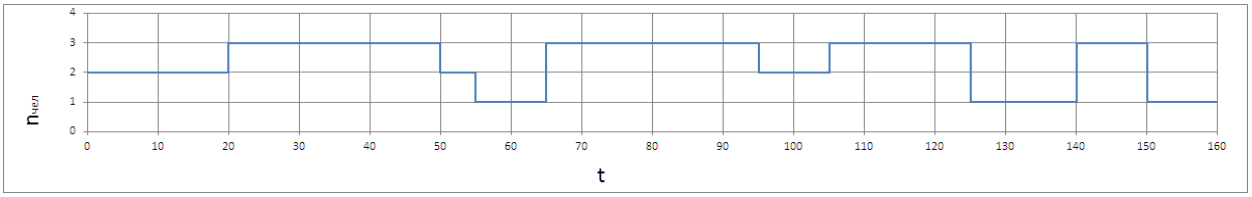

Рисунок 7.3 - График линейных ресурсов

7.3 Анализ сетевого графика

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

$$K_{сл} = \frac{n_{раб}}{n_{соб}},$$

где $n_{раб}$ - количество работ;

$n_{раб}$ - количество событий.

Тогда

$$K_{с} = \frac{16}{13} = 1,23.$$

Это говорит о том, что построенный сетевой график является простым. Критический путь: (0,1)(1,3)(3,5)(5,6)(6,7)(7,8)(8,9)(9,10)(10,12)(12,13)(13,15)

Продолжительность критического пути: 145

8.4 Составление сметы расходов на выполнение договора

В осуществлении работ по данному договору было задействовано 3 человека: руководитель проекта - доцент кафедры АТЭС и 2 исполнителя - ассистента данной кафедры.

Оклад доцента составляет 27 500 руб в месяц, а оклад ассистента - 17 500 руб в месяц. Все работы согласно договору были выполнены в срок в течение 145 сут или 5 месяцев. Определим заработную плату каждого работника за этот период:

$$ЗП_{доц} = 27500 \cdot 5 = 137500 \ руб; \quad ЗП_{ас} = 17500 \cdot 5 = 87500 \ руб.$$

В итоге фонд заработной платы составил:

$$ЗП = 137500 + 2 \cdot 87500 = 312500 \ руб.$$

Начисления на выплаты по оплате труда равны:

$$ВнФ = 0,302 \cdot ЗП = 0,302 \cdot 312500 = 94375 \ руб.$$

Для создания экспериментальной установки для определения температуропроводности методом вспышки потребовались расходные материалы, представленные в таблице 7.2

Таблица 7.2 - Расходные материалы и их стоимость

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб/шт	Стоимость, руб
Шпилька резьбовая М12 * 1000мм	1	89	89
Лампа 500Вт	1	95	95
Измеритель регулятор	1	2 500	2 500
Провода	-	-	1000
Прочее	-	-	5000
Итого			**8684**

Таблица 7.3 – Сводная смета затрат на выполнение договора

Наименование статей расходов	Всего, руб
Оплата труда	312500
Начисления на выплаты по оплате труда	94375
Оплата услуг связи	0
Прочие услуги	0
Увеличение стоимости основных средств	5 000
Увеличение стоимости материальных запасов	8684
Итого прямые расходы	420559
Накладные расходы	42050
Итого без НДС	462609
НДС	83270
Итого с НДС	**545879**

8. РАЗДЕЛ
«Автоматическое управление температурой вакуумной печи»

8.1 Описание объекта регулирования

Электрическими печами сопротивления называется класс электротермических установок, предназначенных для нагрева различных изделий в результате пропускания тока либо через сами изделия, либо через систему проводников.

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

1. Возможность равномерного нагрева изделий до температур в $2500\ ^{o}C$;
2. Компактность конструкции и высокая мощность нагрева;
3. Автоматизация управления, возможность интегрирования в промышленные технологические цепочки;
4. Простота регулировки рабочих режимов, в том числе при сложных графиках температурного воздействия;
5. Использование эффективных средств герметизации – вакуум, среда защитных газов, совместимость с режимами специальной атмосферы при химико-термическом воздействии.

Электрическая печь прямого действия предусматривает нагрев размещенного в ней образца путем пропускания тока непосредственно через него. Это позволяет обеспечить стремительный нагрев детали до необходимых температур за считанные секунды. Однако громоздкость и другие конструктивные сложности, а также трудность с оперативной регулировкой режимов ограничивают применение таких установок. Большая часть ЭПС выполняется по косвенной схеме, с использованием нагревательных элементов из жаропрочных материалов. Промышленностью изготовляется весьма широкий ассортимент печей косвенного

воздействия, с обеспечением теплопередачи за счет конвекции, излучения, теплопроводности либо комбинации этих факторов.

В лабораторной установке используется вакуумная печь сопротивления, работающая при сверхвысоких температурах. Она представляет собой водоохладжаемый цилиндр, по краям которого приварены фланцы. На фланцы накручиваются крышки, в одну из которых вмонтировано смотровое окно. Вторая крышка служит для крепления вывода тоководов, термопар и другой аппаратуры. Нагреватель печи изготавливается из танталовый фольги толщиной $0{,}5\ мм$. Внутрь нагревателя помещается молибденовый стакан с образцом. Температура печи измеряется термопарой, которая зачеканена в молибденовой трубе.

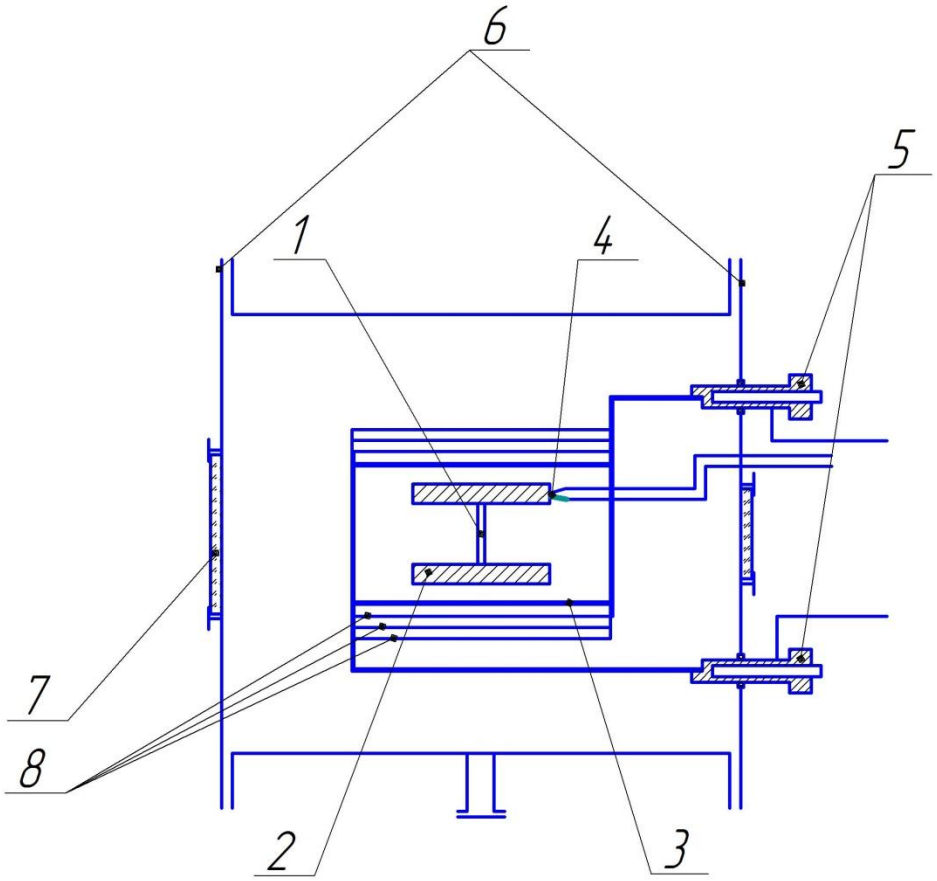

Рисунок 8.1 - Общий вид вакуумной печи:

1 – образец; 2 – молибденовый стакан; 3 – танталовый нагреватель;
4 – термопара; 5 – тоководы; 6 – крышки фланцев; 7 – смотровое окно;
8 – тепловой экран

8.2 Обоснование выбранной схемы автоматического регулирования

Целью автоматического регулирования является поддержка температуры печи неизменной. Постоянство температуры необходимо для выполнения граничных условий эксперимента, а так же снижения погрешностей измерений.

Температура печи задается и поддерживается с помощью регулятора температуры, который управляет работой трансформатора, питающего нагреватель. Сигнал для управления работой регулятора снимается с термопары закрепленной в молибденовом стакане, стабилизующим температуру внутри печи.

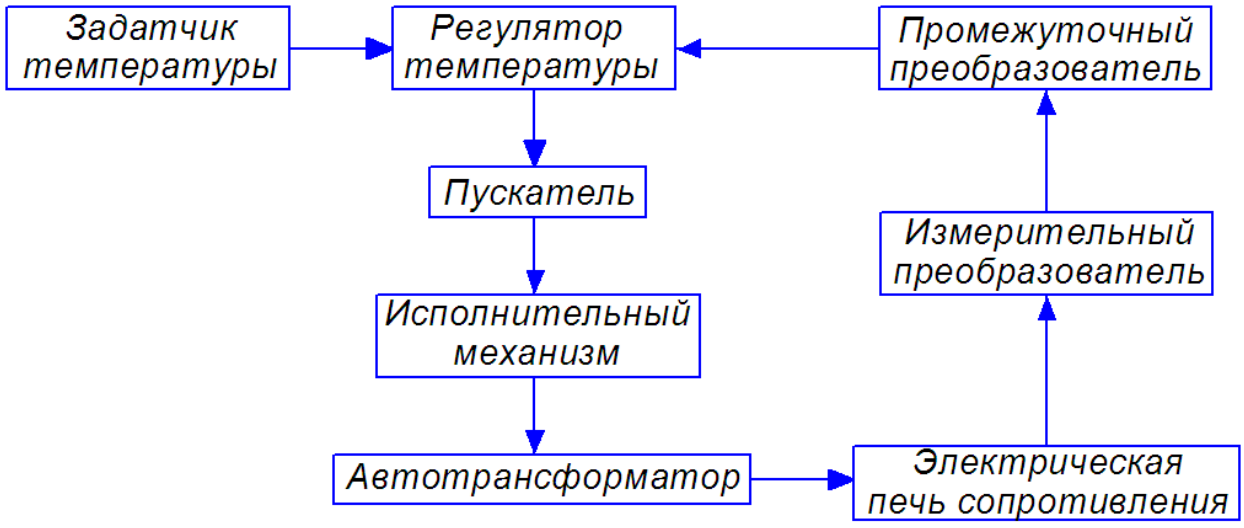

Рисунок 8.2 - Структурная схема управления печью

8.3 Разработка функциональной схемы управления печью

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического

процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

При разработке функциональной схемы решены следующие задачи:

- на технологической схеме объекта автоматизации определено местоположение точек отбора измерительной информации и точек воздействия на регулируемые параметры;

- определены предельные рабочие значения контролируемых параметров;

- выбрана структура измерительных каналов и каналов передачи управляющих воздействий;

- выбраны методы и технические средства получения, преобразования, передачи и представления измерительной информации, а также технические средства выработки управляющих воздействий;

- решены вопросы размещения технических средств автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании и на щитах;

- согласованы параметры измерительных каналов.

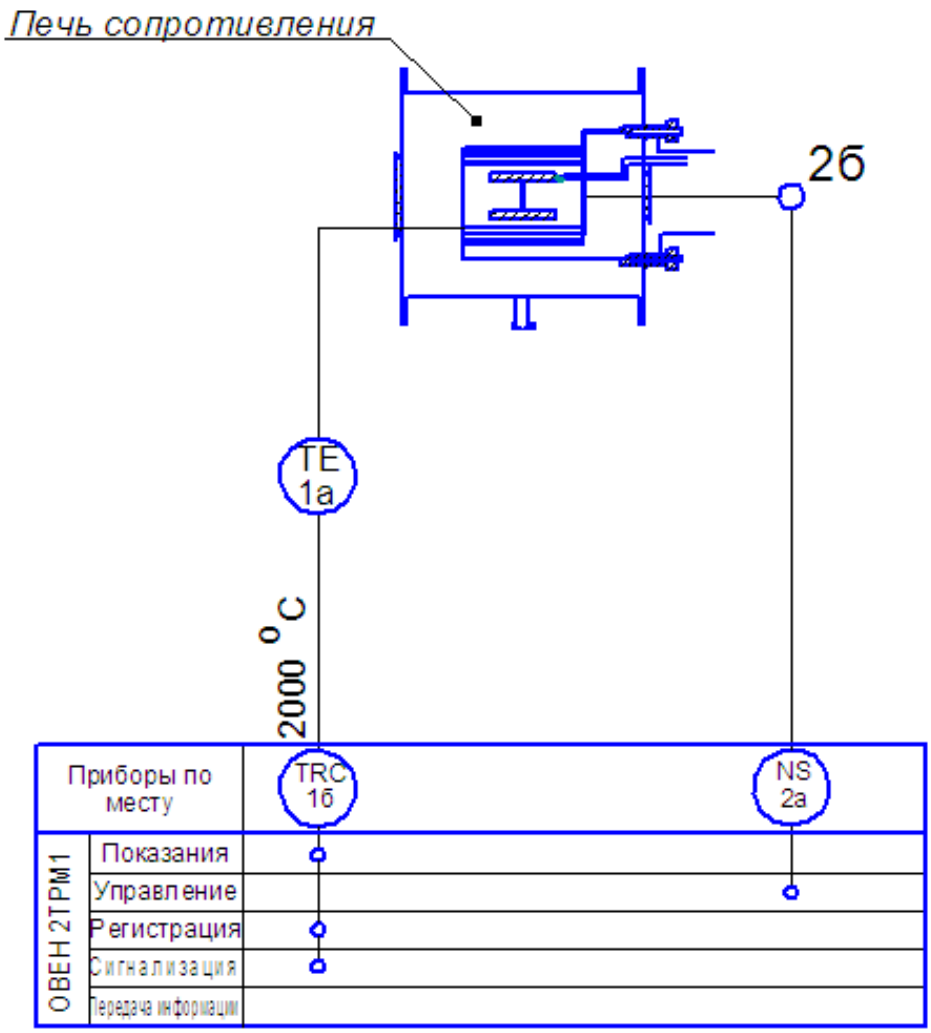

Рисунок 8.3 - Функциональная схема управления печью

8.4 Выбор технических средств АСР

1. Измеритель-регулятор двухканальный ОВЕН 2ТРМ1

Терморегулятор предназначен для измерения, регистрации или регулирования температуры теплоносителей и различных сред в холодильной технике, сушильных шкафах, печах различного назначения и другом технологическом оборудовании.

Таблица 8.1 – Технические характеристики 2ТРМ1

Напряжение питания переменного тока	90…245 В
Частота напряжения питания	47...63 Гц
Потребляемая мощность	не более 7 ВА
Напряжение встроенного источника питания нормирующих преобразователей	24 ± 2,4 В
Максимально допустимый ток источника питания	80 мА
Напряжение питания переменного тока	90…245 В
Частота напряжения питания	47...63 Гц
Потребляемая мощность	не более 7 ВА
Предел основной приведенной погрешности измерения: – для термоэлектрических преобразователей – для других датчиков	 ±0,5 % ±0,25%

2. Термопара ТВР (А-1)

Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце и формирующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры. В данном случае используется вольфрамрений-вольфрамрениевая термопара. Это связано с высокой температурой измерения.

Таблица 8.2 – Технические характеристики ТВР (А-1)

Тип	Хим. состав		Предел измеряемых температур	
			Диапазон	Кратко-временно
	«+»	«–»		
Вольфрамрений-вольфрамрениевые ТВР 5/20	W+5%Re	W+20%Re	0÷2200	2500

3. Трансформатор

Трансформатор сухой однофазный типа ОСУ с естественным охлаждением, нерегулируемый, рассчитанный на работу при больших токах обмотки низкого напряжения, предназначенный для питания электропечей, лабораторных установок и других потребителей.

Таблица 8.3 – Технические характеристики ОСУ-20/0,5 УХЛ4

Тип трансформатора	Степень защиты IP	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, В		Соединение катушек НН
			Обмотка ВН	Обмотка НН	
СУ-20/0,5 УХЛ4	IP-00	12,5	220 380	12,82-8,54 6,41-4,27	I/I-0. Последов. I/I-0. Паралл.