

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГАОУ ВО «МАУ»)  
«ММРК имени И.И. Месяцева» ФГАОУ ВО «МАУ»

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

учебной дисциплины ОП.07 Термодинамика  
программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ)  
специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ  
по программе базовой подготовки  
форма обучения: очная  
Назначение: промежуточная аттестация

Мурманск  
2025

## **Рассмотрено и одобрено на заседании**

методической комиссии преподавателей дисциплин профессионального цикла по специальностям 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Председатель МКо (МО/ ЦК)  
Порубова В.А.

## **Разработано**

на основе ФГОС СПО по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ, утвержденного приказом Минпросвещения РФ от 26 июля 2022 г. №610.

Автор (составитель): Юрченко М.А. преподаватель ММРК имени И.И. Месяцева ФГАОУ ВО «МАУ»

Ф. , ученая степень, звание, должность, квалиф. категория

## **Общие положения**

1.1. Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Термодинамика» является составной частью нормативно-методического обеспечения системы оценки качества освоения ППСЗ обучающихся СПО.

1.2. В соответствии с требованиями ФГОС СПО ФОС предназначен для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ППСЗ в форме текущего контроля результатов успеваемости и/ или промежуточной аттестации.

1.3. ФОС разработан в соответствии с:

- Федеральным законом от 29.12.2012г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- федеральными государственными образовательными стандартами среднего профессионального образования (ФГОС СПО) 2022 года;

- Приказом Министерства образования и науки № 464 от 14.06.2013г. «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования» (в ред. Приказа Министерства образования и науки № 1580 от 15.01.2014г. и № 31 от 22.01.2014г.);

- Приказом Министерства образования и науки № 291 от 18.04.2013г. «Об утверждении Положения о практике обучающихся, осваивающих основные профессиональные программы среднего профессионального образования»;

- Уставом ФГАОУ ВО «МАУ»;

- Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ФГАОУ ВО «МАУ» по образовательным программам СПО;

- Положением о фонде оценочных средств по образовательным программам среднего профессионального образования ФГАОУ ВО «МАУ»;

- Рабочим учебным планом по специальности 21.02.03.Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газанефтехранилищ.

- Программой учебной дисциплины «Термодинамика»

- Методическими рекомендациями по выполнению практических работ по дисциплине «Термодинамика»

- Методические указания по организации самостоятельной работы для обучающихся по дисциплине «Термодинамика»

## Паспорт фонда оценочных средств

по учебной дисциплине

Термодинамика.

---

---

### Структура Паспорта ФОС УД

1. Перечень компетенций ФГОС, дисциплинарная часть которых оценивается учебной дисциплиной Термодинамика
2. Результаты формирования компетенций, компетентности и планируемые результаты обучения представлены в таблицах 1.1 и 1.2.

#### Компетенции ФГОС (Таблица 1.1.)

Код компетенции	Содержание компетенции
ОК 1	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 2	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 3	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях
ОК 4	Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде
ОК 5	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста
ОК 6	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных российских духовно- нравственных ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения
ОК 7	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 8	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности;
ОК 9	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
ПК 1.4	Выполнять дефектацию узлов и деталей технологического оборудования объектов трубопроводного транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов.
ПК 1.5	Обеспечивать выполнение работ по выводу из эксплуатации и вводу в эксплуатацию объектов трубопроводного транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов.
ПК 2.2	Осуществлять контроль работоспособности и оценивать состояние эксплуатируемого оборудования объектов трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов
ПК 2.3	Обеспечивать выполнение работ по техническому обслуживанию и техническому диагностированию объектов трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов

1. Перечень оценочных средств для контроля сформированности компетенций в рамках разделов/тем учебной дисциплины Термодинамика.

Таблица 2.1 – компетенции ФГОС

№ п/п	Контролируемые разделы	Индекс компетенции	Оценочные средства
1.	Термодинамика, теплопередача	ОК 1 – 9; ПК.1.4-1.5 ПК.2.2-2.3	Конспект, защита практических работ № 1- №10
2.	Гидравлика	ОК 1 – 9; ПК.1.4-1.5 ПК.2.2-2.3	Конспект, защита практических работ № 11 – № 24

1. Используемые в ФГОС УД оценочные средства, их краткая характеристика и представление оценочного средства в ФГОС УД по дисциплине Термодинамика.

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства
-------	----------------------------------	--	-----------------------------------

1.	Защита практических работ	Решение практических задач в письменном виде и устном виде  Собеседование производится в ходе защиты лабораторных работ по изучаемым темам дисциплины	Отчёт по результатам практических задач и защита практических работ. Собеседование производится устно. Прилагается отчет по практическим работам
2.	Тестирование	Решение тестовых задач в письменном виде	Результаты теста
3.	Конспектирование		Личный конспект

4. Разработчики ФОС по учебной дисциплине Термодинамика. Юрченко М.А. преподаватель «ММРК имени И.И. Месяцева» ФГАОУ ВО «МАУ».

5. Лист регистрации изменений в ФОС дисциплин

по учебной дисциплине Термодинамика.

Направление подготовки /специальность) 21.02.03. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

№ п/п	Элементы ФОС УД (модуля)	Основание для внесения изменений в ФОС УД	Подпись	Расшифровка подписи	Дата внесения изменений

## Перечень практических работ

№ темы	п/п	Наименование темы	Коды ОК, ПК	Наименование практических работ	Количество часов	Формы текущего контроля
1	2	3	4	5	6	
Тема 1.1		Основные параметры состояния рабочего тела	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие № 1. Измерение температуры и давления с помощью приборов.	2	Защита практических работ
Тема 1.5.		Термодинамические процессы в газах	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практические занятия № 2 Расчет адиабатного и политропного термодинамических процессов.	2	Защита практических работ
Тема 1.6		Второй закон термодинамики	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие № 3 Решение задач на расчет прямого и обратного цикла Карно.	2	Защита практических работ
Тема 1.7		Термодинамические процессы в компрессорных машинах.	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие № 4 Расчет термодинамических процессов в компрессорных машинах	2	Защита практических работ
Тема.1.8		Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие № 5 Построение термодинамического цикла ДВС с изохорным подводом тепла на диаграммах P-V и T-S	2	Защита практических работ
Тема.1.8		Термоди-	ОК 1 – 9;	Практическое занятие № 6	2	Защита прак-

	наимиче-ские циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок	ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Расчет параметров в точках термодинамического цикла ДВС с изохорным подводом тепла		тических работ
Тема 1.9.	Термодинамические циклы паросиловых установок	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие №. 7  Определение параметров воды и водяного пара по таблицам и диаграммам  Практическое занятие №. 8 Расчет теоретического цикла Ренкина	2	Защита практических работ
Тема 1.10	Циклы холодильных установок	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие №. 9 Расчет обратного цикла Карно для одноступенчатой идеальной холодильной установки	2	Защита практических работ
Тема 1.11	Основные понятия теплообмена	ОК 1 – 9; ПК.1.1-1.4 ПК.2.1-2.4 ПК.3.1-3.2	Практическое занятие №. 10 Расчет передачи тепла через многослойную стенку.	2	Защита практических работ
<b>ИТОГО</b>					

### Практическое занятие № 1.

**Тема практической работы: Измерение температуры и давлений с помощью приборов.**

**Цели работы:**

1. Изучить устройство термометра.
2. Научиться пользоваться термометром.

3. Изучить виды давлений, применяемых в технике.
4. Изучить устройство механических приборов для измерения давлений: барометра, вакуумметра, манометра, мановакуумметра.
5. Научить оценивать состояние прибора для измерения давлений его пригодность в эксплуатации.
6. Изучить расположение приборов на насосной установке.
7. Научить правильно снимать показания при помощи приборов для измерения давлений

Оборудование:

1. Термометры – 3 шт.
2. Манометры – 4 шт.
3. Мановакуумметры – 4 шт.
4. Насосная установка с поршневым насосом – 1 шт.
5. Плакаты – 2 шт

Литература:

1. В. А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи» стр 3-19.
2. Конспект.
3. Методичка.

### Теоретическое обоснование

В термодинамике и гидравлике основными параметрами рабочего тела являются параметры:

Температура, давление, удельный объем.

Температура измеряется термометрами, шкалы, которых могут быть выполнены в градусах Цельсия и Кельвина.

Температура - степень нагретости тела, которая характеризует среднюю скорость движения молекул.

Термометр состоит из колбочки, куда залита легко расширяющаяся жидкость (ртуть,

подкрашенный спирт и другие жидкости). К колбочке припаяна стеклянная капиллярная трубочка, в которой расширяется жидкость. Капиллярная трубочка крепится к шкале, градуированной как правило в градусах Цельсия.

Пересчет в градусы оК идет по формуле

$$T = \text{°C} + 273\text{oK}$$

Корпус стеклянный, в котором размещены колба, капиллярная трубка, шкала, может быть закрыт пробкой или запаян.

Давление – сила удара молекул на площадь, расположенную перпендикулярно движению молекул

$$P = N|S \text{ (н/м}^2\text{) (Па) (КПа) (МПа)}$$

На практике приходится работать с сосудами, в которых давление может быть больше или меньше атмосферного, отобразим это на шкале давлений



1атм (физ)=101,325  $10^3$ Па                      Колебания атмосферного давления  
измеряются барометрами

$$1\text{атм} = 10^6 \text{ КПа}$$

$$1\text{атм} = 10^9 \text{ КПа}$$

в мм Рт ст или Па

$$1\text{атм (тех)}=98.0665 \cdot 10^3\text{Па}$$

$$1\text{кгс/см}^2 = 98.0665 \cdot 10^3\text{Па}$$

$$1\text{бар} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$1\text{атм} = 760 \text{ мм Рт ст}$$

$$1\text{атм} = 10 \text{ м вод ст}$$

### Содержание отчета

1. Дать определение температуре.
2. Вычертить схему термометра, указать на ней детали, единицы измерения, диапазон измерения температуры, снятые с образца термометра.
3. Вычертить шкалу сопоставления температурных шкал Цельсия и термодинамической  
Кузовлев В.А. ( Рис2.4, стр 18)
4. Дать определение давлению
5. Вычертить шкалу давлений и указать на ней область названия приборов для измерения давлений.
6. Вычертить схему механического манометра и указать на ней детали.
7. По полученным приборам определить:
  - 7.1 название и назначение прибора

- 7.2 единицы измерения давления
- 7.3 диапазон измерения давления
- 7.4 точность измерения давления
- 7.5 класс точности прибора
- 7.6 тип прибора: контрольный или бытовой
- 8. Определить пригодность полученных приборов к эксплуатации по критериям:
  - 8.1 Есть ли вмятины на корпусе?
  - 8.2 Разбито стекло
  - 8.3 Стоит стрелка прибора на 0
  - 8.4 Есть ли пломба
  - 8.5 Срок проверки приборов через 12 месяцев в лабораториях КИП. Ставится клеймо и дата проверки.

- 9. Вычертить схему насосной установки и указать прибор установленный на всасывающем трубопроводе и на нагнетательном

**Вопросы для самоконтроля :**

1. Дать определение температуре.
2. Определить температуру в градусах Кельвина, если температура в градусах Цельсия равна 27,55, 80
3. Рассказать, какими приборами измеряется колебания атмосферного давления.?
4. Рассчитать вакуумметрическое давление в 80% в мм Рт ст.
5. Определить величину абсолютного давления, если величина манометрического составляет 0,5 МПа.

**Практическое занятие № 3.**

**Тема:** Решение задач на расчет прямого и обратного цикла Карно.

Цели работы:

1. Изучение круговых циклов тепловых машин
2. Изучение прямого цикла Карно
3. Изучение обратного цикла Карно

**Оборудование:**

1. Задачи
2. В.А .Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи»

Стр83 -96

3. МикроЭВМ

**Задача № 1**

Определить КПД прямого цикла Карно для теплового двигателя, если температура теплоотдатчика  $300^{\circ}\text{C}$ , а теплоприемника  $30^{\circ}\text{C}$ .

Решение.

$$\mathcal{Z}_t = T_2 / (T_1 - T_2)$$

$$\mathcal{Z}_t = 1 - T_2 / T_1 = 1 - (30 + 272) / (300 + 273) = 0,527 = 52,7 \%$$

### Задача № 2

Определить холодильный КПД холодильной машины, работающей по обратному циклу Карно, если температура теплоотдатчика  $300^\circ \text{C}$ , а теплоприемника  $30^\circ \text{C}$ .

Решение.

$$\mathcal{E} = T_2 / (T_1 - T_2) = 303 / 270 = 1,122$$

### Задача № 3

Исследовать цикл Карно, совершаемый азотом, если параметры точки 1 имеют следующие значения:  $P_1 = 2 \text{ МПа}$  и  $T_1 = 600^\circ \text{K}$ , а параметры в точке 3:  $P_3 = 120 \text{ кПа}$ ,  $T_3 = 300^\circ \text{K}$

Решение.

1. Вычерчиваем цикл Карно в координатах  $P - V$  и наносим характерные точки.

2. Определяем параметры в точке 1

$$P_1 = 2 \text{ МПа},$$

$$T_1 = 600^\circ \text{K}$$

Удельный объем азота определяем по уравнению состояния

$$\mathcal{V}_1 = R_0 T_1 / P_1 = 296,8 * 600 / 2 * 10^6 = 0,083 (\text{ м}^3 / \text{кг})$$

3. Точки 2 и 3, принадлежащих адиабате 2-3

$$T_2 = 600^\circ \text{K}$$

$$P_3 = 120 \text{ кПа}$$

$$T_3 = 300^\circ \text{K}$$

Удельный объем находим из уравнения состояния  $\mathcal{V}_3$

$$\mathcal{V}_3 = R_0 T_3 / P_3 = 296,8 * 300 / 120 * 10^3 = 0,742 (\text{ м}^3 / \text{кг})$$

Из уравнения адиабаты 2-3 находим  $\mathcal{V}_2$

$$\mathcal{V}_2 = \mathcal{V}_3 (T_3 / T_2)^{1/\kappa - 1} = 0,742 (300 / 600)^{1/0,4} = 0,132 (\text{ м}^3 / \text{кг})$$

По уравнению изотермы 1-2 находим  $P_2$

$$P_1 / P_2 = \mathcal{V}_2 / \mathcal{V}_1 \quad P_2 = P_1 (\mathcal{V}_1 / \mathcal{V}_2)$$

$$P_2 = 2 * 10^6 (0,083 / 0,132) = 1,257 \text{ МПа}$$

4. Точка 4

$$T_4 = 300^\circ \text{ К}$$

$$\text{Так как } \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$V_4 = V_3 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)$$

$$V_4 = 0,742(0,083/0,132) = 0.466(\text{ м}^3 / \text{кг})$$

По уравнению состояния находим  $P_4$

$$P_4 = R_0 T_4 / V_4 \quad P_4 = 296,8 * 600 / 0.466 = 191 \text{ кПа}$$

5. Определяем удельную работу цикла.

Находим предварительно значение удельных работ изменения объема на отдельных участках цикла.

**5.1 по изотерме расширения 1-2.**

$$L_{1-2} = 2,3 R_0 T_1 \lg \left( \frac{V_2}{V_1} \right) = 2,3 * 296,8 * 600 \lg (0,132/0,083) = 74.9$$

$$(\text{ кДж/кг})$$

**5.2 по адиабате расширения 2-3**

$$L_{2-3} = R_0 / \kappa - 1 (T_2 - T_3) = 296,8/0,4 * 300 = 222,3 (\text{ кДж/кг})$$

**5.3 по изотерме сжатия 3-4**

$$L_{3-4} = 2.3 R_0 T_3 \lg \left( \frac{V_3}{V_4} \right) = 2,3 * 296,8 * 300 \lg (0,742/0,466) = 32.5 (\text{ кДж/кг})$$

**5.4 по адиабате сжатия 4 - 1**

$$L_{4-1} = R_0 / \kappa - 1 (T_1 - T_4) = 296,8/0,4 * 300 = 222,3 (\text{ кДж/кг})$$

Удельная работа цикла

$$L_0 = L_{1-2} + L_{2-3} - L_{3-4} - L_{4-1} = 74.9 + 222,3 - 32,5 - 222,3 = 42.4 (\text{ кДж/кг})$$

6. Термический КПД цикла Карно

$$\eta_t = 1 - T_3 / T_1 = 1 - 300/600 = 0.5 = 50\%$$

Задача №4

Температура океанской воды в тропиках на глубине 1000 м равна  $5^\circ \text{ С}$ , а на поверхности  $35^\circ \text{ С}$ . Найти термический КПД теплового двигателя, если он работает по циклу Карно в указанном интервале темпе-

ратур.

$$\mathcal{Z}_t = 1 - T_2 / T_1 = 1 - 278/396 = 0.099 = 9.9\%$$

### Вопросы для самоконтроля:

1. Объяснить, какие процессы взял Карно для построения своего цикла?
2. Рассказать на что расходуется подведенное тепло в изотермическом процессе.
3. Записать формулу КПД прямого цикла Карно.
4. Записать формулу КПД обратного цикла Карно.
5. Объяснить, какие значения может иметь КПД обратного цикла Карно?

### Практическое занятие № 4

**Тема:** Расчет термодинамических процессов в компрессорных машинах.

Цели работы:

1. Изучить устройство и принцип действия идеального одноступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры.
2. Изучить устройство и принцип действия идеального многоступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры
3. Изучить устройство и принцип действия реального двухступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры
4. Изучить подготовку и пуск реального двухступенчатого поршневого компрессора .

Оборудование:

1. Модель воздушного компрессора
2. Плакаты.
3. Задача
4. Справочник по воздушным компрессорам
5. МикроЭВМ
6. В.А.Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи».

Стр 117 - 127

Решение задачи

Задача: Вычертить схему получения и хранения сжатого воздуха с давлением 3МПа , если температура наружного воздуха 20 ° С, давление 0,1МПа , сжатие идет по политропе  $n = 1.2$ , расход воздуха 0,05м<sup>3</sup> / с

Решение

1. Вычерчиваем схему получения и хранения сжатого воздуха
2. Определяем степень повышения давления

$$\epsilon = P_2 / P_1 = 3/0,1 = 5.4$$

3. Определяем давление в конце сжатия в цилиндре низкого давления  

$$P_2^1 = \epsilon * P_1 = 5,4 * 0,1 = 0,54 \text{ ( МПа)}$$
4. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре низкого давления
5. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре низкого давления  

$$T_2^1 = T_1 * \epsilon^{n-1/n} = 293^{0,2/1,2} = 380,9 \text{ }^\circ \text{ K} = 107,9^\circ \text{ C}$$
6. Определяем величину давления в начале сжатия в цилиндре высокого давления  

$$P_3 = P_2^1 = 0,54 \text{ ( МПа)}$$
7. Определяем температуру в начале сжатия в цилиндре высокого давления  

$$T_3 = T_2^1 = 380,9 \text{ }^\circ \text{ K} = 107,9^\circ \text{ C}$$
8. Определяем величину давления в конце сжатия в цилиндре высокого давления  

$$P_4 = \epsilon * P_3 = 5,4 * 0,54 = 2,96 \text{ ( МПа)}$$
9. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре высокого-давления  

$$T_4 = T_3 * \epsilon^{n-1/n} = 380,9 * 1,3 = 432 \text{ }^\circ \text{ K} = 211^\circ \text{ C}$$
10. Определяем мощность, затраченную. На сжатие воздуха в ступене низкого давления  

$$N = P_1 V_t (P_2^1 / P_1)^{n-1/n} - 1) n-1/n - 0,1 * 10^6 * 0,05(5,4^{0,2/1,2} - 1) * 6 = 5,6 \text{ кВт}$$
11. Мощность, затраченная на привод компрессора  

$$N_k = 2 N = 11,2 \text{ кВт}$$
12. Расчетные параметры сжатого воздуха нанести на схему.

#### Контрольные вопросы:

1. Дать определение степени повышения давления.
2. Объяснить, почему ограничивается степень повышения давления в воздушных компрессорах?
3. Назвать состав воздуха.
4. Объяснить, что такое гремучая смесь и от чего будет зависеть ее воспламенение?
5. Рассказать для какой цели за каждой ступенью компрессора ставятся воздушные холодильники?
6. Объяснить, как работает водомаслоотделитель?

## Практическое занятия №. 5 и № 6

**Тема:** Расчет термодинамического цикла ДВС с изохорным подводом теплоты.

Расчет параметров в точках процесса.

### Цели работы:

1. Изучить устройство и схему работы 4 – х тактного ДВС.
2. Научиться строить циклы с изохорным подводом тепла на P – S и T – S диаграммах.
3. Научиться рассчитывать параметры в точках цикла.
4. Научиться рассчитывать работу цикла.

### Оборудование:

1. Модель 4 – х тактного ДВС.
2. Плакаты.
3. МикроЭВМ
4. В.А. Кузовлев стр 127 – 137

### Содержание отчета:

1. Кратко описать устройство и схему работы 4 – х тактного ДВС.  
Вычертить 4 такта ДВС с указанием положения поршня и клапанов.
2. Изобразить схему работы 4 – х тактного ДВС в координатах P – V и T – S и подписать процессы.
3. Задача: Исследовать цикл мотоциклетного двигателя с изохорным подводом теплоты, если дано:  $P_a = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $t_a = 100^\circ \text{ C}$ ,  $V_c = V_{\text{кс}} = 1,5 \text{ литра}$ .  
 $\epsilon = 6$ ,  
 $\lambda = 1,8$ ,  $\kappa = 1,4$ , рабочее тело воздух.

Определить:

1. Параметры рабочего тела в характерных точках,
2. Работу цикла и КПД.

Решение:

Определяем параметры в характерных точках;

Точка т. «а»:

1. Подсчитываем объем в т. «а»

$$1.1 \lambda = V_a / V_c = 6 \quad V_a = 6 * 1,5 \cdot 10^{-3} = 0.009 \text{ (м}^3 \text{)}$$

$$1.2 T_a = 273 + 100^\circ\text{C} = 373 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$1.3 P_a = 0,1 \text{ МПа}$$

Точка т. «с»:

$$2.1 P_c = P_a * \epsilon^k = 0,1 * 6^{1,4} = 1,1 \text{ МПа}$$

$$2.2 T_c = T_a \epsilon^{k-1} = 373 * 6^{0,4} = 720 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$2.3 V_c = 1,5 \text{ л} = 0,0015 \text{ (м}^3\text{)}$$

3. Точка т. «z»:

$$3.1 \lambda = P_z / P_c = 1,8 \quad P_z = \lambda P_c = 1,8 * 1,1 = 1,98 \text{ (МПа)}$$

$$3.2 T_z = T_c \lambda = 720 * 1,8 = 1296 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$3.3 V_z = V_c = 0,0015 \text{ (м}^3\text{)}$$

4. Точка т. «б»:

$$4.1 V_b = V_a = 0,009 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$4.2 P_b = P_z / \epsilon^k = 1,98 / 6^{1,4} = 0,14 \text{ (МПа)}$$

$$4.3 T_b = T_a P_b / P_a = 373 * 0,14 / 0,1 = 373 * 1,4 = 522,2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Расчетные параметры точек нанести на диаграмму P – V

Определяем работу цикла:

Работа цикла

$$L_o = L_{z-b} - L_{a-c}$$

$$L_{z-b} = P_z V_z - P_b V_b / k - 1 = 1,98 * 10^6 * 0,0015 - 0,14 * 10^6 * 0,009 / 0,4 = 0,004275 * 10^6 = 4275 \text{ Дж} = 4,275 \text{ (КДж)}$$

$$L_{a-c} = P_c V_c - P_a V_a / k - 1 = 1,1 * 10^6 * 0,0015 - 0,1 * 10^6 * 0,009 / 0,4 = 1,875 \text{ (КДж)}$$

$$L_o = L_{z-b} - L_{a-c} = 4,275 - 1,875 = 2,4 \text{ (КДж)}$$

$$\text{Термический кпд цикла } \mathcal{Z}_t = 1 - 1 / \epsilon^k = 1 - 0,476 = 0,52 = 52\%$$

## Практическое занятие №. 7

**Тема:** Определение параметров воды и водяного пара по таблицам и диаграммам

### Цели работы:

Изучить таблицы водяных паров.

Научиться пользоваться диаграммами водяных паров.

Оборудование:

Таблицы водяных паров.

Диаграмма водяных паров h -S

В.А.Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи».

Ход выполнения работы:

1. Приложение №5, Стр 320 , Параметры насыщенного водяного пара по давлениям выбираем параметры пара по заданному давлению.

#### Задача № 1

Давление насыщенного пара составляет 0.2 МПа.

Определить параметры насыщенного пара и записать их величины, дать определение параметрам, параметры насыщенного пара приводятся на Стр157 – 162.

Решение

Насыщенный пар при  $P = 0.2$  МПа имеет следующие параметры:

$$t_s = 60.08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v^1 = 0,0010171 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$v^{11} = 7,647 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$p = 0.1308 \text{ кг/ м}^3$$

$$h^1 = 251,4 \text{ кДж/ кг}$$

$$h^{11} = 2609 \text{ кДж/ кг}$$

$$r = 2358 \text{ кДж/ кг}$$

$$s^1 = 0,8321 \text{ кДж/( кг К)}$$

$$s^{11} = 7.830 \text{ кДж/( кг К)}$$

Определение параметров перегретого пара.

Перегретый пар определяется двумя параметрами: давлением и температурой перегрева и его параметры приводятся в приложении № 6, Стр 322

#### Задача № 2

Определить параметры перегретого пара под давлением 0,2 МПа и температурой 200оС

Решение

По приложению № 6 по  $P = 0,2$  МПа и  $t = 200$  оС, определяем параметры:

$$v = 10,905 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$h = 2879 \text{ кДж/ кг}$$

$$s = 8,576 \text{ кДж/( кг К)}$$

#### Задача № 3

1. По диаграмме водяных паров  $h - S$  определить параметры:

1.1 Для насыщенного пара  $P = 0,2$  МПа

1.2 Для сухого пара  $P = 0,2$  МПа

1.3 Для перегретого пара  $P = 2$  МПа и  $t = 200$  оС

### Практическое занятие №. 8

## Тема: Решение задач на расчет теоретического цикла Ренкина

### Цели работы:

1. Изучить состав элементов теоретического цикла Ренкина.
2. Научиться строить цикл Ренкина в координатах  $P - V$  и  $T - S$ .
3. Научиться пользоваться диаграммой водяных паров для определения параметров водяного пара.
4. Научиться решать задачи на цикл Ренкина.

### Оборудование:

7. Задачи
8. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи»

Стр 205 – 235.

3. МикроЭВМ

Содержание отчета:

Решение задач.

### Задача № 1

Найти удельный расход водяного пара и термический КПД идеального парового двигателя, работающего по циклу Карно, если начальные параметры пара  $P_1 = 2$  МПа,  $X = 0.9$ , а давление в конденсаторе  $P_2 = 20$  кПа.

### Решение.

1. Вычерчиваем схему идеальной паросиловой установки и подписываем ее элементы.
2. Строим цикл Ренкина в координатах  $P - V$  и  $T - S$  и подписываем элементы в которых происходят процессы.
3. Для нахождения удельного расхода пара и термического КПД на  $h_s$  диаграмме водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии  $h_t$ . Для этого находим на  $h_s$  диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары  $P_1 = 2$  МПа  $X = 0.9$  находим  $h_1 = 2799$
4. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой  $P_2 = 20$  кПа = 0,02 МПа получаем точку 2. В этой точке  $h_2 = 1980$  кДж/кг
5. Находим, что  $h_t = h_1 - h_2 = 2799 - 1980 = 819$
6. Удельная работа цикла Ренкина равна  $h_t$   
 $L_0 = h_t = 819$  (кДж/кг)
7. Удельная работа пара в кВт\*ч/кг  $L_{01} = L_0 / 3.6 * 10^6$  Дж  
 $L_{01} = 819 / 3.6 * 10^6 = 0.2275$  (кВт\*ч/кг)

8. Определяем удельный расход пара, величина обратная удельной работе

$$d_o = 1/L_o = 1/ \quad = \quad (\text{кг/Дж})$$

$$d_{o1} = 1/L_{o1} = 1/ \quad = \quad (\text{кг/Дж})$$

9. Для вычисления  $\mathcal{Z}_t$  найдем в приложении № 5 удельную энтальпию воды  $h_{2-1}$  при  $P_1 = 0,02$  МПа и температуре кипения  $t_{2s}$   $h_{2-1} = 251,4$  Дж/кг

$$\mathcal{Z}_t = h_t / h_1 - h_{2-1} =$$

### Задача № 2

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина с массовым расходом пара 2660 кг/ч. Пар поступает в машину с сухим с  $P_1 = 2$  МПа и расширяется адиабатно до  $P_2 = 20$  кПа = 0,02 МПа.

Найти  $\mathcal{Z}_t$  Расход пара на 1 кВт \* ч и мощность машины.

Решение.

1. Вычерчиваем схему идеальной паросиловой установки и подписываем ее элементы.
10. Строим цикл Ренкина в координатах  $P - V$  и  $T - S$  и подписываем элементы в которых происходят процессы.
11. Для нахождения удельного расхода пара и термического КПД на  $h_s$  диаграмме водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии  $h_t$ . Для этого находим на  $h_s$  диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары  $P_1 = 2$  МПа и  $X = 1$ , находим  $h_1 = 2799$  кДж/кг
12. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой  $P_2 = 20$  кПа = 0,02 МПа получаем точку 2. В этой точке 2  $h_2 = 1980$  (кДж/кг)
13. Находим, что  $h_t = h_1 - h_2 = 2799 - 1980 = 819$  (кДж/кг)
14. Удельная работа цикла Ренкина равна  $h_t$   
 $L_o = h_t = 819$  (кДж/кг)
15. Удельная работа пара в кВт\*ч/кг  $L_{o1} = L_o / 3,6 * 10^6$  Дж  
 $L_{o1} = L_o / 3,6 * 10^6 = 819 * 10^3 / 3,6 * 10^6 = 0,227$  (кВт\*ч/кг)
16. Определяем удельный расход пара, величина обратная удельной работе  
 $d_o = 1/L_o = 1/ 819 = 1,22 * 10^{-3}$  (кг/Дж)  
 $d_{o1} = 1/L_{o1} = 1/ 0,227 = 4,4$  кг/ (кВт \*ч)

.Определяем термический КПД

$$\mathcal{Z}_t = h_t / h_1 - h_{2-1} = 819/2799 - 251,4 = 0.3214 \quad (32\%)$$

## 17. Определяем мощность паровой машины

$$N =$$

### Задача № 3

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина сухим насыщенным паром в пределах давлений  $P_1 = 1.6$  МПа,  $P_2 = 0.12$  МПа. Для повышения экономичности был введён перегрев пара до  $320$  °С с сохранением прежних давлений. Сравнить термические КПД.

Решение.

1. На диаграмме  $hs$  водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии  $h_t$ . Для этого находим на  $hs$  диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары  $P_1 = 1.6$  МПа и  $X = 1$ , находим  $h_1 =$  (кДж/кг)
2. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой  $P_2 = 0.12$  МПа получаем точку 2.  
В этой точке  $h_2 =$  (кДж/кг)
18. Находим, что  $h_t = h_1 - h_2 =$
4. Для вычисления  $\mathcal{Z}_t$  найдем в приложении № 5 удельную энтальпию воды  $h_{2-1}$  при  $P_1 = 0.12$  МПа и температуре кипения  $t_{2s}$   $h_{2-1} = 231.7$  Дж/кг  
Определяем  $\mathcal{Z}_{t-1} = h_t / h_1 - h_{2-1} =$
1. На диаграмме  $hs$  водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии  $h_{t-2}$ . Для этого находим на  $hs$  диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары  $P_1 = 1.6$  МПа и  $11:11 t = 320$  °С находим  $h_1 =$  (кДж/кг)
2. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой  $P_2 = 0.12$  МПа получаем точку 2.  
В этой точке  $h_2 =$  (кДж/кг)
5. Находим, что  $h_t = h_1 - h_2 =$
6. Определяем  $\mathcal{Z}_{t-2} = h_t / h_1 - h_{2-1} =$

### Задача № 4

К паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина с параметрами  $P_1 = 2.5$  МПа и  $11:11 t = 360$  °С, присоединен конденсатор. В котором поддерживается вакуум 60%. Найти параметры отработанного пара  $x_2$ ,  $11:11 t_2$ ,  $v_2$  и подсчитать относительную экономию по сравнению с работой при  $P_2 = 0.11$  МПа

## Практическое занятие №. 9

**Тема:** Расчет обратного цикла Карно для одноступенчатой идеальной холодильной установки.

**Цели работы:**

1. Изучить свойства хладагентов: аммиака и фреона.
2. Изучить состав одноступенчатой идеальной холодильной установки.
3. Научиться строить обратный цикл Карно на диаграмме  $P - h$  для аммиака.
4. Определять параметры аммиака в характерных точках.

**Оборудование:**

1. Плакаты.
2. Диаграмма  $P - h$  для аммиака
3. Задача.
4. МикроЭВМ

**Теоретическое обоснование:**

Хладагенты – жидкости, кипящие при низких температурах; аммиак и фреон, наиболее распространенные в промышленности.

Аммиак – бесцветный газ, легче воздуха, обладающий удушливыми свойствами, воздействует на слизистые оболочки дыхательных путей и глаз.

При концентрации аммиака в воздухе 16 – 25 % образуется гремучая смесь, что увеличивает пожароопасность.

Аммиак в присутствии воды корродирует цинк, медь и другие сплавы, поэтому все элементы холодильной установки делают из черных металлов.

Аммиак не разрушает озоновый слой атмосферы.

Фреон – газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха, скапливается внизу, при больших концентрациях является ядом и приводит к смерти.

Фреон не реагирует с цветными металлами, обладает большей холодопроизводительностью, чем аммиак, обладает большой текучестью – способностью проникать через малейшие не плотности, даже через поры чугуна.

Отсутствие запаха и цвета затрудняет обнаружение утечек.

Фреон разрушает озоновый слой атмосферы, поэтому согласно международной конвенции к 2024г будет полностью заменен на другие хладагенты.

**Задача:**

Построить цикл Карно для одноступенчатой идеальной холодильной установки, работающей на аммиаке, если температура кипения –  $20^{\circ}C$ , темпе-

ратура конденсации  $+30^{\circ}\text{C}$ , Построение произвести на диаграмме  $P - h$  для аммиака, определить параметры аммиака в характерных точках, термический КПД цикла.

Решение:

1. Вычерчиваем схему одноступенчатой идеальной холодильной установки,
2. Расставляем характерные точки и подписываем элементы схемы.
3. Разбираемся с диаграммой  $P - h$  для аммиака, находим пограничные кривые, определяем зоны жидкости, насыщенного пара, сухого пара, перегретого пара.
4. На диаграмме  $P - h$  находим температура кипения аммиак  $-20^{\circ}\text{C}$  и проводим прямую параллельную оси ординат до пересечения с линией сухого пара, точка 2. Процесс происходит в испарителе, изотерма совпадает с изобарой, происходит отвод тепла от горячего источника к холодному, при этом насыщенный пар превратился в сухой и отсасывается компрессором и нагнетается в конденсатор, точка 3. Процесс 3 – 4 происходит в конденсаторе, где тепло, отобранное аммиаком от холодного источника и полученное в компрессоре в результате сжатия отдается прокачиваемой воде и аммиак из газообразного состояния превращается в жидкость точка 4.

На диаграмме  $P - h$  находим температура конденсации аммиака  $+30^{\circ}\text{C}$  и проводим прямую параллельную оси ординат до пересечения с линией сухого пара,

Из точки 4 проводим перпендикуляр на линию кипения аммиака, получаем точку 1, входа аммиака в испаритель.

Процесс 4 – 1 происходит в ТРВ и сопровождается падением давления и жидкий аммиак получается перегретым относительно нового давления и кипит.

5. Определяем параметры в точках.

$$\text{Точка 1} \quad P_1 = 2 \text{ Bar}, T_1 = -20^{\circ}\text{C}, X_1 = 1, V_1 = 0,7 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$S_1 = 0,23 \text{ Дж}/^{\circ}\text{K} * \text{кг}, I_1 = 340 \text{ Дж}/ \text{кг}.$$

$$\text{Точка 2} \quad P_2 = 2 \text{ Bar}, T_2 = -20^{\circ}\text{C}, X_2 = 0,22, V_2 = 0,1 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$S_2 = 6,5 \text{ Дж}/^{\circ}\text{K} * \text{кг}, I_2 = 1450 \text{ Дж}/ \text{кг}.$$

$$\text{Точка 3.} \quad P_3 = 12 \text{ Bar}, T_3 = +30^{\circ}\text{C}, X_3 = 0,98, V_3 = 0,15 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$S_3 = 6,5 \text{ Дж/}^\circ \text{К} \cdot \text{кг}, I_3 = 1450 \text{ Дж/кг}.$$

Точка 4  $P_4 = 12 \text{ Bar}, T_4 = +30^\circ \text{C}, X_4 = 0,25, V_4 = 0.006 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$S_4 = 0,23 \text{ Дж/}^\circ \text{К} \cdot \text{кг}, I_4 = 340 \text{ Дж/кг}.$$

Точка 5

$$P_5 = 2 \text{ Bar}, T_5 = -20^\circ \text{C}, X_5 = 0,008, V_5 = 0,01 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$S_5 = 0,7 \text{ Дж/}^\circ \text{К} \cdot \text{кг}, I_5 = 140 \text{ Дж/кг}$$

6. Параметры аммиака в характерных точках наносим на схему одноступенчатой идеальной холодильной установки.
7. Определяем термический КПД
8.  $\varepsilon_x = 1 / (T_1 / T_2 - 1) = 1 / (303 / 253 - 1) = 1 / 0,197 = 5,07$

### Вопросы для самоконтроля:

1. Объяснить свойства аммиака.
2. Рассказать о процессах, протекающих в испарителе.
3. Объяснить, где заканчивается процесс отвода тепла в испарителе на диаграмме  $P - h$ ?
5. Определить параметры аммиака в точке 3.
6. Рассказать о процессах, протекающих в конденсаторе.
7. Объяснить процессы, протекающие в ТРВ.
8. Рассказать, что представляет собой холодильный КПД?

### Практическое занятие №. 10

**Тема:** Расчет передачи тепла через многослойную стенку.

#### Цели работы:

1. Изучить процесс передачи тепла через многослойную стенку теплопроводностью.
2. Изучить процесс передачи тепла через многослойную стенку теплопередачей.

#### Оборудование:

1. Плакаты.
2. Задачи.

### 3. МикроЭВМ

#### **Теоретическое обоснование:**

Теплообменом называется процесс переноса теплоты в пространстве и передаче ее от одних тел к другим.

Различают три способа переноса теплоты в пространстве: теплопроводностью, конвекцией и излучением. И два способа теплообмена между телами - конвективный и лучистый.

#### **Теплопроводность**

Перенос теплоты теплопроводностью происходит в основном в твердых телах, так как теплопроводность жидкостей не велика.

Теплопроводность рассматривается как самостоятельный процесс, который может протекать только в твердых телах. Обязательным условием процесса передачи теплоты теплопроводностью является разность температур поверхностей стенки, при этом образуется поток теплоты, направленный от поверхности стенки с большей температурой к поверхности стенки с меньшей температурой.

По основному закону коэффициент теплопроводности и – закону Фурье – тепловой поток прямо пропорционален площади поверхности, разности температур на обеих ее поверхностях и обратно пропорционален толщине стенки.

$$\Phi = \lambda S (t_{1cn} - t_{2cn}) / \delta \text{ (Вт)}$$

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить тепло и зависит от природы тела, его относительной влажности и пористости. Влага, заполняя поры тела, увеличивает его теплопроводность, а пористость тела наоборот, уменьшает ее. Чем пористее тело, тем больше в нем содержится воздуха, а теплопроводность воздуха в 20 – 25 раз меньше теплопроводности воды.

На коэффициент теплопроводности влияет температура тела, чем она выше, тем выше коэффициент теплопроводности.

Поверхностная плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = \lambda (t_{1cn} - t_{2cn}) / \delta \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$g = (t_{1\text{cn}} - t_{2\text{cn}}) R \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$R = \partial / \xi \text{ (м}^2 \text{ }^\circ\text{К / Вт)}$$

В паровых котлах поверхность нагрева покрыта сажей и накипью, поэтому тепловой поток, проходя через эту стенку, преодолевает сопротивление трех слоев: сажи, металла и накипи.

Поверхностная плотность теплового потока сквозь трехслойную стенку определяется по формуле

$$g = (t_{1\text{cn}} - t_{4\text{cn}}) / (R_1 + R_2 + R_3) \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$t_{2\text{ст}} = t_{1\text{ст}} - g R_1$$

$$t_{3\text{ст}} = t_{2\text{ст}} - g R_2$$

$$t_{4\text{ст}} = t_{3\text{ст}} - g R_3$$

Общее правило: температура данной поверхности плоской стенки равна температуре предыдущей поверхности за вычетом произведения плотности теплового потока на термическое сопротивление рассматриваемой стенки.

### **Конвективный теплообмен.**

Конвективный теплообмен – это процесс совместной передачи теплоты конвекцией и теплопроводностью. На практике это теплообмен между поверхностью твердой стенки и омывающей ее жидкостью и называется теплоотдачей.

Тепловой поток при конвективном теплообмене рассчитывается по уравнению Ньютона – Рихмана.

$$\Phi = \xi S (t_1 - t_2) \text{ (Вт)}$$

$$\xi - \text{коэффициент теплоотдачи (Вт/ м}^2 \text{ }^\circ\text{К)}$$

На коэффициент теплоотдачи влияют: скорость потока жидкости, характер сил, вызывающих ее движение, физические свойства жидкости (плотность, вязкость, теплопроводность) и режим движения жидкости: ламинарный, турбулентный.

$S$  – площадь поверхности через которую происходит передача тепла.

$t_1$  – температура нагревающего тела °С

$t_2$  температура нагреваемого тела °С

### Задача № 1

Рассчитать процесс передачи тепла теплопроводностью через поверхность,

Площадью  $2,5(\text{м}^2)$ , состоящую из слоя накипи, толщиной 1мм, металла толщиной 5 мм и масла толщиной 0,5 мм, если через нее проходит тепловой поток 30000Дж. Температура на поверхности накипи равна  $30^\circ\text{C}$ .

Определить  $t_{2\text{ст}}$ ,  $t_{3\text{ст}}$ ,  $t_{4\text{ст}}$

Решение:

1. Вычерчиваем в масштабе схему передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах  $t - \delta$
2. Из таблицы 18.1 находим  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности для:  
Накипи  $\lambda_{\text{Н}} = 1 (\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{K})$ ,  
 $\lambda_{\text{ст}} = 40(\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{K})$ ,  
 $\lambda_{\text{м}} = 1,2(\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{K})$ ,
3. Определяем поверхностную плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = 30000 / 2,5 = 12000 (\text{Вт}/\text{м}^2)$$

4. Рассчитываем термические сопротивления каждого слоя

$$R_1 = \delta_1 / \lambda_1 = 1\text{мм}/1 \text{ Вт}/\text{м} \text{ } ^\circ\text{K} = 1 \cdot 10^{-3} (\text{м} \text{ } ^\circ\text{K}/\text{Вт})$$

$$R_2 = \delta_2 / \lambda_2 = 5 / 40 = 0,125 \cdot 10^{-3} (\text{м} \text{ } ^\circ\text{K}/\text{Вт})$$

$$R_3 = \delta_3 / \lambda_3 = 0,5 / 1,2 = 0,416 \cdot 10^{-3} (\text{м} \text{ } ^\circ\text{K}/\text{Вт})$$

5. Определяем температуры стенок.

$$t_{2\text{ст}} = t_{1\text{ст}} - g R_1 = 30 - 12000 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 30 - 12 = 18^\circ\text{C}.$$

$$t_{3\text{ст}} = t_{2\text{ст}} - g R_2 = 18 - 12000 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} = 18 - 1,5 = 16,5^\circ\text{C}.$$

$$T_{4\text{ст}} = t_{3\text{ст}} - g R_3 = 16,5 - 12000 \cdot 0,416 \cdot 10^{-3} = 16,5 - 5 = 11,5^\circ\text{C}.$$

6. На схеме передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах  $t - \delta$  откладываем температуры стенок.

### Задача № 2

Рассчитать конвективный теплообмен в конденсаторе холодильной установки, если температура забортной воды  $30^\circ \text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от воды к стенке  $\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = 3000 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{К}$ , толщина накипи  $0,2 \text{ мм}$ , толщина металла  $3 \text{ мм}$ , толщина слоя масла  $1,5 \text{ мм}$ , коэффициент теплоотдачи от стенки к аммиаку при конденсации  $\alpha_{\text{к}} = 6000 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{К}$ , температура конденсации аммиака  $-30^\circ \text{C}$ , а тепловой поток составляет  $3000 \text{ Дж}$ .

1. Вычерчиваем схему передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах  $t - \delta$
3. Из таблицы 18.1 находим  $\alpha$  - коэффициент теплопроводности для:  
Накипи  $\alpha_{\text{Н}} = 1 \text{ (Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{К)}$ ,  
 $\alpha_{\text{ст}} = 40 \text{ (Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{К)}$ ,  
 $\alpha_{\text{м}} = 1,2 \text{ (Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{К)}$ ,
4. Вычисляем термические сопротивления каждого слоя стенки при теплопередаче.

$$R_1 = 1/\alpha_{\text{H}_2\text{O}} = 1/3000 = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^\circ \text{К/Вт)}$$

$$R_2 = \delta_{\text{Н}}/\alpha_{\text{Н}} = 0,2 \cdot 10^{-3}/1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^\circ \text{К/Вт)}$$

$$R_3 = \delta_{\text{ст}}/\alpha_{\text{ст}} = 3 \cdot 10^{-3}/40 = 0,075 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^\circ \text{К/Вт)}$$

$$R_4 = \delta_{\text{м}}/\alpha_{\text{м}} = 1,5/1,2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^\circ \text{К/Вт)}$$

$$R_5 = 1/\alpha_{\text{к}} = 1/6000 = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^\circ \text{К/Вт)}$$

5. Определяем коэффициент теплопередачи –  $K$

$$K = 1/R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$K = 1/(1/3,3 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,075 \cdot 10^{-3} +$$

$$1,25 \cdot 10^{-3} + 1,66 \cdot 10^{-4} ) = 706 (\text{Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ \text{K}),$$

6. Определяем величину поверхности, через которую проходит тепловой поток

$$S = \Phi / K (t_{\text{зн}20} - t_{\text{Т ам}}) = 30000 / 262 \cdot 60 = 1.9 \text{ м}^2$$

7. Определяем поверхностную плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = 30000 / 1.9 = 15789 \text{ Дж} / \text{м}^2$$

8. Определяем температуры стенок.

$$t_{1 \text{ ст}} = t_{\text{зн}20} - g R_1 = 30 - 15789 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 30 - 5.2 = 24.8 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{2 \text{ ст}} = t_{1 \text{ ст}} - g R_2 = 24.8 - 15789 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 24.8 - 3.2 = 21.6 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{3 \text{ ст}} = t_{2 \text{ ст}} - g R_3 = 21.6 - 15789 \cdot 0.416 \cdot 10^{-3} = 21.6 - 6.6 = 15 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{4 \text{ ст}} = t_{3 \text{ ст}} - g R_4 = 15 - 15789 \cdot 1.25 \cdot 10^{-3} = 15 - 19.62 = -4.6 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{5 \text{ ст}} = t_{4 \text{ ст}} - g R_5 = -4.6 - 15789 \cdot 0.166 \cdot 10^{-3} = -4.6 - 2.6 = -2 \text{ } ^\circ \text{C},$$

### Критерии и шкала оценивания

<i>Оценка</i>	<i>Критерии оценки</i>
Отлично	студент обнаруживает систематическое и глубокое знание программного материала по дисциплине, умеет свободно ориентироваться в вопросе. Ответ полный и правильный на основании изученного материала. Выдвинутые положения аргументированы и иллюстрированы примерами. Материал изложен в определенной логической последовательности, осознанно, литературным языком, с использованием современных научных терминов; ответ самостоятельный. Студент уверенно отвечает на дополнительные вопросы.
Хорошо	студент обнаруживает полное знание учебного материала, демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. Ответ полный и правильный, подтвержден примерами; но их обоснование не аргументировано, отсутствует собственная точка зрения. Материал изложен в определенной логической последовательности, при этом допущены 2-3 несущественные

	погрешности, исправленные по требованию экзаменатора. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы. Материал изложен осознанно, самостоятельно, с использованием современных научных терминов, литературным языком.
Удовлетворительно	студент обнаруживает знание основного программного материала по дисциплине, но допускает погрешности в ответе. Ответ недостаточно логически выстроен, самостоятелен. Основные понятия употреблены правильно, но обнаруживается недостаточное раскрытие теоретического материала. Выдвигаемые положения недостаточно аргументированы и не подтверждены примерами; ответ носит преимущественно описательный характер. Студент испытывает достаточные трудности в ответах на вопросы. Научная терминология используется недостаточно.
Неудовлетворительно	выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. При ответе обнаружено непонимание студентом основного содержания теоретического материала или допущен ряд существенных ошибок, которые студент не может исправить при наводящих вопросах экзаменатора, затрудняется в ответах на вопросы. Студент подменил научное обоснование проблем рассуждением бытового плана. Ответ носит поверхностный характер; наблюдаются неточности в использовании научной терминологии.

### Перечень вопросов к экзамену

1. Сформулировать определение идеального газа, рабочего тела и термодинамической системы.
2. Объяснить, что является рабочим телом в тепловых двигателях?
3. Сформулировать определения основным параметрам состояния рабочего тела.
4. Сформулировать основные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей – Люссака, Шарля).

5. Описать вывод уравнения, связывающего между собой одновременно три параметры состояния идеального газа. Объяснить физический смысл газовой постоянной.
6. Описать вывод уравнения Менделеева для идеальных газов.
7. Сформулировать закон Авагадро для идеальных газов и объяснить его применение
8. Объяснить, какими показателями характеризуется состав смеси.
9. Сформулировать закон Дальтона для смеси идеальных газов и дать определение для приведенного объема.
10. Изложить понятия и определения теплоемкости идеального газа
11. Изложить понятия изохорной и изобарной теплоемкостей. Объяснить какими параметрами они связаны между собой, как определяются?
12. Изложить физическую сущность внутренней энергии рабочего тела. Сформулировать закон Джоуля и пояснить, почему она является параметром состояния?
13. Объяснить, как на  $p$ - $v$  диаграмме определяется работа изменения объема рабочего тела и почему она является функцией процесса?
14. Сформулировать определение сущности теплоты, как одной из форм движения материи. Изложить закон Р. Майера эквивалентности между теплотой и работой и выразить его математически.
15. Объяснить, как на  $p$ - $v$  диаграмме определяется работа изменения давления рабочего тела. Сформулировать определение энтальпии и объяснить, почему она является функцией состояния.
16. Сформулировать понятия термодинамическим процессам идеальных газов, Объяснить какие процессы являются обратимыми, а действительные процессы являются необратимыми?
17. Сформулировать определение изобарного процесса. Воспроизвести процесс в  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммах. Описать вывод формулы для определения теплоты, работы и внутренней энергии в изобарном процессе
18. Объяснить, какой процесс называется политропным и воспроизвести его в  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммах, формулы для определения теплоты, работы и внутренней энергии в политропном процессе
19. Нарисовать в  $p$ - $v$  диаграмме цикл Карно для теплового двигателя и объяснить его.
20. Формулы для определения теплоты, работы и внутренней энергии в изобарном процессе
21. Изобразить на  $p$ - $v$  диаграмме цикл Карно для холодильной машины и

объяснить его.

21. Объяснить причины создания многоступенчатых компрессоров.

22. Изобразить на  $p-v$  диаграмме цикл двигателя со смешанным подводом теплоты

и объяснить его.

23. Расскажите, как пользоваться таблицами жидкости и сухого насыщенного пара.

24. Объяснить процесс переноса теплоты теплопроводностью через плоскую стенку

25. Объяснить процесс переноса теплоты теплопроводностью через многослойную

стенку.

26. Дать классификацию и определение теплообменным аппаратам.