

**Приложение 2 к РПД «Теплотехника»  
Специальность 21.05.04 Горное дело  
специализация №2 Подземная разработка рудных месторождений  
Форма обучения – очная  
Год набора - 2018**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.04 Горное дело
3.	Специализация	№2 Подземная разработка рудных месторождений
4.	Дисциплина (модуль)	Теплотехника
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2018

**2. Перечень компетенций**

– готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).

### 3. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
1. Предмет и методы теплотехники	ОПК-4	Основные свойства и параметры состояния термодинамических систем	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
2. Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики.	ОПК-4	Законы термодинамики и их математическое описание	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	
3. Второе начало термодинамики.	ОПК-4	Законы термодинамики и их математическое описание	Рассчитывать термодинамические процессы и циклы, оценивать их эффективность	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям.
4. Термодинамические процессы	ОПК-4	Термодинамические процессы и основы их анализа	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	
5. Термодинамика потока	ОПК-4	Термодинамику потока	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
6. Термодинамические процессы горного производства	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты; рассчитывать показатели, параметры теплообмена; проводить теплотехнические измерения, обрабатывать	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	

			результаты измерений с применением компьютерной техники		
7. Реальные газы. Водяной пар. Влажный воздух	ОПК-4	Основные способы теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	Выбирать рациональные системы теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	Навыками выбора рациональных систем теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	
8. Теплопроводность	ОПК-4	Основные закономерности теплообмена и массообмена при стационарном и нестационарном режимах	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Устный опрос. Решение задач
9. Конвективный теплообмен	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
10. Тепловое излучение	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям
11. Теплопередача	ОПК-4	Способы управления параметрами теплопередачи	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям. Выполнение и защита лабораторной работы

## 4. Критерии и шкалы оценивания

### 4.1. Устный опрос

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	1	2	3

### 4.2. Решение задач

4 балла – студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

3 балла – студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла – студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балл – студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

### 4.3. Выполнение и защита лабораторной работы

Структура лабораторной работы	Максимальное количество баллов
Содержание	
Выполнение работы в отчете изложено полно, четко и правильно	2
Иллюстрации усиливают эффект восприятия текстовой части информации	1
Сделаны выводы	2
<b>Максимальное количество баллов</b>	<b>5</b>

### 4.4. Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	2	3	4

## 5. Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 5.1. Типовые вопросы к устному опросу

1. Предмет технической термодинамики и ее задачи

*Ответ:* **Техническая термодинамика** – раздел термодинамики, занимающийся приложениями законов термодинамики в теплотехнике. Техническая термодинамика занимается разработкой теории тепловых двигателей и установок таких, как двигатели внутреннего сгорания, паровые и газовые Турбины, реактивные и ракетные двигатели, холодильные и компрессорные машины. На ее основе формируются методы прямого преобразования теплоты в электрическую энергию, проводится анализ эффективности термодинамических циклов, процессов теплообмена, изучаются термодинамические свойства различных веществ, закономерности теплового движения и др.

2. Два принципиально различных направления использования теплоты

*Ответ:* Различают два принципиально различных направления использования теплоты – энергетическое и технологическое.

При *энергетическом* использовании, теплота преобразуется в механическую работу, с помощью которой в генераторах создается электрическая энергия, удобная для передачи на расстояние. Теплоту при этом получают сжиганием топлива в котельных установках или непосредственно в двигателях внутреннего сгорания.

При *технологическом* – теплота используется для направленного изменения свойств различных тел (расплавления, затвердевания, изменения структуры, механических, физических, химических свойств).

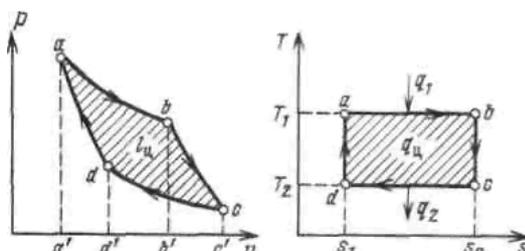
### 3. Неравновесный и равновесный процессы

*Ответ:* Процессы делятся на равновесные и неравновесные. Если при протекании процесса различные части системы имеют отличающиеся свойства, то система не находится в состоянии равновесия и процесс называется *неравновесным*. Действительные процессы, протекающие с конечными скоростями, всегда неравновесны.

Равновесным термодинамический процессом называется в том случае, если протекает настолько медленно, что в системе в каждый момент времени успевает установиться равновесное состояние.

### 4. Нарисовать диаграммы прямого обратимого цикла Карно в координатах « $v - p$ » и « $s - T$ »

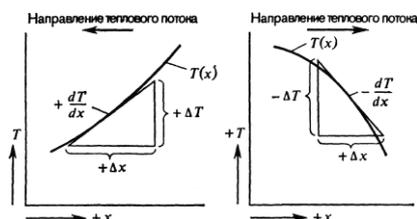
*Ответ:*



### 5. Теплопроводность (кондуктивный перенос тепла)

*Ответ:* Теплопроводность является единственным видом теплопередачи в непрозрачной твердой среде. Если в такой среде существует градиент температуры, тепло переносится из высокотемпературной области в низкотемпературную.

Скорость переноса тепла вследствие теплопроводности (кондуктивный тепловой поток  $q_k$ ) пропорциональна градиенту температуры  $dT/dx$  и площади поверхности  $A$ , через которую идет поток тепла (рис.)



Схема, иллюстрирующая правило знаков для теплопроводности

### 6. Привести простые примеры использования закона теплопроводности Фурье

*Ответ:* Простым примером использования закона Фурье является задача о теплопередаче через плоскую стенку (рис.)

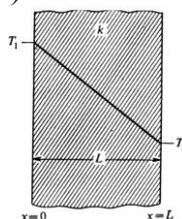


Рис. Теплопроводность через плоскую стенку с постоянным коэффициентом теплопроводности

Если обе поверхности стенки имеют постоянные, но различные температуры, тепло будет переноситься только в одном направлении, по нормали к поверхностям стенки. Если теплопроводности является постоянной величиной, после интегрирования формулы, выражающей закон Фурье, получаем

## 5.2. Типовые примеры задач

**Задача 1.** Для измерения малых избыточных давлений или разрежений применяются микроманометры. Принципиальная схема этого прибора представлена на рисунке.



Определить абсолютное давление в воздухопроводе, если длина  $l$  жидкости в трубке микроманометра, наклоненной под углом  $\alpha = 30^\circ$ , равна 180 мм. Рабочая жидкость – спирт плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ . Показание барометра, приведенного к  $0^\circ \text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 1.02 \text{ бар}$ .

Решение:

Дано:

$$l = 180 \text{ мм} = 0,18 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{\text{атм}} = 1,02 \text{ бар} =$$

$$= 1,05 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P = ?$$

Абсолютное давление в воздухопроводе

$$P = P_{\text{атм}} + P_{\text{изб}},$$

$$\text{где } P_{\text{изб}} = \rho gh = \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha, \text{ тогда } P = P_{\text{атм}} + \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha = 1,02 + 800 \cdot 9,81 \cdot 0,18 \cdot \sin 30^\circ \cdot 10^{-5} = 1,027 \text{ бар.}$$

Ответ:  $P = 1.027 \text{ бар} = 102700 \text{ Па}$ .

**Задача 2.** Определить парциальные давления кислорода и азота в воздухе при нормальных условиях, если массовый состав воздуха  $m_{O_2} = 23.3\%$  и  $m_{N_2} = 76.7\%$ .

Решение:

Парциальное давление газа в смеси может быть найдено по формуле

$$p_i = r_i p_{\text{см}} \quad (1)$$

Связь между массовыми и объемными долями устанавливается формулой

$$r_i = \frac{m_i \mu_{\text{см}}}{\mu_i}, \text{ где } \mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} \mu_i r_i.$$

след. при  $\mu_{\text{см}} = 32 \cdot 0.233 + 28 \cdot 0.767 = 28.932 \text{ кг/кмоль}$

$$r_{O_2} = \frac{0.233 \cdot 28.932}{32} = 0.21.$$

Т.к.  $\sum r_i = 1$ ,  $r_{N_2} = 1 - 0.21 = 0.79$ .

Давление смеси: 750 мм рт. ст. – 0.1 МПа

760 мм рт. ст. – x

$$\Rightarrow P_{\text{см}} = 101333 \text{ Па.}$$

Тогда согласно (1)  $P_{O_2} = 0.21 \cdot 101333 = 21279.93 \approx 21280 \text{ Па}$ .

След.,  $P_{N_2} = 101333 - 21280 = 80053 \text{ Па}$ .

**Задача 3.** Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной  $L_1 = 100 \text{ мм}$ ,  $L_2 = 80 \text{ мм}$  и  $L_3 = 50 \text{ мм}$ , коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны  $k_1 = 2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $k_2 = 8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и  $k_3 = 10 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Второй слой имеет температуры поверхностей  $T_{1-2} = 120^\circ \text{C}$  и  $T_{2-3} = 45^\circ \text{C}$ . Определить температуры наружных поверхностей.

Решение

Полное термическое сопротивление теплопроводности  $R_{\text{п}}$  трехслойной стенки равно сумме термических сопротивлений слоев:

$$R_1 = \frac{L_1}{k_1} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_2 = L_2/k_2 = 0.08/8 = 0.01 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_3 = L_3/k_3 = 0.05/10 = 0.005 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\text{п}} = R_1 + R_2 + R_3 = 0.05 + 0.01 + 0.005 = 0.065 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Поверхностная плотность теплового потока стационарного режима теплообмена постоянна для каждого из слоев и выражается через параметры любого слоя

$$q = \frac{T_1 - T_{1-2}}{R_1} = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_2} = \frac{T_{2-3} - T_2}{R_3},$$

$$q = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_2} = \frac{120 - 45}{0.01} = 7500 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Определяем температуры наружных поверхностей стенок:

$$T_1 = T_{1-2} + qR_1 = 120 + 7500 \cdot 0.05 = 495^\circ \text{C},$$

$$T_2 = T_{2-3} - qR_3 = 45 + 7500 \cdot 0.005 = 7.5^\circ \text{C}.$$

Величину плотности теплового потока  $q$  можно выразить также через суммарное термическое сопротивление стенки

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{п}}}.$$

Ответ:  $T_1 = 495^\circ \text{C}$ ,  $T_2 = 7.5^\circ \text{C}$ .

### 5.3. Пример лабораторной работы

#### Лабораторная работа по разделу «Общая теплотехника» Методика расчета произвольного цикла газовой смеси

##### Задание

1. Произвести расчет газовой смеси.
2. Определить параметры газовой смеси ( $P, \nu, T, s$ ) в характерных точках цикла.
3. Определить изменение внутренней энергии, удельную работу и количество подведенной или отведенной теплоты в каждом процессе.
4. Определить термический коэффициент полезного действия (кпд) заданного цикла.
5. Определить термический КПД цикла Карно в температурных пределах заданного цикла и уменьшение термического КПД заданного цикла по сравнению с термическим КПД цикла Карно.
6. Построить заданный цикл в координатах " $P-\nu$ ", и " $T-s$ " в выбранном масштабе и определить промежуточные точки в процессах, где это необходимо.

##### Методика расчета

###### Расчет газовой смеси

Кажущаяся молярная масса газовой смеси определяется из уравнения

$$\mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \mu_i \text{ [кг/моль]},$$

где  $r_i$  – объемная доля  $i$ -того газа;  $\mu_i$  – молярная масса  $i$ -того газа, кг/кмоль;  $n$  – число газов в смеси.

Удельная газовая постоянная смеси определяется через кажущуюся молярную массу:

$$B_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})].$$

Удельная теплоемкость при постоянном давлении для газовой смеси может быть определена по формулам:

$$c_p = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_{p_i} [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})] \quad \text{или} \quad c_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_i c_{p_{\mu i}}}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})],$$

где  $m_i$  – массовая доля  $i$ -того газа;  $c_{p_i}$  – удельная теплоемкость  $i$ -того газа, Дж/(кг·К), при  $P = \text{const}$ ,  $c_{p_i} = \frac{c_{\mu i}}{\mu_i}$ ;  $c_{p_{\mu i}}$  – молярная теплоемкость  $i$ -того газа, Дж/(моль·К), при  $P = \text{const}$ .

Удельная теплоемкость при постоянном объеме равна

$$c_v = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_{v_i} [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})] \quad \text{или} \quad c_v = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_i c_{v_{\mu i}}}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})],$$

где  $c_{v_{\mu i}}$ ,  $c_{v_i}$  – молярная и удельная теплоемкости при  $V = \text{const}$ .

Значения молярных теплоемкостей выбирают по таблице, не учитывая их зависимость от температуры.

Газы	$c_{v_{\mu}}$ , Дж/(моль·К)	$c_{p_{\mu}}$ , Дж/(моль·К)
Одноатомные	12.5	20.8
Двухатомные	20.8	29.1
Трех- и многоатомные	29.1	37.4

Проверка правильности вычисления удельных теплоемкостей проводится по уравнению Майера:

$$c_p - c_v = B, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Показатель адиабаты:  $k = c_p/c_v = C_p/C_v$ .

Удельный объем при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кг:  $v_n = 22.4/\mu_{\text{см}}$  или  $v_n = \frac{B \cdot T_n}{P_n}$ ,

где  $P_n$  – абсолютное давление,  $P_n = 101325$  Па,  $T_n$  – абсолютная температура,  $T_n = 273$  К.

### Параметры газовой смеси в характерных точках

а) *Параметры первой точки:*

– удельный объем, м<sup>3</sup>/кг,  $v_1 = \frac{B \cdot T_1}{P_1}$ , где  $T_1$  – абсолютная температура,  $T_1 = t_1 + 273$ , К;

$P_1$  – абсолютное давление, Па.

б) *Параметры второй точки определяются в зависимости от характера термодинамического процесса 1-2.*

При изотермическом процессе ( $n = 1$ ; $T = \text{const}$ ):	При адиабатном процессе ( $n = k$ ):	При политропном процессе:
1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1$ ; 3. Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon$ .	1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$ ; 3. Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k$ . При проверке параметров второй точки должно выполняться равенство $P_2 \cdot v_2 = B \cdot T_2$	1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n-1}$ ; Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^n$ .

в) *Параметры третьей точки определяются в зависимости от характера процесса*  
2-3.

<u>При изохорном процессе:</u>	<u>При изобарном процессе:</u>
1. Удельный объем $v_3 = v_2$ ;	1. Удельный объем $v_3 = v_2 \cdot \rho$ ;
2. Абсолютная $T_3 = T_2 \cdot \lambda$ ;	2. Абсолютная температура $T_3 = T_2 \cdot \rho$ ;
3. Абсолютное давление $P_3 = P_2 \cdot \lambda$ .	3. Абсолютное давление $P_3 = P_2$ .

г) *Параметры четвертой точки*

<u>Если процесс 4-1 изохорный, <math>v_4 = v_1</math>. Абсолютное давление и абсолютная температура определяются по следующим формулам:</u>	<u>Если процесс 4-1 изобарный, <math>P_4 = P_1</math>. Удельный объем и абсолютная температура определяются по следующим формулам:</u>
1. При адиабатном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1};$	1. При адиабатном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}};$
2. При политропном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{n-1};$	2. При политропном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{n-1}{n}};$
3. При изотермическом процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \frac{v_3}{v_4}, \quad T_4 = T_3.$	3. При изотермическом процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \frac{v_3}{v_4}, \quad T_4 = T_3.$

Удельную энтропию в характерных точках цикла можно определить по формуле:

$$s_i = c_v \ln(T_i/T_n) + B \ln(v_i/v_n),$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К);  $T_i$  – абсолютная температура в начальной точке процесса, К;  $T_n$  – абсолютная температура при нормальных условиях,  $T_n = 273$  К;  $B$  – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К);  $v_i$  – удельный объем в начальной точке процесса, м<sup>3</sup>/кг;  $v_n$  – удельный объем, м<sup>3</sup>/кг, при  $P_n = 101325$  Па;  $T_n = 273$  К.

### **Изменение удельной внутренней энергии**

Для всех процессов, кроме изотермического, изменение удельной внутренней энергии можно определить по формуле:  $\Delta u = c_v(T_{i+1} - T_i)$ .

Для изотермического процесса:  $\Delta u = 0$ .

### **Удельная работа газовой смеси в процессе:**

1. Для изотермического процесса:  $l_{i-(i+1)} = P_i \cdot v_i \cdot 2.3 \lg(v_{i+1}/v_i)$ ;
2. Для адиабатного процесса:  $l_{i-(i+1)} = [1/(k-1)] \cdot P_i \cdot v_i \cdot [1 - (P_{i+1}/P_i)^{k-1/k}]$ ;
3. Для политропного процесса:  $l_{i-(i+1)} = [1/(n-1)] \cdot P_i \cdot v_i \cdot [1 - (P_{i+1}/P_i)^{n-1/n}]$ ;
4. Для изобарного процесса:  $l_{i-(i+1)} = P_i \cdot (v_{i+1} - v_i)$ ;
5. Для изохорного процесса:  $l_{i-(i+1)} = 0$ .

где  $P_i, P_{i+1}$  – абсолютное давление в начальной и конечной точках процесса, Па;  $v_i, v_{i+1}$  – удельные объемы в начальной и конечной точках процесса, м<sup>3</sup>/кг.

### **Удельное количество теплоты, подведенное или отведенное от газовой смеси:**

1. Для адиабатного процесса:  $q_{i-(i+1)} = 0$ ;
2. Для общего политропного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_{i+1} - T_i)$ ;
3. Для изохорного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_v (T_{i+1} - T_i)$ ;
4. Для изобарного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_p (T_{i+1} - T_i)$ ;
5. Для изотермического процесса:  $q_{i-(i+1)} = 2.3 P_i \cdot v_i \cdot \lg(v_{i+1}/v_i)$

Если в результате вычисления получается положительное число, то теплота подводится, а если отрицательное, то теплота отводится.

#### **Определение термического КПД цикла**

КПД цикла определяется по следующей формуле:

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1,$$

где  $q_1$  – удельное количество подведенной теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов;  $q_2$  – удельное отведенное количество теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов.

В формуле термического КПД  $q_2$  – абсолютная величина.

#### **Определение термического КПД цикла Карно для температурных пределов заданного цикла**

КПД цикла для температурных пределов определяется по следующей формуле:

$$\eta^K_t = 1 - (T_{\min}/T_{\max}),$$

где  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  – минимальная и максимальная абсолютные температуры рабочего тела в цикле, К.

Уменьшение термического КПД заданного цикла по сравнению с термическим КПД цикла Карно определяется по формуле:

$$\Delta\eta = (\eta^K_t - \eta_t)/\eta^K_t.$$

#### **Построение цикла в координатах "P – v"**

Здесь  $P$  – абсолютное давление по оси ординат, МПа;  $v$  – удельный объем по оси абсцисс, м<sup>3</sup>/кг.

Для определения промежуточных точек необходимо при общем политропном процессе принять значение удельного объема  $v_x$  в пределах значений начальной и конечной точек процесса. Из уравнения  $P_i \cdot v_i^n = P_x \cdot v_x^n$  определить давление для принятой промежуточной точки:  $P_x = P_i (v_i/v_x)^n$ .

Для изохорного и изобарного процессов промежуточные точки определять нет необходимости.

#### **Построение цикла в координатах "T – s"**

Здесь  $T$  – абсолютная температура по оси ординат, К;  $s$  – удельная энтропия по оси абсцисс, Дж/(кг·К).

Для определения промежуточных точек необходимо:

1. Принять значение абсолютной температуры  $T_x$  в пределах значений начальной и конечной точек процесса.

2. Определить значение удельного объема для принятой точки:

– для общего политропного процесса:  $v_x/v_i = (T_i/T_x)^{\frac{1}{n-1}}$ ;

– для изохорного процесса:  $v_1 = v_x = v_{i+1}$ ;

– для изобарного процесса:  $v_i/v_x = T_i/T_x$ .

3. Определить значение удельной энтропии для принятой промежуточной точки по формуле:

$$s_x = 2.3 c_v \lg \frac{T_x}{T_H} + B \cdot 2.3 \lg \frac{v_x}{v_H},$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К).

#### **Дано:**

1. Состав газовой смеси, % по объему согласно варианту.

2. Начальные параметры газовой смеси (первая точка цикла): давление  $P_1$ , МПа; температура  $t_1$ , °С.

3. Показатели процессов заданного цикла:

процесс 1-2 –  $n_{1-2} = \dots$  ;

процесс 2-3 –  $n_{2-3} = \dots$  ;

процесс 3-4 –  $n_{3-4} = \dots$  ;

процесс 4-1 –  $n_{4-1} = \dots$  .

4. Степень сжатия  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$  .

5. Степень повышения давления  $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$  .

6. Степень предварительного расширения  $\rho = \frac{V_3}{V_2}$  .

#### 5.4. Вопросы к экзамену

1. Термодинамические системы, параметры и равновесие
2. Исходные положения термодинамики.
3. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты.
4. Равновесные и неравновесные процессы.
5. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота.
6. Первое начало термодинамики.
7. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
8. Энтальпия и энтропия.
9. Второе начало термодинамики.
10. Третье начало термодинамики.
11. Обратимые и необратимые процессы.
12. Возрастание энтропии в необратимых процессах.
13. Тепловые двигатели и холодильные машины.
14. Цикл и теорема Карно.
15. Условия равновесия термодинамической системы.
16. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
17. Классификация фазовых переходов.
18. Фазовое равновесие, фазовая  $P$ – $T$  диаграмма.
19. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа.
20. Удельная и молярная теплоемкость вещества.
21. Молярная теплоемкость при постоянном давлении.
22. Уравнение Майера.
23. Молярная теплоемкость при постоянном объеме.
24. Термодинамическое равновесие. Внешние и внутренние параметры
25. Термодинамическое равновесие с молекулярной точки зрения.
26. Основное положение классической статистики.
27. Микроканоническое распределение.
28. Термодинамические функции и термодинамические равенства.
29. Применение классической статистики к идеальному одноатомному газу.
30. Распределение Максвелла – Больцмана для систем с аддитивной энергией. Давление как внешний параметр
31. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
32. Применение классической статистики к вопросу о теплоемкости газов.
33. Теплоемкость твердых тел.
34. Применение классической статистики к излучению.
35. Силы взаимодействия молекул. Уравнение состояния неидеального газа.

36. Флуктуации объема, занятого газом или жидкостью.
37. Предел чувствительности газового термометра.
38. Флуктуации плотности и рассеяние света в жидкостях и реальных газах.
39. Вычисление флуктуации величин, рассматриваемых как функции положения в пространстве. Применение к теории рассеяния света.
40. Основные понятия и законы теории теплообмена.
41. Классификация процессов теплообмена.
42. Основные термины теории теплообмена.
43. Основные законы теплообмена.
44. Теплопроводность. Способность тел проводить тепло.
45. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
46. Условия однозначности в задачах теплопроводности.
47. Массообменные процессы. Диффузионный пограничный слой.
48. Дать понятие основным термодинамическим процессам. Графическое изображение в  $PV$  и  $TS$  координатах.
49. Какая машина называется компрессором? Классификация компрессоров. Описание одноступенчатого компрессора.
50. Изобразите теоретическую индикаторную диаграмму поршневого компрессора для случая изотермического и адиабатного сжатия. Покажите на ней площади, которыми изображаются работы наполнения, сжатия и выталкивания. Для чего применяется охлаждение компрессора?
51. Определение характера распределения температурного поля в горных породах при различных термодинамических процессах горного производства.
52. Каковы основные понятия и параметры состояния водяного пара.
53. Какой пар называется сухим насыщенным? Изобразите на диаграммах  $P-V$ ,  $T-S$  и  $h-S$  обратимый адиабатный процесс расширения перегретого пара до состояния сухого насыщенного пара. Дайте необходимые пояснения.
54. Влажный воздух. Основные значения, характеризующие состояние влажного воздуха.
55. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона при охлаждении. Какой физический смысл имеет коэффициент теплоотдачи?
56. Основные понятия и механизм радиационного теплообмена. Закон Стефана-Больцмана.
57. Теплопередача. Коэффициент теплопроводности. Определение теплового потока и термического сопротивления.
58. Какой физический смысл имеет коэффициент теплопроводности, и в каких единицах он измеряется? Как подсчитать количество теплоты, передаваемое теплопроводностью через однородную цилиндрическую стенку.
59. Электрическая аналогия для теплопроводности. Одномерная теплопроводность через многослойную стенку и ее электрический аналог.
60. Сложный теплообмен.
61. Теплопроводность в цилиндрических координатах с внутренним тепловыделением

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
**21.05.04 Горное дело**  
**специализация №2 Подземная разработка рудных месторождений**

(код, направление, профиль)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА**

Шифр дисциплины по РУП	<b>Б1.Б.18</b>				
Дисциплина	<b>Теплотехника</b>				
Курс	<b>4</b>	семестр	<b>7</b>		
Кафедра	<b>горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>				
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность	<b>Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент</b>				
<b>кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>					
Общ. трудоемкость <sub>час/ЗЕТ</sub>	<b>144/4</b>	Кол-во семестров	<b>1</b>	Форма контроля	<b>Экзамен</b>
ЛК <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>44/44</b>	ПР/СМ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>8/8</b>	ЛБ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>8/8</b>
		СРС <sub>общ./тек. сем.</sub>			<b>48/48</b>

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

- готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<i><b>Вводный блок</b></i>				
Не предусмотрен				
<i><b>Основной блок</b></i>				
ОПК-4	Устный опрос	4	12	В течение семестра
ОПК-4	Практическая работа (решение задач)	4	16	В течение семестра
ОПК-4	Выполнение и защита лабораторной работы	4	20	В течение семестра
ОПК-4	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям	3	12	В течение семестра
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ОПК-4	Экзамен		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ОПК-4	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.