

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»  
(ТУСУР)

Утверждаю:

Зав. Кафедрой РЭТЭМ д. т. н.

\_\_\_\_\_ В.И. Туев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г

## **Теплотехника**

Методические указания по лабораторным работам для студентов,  
обучающихся по специальности 280101  
«Безопасность жизнедеятельности в техносфере» (27 часов)

Разработчик:

к.т.н. Апкарьян А.С.

## Содержание

1. Правила выполнения лабораторных работ	4
2. Инструкция по технике безопасности	5
3. Лабораторная работа №1. Исследование изобарного процесса	6
4. Лабораторная работа №2. Исследование изотермического процесс	11
5. Лабораторная работа №3. Исследование изохорного процесса	16
6. Лабораторная работа №4. Определение удельных объёмов жидкостей методом гидростатического взвешивания	17
7. Лабораторная работа №5. Определение общей потери тепла в камерной печи.	22
8. Лабораторная работа №6. Градуировка термоэлектрических термометров	32
9. Лабораторная работа №.7. Определение температуры вспышки нефти и нефтепродуктов	39
10. Список основной и дополнительной литературы	38

## **Введение**

Изучение теплотехники студентами технических высших учебных заведений предусматривает проведение определённого количества лабораторных работ.

В данных методических указаниях даются общие разделы, ознакомление с которыми необходимо для правильного проведения самих работ: содержание работы, описание экспериментальной установки, методика и последовательность проведения работ, обработка результатов измерений.

Данное методическое указание не ограничивается только лишь проведением эксперимента, В каждой работе дана и расчётная часть, а в отдельных работах полученные экспериментальные данные дают возможность провести аналитическое описание изученных свойств и составить графики исследуемого теплофизического процесса.

Некоторые работы проводятся непосредственно на действующем предприятии, что вызывает особый интерес у студентов, когда теоретические знания реально применяются на практике.

## **Правила выполнения лабораторных работ в лаборатории теплофизики, теплотехники и гидравлики**

1. Каждая лабораторная работа выполняется бригадой в составе 3-4 студентов.
2. Прежде чем приступить к лабораторной работе, каждый студент должен изучить ее описание, подготовить бланк отчета и сдать преподавателю коллоквиум по теоретическим вопросам, относящийся к данной работе.
3. Студент, не имеющий бланк отчета или не сдавший коллоквиум, к проведению лабораторной работы не допускается. Он обязан отработать ее в указанное преподавателем время.
4. После окончания лабораторных занятий результаты измерений и расчетов каждый студент предъявляет преподавателю для визирования.
5. К началу следующего лабораторного занятия студент должен сдать законченный отчет по выполненной работе, без данного отчета он не допускается к дальнейшим лабораторным работам.
6. Отчет по работе выполняется на листах белой бумаги (формат А4) в соответствии с ГОСТ 2.105-95. На титульном листе указывается наименование работы, кто выполнил, кто проверил, указывается год выполнения работы. На листах отчета должны быть: цель работы, схема опытного устройства, таблицы результатов измерений и таблицы результатов расчетов, с расчетами. Особое внимание при проведении расчетов необходимо обращать на соблюдение единства систем единиц измерения. Все величины, участвующие в расчетах, выражать в единицах СИ. Графики строятся на бумаге формата А4 и прилагаются к отчету.

## **2 Инструкция**

### **по технике безопасности при работе в лаборатории теплофизики, теплотехники и гидромеханики**

1. К практическим занятиям в лаборатории допускаются студенты, получившие инструктаж по технике безопасности с соответствующим оформлением его в журнале.
2. Студентам запрещается без разрешения преподавателя включать электрооборудование, открывать и закрывать задвижки и вентили трубопроводов, включать измерительные приборы и установки.
3. Перед началом работы необходимо ознакомиться с заданием, с правилами безопасности проведения работ, проверить исправность ограждений и предохранительных устройств.
4. При работе в лабораториях выполняется только та лабораторная работа, которая предусмотрена планом. Категорически воспрещается выполнять другие лабораторные работы.
5. Во время выполнения лабораторной работы ходить без дела по лаборатории запрещается, т.к. этим отвлекается внимание других студентов и остается без наблюдения лабораторная установка, что может повлечь за собой несчастный случай.
6. Оборудование лаборатории относится к разряду опасных в связи с возможностью поражения электрическим током, поэтому студенты обязаны строго соблюдать правила безопасности. В случае прекращения подачи электроэнергии необходимо отключить установку и оставаться у рабочего места.
7. Если произошел несчастный случай, то необходимо немедленно оказать первую помощь и сообщить об этом преподавателю.
8. Бережное отношение к приборам и оборудованию лаборатории создает условия вашей безопасности.
9. Запрещается в лабораторию приносить верхнюю одежду.
10. По окончании работы приведите в порядок рабочее место.

### 3 Лабораторная работа №1

#### Исследование изобарного процесса

Количество аудиторных часов – 4 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы.

- 1 Закрепление знаний по разделу "Термодинамика".
- 2 Изучение характеристик процесса изобарного расширения воздуха.

#### Необходимое оборудование и материалы

Схема лабораторной установки приведена на рис.3.1.

Рабочий объём – колба 1 помещена в термостат 6 типа ТС-24А. Температура в колбе измеряется термопарой, подсоединённой к потенциометру 5. Температура воды в термостате измеряется с помощью термометра 7. Кран 2 служит для сообщения газового тракта с атмосферой. Объём газа изменяется с помощью цилиндра 3, опущенного в сосуд с водой, а давление измеряется дифманометром 4.

Термостат имеет два нагревателя: 700 Вт и 1300 Вт. Он снабжён осевым насосом (мешалкой) для перемешивания жидкости.

#### Теоретические основы метода

Изобарным называется термодинамический процесс, при котором давление сохраняется постоянным ( $p = \text{const}$ ). Если при подводе тепла к газообразному рабочему телу оно расширяется без изменения давления, то всё подводимое тепло расходуется на изменение энтальпии.

$$dQ = dU + Vdp,$$

$$dQ_p = dU = C_p dT. \quad (3.1)$$

Если воздух, используемый в качестве рабочего тела, находится при малом давлении, его можно рассматривать как идеальный газ, состояние которого описывается уравнением Клапейрона-Менделеева, а если относительные изменения параметров ( $\Delta\phi/\phi$ ) в процессах невелики, то такие процессы являются квазиравновесными.

Уравнение изобарного процесса в этом случае имеет вид:

$$(V/T) = \text{const},$$

$$(\Delta V/\Delta T) = \text{const}. \quad (3.2)$$

Если к газу в некотором объёме подводить тепло и при этом намеренно увеличивать его объём таким образом, что давление в объёме не будет изменяться, то будет реализован изобарный процесс расширения. Для простоты эксперимента можно поддерживать в объёме атмосферное давление. Если при этом регистрировать  $\Delta V$  и  $\Delta T$ , то может быть построена кривая процесса, определена константа уравнения (3.2) и построена расчётная кривая процесса.

### Задание

- 1 Провести эксперимент с изобарным процессом.
- 2 По результатам наблюдений построить график изобарного процесса  $\Delta T = f(\Delta V)$ .
- 3 Определить среднее значение константы уравнения (3.2).
- 4 Построить расчётную кривую процесса.

### Проведение опыта.

Перед началом работы лабораторная установка приводится в исходное состояние:

- 1 кран 2 открыт;
- 2 цилиндр 3 опущен в воду до дна сосуда;
- 3 установка термостатирована, холодный спай термопары находится в сосуде со льдом;
- 4 дифманометр 4 регистрирует  $\Delta P=0$ .

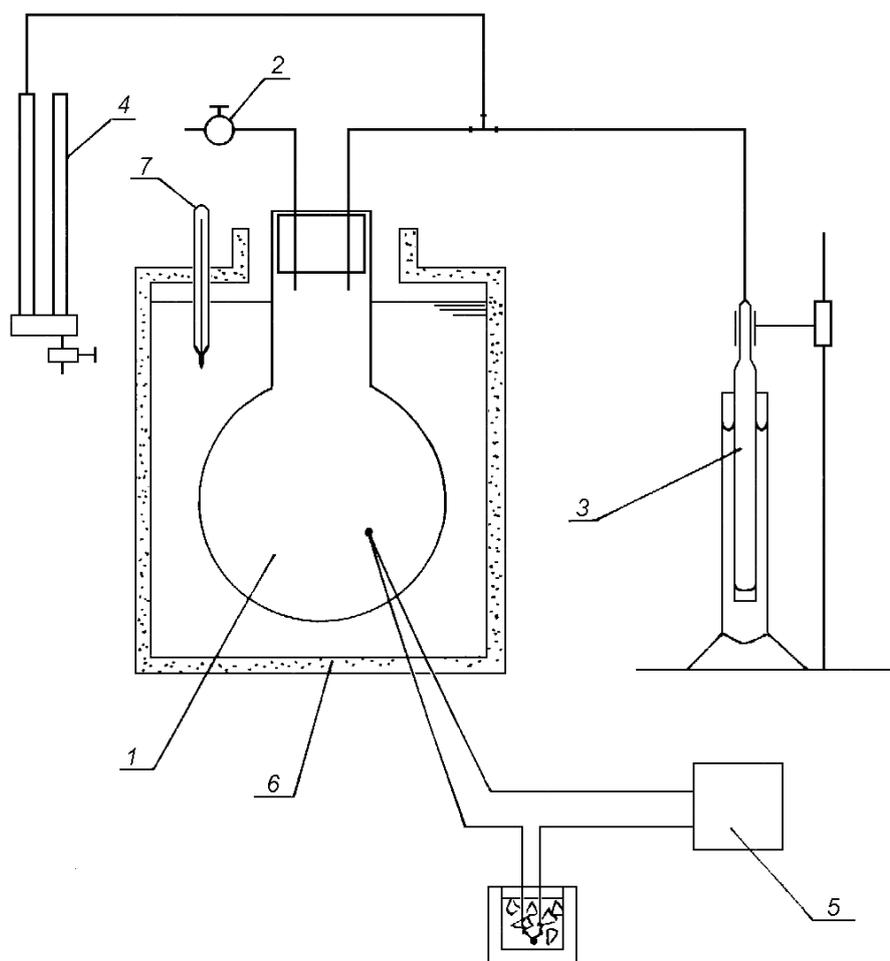


Рис.3.1. Схема лабораторной установки.

Порядок выполнения работы следующий:

- 1 Закрыть кран 2 и записать:  
уровень воды в цилиндре 3;  
температуру (термо-э.д.с.) в колбе 5;  
температуру в термостате по термометру 7;  
 $\Delta P=0$  по дифманометру 4.
- 2 Включить двигатель мешалки и один из нагревателей.  
Практически непрерывно поднимая цилиндр 3, поддерживать в воздушном тракте атмосферное давление, т.е.  $\Delta P=0$ .  
Каждую минуту фиксировать:  
температуру (термо-э.д.с.) в колбе 5;  
уровень воды в цилиндре 3;  
 $\Delta P=0$  по дифманометру 4;  
температуру в термостате по термометру 7.
- 3 Наблюдения проводятся до достижения температуры воды в термостате  $35^{\circ}\text{C}$ .
- 4 После завершения наблюдений отключить нагреватели термостата и мешалку, открыть кран 2.

### Обработка результатов опыта.

По результатам наблюдений строится график изобарного процесса  $\Delta T = f(\Delta V)$ , определяется среднее значение константы уравнения (2) и наносится расчётная кривая процесса.

Таблица 3.1. Результаты испытаний:

	Отсчёт уровня, мл	$\Delta V$ , мл	t в термо- стате, $^{\circ}\text{C}$	E, мВ	t в колбе, $^{\circ}\text{C}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

**Содержание отчёта.**

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- краткие теоретические положения;
- схему и описание лабораторной установки;
- графики;
- анализ полученных результатов;
- выводы по результатам работы.

**Контрольные вопросы.**

- 1 Определение изобарного процесса.
- 2 Изображение изобарного процесса на термодинамических диаграммах.
- 3 Использование изобарного процесса в циклах тепловых двигателей.

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 4 Лабораторная работа №2

### Исследование изотермического процесса

Количество аудиторных часов – 4 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы.

- 1 Закрепление знаний по разделу "Термодинамика".
- 2 Изучение характеристик процесса изотермического расширения воздуха.

#### Необходимое оборудование и материалы.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 4.1. В колбе 1, имеющей светозащитное покрытие находится нагреватель 10, питание к которому подаётся от сети через автотрансформатор 15 и выпрямитель 12. Электрические параметры нагревателя регистрируются по показаниям приборов 13 и 14. Температура в колбе регистрируется термопарой 6 с помощью потенциометра 9 типа ПП-63. Колба 1 соединена воздушным трактом (резиновыми трубками) с дифференциальным манометром 4 и стеклянным цилиндром 2, опущенным в сосуд с водой. Сообщение колбы с атмосферой осуществляется с помощью крана 5. В воздушном тракте вне колбы теплообмен практически отсутствует.

Если отключить колбу от атмосферы краном 5, а затем опустить цилиндр 2, то в колбе создастся избыточное давление, регистрируемое дифференциальным манометром 4. Условие изотермичности при подводе тепла к газу обеспечивается путём намеренного поднятия цилиндра 2. При этом объём газа увеличивается, а его давление уменьшается.

#### Теоретические основы метода

Изотермическим называется термодинамический процесс, протекающий при неизменной температуре ( $T = \text{const}$ ). При изотермическом расширении газ производит работу против внешних сил давления. Эта работа производится за счёт подводимой из окружающей среды теплоты. При сжатии газа, наоборот, выделяется теплота, которая передаётся в окружающую среду. Таким образом, изотермический процесс является самым «выгодным» процессом подвода тепла к рабочему телу, т.к. в нём тепло расходуется только на выполнение работы расширения, внутренняя энергия газа при этом не изменяется ( $dU = 0$ ).

$$dQ = dU + pdV.$$

$$dQ_t = C_v dT + pdV = pdV. \quad (4.1)$$

В данной лабораторной работе осуществляется подвод тепла к воздуху при практически атмосферном давлении, благодаря чему воздух может рассматриваться как идеальный газ, а малые изменения параметров делают процесс квазиравновесным. Изотермический процесс в идеальном газе подчиняется *закону Бойля-Мариотта*: для данной массы газа при неизменной температуре произведение численных значений давления и объёма есть величина постоянная:

$$pV = \text{const.} \quad (4.2)$$

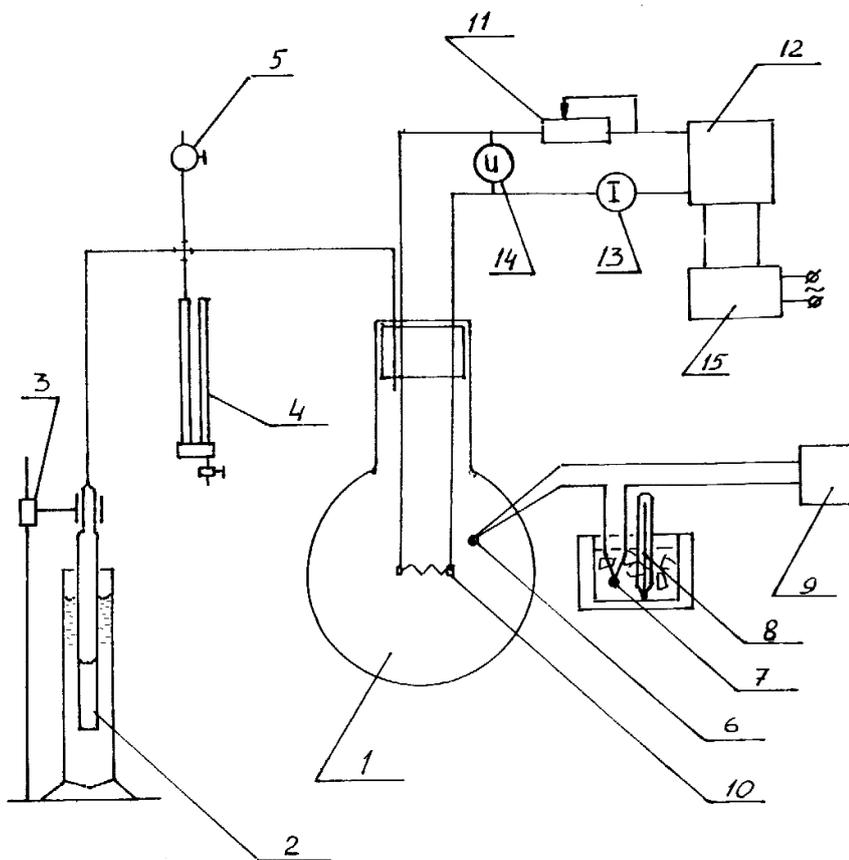


Рис.4.1. Схема лабораторной установки.

### Задание

- 1 На масштабной бумаге в координатах  $p - V$  построить график  $\Delta P = f(\Delta V)$ .
- 2 Вычислить среднее значение константы уравнения (2).
- 3 На график  $\Delta P = f(\Delta V)$  нанести расчётную кривую, определённую по уравнению (4.2).

### Проведение опыта

Перед началом работы температура в колбе должна быть близка к температуре воздуха в помещении, кран 5 – открыт. Цилиндр 2 опускается в воду таким образом, чтобы глубина его погружения не превышала 5 мм.

Порядок проведения опыта следующий:

- 1 закрыв кран 5, цилиндр 2 опустить до положения, при котором перепад давления по дифманометру 4 составит около 150 мм водяного столба. Объём воды, вошедшей в цилиндр, составит при этом примерно 10 мл;
- 2 зарегистрировать: температуру в колбе  $t$  с помощью потенциометра 9, избыточное давление  $\Delta P$  по дифманометру 4, отсчёт уровня воды (в мл) в цилиндре 2;
- 3 подать питание на нагреватель, установив электрическую мощность  $P = 0,005 \text{ Вт}$  ( $I = 19 \text{ мА}$ ,  $U = 270 \text{ мВ}$ ). Начать отсчёт оперативного времени по секундомеру;
- 4 через 60 секунд увеличить объём газа на 1 мл подъёмом цилиндра 2. Измерить температуру газа  $t$ , записать давление  $\Delta P$  и отсчёт уровня в цилиндре;
- 5 повторять действия предыдущего пункта до достижения  $\Delta P = 0$ ;
- 6 отключить нагреватель, сообщить воздушный тракт с атмосферой краном 5.

### Обработка результатов опыта

На масштабной бумаге в координатах  $p - V$  построить график  $\Delta P = f(\Delta V)$ . Учитывая, что суммарный объём колбы, воздушного тракта и цилиндра равен 485 мл, и зная атмосферное давление, вычислить среднее значение константы уравнения (4.2). На том же графике нанести расчётную кривую, определённую по уравнению (4.2).

Исходные данные:

Начальный объём воздуха	$V_0 =$	мл
Атмосферное давление	$P_a =$	Па
Плотность жидкости в манометре	$\rho =$	кг/м <sup>3</sup>

### Содержание отчёта

	Отсчёт уровня, мл	$\Delta V$ , мл	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\Delta P$ , Па	$E$ , мВ	$T$ , °C
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

#### Содержание отчёта.

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- краткие теоретические положения;
- схему и описание лабораторной установки;
- графики;
- анализ полученных результатов;
- выводы по результатам работы.

#### Контрольные вопросы

- 1 Определение изотермического процесса
- 2 Изображение изотермического процесса на термодинамических диаграммах
- 3 Использование изотермического процесса в циклах тепловых двигателей

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 5 Лабораторная работа №3

### Исследование изохорного процесса

Количество аудиторных часов – 4 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы.

- 1 Закрепление знаний по разделу "Термодинамика".
- 2 Изучение характеристик изохорного процесса при подводе тепла к газу.

#### Необходимое оборудование и материалы

Схема лабораторной установки показана на рис.5.1. Нагреваемый газ находится в колбе (1), помещенной в термостат (5) типа ТС-16 М. Температура в колбе регистрируется термопарой, подсоединенной к потенциометру (4) типа ПП-63. Давление регистрируется дифференциальным манометром (3). С атмосферой колба (1) сообщается краном (2). Температура воды в термостате измеряется термометром (6).

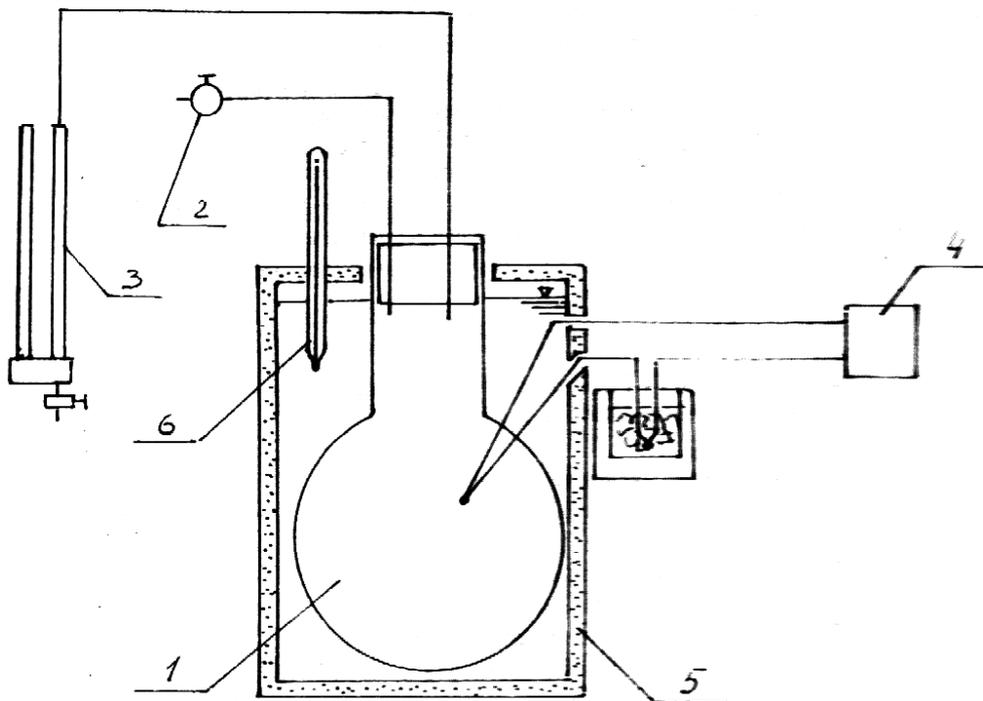


Рис. 5.1 Схема лабораторной установки.

#### Теоретические основы метода

При подводе тепла к газу в замкнутом сосуде с жесткими стенками имеет место изохорный процесс, а все подводимое тепло расходуется на изменение внутренней энергии.

$$Q = \Delta U + P \cdot \Delta V,$$

$$Q = \Delta U = C_v \cdot \Delta T.$$

В области малых давлений и температур состояние газа описывается уравнением Клапейрона-Менделеева, а так как температура изменяется несущественно, процесс оказывается квазиравновесным.

Уравнение процесса имеет вид:

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$

или

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \text{const}$$

Регистрируя изменение давления и температуры в ходе процесса можно построить его кривую в координатах (P - T), а также определить константу и построить расчетную кривую.

### Задание

- 1 Определить среднее значение константы в уравнении процесса.
- 2 По результатам опыта построить кривую процесса  $\Delta P/\Delta T = \text{const}$ .

### Проведение опыта.

- 1 Исходное состояние:
  - 1.1 вся установка, включая холодный спай в схеме термопары, термостатирована;
  - 1.2 кран (5) открыт;
  - 1.3 дифманометр (3) фиксирует нулевой перепад давления ( $\Delta P = 0$ );
  - 1.4 нагреватель и мешалка термостата отключены.
- 2 Закрывать кран (2) и зафиксировать:
  - 2.1 температуру в колбе (1) - по потенциометру (4);
  - 2.2  $\Delta P = 0$  - по дифманометру (3);
  - 2.3 температуру воды в термостате по (6).
- 3 Включить нагреватель термостата и мешалку.
- 4 Через каждую минуту фиксировать:
  - 4.1 давление в системе P по дифманометру (3);
  - 4.2 температуру воды в термостате  $t_r$  по (6);
  - 4.3 температуру в системе t по потенциометру (4).
- 5 Наблюдения проводятся до достижения  $t=35^\circ\text{C}$ .
- 6 Затем отключается нагреватель, мешалка и открывается кран (2).

### Обработка результатов опыта

По результатам опыта строится кривая процесса

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \text{const}$$

в координатах (P - T). Подсчитывается среднее значение константы в уравнении процесса и на график наносится расчетная кривая процесса.

Исходные данные:

Плотность жидкости в манометре  $\rho =$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 5.1 Результаты испытаний:

	$t_t,$ °C	E, мВ	T, °C	$\Delta t,$ °C	$h_1,$ мм	$h_2,$ мм	$\Delta h,$ мм	$\Delta P,$ Па
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- краткие теоретические положения;
- схему и описание лабораторной установки;
- графики;
- анализ полученных результатов;
- выводы по результатам работы.

### Контрольные вопросы

- 1 Определение изохорного процесса.
- 2 Изображение изохорного процесса на термодинамических диаграммах.
- 3 Использование изохорного процесса в циклах тепловых двигателей.

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 6 Лабораторная работа №4. Определение удельных объёмов жидкостей методом гидростатического взвешивания

Количество аудиторных часов – 4 часа.  
Количество часов на СРС - 2 часа.

### Цель работы:

- 1 Закрепление знаний по разделу "Техническая Термодинамика".
- 2 Освоение экспериментальной методики определения удельных объёмов жидкостей.

### Необходимое оборудование и материалы

- 1 Аналитические (рычажные) весы.
- 2 Стеклоанный или кварцевый поплавок.
- 3 Стеклоанный сосуд ёмкостью 0,5 литра.
- 4 Ртутный термометр.
- 5 Трансформаторное масло – 0,5 литра.
- 6 Мазут — 0,5 литра.

### Экспериментальная установка

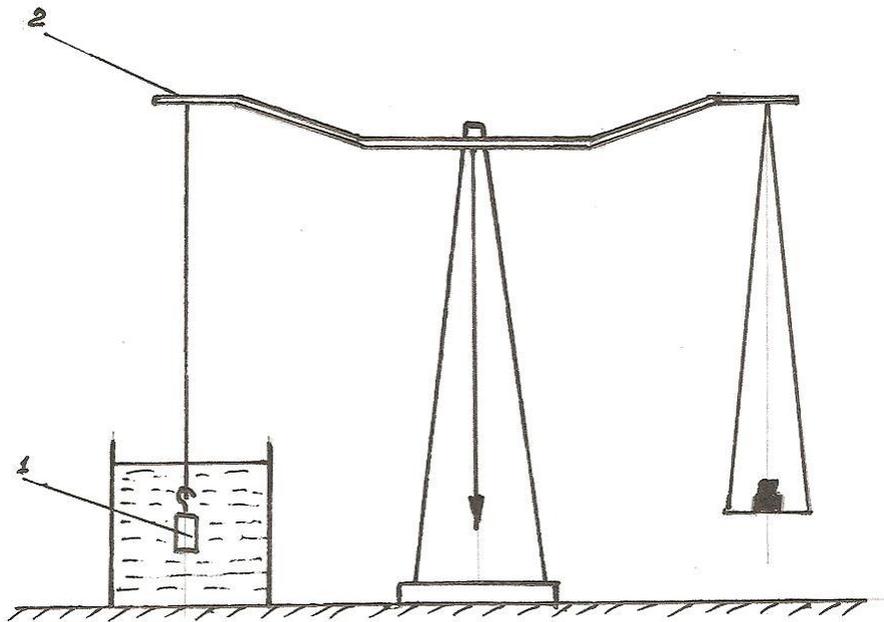


Рис.6.1. Экспериментальная установка для определения плотности жидкости.

Основным элементом экспериментальной установки, схема которой представлена на рис.6.1 являются аналитические (рычажные) весы -2. На одну из сторон весов подвешивается поплавок -1. Поплавок стеклоанный или

кварцевый. Поплавок погружают в ёмкость с исследуемой жидкостью. Температуру жидкости определяют ртутным термометром.

### Теоретические основы метода

Феноменологические свойства жидкости, как сплошной среды, могут существенно изменяться при изменении ее термодинамических параметров. Плотность жидкости  $\rho$  возрастает при повышении давления и, как правило, уменьшается при повышении температуры. Последнее свойство характеризуется коэффициентом теплового расширения  $\beta_T$ , определяющим относительное изменение объема  $W$  при изменении температуры  $T$ :

$$\beta_T = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dT} . \quad (6.1)$$

Среднее значение этого коэффициента при увеличении температуры на  $\Delta T$ :

$$\beta_T = \frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta T} , \quad (6.2)$$

где  $\Delta W$  — приращение объема.

Вязкость жидкости с повышением давления несколько увеличивается, с повышением температуры — значительно уменьшается. В частности, для воды справедлива эмпирическая формула Ж. Пуазейля:

$$\nu = 0,179 \cdot 10^{-2} / (1000 + 34T + 0,22T^2) , \quad (6.3)$$

где  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;  
 $T$  - температура, °С.

Поверхностное натяжение жидкости определяется видом газа над ее свободной поверхностью, примесями и температурой. Коэффициент поверхностного натяжения численно равен силе на единице длины периметра свободной поверхности жидкости.

Чтобы получить полное представление о характере изменения плотности жидкости от её температуры, необходимо перед началом эксперимента замерить её и поддерживать в течение всего эксперимента.

Этот способ основан на том, что на поплавок, погружённый в исследуемое вещество, действует выталкивающая сила, пропорциональная плотности исследуемого вещества. При известном объёме поплавок эту силу можно определить, сравнив результаты взвешивания поплавка в воздухе и в исследуемом веществе. Взвешивание поплавка производится на аналитических (рычажных) весах.

### Задание:

- составить уравнение равновесия;
- определить плотность трансформаторного масла при температурах

- от 20 °С до 50°С методом гидростатического взвешивания ;
- определить плотность мазута при температурах от 20°С до 90°С методом гидростатического взвешивания;
- построить график зависимости плотности жидкости от температуры.

### Проведение опыта

Схема установки, выполненной по методу гидростатического взвешивания, показана на рис.6.1 применительно к определению плотности жидкости при атмосферном давлении. Чтобы измерить плотность исследуемой жидкости, производится троекратное взвешивание стеклянного или кварцевого поплавка 1 на аналитических весах 2.

При первом взвешивании определяется масса поплавка в воздухе. Условие равновесия весов с учётом выталкивающей силы, действующей на поплавок со стороны воздуха, записывается следующим образом:

$$V\rho_{пг} - V\rho_{вг} = m_1g, \quad (6.4)$$

где  $V$  – объём поплавка;  $\rho_{п}$  – плотность материала поплавка;  $\rho_{в}$  – плотность воздуха;  $m_1$  – масса разновесок<sup>1</sup>.

Далее производится взвешивание поплавка в дистиллированной воде (или в другой жидкости, плотность которой известна), для которого соответствует уравнение:

$$V\rho_{пг} - V\rho_{д.вг} = m_2g, \quad (6.5)$$

где  $\rho_{д.в}$  – плотность дистиллированной воды; (значения плотности воды при различных температурах приведены в таблице 1.1).

Эти два взвешивания дают возможность определить объём поплавка. Решив совместно уравнение (6.4) и (6.5) получим:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{д.в} - \rho_{в}}. \quad (6.6)$$

Наконец, взвешивание поплавка в исследуемой жидкости позволяет определить её плотность, так как в этом случае выполняется равенство

$$V\rho_{пг} - V\rho_{жг} = m_3g. \quad (6.7)$$

Решая уравнение 6.7 совместно с 6.4 получаем:

$$\rho_{ж} = \frac{m_1 - m_3}{V} + \rho_{в}. \quad (6.8)$$

<sup>1</sup> В этом и последующих уравнениях не учитывается выталкивающая сила воздуха, действующая на разновески, величина которой составляет 0,015 – 0,02% веса разновесок.

После того как будет рассчитана плотность жидкости ( $\rho_{ж}$ ) при комнатной температуре (20 - 25 °С), провести аналогичную работу при температурах 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90°С.

По полученным результатам построить график зависимости плотности жидкости от температуры.

Таблица 6.1. Таблица плотности дистиллированной воды при различных температурах.

t, °С дист. воды	Плотность воды, $10^3 \text{ кг/м}^3$	t, °С дист. воды	Плотность воды, $10^3 \text{ кг/м}^3$	t, °С дист. воды	Плотность воды, $10^3 \text{ кг/м}^3$
0	0,99987	17	0,99880	34	0,99394
1	0,99993	18	0,99862	35	0,99350
2	0,99997	19	0,99843	40	0,99118
3	0,99999	20	0,99823	50	0,98804
4	1,00000	21	0,99802	60	0,98318
5	0,99999	22	0,99780	70	0,97771
6	0,99997	23	0,99757	80	0,97269
7	0,99993	24	0,99732	90	0,965
8	0,99988	25	0,99707	100	0,95824
9	0,99981	26	0,99681	120	0,94373
10	0,99973	27	0,99652		
11	0,99963	28	0,99622		
12	0,99951	29	0,99592		
13	0,99943	30	0,99561		
14	0,99925	31	0,99521		
15	0,99915	32	0,99479		
16	0,99892	33	0,99436		

### Обработка результатов измерений

Результаты всех расчетов вносить в таблицы наблюдений 6.2, 6.3 и 6.4.

Таблица 6.2 Результаты измерений

t воздуха, °С	Плотность поплавок, $\rho_{п}$ (кг/м <sup>3</sup> )	Плотность воздуха, $\rho_{в}$ ( кг/м <sup>3</sup> )	Масса разновесок, $m_1$ ( кг)

Таблица 6.3. Результаты измерений

t, дистил. воды °С	Плотность поплавок, $\rho_{п}$ , (кг/м <sup>3</sup> )	Плотность дистил. воды, $\rho_{в}$ , (кг/м <sup>3</sup> )	Масса разновесок, $m_2$ , (кг)	Объём поплавок, V (м <sup>3</sup> )
				\

Таблица 6.4. Результаты измерений

$t, ^\circ\text{C},$ жидкости	Плотность поплавка, $\rho_{\text{п}}, (\text{кг}/\text{м}^3)$	Объём поплавка, $(\text{м}^3)$	Масса разновесок, $m_1, (\text{кг})$	Масса разновесок, $m_2, (\text{кг})$	Плотность жидкости, $\rho_{\text{ж}}, \text{кг}/\text{м}^3$
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					

По результатам исследований построить график зависимости изменения плотности жидкости от температуры

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- краткие теоретические положения;
- схему и описание лабораторной установки;
- графики;
- анализ полученных результатов;
- выводы по результатам работы.

### Контрольные вопросы

- 1 Какими величинами по молекулярной теории определяется агрегатное состояние вещества?
- 2 Что такое рабочее тело?
- 3 Параметры состояния рабочего тела.
- 4 Определение давления. Единицы измерения.
- 5 Определение температуры. Температурные шкалы. Единицы измерения.
- 6 Что такое плотность и её зависимость от других физических величин.
- 7 Какие величины характеризуют термодинамическое состояние системы?
- 8 Как определить вязкость?

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 7 Лабораторная работа № 5

### Определение общей потери тепла в камерной печи

Количество аудиторных часов – 6,3 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы:

- 1 Закрепление знаний по разделу "Теплопередача", темы:  
-Теплопроводность плоской многослойной стенки.
- 2 Определение общей потери тепла в камерной печи ( $Q$ ), Вт.
- 3 Освоение работы тепловых агрегатов.

#### Необходимое оборудование и материалы

- 1 Тепловой агрегат - камерная печь - 1 шт.
- 2 Термопары - 2 шт.
- 3 Потенциометр – 2 шт.

#### Экспериментальная установка

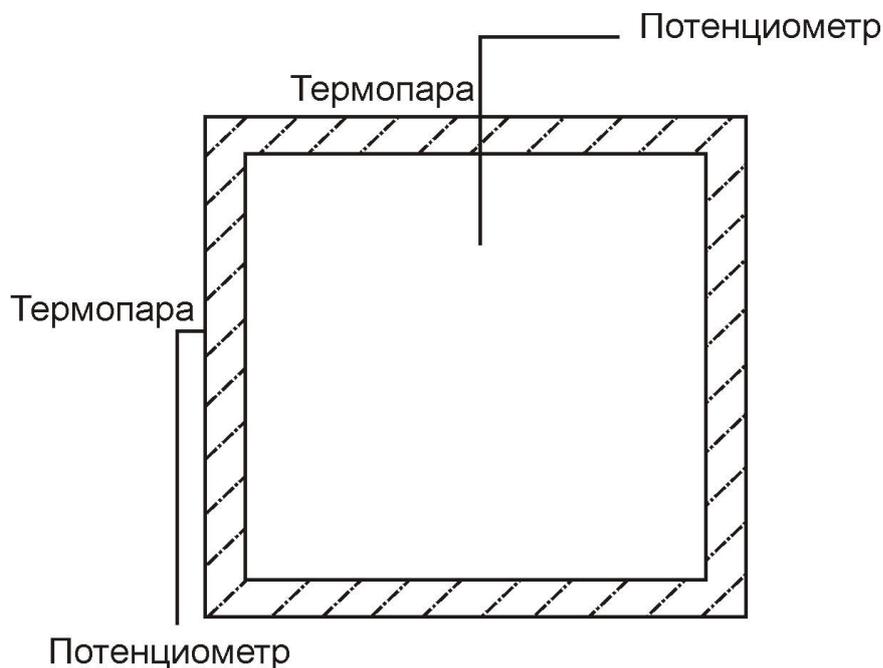


Рис.7.1. Схема экспериментальной установки определения потерь тепла через стенку

Экспериментальная установка представляет собой камерную печь. Кладка печи выполнена из:

- 1 огнеупорного материала:
  - толщина  $\delta_1$ , м,
  - теплопроводность  $\lambda_1$  Вт/(м град),

2 металлического листа:

- толщина  $\delta_2$ , мм,
- теплопроводность  $\lambda_2$  Вт/(м град).

Для измерения температуры в рабочем канале устанавливают, а к внешней поверхности стенки печи прикрепляют термопары.

### Теоретические основы метода

В практике большое значение имеет процесс передачи тепла через плоскую стенку, состоящую из нескольких слоёв материала с различной теплопроводностью.

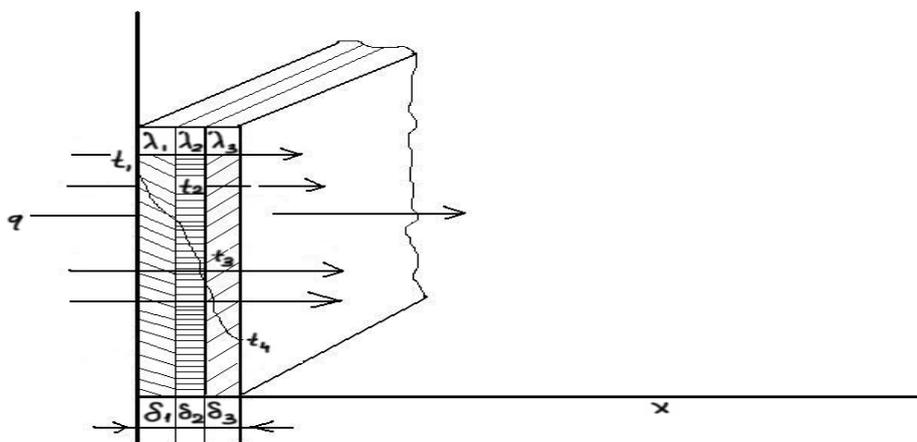


Рис. 7.2. Передача тепла теплопроводностью через плоскую трёхслойную стенку

Рассмотрим передачу тепла теплопроводностью через плоскую трёхслойную стенку (рис.7.2.). Все слои такой стенки плотно прилегают друг к другу. Толщины слоёв обозначены  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ . А теплопроводность каждого материала  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  соответственно. Известны также температуры наружных поверхностей  $t_1$  и  $t_4$ . Температуры  $t_2$  и  $t_3$  неизвестны. Так как рассматривается стационарный режим, то плотность теплового потока  $q$ , проходящего через каждый слой стенки, по значению постоянна и для всех слоёв одинакова, но на своём пути она преодолевает местное термическое сопротивление  $(\delta/\lambda)$ .

Поэтому для каждого слоя имеем:

$$q = (t_1 - t_2) / (\delta_1 / \lambda_1); \quad q = (t_2 - t_3) / (\delta_2 / \lambda_2); \quad q = (t_3 - t_4) / (\delta_3 / \lambda_3).$$

Из этих равенств можно определить  $q$

$$t_1 - t_2 = q \delta_1 / \lambda_1; \tag{7.1.}$$

$$t_2 - t_3 = q \delta_2 / \lambda_2;$$

$$t_3 - t_4 = q \delta_3 / \lambda_3.$$

Складывая, левые и правые части равенства получим:

$$t_1 - t_4 = q(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3) ;$$

или

$$q = \frac{t_1 - t_4}{(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3)} . \quad (7.2.)$$

Из уравнения (7.2) следует, что общее термическое сопротивление многослойной стенки равно

$$R = \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 \dots + \dots \delta_n/\lambda_n.$$

По формулам (7.1) и (7.2.) можно определить значения неизвестных  $t_2$  и  $t_3$  ;

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 - q\delta_1/\lambda_1; \\ t_3 &= t_2 - q\delta_2/\lambda_2 = t_1 - q(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2) \quad \text{или} \\ t_3 &= t_4 + q\delta_3/\lambda_3. \end{aligned} \quad (7.3)$$

### Задание

- 1 Определить температуру в рабочем канале печи ( $t_1$ ), °С.
- 2 Определить температуру внешней поверхности теплового агрегата ( $t_2$ ), °С.
- 3 Определить потери тепла через стенки теплового агрегата ( $Q_1$ ), Вт.
- 4 Определить потери тепла через свод камерной печи ( $Q_2$ ).
- 5 Определить потери тепла через под камерной печи.
- 6 Определить общие потери тепла через кладку печи.
- 7 Определить скорость подъёма температуры.
- 8 Построить график зависимости роста значений температуры от времени.
- 9 Построить график зависимости потерь количества тепла от времени.
- 10 Построить график зависимости потерь количества тепла от температуры в рабочем канале.

### Проведение опыта.

Лабораторная работа основана на передаче тепла через стенку. Теплопроводность  $\lambda_1$  огнеупорного материала в зависимости от температуры определить по таблице в справочнике. Толщина стенки огнеупорной части –  $\delta_1$ , мм.

Теплопроводность  $\lambda_2$  металла внешней части печи в зависимости от температуры и марки стали определить по таблице в справочнике.

Толщина стенки металла –  $\delta_2$ , мм.

Значения коэффициента теплоотдачи конвекцией определяются для различных случаев экспериментальным путём. Для газов при естественной конвекции коэффициент теплоотдачи лежит в пределах 6,0 – 35 Вт/(м<sup>2</sup> град.С). В данном случае коэффициент теплоотдачи принять равной 8,0 Вт/(м<sup>2</sup> град.С).

При проведении работы замерять температуру в рабочем канале печи ( $t_1$ ) и внешней поверхности стенки печи ( $t_2$ ) через 10 мин. Замеры производить до достижения температуры в рабочем канале 1000 °С

### Обработка результатов измерений.

Количество тепла проходящего в течение 1 ч. при стационарном потоке через сечение стенки площадью  $F_1$ , составляет:

$$Q_1 = \frac{t_1 - t_2}{1/\alpha + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2} F_1, [\text{Вт}]; \quad (7.4)$$

Аналогично определяется  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ .

Общие потери тепла определяются как сумма всех потерь:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

$\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности огнеупорной части стенки (пода, свода), Вт/(м град);

$\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности металлической части стенки (пода, свода), Вт/(м град);

$t_1$  – температура в рабочем канале печи, °С;

$t_2$  – температура внешней поверхности стенки (пода, свода,) °С;

$\delta_1$  – толщина огнеупорной части стенки (пода, свода), печи, м;

$\delta_2$  – толщина металлической части стенки (пода, свода), печи, м;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи - принять равной 8,0, Вт/(м<sup>2</sup> град.С);

$F$  – площадь поверхности стенки (пода, свода), печи, м<sup>2</sup>.

Для выполнения работы необходимо:

- 1 Замерить толщину огнеупорной части стенки печи ( $\delta_1$ ), мм;
- 2 Замерить толщину металлической части печи ( $\delta_2$ ), мм;
- 3 Замерить толщину кладки свода печи;
- 4 Замерить толщину кладки пода печи;
- 5 Замерить площадь поверхности стенки печи ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ), м<sup>2</sup>;
- 6 Определить площадь свода печи ( $F_5$ );
- 7 Определить площадь пода ( $F_6$ );
- 8 По справочнику определить коэффициент теплопроводности огнеупорного материала ( $\lambda_1$ ) при температуре  $t_1$ ;
- 9 По справочнику определить коэффициент теплопроводности металла ( $\lambda_2$ ) при температуре  $t_2$ . Внешняя поверхность печи выполнена из стали марки Ст3;
- 10 Через каждые 10 минут производить замеры температур ( $t_1$ ), ( $t_2$ );
- 11 По полученным температурам и коэффициентам теплопроводности рассчитать потери тепла через стенки, свод и под печи в соответствии с температурой и коэффициентом теплопроводности –  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ;
- 12 Определить потери тепла через стенку в течение 1 часа, 2 часов;

- 13 Построить график зависимости изменения значений температуры в рабочем канале печи ( $t_2$ ) от времени ( $\tau$ );
- 14 Построить график зависимости изменений количества потери тепла через стенку печи ( $Q$ ) от времени ( $\tau$ );
- 15 Построить график зависимости потерь количества тепла от температуры в рабочем канале печи.
- 16 Полученные результаты свести в таблицу 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5.

Таблица 7.1. Потери тепла через боковые стенки печи

Номера замеров	Время замера $\tau$ , мин.	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$\lambda_1$ , Вт/(м град)	$\lambda_2$ , Вт/(м град)	$F_1$ , м <sup>2</sup>	$Q_1$ , Вт.

Таблица 7.2. Потери тепла через заднюю стенку печи

Номера замеров	Время замера $\tau$ , мин.	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$\lambda_1$ , Вт/(м град)	$\lambda_2$ , Вт/(м град)	$F_2$ , м <sup>2</sup>	$Q_2$ , Вт.

Таблица 7.3. Потери тепла через торцевую стенку печи (дверку)

Номера замеров	Время замера $\tau$ , мин.	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$\lambda_1$ , Вт/(м град)	$\lambda_2$ , Вт/(м град)	$F_3$ , м <sup>2</sup>	$Q_3$ , Вт.

Таблица 7.4. Потери тепла через под печи

Номера замеров	Время замера $\tau$ , мин.	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$\lambda_1$ , Вт/(м град)	$\lambda_2$ , Вт/(м град)	$F_4$ , м <sup>2</sup>	$Q_4$ , Вт.

Таблица 7.5. Потери тепла через свод печи

Номера замеров	Время замера $\tau$ , мин.	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$\lambda_1$ , Вт/(м град)	$\lambda_2$ , Вт/(м град)	$F_5$ , м <sup>2</sup>	$Q_4$ , Вт.

**Отчет по работе**

Отчет по работе должен включать следующие пункты:

- 1 Титульный лист.
- 2 Наименование и цель работы.
- 3 Схему опытной установки.
- 4 Таблицу наблюдений.
- 5 Обработку результатов опыта.
- 6 Выводы по результатам работы

**Контрольные вопросы**

- 1 Что такое теплопроводность?
- 2 Что такое температурное поле?
- 3 Что такое температурный градиент?
- 4 Что такое тепловой поток?
- 5 Как определить плотность теплового потока?
- 6 Уравнение Фурье.
- 7 Уравнение теплопроводности для однослойной стенки.
- 8 Уравнение теплопроводности для многослойной стенки.
- 9 Уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки.
- 10 Что такое ламинарное и турбулентное движение?
- 11 Что такое свободное и вынужденное движение?

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 8 Лабораторная работа №.6

### Градуировка термоэлектрических термометров

Количество аудиторных часов – 4 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы:

- 1 Закрепление знаний по разделу "Техническая термодинамика", темы: Приборы для измерения температуры.
- 2 Определение соответствия градуировочной характеристики поверяемой термопары стандартных градуировочных характеристик.

#### Необходимое оборудование и материалы

Схема экспериментальной установки для проверки термоэлектрических преобразователей показана на рис. 8.1, где 1 - термостат типа ТС - 24, 2 - электроконтактный термометр типа ТПК, 3 - образцовый термометр ртутный типа ТР-П, 4 - переключатель многопозиционный, 5 - переносной потенциометр типа Р4833, 6 - сосуд Дьюара, 7 - свободные концы исследуемых термопар, 8 - рабочие концы исследуемых термопар. В качестве проверяемых термопар используются три типа термопар: медькопелевая, хромель - копелевая, никель - хром, никель-алюминиевая К. Рабочие концы термопар установлены в термостате типа ТС-24 (рабочая среда в термостате - вода), а свободные концы термопар помещены в сосуд Дьюара, где поддерживается температура равная 0<sup>0</sup>С( рабочая среда - тающий лёд). Термо - ЭДС каждой термопары измеряется с помощью лабораторного потенциометра типа Р4833 класса 0.05. Подключение термопар к потенциометру 5 производится с помощью многопозиционного переключателя 4.

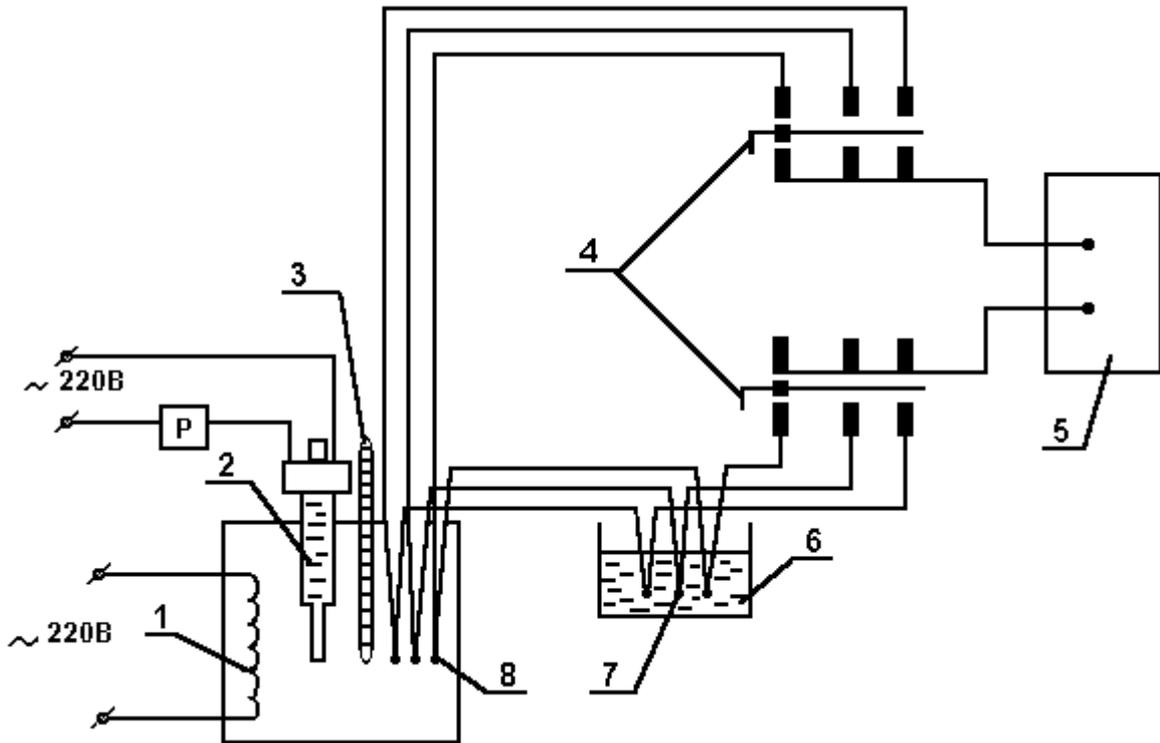


Рис.8.1. Схема экспериментальной установки для поверки термопар.

### Теоретические основы метода

Принцип действия термопары основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (термо-э. д. с.), связанной с явлением термоэлектричества.

Термопара состоит из разнородных проводников (термоэлектродов), соединённых (сварных) с одного конца, называемого рабочим. Рабочий конец погружается в среду, температура которой измеряется. К другому концу термопары, называемому свободным, присоединяются провода к прибору, измеряющему термо- э.д.с. термопары. Если температура рабочего и свободного концов термопары различны, то в термопаре возникает термо-ЭДС.

В соответствии с эффектом Зеебека величина разности потенциалов пропорционально разности температур спаев термоэлектрической цепи

$$E = \alpha (t_1 - t_2) \quad (8.1)$$

или в дифференциальной форме

$$dE = \alpha \cdot dt$$

где E- термо-ЭДС

$\alpha$ - коэффициент пропорциональности, зависящий от материала термоэлектродов [В/к]

Температура свободных концов обоих термоэлектродов должна быть одинакова. Удобно поддерживать её равной нулю. Допустимо поддерживать температуру свободных концов и не равной нулю, но непременно одинаковую для обоих свободных концов.

Для измерения температур до  $1300^{\circ}\text{C}$  используют в основном термопары из неблагородных металлов (никельхром - никельалюминиевая), а для измерения температур до  $1600^{\circ}\text{C}$  - применяют термопары из благородных металлов платиновой группы, и, наконец, для измерения температур более  $1600^{\circ}\text{C}$  - различные термопары, изготовленные из очень жароупорных материалов (вольфрамрений (5%) - вольфрам-рениевая (20%)).

К материалам, используемым для изготовления термоэлектрических термометров, предъявляются ряд требований: жаростойкость, жаропрочность, химическая стойкость, воспроизводимость, стабильность, однозначность и линейность градуировочной характеристики и ряд других. Среди них есть обязательные и желательные требования. К числу обязательных требований относятся стабильность градуировочной характеристики и воспроизводимость в необходимых количествах материалов, обладающих вполне определёнными термоэлектрическими свойствами.

Рабочий спай термоэлектрического термометра чаще всего изготавливается путём сварки, в отдельных случаях применяют пайку, а для вольфрам-рениевых - скрутку.

Для защиты термоэлектродов от воздействия измеряемой среды их помещают в защитный чехол из газонепроницаемых материалов, выдерживающих необходимые высокие температуры и давления среды. Защитные чехлы чаще всего изготавливают из различных марок стали для температур до  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Большое распространение в последнее время получают термоэлектрические термометры кабельного типа. Они представляют собой два термоэлектрода, помещённые в тонкостенную оболочку. Пространство между термоэлектродами и оболочкой заполняется специальной изолирующей засыпкой ( порошок  $\text{MgO}$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Оболочка изготавливается из нержавеющей или жаропрочной стали. Наружный диаметр оболочки - от 0.5 до 6 мм. (ГОСТ 23847 - 79), длина - до 25 м. Выпускаются хромель - алюмилевые и хромель - копелевые термопреобразователи с изолированными или неизолированными спаями. Существенным преимуществом термометров кабельного типа является их радиационная стойкость, позволяющая им работать в энергетических реакторах АЭС, а также повышенная стойкость к тепловым ударам, вибрации и механическим нагрузкам.

В соответствии с государственным стандартом применяются девять типов термоэлектрических преобразователей ( в таблице 8.1 представлены три типа термопар).

Допускаемые отклонения измеряемых значений термоэлектродвижущей силы  $\Delta E$  от градуировочных характеристик определяются из выражения

$$\Delta E = [a + b(t - c)] S_t, \quad (8.2)$$

где  $t$  - температура рабочего конца термометра, °С;

$S_t \left( \frac{dE}{dt} \right)$  - коэффициент преобразования термометра, определяемый на основе его градуировочной характеристики;

$a, b, c$  - коэффициенты, определяемые из таблицы 8.2.

### Задание

- 1 Определить для каждой термопары и для каждой поверяемой температурной точки отклонение термо - ЭДС от стандартных градуировочных таблиц (табл. 8.3, 8.4, 8.5) и сопоставить их с величинами допускаемых отклонений. Отклонения термо - ЭДС термопар находятся по формуле.
- 2 Построить для каждой поверяемой термопары градуировочную кривую  $E = f(t)$ .

### Проведение опыта

- 1 Проверка термопар производится в интервале температур от 15<sup>0</sup>С до 100<sup>0</sup>С в десяти температурных точках.  
Проверяемые температурные точки задаются преподавателем.
- 2 Установить на электроконтактном термометре 2 начальную проверяемую температурную точку и включить термостат 1. В термостате будет автоматически поддерживаться установленная на ТПК температура. Через 3 минуты, после того, как установится температура, произвести потенциометром измерения термо- ЭДС всех термопар. Температуру воды в термостате определить по ртутному термометру 3.

## Обработка результатов измерений

Таблица 8.1. Результаты измерений занести в таблицу по форме

	$t_0$	$E_1$	$t_1$	$\Delta E_{1д}$	$E_2$	$t_2$	$\Delta E_{2д}$	$E_3$	$t_3$	$\Delta E_{3д}$
1										
2										
3										
4										
·										
·										
·										
10										

где  $t_0$  - температура среды, определяемая по ртутному термометру,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$E_1, E_2, E_3$  - термо - ЭДС поверяемых термопар, мВ,

$t_1, t_2, t_3$  - температура среды, измеренная поверяемыми термопарами (находится по табл. 8.2, 8.3, 8.4),  $^{\circ}\text{C}$ ,

$\Delta E_{1д}, \Delta E_{2д}, \Delta E_{3д}$  - допускаемые отклонения измеряемых термо - ЭДС (находятся по формуле (8.2)).

3. Выполнить пункт 2 для всех последующих поверяемых температурных точек.

4. Построить для каждой поверяемой термопары градуировочную кривую  $E = f(t)$ .

5. Определить для каждой термопары и для каждой поверяемой температурной точки отклонение термо-ЭДС от стандартных градуировочных таблиц (табл. 8.3, 8.4, 8.5) и сопоставить их с величинами допускаемых отклонений. Отклонения термо - ЭДС термопар находятся по формуле

$$\Delta E = E_{\text{ст}} - E,$$

где  $E_{\text{ст}}$  - стандартное градуировочное значение термо-ЭДС, мВ,

$E$  - измеренное значение термо-ЭДС, мВ.

Таблица 8.2. Термоэлектрические преобразователи.

Тип	Рабочий диапазон	a, $^{\circ}\text{C}$	b, $^{\circ}\text{C}$	c, $^{\circ}\text{C}$
Медь-копелевая	-200 - 0	1.3	-1.1	0
	0 - 100		0	0
Хромель-копелевая	-50 - 300	2.5	0	0
	300 - 800		6	300
Никельхром- никельалюминевая	-200 - -100	4	-10	-100
	-100 - 400		0	0
	400 - 1300		7.5	400

Таблица 8.3. Градуировочная характеристика хромель-копелевой термопары

Темп-ра рабочего конца, °С	Термоэлектродвижущая сила, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,646	0,711	0,776	0,841	0,907	0,973	1,039	1,105	1,171	1,237
20	1,303	1,37	1,437	1,504	1,571	1,638	1,705	1,772	1,84	1,908
30	1,976	2,044	2,112	2,18	2,248	2,316	2,384	2,452	2,52	2,589
40	2,658	2,727	2,796	2,865	2,934	3,003	3,072	3,141	3,210	3,280
50	3,350	3,420	3,490	3,56	3,63	3,7	3,77	3,84	3,91	3,98
60	4,05	4,121	4,192	4,263	4,334	4,405	4,476	4,547	4,618	4,689
70	4,76	4,831	4,902	4,973	5,044	5,115	5,186	5,257	5,327	5,398
80	5,469	5,54	5,611	5,682	5,753	5,824	5,895	5,966	6,037	6,108
90	6,179	6,25	6,322	6,394	6,466	6,538	6,61	6,682	6,754	6,826
100	6,898									

Таблица 8.4. Градуировочная характеристика медь-копелевой термопары.

Темп-ра рабочего конца °С	Термоэлектродвижущая сила, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.431	0.475	0.519	0.563	0.606	0.651	0.695	0.739	0.783	0.828
20	0.872	0.917	0.962	1.006	1.051	1.096	1.142	1.187	1.232	1.277
30	1.323	1.368	1.414	1.46	1.506	1.552	1.598	1.644	1.690	1.736
40	1.783	1.829	1.876	1.922	1.969	2.016	2.063	2.110	2.157	2.204
50	2.253	2.229	2.346	2.394	2.441	2.489	2.537	2.585	2.633	2.681
60	2.729	2.777	2.826	2.874	2.922	2.971	3.020	3.068	3.117	3.166
70	3.215	3.264	3.313	3.326	3.412	3.461	3.51	3.56	3.61	3.659
80	3.709	3.759	3.809	3.859	3.909	3.959	4.009	4.060	4.110	4.16
90	4.211	4.262	4.312	4.363	4.414	4.465	4.516	4.567	4.618	4.669
100	4.721									

Таблица 8.5. Градуировочная характеристика никельхром-никельалюминиевой (тип К)

Темп-ра рабочего конца, °С	Термоэлектродвижущая сила К									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.00	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.57
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.56	2.601	2.643	2.684	2.736	2.767	2.809
70	2.85	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.1	3.141	3.183	3.224
80	3.226	3.307	3.349	3.39	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.93	3.971	4.012	4.054
100	4.095									

**Отчет по работе**

Отчет по работе должен включать следующие пункты:

- 7 Титульный лист.
- 8 Наименование и цель работы.
- 9 Схему опытной установки.
- 10 Таблицу наблюдений.
- 11 Обработку результатов опыта.
- 12 Выводы по результатам работы.

**Контрольные вопросы**

- 1 С помощью, каких устройств поверяются термопары?
- 2 Можно ли проводить поверку термопар при температуре свободных концов, не равной  $0^{\circ}\text{C}$ ?
- 3 Какие типы термоэлектрических преобразователей применяются в соответствии с государственным стандартом?

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

## 9 Лабораторная работа №7

### Определение температуры вспышки нефти и нефтепродуктов

Количество аудиторных часов – 4 часа.

Количество часов на СРС - 2 часа.

#### Цель работы.

- 1 Закрепление знаний по разделу "Техническая Термодинамика".
- 2 Изучить методику определения температуры вспышки нефти и нефтепродуктов.
- 3 Определить температуру вспышки нефти и нефтепродуктов.

#### Необходимое оборудование и материалы.

- 1 Аппараты для определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле типов ТВО (ТВ-2) или полуавтоматические и автоматические типа АТВО (АТВ-2), дающие результаты в пределах допускаемых расхождений по методу Кливленда.
- 2 Экран трехстворчатый, окрашенный с внутренней стороны черной краской, с секциями шириной  $(46 \pm 1)$  см и высотой  $(60 \pm 5)$  см или щит высотой 55 - 65 см из листовой кровельной стали, окрашенный с внутренней стороны черной краской.
- 3 Термометр типа ТН-2 по ГОСТ 400.
- 4 Секундомер любого типа.
- 5 Барометр ртутный или барометр-анероид с погрешностью измерения не более 0,1 кПа.
- 6 Бумага фильтровальная лабораторная по [ГОСТ 12026](#).
- 7 Пипетка.
- 8 Щетка металлическая.
- 9 Бензин-растворитель с пределами выкипания от 50 до 170 °С или нефрас С50/170 по ГОСТ 8505.
- 10 Осушающие реагенты (обезвоженные): натрий сернокислый безводный по ГОСТ 4166 или натрий сернокислый технический по ГОСТ 6318, или кальций хлористый технический по [ГОСТ 450](#), или натрий хлористый по [ГОСТ 4233](#).
- 11 Вода дистиллированная.

#### Теоретические основы метода

Сущность методов заключается в нагревании пробы нефтепродукта в открытом тигле с установленной скоростью до тех пор, пока не произойдет вспышка паров (температура вспышки) нефтепродукта над его поверхностью от зажигательного устройства и пока при дальнейшем нагревании не произойдет загорание продукта (температура воспламенения) с продолжительностью горения не менее 5 с.

### **Задание**

- 1 Определить температуру вспышки нефти.
- 2 Определить температуру вспышки мазута.

### **Проведение опыта**

#### *Подготовка пробы*

- 1 Пробу тщательно и осторожно перемешивают.
- 2 Пробы твердых нефтепродуктов предварительно расплавляют.
- 3 Температура пробы после нагревания должна быть ниже предполагаемой температуры вспышки не менее чем на 56 °С.
- 4 Испытуемый нефтепродукт, содержащий воду, сушат встряхиванием с одним из осушающих реагентов при комнатной температуре.
- 5 Нефтепродукты с температурой вспышки до 100°С сушат при температуре не выше 20 °С. Вязкие нефтепродукты (вязкость при 100 °С свыше 16,5 мм<sup>2</sup>/с) сушат при температуре не более 80 °С.
- 6 Затем пробы фильтруют и декантируют.

#### *Подготовка аппарата.*

- 1 Аппарат устанавливают на горизонтальном столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и вспышка хорошо видна. Для защиты от движения воздуха аппарат с трех сторон окружают экраном или щитом. Перед проведением каждого испытания аппарат охлаждают.
- 2 При работе с токсичными продуктами или продуктами, содержащими ароматические углеводороды (продукты пиролиза), пары которых являются токсичными, аппарат помещают вместе с экраном или щитом в вытяжной шкаф. При температуре на 56 °С ниже предполагаемой температуры вспышки движение воздуха в вытяжном шкафу следует поддерживать без создания сильных потоков над тиглем, для чего необходимо работать при закрытой верхней заслонке вентиляционного устройства вытяжного шкафа.
- 3 Перед каждым испытанием тигель промывают растворителем. Углеродистые отложения удаляют металлической щеткой. Затем тигель промывают холодной дистиллированной водой и высушивают на открытом пламени или горячей электроплитке. Тигель охлаждают до температуры не менее чем на 56°С ниже предполагаемой температуры вспышки и помещают его в аппарат.
- 4 В тигель помещают термометр в вертикальном положении так, чтобы нижний конец термометра находился на расстоянии 6 мм от дна тигля и на равном расстоянии от центра и от стенок тигля.

#### *Проведение испытания*

- 1 Тигель заполняют нефтепродуктом так, чтобы верхний мениск точно совпадал с меткой. При наполнении тигля выше метки избыток нефтепродукта удаляют пипеткой или другим соответствующим приспособлением. Удаляют пузырьки воздуха с поверхности пробы. Не допускается смачивание стенок тигля выше уровня жидкости.

При попадании нефтепродукта на внешние стенки тигля тигель освобождают от нефтепродукта и обрабатывают.

- 2 Тигель с пробой нагревают пламенем газовой горелки или при помощи электрообогрева сначала со скоростью (14 – 17) °С в минуту. Когда температура пробы будет приблизительно на 56 °С ниже предполагаемой температуры вспышки, скорость подогрева регулируют так, чтобы последние 28 °С перед температурой вспышки нефтепродукт нагревался со скоростью (5 – 6) °С в минуту.
- 3 Зажигают пламя зажигательного устройства и регулируют его таким образом, чтобы размер диаметра пламени был примерно 4 мм. Его сравнивают с лекалом (шариком-шаблоном), вмонтированным в аппарат.
- 4 Начиная с температуры не менее чем на 28°С ниже температуры вспышки, каждый раз применяют зажигательное устройство при повышении температуры пробы на 2 °С. Пламя зажигательного устройства перемещают в горизонтальном направлении, не останавливаясь над краем тигля, и проводят им над центром тигля в одном направлении в течение 1 с.  
При последующем повышении температуры перемещают пламя зажигания в обратном направлении.
- 5 За температуру вспышки принимают температуру, показываемую термометром при появлении первого синего пламени над частью или над всей поверхностью испытуемого нефтепродукта.  
В случае появления неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой через 2 °С.  
Голубой круг (ореол), который иногда образуется вокруг пламени зажигания, во внимание не принимают.
- 6 Для определения температуры воспламенения продолжают нагрев пробы со скоростью (5 – 6)°С в минуту и повторяют испытание пламенем зажигательного приспособления через каждые 2 °С подъема температуры нефтепродукта.
- 7 За температуру воспламенения принимают температуру, показываемую термометром в тот момент, в который испытуемый нефтепродукт при поднесении к нему пламени зажигательного приспособления загорается и продолжает гореть не менее 5 с.

### **Обработка результатов**

- 1 Если барометрическое давление во время испытания ниже чем 95,3 кПа (715 мм рт. ст.), то необходимо к полученным значениям температуры вспышки и температуры воспламенения ввести соответствующие поправки по табл. 9. 1.

Таблица 9.1 Поправки на барометрическое давление

Барометрическое давление, кПа (мм рт. ст.)	Поправка, °С
От 95,3 до 88,7 (от 715 до 665)	+2
» 88,6 » 81,3 (» 664 » 610)	+4
» 81,2 » 73,3 (» 609 » 550)	+6

2 За результат испытания принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа и выраженное в градусах Цельсия.

### Отчет по работе

Отчет по работе должен включать следующие пункты:

- 1 Титульный лист.
- 2 Наименование и цель работы.
- 3 Схему опытной установки.
- 4 Таблицу наблюдений.
- 5 Обработку результатов опыта.
- 6 Выводы по результатам работы.

### Контрольные вопросы

- 1 Естественные и искусственные виды жидкого топлива.
- 2 Состав жидкого топлива.
- 3 Тепловые эффекты реакции горения.
- 4 Теплота сгорания топлива.

Подписи исполнителей

Подпись преподавателя

### Основная литература

1. Плужников С, Брюханов О. Основы гидравлики и теплотехники. Изд. Академия, ISBN 978-5-7695-7778-9, 2011, 240 с.
  2. Брюханов О. Н, Коробко В.И, Мелик — Аракелян А. Т. Основы гидравлики и теплотехники. Изд. Академия, 2008, 240 с.
  3. Амерханов Р.А. Теплопередача. Учебное пособие. Изд. КТГУ, 2008 г.
  4. Круглова Е, Булгакова Р, Круглов Г. Теплотехника. Учебник для ВУЗов, Изд-во «Лань», 2010 г, 208 с.
  5. Кирилин В.А. Техническая термодинамика. Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с.
  6. Смирнов М.В. Теоретические основы теплотехники. Изд. Ин-Фомо, 2010.
  7. Цветков Ф.Ф, Керимов Р.В, Величко Б.И. Задачник по тепломассообмену. 3-е издание. 2009.
  8. Шатров М.Г., Камфер Г.М., Теплотехника, Высшая школа, 2003-67(1)с.
  9. Л. Д. Гинзбург, М. З. Зарипов, 2-е изд., Энергоатомиздат, 1990-223(1)с. Справочное пособие по технике безопасности.
  10. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. 2009. 144 с. ISBN 5-93630-710-2.
- Дополнительная литература.
1. Г.А. Зисман, О.М. Тодес, Курс общей физики, ч.1. Механика. Основы термодинамики, физики реальных газов, жидкостей и твёрдого тела, Учебное пособие, Киев, Днипро 1994г.
  2. Трофимова Т.И. Курс общей физики, Учебное пособие для вузов, 18-е изд, М – Академия, 2010 -557(3)с.