

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т.Ф.ГОРБАЧЕВА»  
Филиал КузГТУ в г. Белово



УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора  
по учебной работе,  
совмещающая должность  
директора филиала  
Долганова Ж.А.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Приложение к рабочей программе по дисциплине

**ТЕПЛОТЕХНИКА**

Квалификация выпускника: специалист

Направление подготовки/специальность 21.05.04 «Горное дело»

Профиль/специализация 21.05.04.03 «Открытые горные работы»

Форма обучения очно-заочная

Кафедра Горного дела и техносферной безопасности

Белово 2023 г.

Составитель: ст. преподаватель Белов С.В.

Обсуждено на заседании кафедры «Горного дела и техносферной безопасности»

Протокол № 10 от 16 мая 2023 г.

Зав. кафедрой

Согласовано учебно-методической комиссией специальности 21.05.04 «Горное дело»

Протокол № 7 от 16 мая 2023 г.

Председатель учебно-методической комиссии

## Оглавление

1. НАЗНАЧЕНИЕ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ .....	4
2. ПАСПОРТ КОМПЕТЕНЦИЙ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
3. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ.....	5
4. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ .....	6
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ.....	10
6. КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ .....	21
7. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	24
8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ .....	25

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств (ФОС) создается в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования для аттестации обучающихся на соответствие их учебных достижений поэтапным требованиям соответствующей ОПОП для проведения входного и текущего оценивания, а также промежуточной аттестации обучающихся. ФОС является составной частью нормативно-методического обеспечения системы оценки качества освоения ОПОП ВО, входит в состав ОПОП. ФОС – комплект методических материалов, нормирующих процедуры оценивания результатов обучения, т.е. установления соответствия учебных достижений запланированным результатам обучения и требованиям образовательных программ, программ учебных дисциплин (модулей).

ФОС сформирован на основе ключевых принципов оценивания:

- валидности: объекты оценки должны соответствовать поставленным целям обучения;
- надежности: использование единообразных стандартов и критериев для оценивания достижений;
- объективности: разные обучающиеся должны иметь равные возможности добиться успеха.

ФОС по дисциплине «Теплотехника» включает все виды оценочных средств, позволяющих проконтролировать освоение обучающимися компетенций, предусмотренных ФГОС ВО по специальности 21.05.04. «Горное дело» и программой учебной дисциплины «Теплотехника».

ФОС предназначен для профессорско-преподавательского состава и обучающихся филиала КузГТУ в г.Белово. ФОС подлежит ежегодному пересмотру и обновлению.

## 2. ПАСПОРТ КОМПЕТЕНЦИЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Определение, содержание и основные сущностные характеристики компетенций **ОПК-18.**

2. Дисциплина: **Теплотехника**

3. Описание показателей и критериев оценивания уровней приобретенных компетенций на различных этапах их формирования

Показатели и критерии оценивания уровня приобретенных компетенций по дисциплине  
**Теплотехника**

### Результаты изучения дисциплины

Компетенции из ФГОС	Показатели компетенций		
	Знать	Уметь	Владеть
1	3	4	5
ОПК-18 - Способен участвовать в исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов.	- основные свойства и параметры состояния термодинамических систем; законы термодинамики; - термодинамические процессы и основы их анализа; термодинамику потока; - элементы химической термодинамики;	- оценивать параметры состояния термодинамических систем и эффективность термодинамических процессов; - рассчитывать показатели параметры теплообмена; - анализировать термодинамические	- методами анализа эффективности термодинамических процессов горного производства и управления интенсивностью обмена энергией в них.

	- основные закономерности теплообмена и массообмена при стационарном и нестационарном режимах; - способы управления параметрами теплообмена.	процессы в теплотехнических устройствах, применяющихся в горном деле.	
--	---	---	--

**Высокий уровень достижения компетенции** - компетенция сформирована, рекомендованные оценки: отлично, хорошо, зачтено.

**Средний уровень достижения компетенции** - компетенция сформирована, рекомендованные оценки: хорошо, удовлетворительно, зачтено.

**Низкий уровень достижения компетенции** - компетенция не сформирована, оценивается неудовлетворительно или не зачтено.

### 3. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ

#### 1. Описание назначения и состава фонда оценочных средств

Настоящий фонд оценочных средств (ФОС) входит в состав образовательной программы и предназначен для текущего и промежуточного контроля и оценки планируемых результатов обучения – знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе прохождения подготовки по дисциплине **Теплотехника**

ФОС разработан на основании:

– федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 21.05.04. «Горное дело»

– образовательной программы высшего образования по направлению подготовки Специалист 21.05.04. «Горное дело»

Направленность (профиль) 21.05.04.03 «Открытые горные работы»

код и наименование направления подготовки, уровень подготовки

#### 2. Перечень компетенций, формируемых в процессе прохождения дисциплины **ОПК-18**

### 3. Этапы формирования и оценивания компетенций

Контролируемые разделы (темы)	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	
		Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1. Законы термодинамики 2. Термодинамические циклы. 3. Методы термодинамики. 4. Влажный воздух. 5. Термодинамические законы потока. 6. Передача тепла. 7. Элементы химической термодинамики. Топливо и основы горения. 8. Компрессоры. 9. Теплообменные аппараты.	ОПК-18	Оформление отчетов по лабораторным работам и их защита. Контроль решения индивидуальных задач.	зачет

### 4. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

**4.1 Цель входного контроля** – определить начальный уровень подготовленности обучающихся и выстроить индивидуальную траекторию обучения. В условиях личностно-ориентированной образовательной среды результаты, полученные при входном оценивании обучающегося, используются как начальные значения в индивидуальном профиле академической успешности обучающегося.

**4.2 Форма проведения входного контроля** – бланковое тестирование. Длительность тестирования – 30 минут. Количество вопросов-20

#### 4.2.1 Шкала оценивания (методика оценки)

За каждый правильный ответ выставляется один балл.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

Максимальный балл	Проходной балл	Оценка
20	не менее 18	отлично
17	не менее 15	хорошо
14	не менее 12	удовлетворительно
11	-	неудовлетворительно

#### 4.2.2 Задания (вопросы) для входного контроля обучающихся

Для освоения дисциплины необходимы компетенции (знания умения, навыки и (или) опыт профессиональной деятельности), сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Математика», «Физика», «Химия».

Вопросы входного контроля охватывают материалы данных дисциплин.

#### Перечень вопросов входного контроля (правильные ответы выделены жирным)

- Какой вид теплопередачи наблюдается при обогревании комнаты батареей водяного отопления?
  - теплопроводность;
  - конвекция;**

3) излучение.

2. В процессе кипения температура жидкости...

- 1) увеличивается;
- 2) не изменяется;**
- 3) уменьшается.

3. Вязкость жидкости при увеличении температуры

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;**
- 3) остается неизменной;
- 4) сначала уменьшается, а затем остается постоянной.

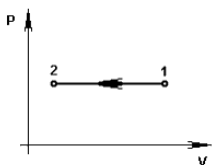
4. Вязкость газа при увеличении температуры

- 1) увеличивается;**
- 2) уменьшается;
- 3) остается неизменной;
- 4) сначала уменьшается, а затем остается постоянной.

5. В каких единицах измеряется давление в системе измерения СИ?

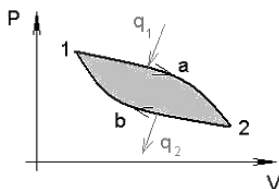
- 1) в паскалях;**
- 2) в джоулях;
- 3) в барах;
- 4) в стоках

6. Температура и удельный объем в процессе 1 – 2, показанном на рисунке, соответственно ...



- 1) уменьшается и уменьшается**
- 2) увеличивается и уменьшается
- 3) увеличивается и увеличивается
- 4) уменьшается и увеличивается

7. Площадь цикла 1a2b1, изображенного на рисунке, эквивалентна ...



- 1) работе**
- 2) подводимой теплоте
- 3) отводимой теплоте
- 4) эксергии

8. Давление рабочего тела  $P = 12500$  Па. В МПа и кПа это давление соответственно равно ...

- 1) **0,0125 МПа и 12,5 кПа**
- 2) 0,125 МПа и 12,5 кПа
- 3) 12,5 МПа и 0,125 кПа
- 4) 0,0125 МПа и 0,125 кПа

9. Аналитическое выражение первого закона термодинамики для обратимых термодинамических процессов имеет вид ...

- 1)  $\delta Q = dU + \delta L$
- 2)  $\delta Q > dU + \delta L$
- 3)  $\delta Q < dU + \delta L$
- 4)  $\delta Q \geq dU + \delta L$

10. В соответствии с первым законом термодинамики подводимая к термодинамической системе теплота ...

- 1) **расходуется на изменение ее внутренней энергии и на совершение внешней работы**
- 2) расходуется только на изменение ее внутренней энергии
- 3) не расходуется на изменение ее внутренней энергии и на совершение внешней работы
- 4) не расходуется на изменение ее внутренней энергии

11. «Вечный двигатель второго рода невозможен» – это формулировка ...

- 1) **второго закона термодинамики**
- 2) первого закона термодинамики
- 3) третьего закона термодинамики
- 4) тепловой теоремы Нернста

12. Прямой цикл Карно состоит из ...

- 1) **2-х изотерм и 2-х адиабат**
- 2) 2-х изотерм и 2-х изохор
- 3) 2-х изотерм и 2-х политроп
- 4) 2-х изобар и 2-х изохор

13. Отношение работы, производимой двигателем за цикл, к количеству теплоты, подведенной за этот цикл от горячего источника, называется ...

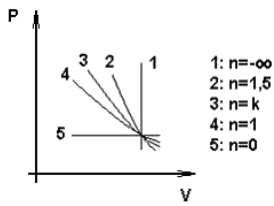
- 1) **термическим КПД цикла**
- 2) холодильным коэффициентом
- 3) коэффициентом использования теплоты
- 4) коэффициентом теплопроводности

14. Энтропия неизолированной термодинамической системы при поступлении в неё тепла в ходе обратимого процесса...

- 1) только убывает;
- 2) **только увеличивается;**
- 3) только остается постоянной



15. Процесс 1, показанный на графике, называется ...



- 1) **Изохорным**
- 2) политропным
- 3) изотермическим
- 4) изобарным

16. Наименьшим коэффициентом теплопроводности обладает(-ют) ...

- 1) **газы**
- 2) золото
- 3) чугун
- 4) глицерин

17. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2} kT$ .  
 Здесь  $i = n_n + n_{вр} + 2n_k$ , где  $n_n, n_{вр}, n_k$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, для водорода ( $H_2$ ) число  $i$  равно...

Варианты ответов:

- 1) 8;
- 2) 2;
- 3) 7;
- 4) **5**

18. Размерностью удельной массовой теплоемкости является ...

- 1) **Дж/(кг·К)**
- 2) Дж/(м<sup>3</sup>·К)
- 3) Дж/(кмоль·К)
- 4) Дж/кг

19. Относительная влажность сухого воздуха равна \_\_\_\_ %.

- 1) **0**
- 2) 100
- 3) 1
- 4) 0,5

20. Единственное состояние, в котором могут одновременно находиться в равновесии пар, вода и лед, называется ...

- 1) **тройной точкой**
- 2) критической точкой
- 3) точкой Кюри
- 4) точкой росы

## 5 ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ

Текущий контроль знаний используется для оперативного и регулярного управления учебной (в том числе самостоятельной) деятельностью обучающихся. Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе преподавателя. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению дисциплины.

Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация обучающихся могут проводиться как при непосредственном взаимодействии педагогического работника с обучающимися, так и с использованием ресурсов ЭИОС филиала КузГТУ, в том числе синхронного и (или) асинхронного взаимодействия посредством сети «Интернет».

Текущий контроль по дисциплине заключается: в оформлении (и защите) отчетов по лабораторным работам, в текущем контроле решения индивидуальных задач.

### 5.1 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ЗАЩИТЕ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

#### Оцениваемые компетенции ОПК-18

**5.1.1. Форма контроля (ТК):** Устный или письменный опрос при защите отчета по лабораторной работе.

#### 5.1.2. Критерии оценки лабораторной работы

- способность измерять физические величины, представляя результаты измерений с учетом их погрешностей;
- способность самостоятельно оценивать, сравнивать, анализировать полученные результаты и делать выводы на основе этих результатов;
- аргументированность выбора методов измерений физических величин;
- умение формулировать, воспроизводить физические законы и увидеть их проявление в природе и технике, и способность приводить примеры этих проявлений
- владение материалом при защите и сдаче выполненных лабораторных работ при собеседовании с преподавателем:
  - способность свободно объяснять, обосновывать, правильно излагать и истолковывать физические явления и свойства тел (Для каждого явления по возможности нужно уметь: а) привести название явления, сформулировать его определение и указать, что происходит в результате этого явления; б) указать необходимые условия для возникновения и наблюдения явления; в) объяснить явление согласно той или иной теории; г) привести примеры осуществления явления в природе и примеры применения в технике);
  - способность свободно объяснять, обосновывать, правильно излагать и истолковывать научные теории, различать эти теории и устанавливать связь между ними (Обучающийся должен уметь находить примеры, показывающие, что: наблюдения и эксперимент являются основой для выдвижения гипотез и теорий, позволяют проверить истинность теоретических выводов; физическая теория дает возможность объяснять известные явления природы и научные факты, предсказывать еще неизвестные явления; указывать причины расхождения теории с экспериментом);
- соблюдение правил техники безопасности;
- своевременность сдачи отчетов.

По результатам работы оформляется отчет. Отчет представляется в бумажном виде. Отчет должен содержать:

- Название лабораторной работы.

- Цель лабораторной работы.
- Приборы и принадлежности.
- Схему или рисунок установки, а также рисунки, поясняющие вывод рабочих формул.
- Основные расчетные формулы с обязательным пояснением величин, входящих в формулу.
- Таблицы.
- Примеры расчета.
- Если требуется по заданию - графики и диаграммы.
- Вывод по лабораторной работе.

Оценочными средствами при защите отчётов по лабораторных работах являются: качество оформления отчёта и два контрольных вопроса из списка помещённых в лабораторном практикуме в конце описания соответствующей лабораторной работы, на которые обучающийся может дать ответы и устно и (или) письменно:

Критерии оценивания защиты отчёта:

- 75–100 баллов, если отчёт содержит все требуемые структурные элементы, получены правильные и полные ответы на два контрольных вопроса;

- 0-74 баллов, если отчёт содержит не все требуемые структурные элементы, получен правильный ответ только на один контрольный вопрос.

Количество баллов	0 – 74	75-100
	Не зачтено	зачтено

### 5.1.3. Темы лабораторных работ и контрольные в поросы к защите

#### 1. Тема: Определение коэффициента Пуассона методом Клемана-Дезорма

##### Контрольные вопросы

1. Какими термодинамическими параметрами характеризуется состояние термодинамической системы?
2. Назовите виды термодинамических процессов и приведите их уравнения.
3. Сформулируйте первый закон термодинамики, запишите его для различных термодинамических процессов.
4. Как рассчитать  $C_p$  и  $C_V$  для идеального газа?
5. Приведите уравнения адиабатного процесса.
6. Что характеризует показатель адиабаты?
7. В чем состоит экспериментальный метод Клемана – Дезорма для определения коэффициента Пуассона?
8. С чем связано несоответствие экспериментального и теоретического значений коэффициента Пуассона?

#### 2. Тема: Определение коэффициента вязкости воздуха капиллярным методом

##### Контрольные вопросы

1. При каких условиях возникают явления переноса? Сформулируйте основные законы их определяющие.
2. Как связаны между собой коэффициенты  $\eta$ ,  $D$ ?
3. Что понимают под средней длиной свободного пробега молекул?

4. Какая скорость входит в выражение для числа Рейнольдса? Почему? Что характеризует число Рейнольдса?
5. Как изменяется вязкость газов и жидкости с ростом температуры?
6. Одинаков ли механизм вязкости жидкости и газов?
7. Запишите уравнения диффузии, теплопроводности, внутреннего трения.
8. Какова причина возникновения силы внутреннего трения?
9. От каких параметров зависит коэффициент внутреннего трения?
10. Какое течение жидкости называется ламинарным? Турбулентным?
11. Каков критерий определения характера течения жидкости?
12. Как определить число Рейнольдса?

## 5.2 КОНТРОЛЬ РЕШЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

### 5.2.1. Оцениваемые компетенции ОПК-18

### 5.2.2. Подходы к отбору содержания

Задачи подобраны таким образом, чтобы при их решении обучающийся проработал основную часть обязательного программного материала, а это поможет ему успешно пройти порубежный контроль знаний.

В каждой индивидуальной работе обучающийся должен решить по ШЕСТЬ ЗАДАЧ того варианта, номер которого совпадает с ПОСЛЕДНЕЙ ЦИФРОЙ шифра зачетной книжки. В нумерации задач сначала указан номер задачи, затем, через точку, номер варианта. Десятый вариант соответствует последней цифре в зачетке – «ноль».

### 5.2.3. Критерии оценки

Верное выполнение всех задач темы, своевременная сдача задач, а так же успешная защита оценивается максимум 100 баллов за каждую тему.

#### Шкала оценивания умения решать физические задачи

Баллы	Критерии
100	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Правильно установлено происходящее физическое явление и выбраны соответствующие законы и формулы при решении задачи;</li> <li>– алгоритм решения в общем виде составлен правильно;</li> <li>– соблюдены все рекомендации по оформлению рисунка и решению задачи;</li> <li>– по требованию преподавателя задача объяснена с указанием всех используемых физических явлений, законов, выявлены связи между физическими явлениями и законами, получены размерности всех вычисляемых величин;</li> <li>– задачи сданы своевременно.</li> <li>– <i>Решены все из предложенных задач.</i></li> </ul>
65-99	<ul style="list-style-type: none"> <li>– задачи решены не в общем виде, хотя решение соответствует алгоритму, но не соблюдены все требования по оформлению рисунка и решению задачи;</li> <li>– получены размерности не всех вычисляемых величин;</li> <li>– задачи сданы не своевременно.</li> <li>– <i>Частично отсутствует решение одной из задач.</i></li> </ul>
50-64	<ul style="list-style-type: none"> <li>– выбрано правильное направление решения, решение задачи доведено до конца, но отсутствует графическое оформление решения, есть неточности в формулах.</li> <li>– не может обосновать выбор метода решения задач, не осознаёт связи теории с практикой.</li> <li>– <i>При частичном решении половины из предложенных задач</i></li> </ul>
0-49	<ul style="list-style-type: none"> <li>– не понимает сути методики решения задач;</li> <li>– допускает грубые ошибки при решении задач, нарушающие логику решения;</li> <li>– отсутствуют формулы и рисунок к решению задачи</li> <li>– <i>Задачи решены частично или решение отсутствует</i></li> </ul>

Количество баллов	0...49	50...64	65...100
Шкала оценивания	не зачтено		зачтено

#### 5.2.4. Процедура выполнения и проверки

Условия задач индивидуальной работ ПЕРЕПИСЫВАЮТСЯ ПОЛНОСТЬЮ, решения задач сопровождаются исчерпывающими пояснениями с использованием рисунков и схем. Задачи решаются в общем виде с проверкой размерности полученного результата. Значения величин при подстановке в расчётную формулу должны быть выражены в единицах СИ (SI). В виде исключения допускается использование других, но непременно одинаковых в числителе и знаменателе единиц измерения.

Индивидуальные работы на проверку необходимо присылать не позднее, чем ЗА 15 ДНЕЙ ДО НАЧАЛА СЕССИИ.

Если индивидуальная работа при рецензировании не зачтена, обучающийся обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решения которых оказались неверными. Работа над ошибками не зачтенной индивидуальной работы производится В ТОЙ ЖЕ ТЕТРАДИ.

Зачтённые работы «ЗАЩИЩАЮТСЯ» во время зачёта, даются пояснения по существу решения задач, входящих в индивидуальные работы.

#### 5.2.5 Содержание индивидуальной работы

##### Основные свойства и параметры состояния термодинамических систем и законы преобразования энергии (задачи 1.1–1.10)

**Задачи 1.1–1.10.** В емкости содержится смесь двух газов при температуре  $T$  и давлении  $P$ . Ее плотность составляет  $\rho$ . Определить концентрацию молекул каждого газа (табл. 1), молярные и массовые доли каждого компонента. Рассчитайте кажущуюся молярную массу, а также теплоемкость данной смеси в модели идеального газа.

Таблица 1

Данные для решения задач 1.1–1.10

№ п/п	Газы		Давление	Температура	Плотность $\rho$
			$P$	$T$	
			МПа	К	кг/м <sup>3</sup>
<b>1.1</b>	O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	Кислород Азот	0,2	285	2,5
<b>1.2</b>	N <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Азот Водород	0,3	290	1,6
<b>1.3</b>	H <sub>2</sub> Ar	Водород Аргон	0,2	300	0,28
<b>1.4</b>	He N <sub>2</sub>	Гелий Азот	0,25	305	1,2
<b>1.5</b>	Ne O <sub>2</sub>	Неон Кислород	0,15	280	1,5
<b>1.6</b>	O <sub>2</sub> Ar	Кислород Аргон	0,28	308	3,8
<b>1.7</b>	N <sub>2</sub> Kr	Азот Криптон	0,21	300	3,0
<b>1.8</b>	H <sub>2</sub> Xe	Водород Ксенон	0,35	320	2,0
<b>1.9</b>	Ar H <sub>2</sub>	Аргон Водород	0,15	305	1,2
<b>1.10</b>	He Kr	Гелий Криптон	0,18	310	2,2

## Термодинамические процессы и основы их анализа (задачи 2.1–2.10; 3.1–3.10)

**2.1.** Дымовые газы содержат углекислый газ  $\text{CO}_2$  и азот  $\text{N}_2$ , объемные доли которых 25 и 75 %, соответственно. Двумя способами, на основании данных из приложения 1 и 2 найдите среднюю удельную теплоемкость получившейся газовой смеси в диапазоне температур 500–1000 К и показатель адиабаты. Рассчитайте, сколько теплоты выделится при охлаждении каждого килограмма дымовых газов от 1500 до 300 Кельвин. На основании данных, приведенных в приложении 2 постройте графики зависимости теплоемкости и показателя адиабаты смеси от температуры в диапазоне температур от 300 до 1500 Кельвин.

**2.2.** В компрессоре воздух нагревается до 500 К и помещается в сосуд с постоянным объемом. Определите количество теплоты, которое необходимо отвести от каждого килограмма воздуха для того, чтобы охладить его до 320 К. Рассчитайте удельную и молярную теплоемкость воздуха для изохорного и изобарного процесса в диапазоне температур от 300 до 700 К.

**2.3.** При неполном сгорании углеводородного топлива в выхлопных газах содержатся углекислый газ  $\text{CO}_2$ , угарный газ  $\text{CO}$ , азот  $\text{N}_2$  и пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ , объемные доли которых равны 17, 6, 75 и 2 % соответственно. Сколько теплоты выделится при изобарном охлаждении каждого килограмма получившейся газовой смеси от 1350 до 340 К? Найдите среднюю удельную изохорную и изобарную теплоемкость данной смеси для диапазона температур 500–1000 К.

**2.4.** В смеси метана и этана объемная доля этана составляет 10 %. Постройте графики зависимости удельной изобарной и изохорной теплоемкости данной смеси в диапазоне температур от 300 до 1200 К. Рассчитайте показатель адиабаты смеси при 300 и при 1200 К.

**2.5.** Рассчитайте среднюю удельную (изохорную и изобарную) теплоемкость сероводорода в диапазоне температур от 500 до 1000 К. Постройте график температурной зависимости истинной удельной изохорной теплоемкости в данном диапазоне. Чему равен показатель адиабаты сероводорода при температуре 700 К?

**2.6.** Определить среднюю молярную и удельную изобарную теплоемкость водяного пара в интервале температур от 500 до 1200 К, постройте график зависимости истинной теплоемкости водяного пара от температуры. Исходя из рассчитанных теплоемкостей, определите показатель адиабаты для начальной и конечной точки указанного диапазона.

**2.7.** В сосуде находится газ массой 2 кг, состоящий по объему из 20 % азота, 30 % диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и 50 % монооксида углерода ( $\text{CO}$ ). Газ охлаждается от температуры 1500 К до температуры 700 К при постоянном давлении. Определить количество тепла выделившегося в окружающую среду.

**2.8.** Зависимость истинной молярной теплоемкости воздуха от температуры имеет следующий вид:

$$C_{MP} = 28,5 + 4,1 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,8 \cdot 10^{-5} \cdot T^{-2}.$$

Какое количество теплоты необходимо сообщить 1,5 кг воздуха для повышения его температуры от 300 до 750 К при постоянном давлении. Молярная масса воздуха  $M = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

**2.9.** В сосуде объемом  $V = 3$  л находится азот, который нагревается от 27 до 150°C. Начальное давление в сосуде  $P_1 = 0,1$  МПа. Определить количество подведенного тепла и конечное давление в сосуде. Какое количество тепла необходимо подвести к такому же количеству азота для нагревания его от 227 до 350 С? Найдите среднюю теплоемкость для каждого из температурных интервалов.

**2.10.** При подземной газификации угля получают синтез-газ в котором содержится  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ . Для случая, когда объемные доли компонент синтез-газа равны 15, 35, 10, 40 % рассчитайте кажущуюся молярную массу данной смеси, среднюю теплоемкость в интервале температур от 300 до 1500 К. Постройте температурную зависимость теплоемкости смеси. Определите показатель адиабаты для начальной и конечной точки температурного интервала.

*При решении задач 3.1.–3.10. необходимо построить схему распределения теплоэнергетических составляющих для всех процессов, указать долю подводимой теплоты, превращаемую во внутреннюю энергию и в совершаемую работу.*

- 3.1.** Изобразить схему перераспределения энергетических составляющих в политропных процессах идеального двухатомного газа с показателем  $n = -1$  и рассчитать долю теплоты, расходуемой на совершение работы и изменение внутренней энергии при его расширении и сжатии.
- 3.2.** Идеальный газ (кислород) находится при температуре 350 К. Данный газ изохорно нагревается до температуры 600 К. При какой температуре изотермического процесса, протекающего в том же интервале изменения давления, подводимая теплота будет равна теплоте, подводимой в изохорном процессе. Изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ .
- 3.3.** Идеальный газ (азот) находится при температуре 385 К. Данный газ изохорно нагревается до температуры 750 К. При какой температуре изотермического процесса, протекающего в том же интервале изменения давления, подводимая теплота будет равна теплоте, подводимой в изохорном процессе. Изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ .
- 3.4.** Идеальный газ (неон) находится при температуре 400 К. Данный газ изохорно нагревается до температуры 850 К. При какой температуре изотермического процесса, протекающего в том же интервале изменения давления, подводимая теплота будет равна теплоте, подводимой в изохорном процессе. Изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ .
- 3.5.** Идеальный газ (углекислый газ) находится при температуре 450 К. Данный газ изохорно нагревается до температуры 900 К. При какой температуре изотермического процесса, протекающего в том же интервале изменения давления, подводимая теплота будет равна теплоте, подводимой в изохорном процессе. Изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ .
- 3.6.** Двухатомный идеальный газ в результате политропного расширения переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом его давление уменьшается в два раза. Далее газ адиабатно переводят в состояние 3, при этом объем газа принимает такое же значение, как и в состоянии 1, а давление превышает исходное давление в состоянии 1 в 2 раза. Изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$ , определить показатель политропы  $n$  и пояснить теплоэнергетические преобразования в процессах.
- 3.7.** Одноатомный идеальный газ в результате политропного расширения переходит из состояния 1 в состояние 2. При этом его давление уменьшается в два раза. Далее газ адиабатно переводят в состояние 3, при этом объем газа принимает такое же значение, как и в состоянии 1, а давление превышает исходное давление в состоянии 1 в два раза. Схематично изобразив процессы в координатах  $TS$ , определить показатель политропы  $n$  и пояснить теплоэнергетические преобразования в процессах.
- 3.8.** Двухатомный идеальный газ в результате политропного процесса расширяется от состояния 1 до состояния 2. Далее газ изохорно нагревают, при этом подводят количество теплоты, равное  $\frac{1}{3}$  работы расширения в процессе 1–2. Температура после изохорного нагревания станет равной исходной температуре  $T_1$ . Схематично изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$  и определить показатель политропы. Привести схему теплоэнергетических преобразований.
- 3.9.** Трехатомный идеальный газ в результате политропного процесса расширяется от состояния 1 до состояния 2. Далее газ изохорно нагревают, при этом подводят количество теплоты, равное половине работы расширения в процессе 1–2. Температура после изохорного нагревания станет равной исходной температуре  $T_1$ . Схематично изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$  и определить показатель политропы. Привести схему теплоэнергетических преобразований.
- 3.10.** Одноатомный идеальный газ в результате политропного процесса расширяется от состояния 1 до состояния 2. Далее газ изохорно нагревают, при этом подводят количество теплоты, равное  $\frac{2}{3}$  работы расширения в процессе 1–2. Температура после изохорного нагревания станет равной исходной температуре  $T_1$ . Схематично изобразить процессы в координатах  $PV$  и  $TS$  и определить показатель политропы. Привести схему теплоэнергетических преобразований.

#### **Влажный воздух (задачи 4.1–4.10)**

При решении задач 4.1.–4.10. использовать диаграмму  $s$ - $h$  состояний (см. Приложение 3).

**4.1.** 3 кг пара с начальными параметрами  $P_1 = 30$  бар и  $t = 250$  °С расширяется адиабатно с понижением давления до  $P_2 = 8$  бар. Определить температуру  $t_2$ , степень сухости расширенного пара, а также изменение внутренней энергии пара и совершенную работу в этом процессе. Рассчитать данные величины для модели идеального газа и сравнить полученные результаты.

Молярную массу идеального газа принять  $M = 27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

**4.2.** 4 кг пара с начальными параметрами  $P_1 = 40$  бар и  $t = 270$  °С расширяется адиабатно с понижением давления до  $P_2 = 7$  бар. Определить конечную температуру  $t_2$ , степень сухости расширенного пара, изменение внутренней энергии пара и совершенную работу. Рассчитать данные величины для модели идеального газа и сравнить полученные результаты. Молярную

массу идеального газа принять  $M = 27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

**4.3.** 0,6 кг пара с начальными параметрами  $P_1 = 0,2$  бар,  $t_1 = 50$  °С и степенью сухости  $x_1 = 0,96$  адиабатно сжимается с повышением давления до величины  $P_2 = 1,0$  бар.

Определить температуру  $t_2$ , изменение внутренней энергии пара и совершенную работу. Рассчитать данные величины для модели идеального газа и сравнить полученные результаты.

Молярную массу идеального газа принять  $M = 27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

**4.4.** 1,6 кг пара со степенью сухости 0,95 при давлении  $P_1 = 2,0$  бар изотермически расширяется до давления  $P_2 = 0,5$  бар. Определить количество теплоты, подводимой к системе, изменение

внутренней энергии и работу расширения. Считая пар идеальным газом с  $M = 27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ,

повторить расчет для идеального газа и сравнить полученные результаты.

**4.5.** 3,5 кг пара со степенью сухости 0,9 при давлении  $P_1 = 4,0$  бар изотермически расширяется до давления  $P_2 = 1,6$  бар. Определить количество теплоты, подведенной к системе, изменение внутренней энергии и работу расширения. Произвести аналогичный расчет для идеального газа,

принимая, что  $M = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

**4.6.** 1,6 кг пара со степенью сухости 0,91 и при давлении  $P_1 = 6,0$  бар изобарно нагревается до температуры  $t_2 = 190$  °С. Определить количество подведенной теплоты, изменение внутренней энергии и работу, совершенную за процесс, изменение энтропии и энтальпии системы.

**4.7.** 1,9 кг пара со степенью сухости 0,94 и при давлении  $P_1 = 20,0$  бар изобарно нагревается до температуры  $t_2 = 260$  °С. Определить количество подведенной теплоты, изменение внутренней энергии, совершенную работу, изменение температуры, энтропии и энтальпии системы.

**4.8.** 6,5 кг пара со степенью сухости 0,95 и при давлении  $P_1 = 19,0$  бар изохорно нагревается до температуры  $t_2 = 250$  °С. Определить количество подведенной теплоты, изменение внутренней энергии, изменение давления, энтропии и энтальпии системы.

**4.9.** 7,3 кг пара со степенью сухости 0,92 и при давлении  $P_1 = 1,60$  бар изохорно нагревается до температуры  $t_2 = 165$  °С. Определить количество подведенной теплоты, изменение внутренней энергии в этом процессе, изменение энтропии и энтальпии системы.



**4.10.** 1,8 кг пара, степень сухости которого 0,93 и давление  $P_1 = 9,0$  бар, в результате изохорного процесса переходит в состояние с температурой  $t = 200$  °С. Определить подведенную теплоту и изменение внутренней энергии в этом процессе. Какое количество воды перешло в газовую фазу в результате данного процесса?

**Термодинамика газовых потоков (задачи 5.1–5.10)**

*Решение задач 5.1.–5.10. необходимо начинать с формулирования основного закона термодинамики для потока. Проверить условие запираания потока (критическое сечение).*

**5.1.** Азот из компрессора поступает в канал с изменяющимся сечением. Параметры азота на входе канала  $P_1 = 0,2$  МПа,  $T_1 = 320$  К и скорость  $w_1 = 280$  м/с. Давление на выходе канала  $P_2 = 0,12$  МПа, а площадь выходного сечения –  $A = 11,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Показатель адиабаты

рассчитать как для идеального газа. Удельная газовая постоянная  $R_m = 0,296 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , удельная

теплоемкость при постоянном давлении равна  $C_p = 1,035 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость на

выходе канала, объемный и массовый расход газа.

**5.2.** Азот из компрессора поступает в канал с диффузором. Параметры поступающего потока азота:  $P_1 = 0,3$  МПа,  $T_1 = 320$  К и скорость потока  $w_1 = 230$  м/с. Давление на выходе канала  $P_2 = 0,180$  МПа, площадь выходного сечения  $A = 11,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Показатель

адиабаты  $k = 1,4$ . Удельная газовая постоянная  $R_m = 0,296 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , удельная теплоемкость

при постоянном давлении  $C_p = 1,035 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость на выходе канала и расход

газа.

**5.3.** Азот из компрессора поступает в канал с диффузором. Параметры поступающего потока азота:  $P_1 = 0,2$  МПа,  $T_1 = 320$  К и скорость потока  $w_1 = 130$  м/с. Давление на выходе канала  $P_2 = 0,156$  МПа, площадь выходного сечения  $A = 11,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Показатель

адиабаты  $k = 1,4$ . Удельная газовая постоянная  $R_m = 0,296 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , удельная теплоемкость

при постоянном давлении  $C_p = 1,035 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость на выходе канала и расход

газа.

**5.4.** Отработанные газы выпускаются из цилиндра при давлении в цилиндре  $P_1 = 0,55$  МПа и температуре  $t_1 = 1250$  °С. Давление за выпускным каналом  $P_0 = 0,11$  МПа, а площадь сечения канала  $A_2 = 12,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. Принять, что коэффициент скорости  $\varphi_c = 0,86$ , а

коэффициент расхода  $\mu = 0,82$ . Удельная газовая постоянная  $R_m = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , показатель

адиабаты  $k = 1,33$ . Определить скорость истечения, массовый расход выпускных газов, их температуру и плотность на выходе из цилиндра.

5.5. Из сопла Лаваля вытекает газ. Диаметр узкого (критического) сечения сопла равен  $d_{кр} = 5,0 \cdot 10^{-3}$  м. Скорость на входе сопла  $w_1 = 150$  м/с, на выходе  $w_2 = 1300$  м/с.

Параметры воздуха на входе  $P_1 = 14,0$  МПа ;  $t_1 = 850$  °С. Удельная теплоемкость при постоянном давлении  $C_P = 1,003 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , показатель адиабаты  $k = 1,33$ , удельная газовая

постоянная  $R_m = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить давление  $P_2$ , площадь критического сечения

сопла, а также параметры – температуру, плотность и расход воздуха на выходе сопла.

5.6. В центробежном компрессоре происходит адиабатное сжатие воздуха. Показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Удельная работа сжатия составляет  $66,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Температура на входе в рабочее колесо

компрессора  $t_1 = 17$  °С, давление равно 1,1 МПа, а скорость 125 м/с. На выходе температура 42 °С. Изобарная теплоемкость составляет  $1,003 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость воздуха на выходе

из центробежного компрессора. Какое давление установится в резервуаре при адиабатном торможении этого потока?

5.7. В процессе впуска в цилиндр дизеля засасывается атмосферный воздух, имеющий параметры  $P_1^* = 0,1$  МПа и  $t_1 = 27$  °С. Определить давление, которое установится в цилиндре после адиабатного торможения потока, если скорость воздуха на входе в цилиндр 110 м/с, а коэффициент скорости во впускном канале  $\varphi_c = 0,83$ .

5.8. Кислород из компрессора поступает в канал с диффузором. Параметры поступающего потока кислорода:  $P_1 = 0,25$  МПа ,  $T_1 = 315$  К и скорость потока  $330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Давление на выходе

канала  $P_2 = 0,160$  МПа , площадь выходного сечения  $A = 10,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Удельная газовая постоянная  $R_m = 0,268 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , удельная теплоемкость

при постоянном давлении  $C_P = 1,032 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость потока на выходе канала и массовый расход кислорода.

5.9. В центробежном компрессоре происходит адиабатное сжатие азота. Удельная работа сжатия составляет  $66,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Температура на входе в рабочее колесо компрессора  $T_1 = 290$  К,

давление равно 0,8 МПа, а скорость 120 м/с. На выходе температура 310 К. Изобарная теплоемкость составляет  $1,004 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость азота на выходе из центробежного

компрессора. Какое давление установится в резервуаре при адиабатном торможении этого потока?

**5.10.** В центробежном компрессоре происходит адиабатное сжатие кислорода. Удельная работа сжатия составляет  $65,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Температура на входе в рабочее колесо компрессора

$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление равно 0,6 МПа, а скорость 130 м/с. На выходе температура 44 °С.

Изобарная теплоемкость составляет  $1,002 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить скорость кислорода на выходе из центробежного компрессора. Какое давление установится в резервуаре при адиабатном торможении этого потока?

### Термодинамические циклы (задачи 6.1–6.10)

**6.1.** Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура  $T_1$  в режиме изотермического расширения равна 1300 К, а в режиме изотермического сжатия – 420 К. Давление в начале изотермического сжатия составляет 0,05 МПа. При изотермическом расширении рабочему телу сообщается теплота  $q_1 = 37 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . В качестве рабочего тела использован азот с показателем

адиабаты  $k = 1,4$ , газовая постоянная  $R_m = 0,297 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить параметры цикла в

характерных точках, степень сжатия и степень повышения давления, работу за цикл и КПД. Построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$ .

**6.2.** Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура  $T_1$  в режиме изотермического расширения равна 1200 К, а в режиме изотермического сжатия – 395 К. Давление в начале изотермического сжатия составляет 0,07 МПа. При изотермическом расширении рабочему телу сообщается теплота  $q_1 = 48 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . В качестве рабочего тела использован азот с показателем

адиабаты  $k = 1,4$ , газовая постоянная  $R_m = 0,297 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить параметры цикла в

характерных точках, степень сжатия и степень повышения давления, работу за цикл и КПД. Построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$ .

**6.3.** Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура  $T_1$  в режиме изотермического расширения равна 1190 К, а в режиме изотермического сжатия – 380 К. Давление в начале изотермического сжатия составляет 0,08 МПа. При изотермическом расширении рабочему телу сообщается теплота  $q_1 = 38 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . В качестве рабочего тела использован азот с показателем

адиабаты  $k = 1,4$ , газовая постоянная  $R_m = 0,297 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Определить параметры цикла в

характерных точках, степень сжатия и степень повышения давления, работу за цикл и КПД. Построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$ .

**6.4.** Тепловая машина работает по циклу со смешанным подводом тепла (цикл Тринклера) при следующих начальных параметрах: давление в начале адиабатного сжатия  $P_1 = 0,10 \text{ МПа}$ , а температура в этой точке  $T_1 = 290 \text{ К}$ . Рабочее тело воздух – показатель адиабаты  $k = 1,4$ ,

газовая постоянная  $R = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . К рабочему телу подводится тепло в изохорном процессе

$q_V = 350 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , а в изобарном процессе  $q_P = 500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 15$ .

Определить параметры цикла Тринклера в характерных точках, построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$  и рассчитать КПД. Сравните КПД этого цикла с КПД цикла Карно, при том же перепаде температур.

**6.5.** Тепловая машина работает по циклу Тринклера при следующих начальных параметрах: давление в начале адиабатного сжатия  $P_1 = 0,095 \text{ МПа}$ , температура в этой точке  $T_1 = 280 \text{ К}$ . Рабочее тело – воздух (показатель адиабаты  $k = 1,4$ , газовая постоянная

$R = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ), к нему подводится тепло в изохорном процессе  $q_V = 450 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , а в

изобарном процессе  $q_P = 600 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 18$ . Определить параметры цикла

Тринклера в характерных точках, построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$  и рассчитать его КПД. Сравните КПД этого цикла с КПД цикла Карно, при том же перепаде температур.

**6.6.** Тепловая машина работает по циклу Тринклера при следующих начальных параметрах: давление в начале адиабатного сжатия  $P_1 = 0,09 \text{ МПа}$ , а температура в этой точке равна  $T_1 = 282 \text{ К}$ . Рабочее тело – воздух (показатель адиабаты  $k = 1,4$ , газовая постоянная

$R = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ). В изохорном процессе подводится тепло  $q_V = 350 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , а в изобарном

процессе  $q_P = 550 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 19$ . Определить параметры цикла Тринклера в

характерных точках, построить цикл в координатах  $PV$  и  $TS$  и рассчитать его КПД. Сравните КПД этого цикла с КПД цикла Карно, при том же перепаде температур.

**6.7.** Тепловая машина работает по циклу Отто. Давление и температура в начале адиабатного сжатия равны соответственно  $P_1 = 0,11 \text{ МПа}$ ,  $T_1 = 290 \text{ К}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 10$ . В качестве рабочего тела использован воздух. Определить работу за цикл, подведенную теплоту, термодинамические параметры в характерных точках, КПД цикла и построить цикл в координатах

$PV$  и  $TS$ . Учесть, что удельная теплоемкость равна  $C_V = 0,719 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , а степень повышения

давления  $\lambda = 2,5$ .

**6.8.** Тепловая машина работает по циклу Отто. Давление и температура в начале адиабатного сжатия равны соответственно  $P_1 = 0,12 \text{ МПа}$ ,  $T_1 = 295 \text{ К}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 11$ . В качестве рабочего тела использован воздух. Определить работу за цикл, подведенную теплоту, термодинамические параметры в характерных точках, КПД цикла и построить цикл в координатах

$PV$  и  $TS$ . Учесть, что удельная теплоемкость равна  $C_V = 0,72 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , а степень повышения

давления  $\lambda = 2,3$ .

**6.9.** Тепловая машина работает по циклу Дизеля. Давление и температура в начале адиабатного сжатия равны соответственно  $P_1 = 0,11 \text{ МПа}$ ,  $T_1 = 290 \text{ К}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 18$ . В качестве рабочего тела использован воздух. Определить работу за цикл, подведенную теплоту, термодинамические параметры в характерных точках, КПД цикла и построить цикл в координатах

$PV$  и  $TS$ . Учесть, что удельная теплоемкость равна  $C_p = 1,007 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , а степень

предварительного расширения  $\rho = 2,5$ .

**6.10.** Тепловая машина работает по циклу Дизеля. Давление и температура в начале адиабатного сжатия равны соответственно  $P_1 = 0,09 \text{ МПа}$ ,  $T_1 = 285 \text{ К}$ . Степень сжатия  $\varepsilon = 19,5$ . В качестве рабочего тела использован воздух. Определить работу за цикл, подведенную теплоту, термодинамические параметры в характерных точках, КПД цикла и построить цикл в координатах

$PV$  и  $TS$ . Учесть, что удельная теплоемкость равна  $C_p = 1,007 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ , а степень

предварительного расширения  $\rho = 3,0$ .

## 6. КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### 6.1 Оцениваемые компетенции ОПК-18

**6.2 Форма контроля:** текущий контроль (ТК) выполняется в виде устного или письменного опроса. Опрос проводится по контрольным вопросам к разделам дисциплин. Во время опроса обучающимся будет задано два вопроса, на которые они должны дать ответы.

### 6.3 Критерии оценивания

- правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);
- полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);
- сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);
- логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);
- рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);
- своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный материал);
- использование дополнительного материала (обязательное условие);
- рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей обучающихся).

### Шкала оценивания

- 85–100 баллов – при правильном и полном ответе на два вопроса;
- 65–84 баллов – при правильном и полном ответе на один из вопросов и правильном, но не полном ответе на другой из вопросов;
- 25–64 баллов – при правильном и неполном ответе только на один из вопросов;
- 0–24 баллов – при отсутствии правильных ответов на вопросы.

Количество баллов	0..64 баллов	65..100
Шкала оценивания	не зачтено	зачтено

#### **6.4 Содержание самостоятельной работы:**

1. Ознакомление с содержанием основной и дополнительной литературы, методических материалов, конспектов лекций для подготовки к опросу по контрольным вопросам (6.5). Оформление отчетов по лабораторным работам (см. 5.1)
2. Подготовка к промежуточной аттестации.

#### **6.5 Вопросы для опроса**

##### **1. Законы термодинамики**

1. Основные понятия термодинамики: макроскопические системы, макроскопические параметры, стационарные параметры, однородные и неоднородные системы, фаза, компонент.
2. Внутренние и внешние параметры системы.
3. Постулаты термодинамики.
4. Равновесные и неравновесные термодинамические процессы.
5. Внутренняя энергия.
6. Работа и теплота.
7. Термические уравнения состояния.
8. Калорические уравнения состояния.
9. Уравнение состояния идеального газа.
10. Уравнение состояния реального газа.
11. Удельный объем.
12. Давление. Измерение давления.
13. Температура. Измерение температуры.
14. Парциальные параметры газов и смесей.
15. Первое начало термодинамики.
16. Теплоемкость удельная, молярная, при постоянном объеме (давлении).
17. Второе начало термодинамики.
18. Основное уравнение термодинамики равновесных процессов.
19. Физический смысл и вычисления энтропии.
20. Третье начало термодинамики и следствия из него.

##### **2. Термодинамические циклы.**

1. Термодинамические циклы. КПД цикла.
2. Прямой цикл Карно. КПД цикла Карно.
3. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент.
4. Цикл Отто.
5. Цикл Дизеля.
6. Цикл газотурбинной установки.
7. Цикл паросиловой установки.

##### **3. Методы термодинамики**

1. Метод круговых процессов.
2. Метод термодинамических потенциалов.
3. Энергия Гельмгольца.
4. Энергия Гиббса
5. Энтальпия.

##### **4. Влажный воздух.**

1. Абсолютная и относительная влажность воздуха.
2. Точка росы.
3. Удельное и молярное влагосодержание.
4. Плотность влажного воздуха.

5. Удельная энтальпия влажного и пересыщенного воздуха.
6. Процессы с влажным воздухом.
7. Процессы образования пара.
8. h-s диаграмма состояния.
9. Изобарный процесс с водяным паром.
10. изотермический процесс с водяным паром.
11. Изохорный процесс с водяным паром.
12. Изоэнтропийный процесс с водяным паром.

#### **5. Термодинамика газовых потоков.**

1. Параметры газового потока.
2. Первый закон термодинамики для газового потока.
3. Скорость звука в данной среде.
4. Критические параметры газового потока.
5. Число Маха.
6. Сопла и диффузоры.
7. Объемный и массовый расход газа.
8. Сопло Лавая.

#### **6. Передача тепла.**

1. Виды теплопередачи.
2. Закон Фурье.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Граничные условия первого рода.
5. Граничные условия второго рода.
6. Граничные условия третьего рода.
7. Граничные условия четвертого рода.
8. Изменение температуры при распространении тепла через однослойную плоскую стенку.
9. Тепловая проводимость и термическое сопротивление стенки.
10. Плотность теплового потока при передаче тепла через плоскую стенку.
11. Плотность теплового потока при передаче тепла через многослойную плоскую стенку.
12. Плотность теплового потока при передаче тепла через цилиндрическую стенку.
13. Коэффициент теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки.
14. Конвективная теплопередача.
15. Дифференциальное уравнение переноса тепла за счет конвекции и теплопроводности.
16. Критерии подобия.
17. Теоремы подобия.

#### **7. Элементы химической термодинамики. Топливо и основы горения.**

1. Виды химических реакций.
2. Тепловой эффект при химической реакции.
3. Закон Гесса и следствия из него.
4. Закон Кирхгофа.
5. Константы равновесия.
6. Закон действующих масс.
7. Виды и характеристики топлива.
8. Состав различных видов топлива

#### **8. Компрессоры**

1. Классификация компрессоров.
2. PV диаграмма поршневого одноступенчатого компрессора.
3. Двух ступенчатые и многоступенчатые компрессоры.
4. Лопаточные компрессоры.

## 9. Теплообменные аппараты.

1. Классификация теплообменных аппаратов.
2. Виды расчетов рекуперативных ТООА.
3. Коэффициент теплопередачи ТООА.
4. Схемы движения теплоносителей.

## 7. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Оцениваемые компетенции: ОПК-18

**7.1. Форма промежуточной аттестации:** зачет в виде устного или письменного опроса обучающихся.

**7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине «Теплотехника» проводится в соответствии с ОПОП и является обязательной.

Формой промежуточной аттестации является зачет в процессе которого определяется сформированность обозначенных в рабочей программе компетенций. Инструментом измерения сформированности компетенций являются утвержденные отчеты по лабораторным работам, зачетный опрос по контрольным вопросам или итоговый тест. Обучающийся сдает зачет, если присутствуют все указанные элементы.

В случае наличия учебной задолженности, обучающийся самостоятельно выполняет лабораторные работы, оформляет по ним отчет, проходит тестирование.

Инструментом измерения результатов обучения по дисциплине является устный или письменный ответ обучающегося на два теоретических вопроса.

### 7.3. Критерии и шкала оценивания

#### Критерии оценивания:

- степень полноты, точности, самостоятельности ответов на вопросы и задания из экзаменационного билета;
- качество изложения программного материала при ответе на основные и дополнительные вопросы экзаменатора;
- способность увязывать теорию с практикой;
- использование в ответе материала разнообразных литературных источников.

- 85–100 баллов – при правильном и полном ответе на два вопроса;
- 65–84 баллов – при правильном и полном ответе на один из вопросов и правильном, но не полном ответе на другой из вопросов;
- 50–64 баллов – при правильном и неполном ответе только на один из вопросов;
- 0–49 баллов – при отсутствии правильных ответов на вопросы.

#### Шкала оценивания

Количество баллов	0-49	50-64	65-84	85-100
	Не зачтено		Зачтено	

### 7.3. Вопросы для подготовки к зачету.

1. Термодинамическая система: изолированная, замкнутая, открытая, адиабатная. Параметры системы интенсивные и экстенсивные.

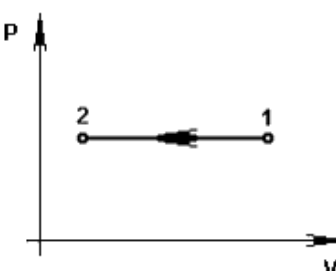


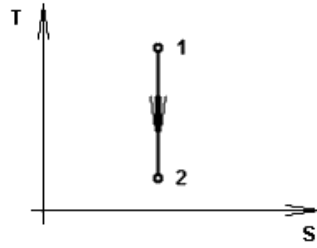
2. Уравнения состояния идеального и реального газа.
3. Теплоемкость идеальных газов и их смесей.
4. Работа и теплота
5. Термодинамические процессы: изотермический, изобарный, адиабатный, политропный.
6. Сущность первого закона термодинамики. Аналитическое выражение и формулировка первого закона термодинамики
7. Второй закон термодинамики.
8. Пар насыщенный и перегретый, его производство. Диаграмма S-h-состояния для водяного пара.
9. Влажный воздух и его параметры.
10. Необратимые термодинамические процессы. Опыт Джоуля – Томсона
11. Термодинамические циклы ДВС, газотурбинных и паросиловых установок
12. Уравнение первого закона термодинамики для газового потока.
13. Скорость и массовый расход газа в соплах и диффузорах.
14. Сопло Лавалю.
15. Передача тепла через плоскую и цилиндрическую стенку.
16. Уравнение теплопроводности.
17. Конвективная передача тепла.
18. Виды и характеристики топлива. Состав различных видов топлива.
19. Законы Гесса и Кирхгофа.
20. Цикл компрессора: характеристики действительного цикла, понятие о многоступенчатом сжатии.
21. Интенсификация теплообмена. Типы теплообменных аппаратов..

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

### Дисциплина Теплотехника

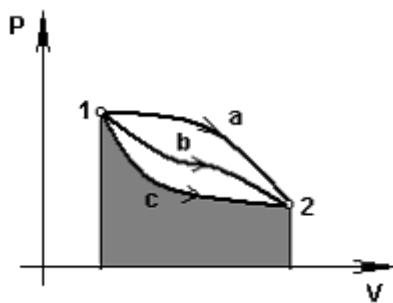
специальность/направление подготовки 21.05.04 Горное дело/03 Открытые горные работы  
год набора 2022

<p><b>ОПК -18</b></p>	<p><b>Знать</b></p>	<p>1. Температура и удельный объем в процессе 1 – 2, показанном на рисунке, соответственно ...</p>  <p>1) уменьшается и уменьшается 2) увеличивается и уменьшается 3) увеличивается и увеличивается 4) уменьшается и увеличивается</p> <p>2. Удельный объем и энтропия в процессе, изображенном на рисунке 1 - 2 соответственно ...</p>
---------------------------	---------------------	--



- 1) увеличивается, не изменяется
- 2) уменьшается, не изменяется
- 3) не изменяется, увеличивается
- 4) не изменяется, уменьшается

3. Площадь под линией процесса с, показанная на графике, является ...



- 1) работой расширения
- 2) работой сжатия
- 3) количеством теплоты
- 4) изменением внутренней энергии

4. Объемная теплоемкость по известной массовой вычисляется по формуле ...

- 1)  $c' = c \cdot \rho$
- 2)  $c' = c / \rho$
- 3)  $c' = c \cdot \mu$
- 4)  $c' = c / \mu$

5. Механическая смесь сухого воздуха и водяного пара, называется ...

- 1) **влажным воздухом**
- 2) ненасыщенным влажным воздухом
- 3) газом
- 4) паром

6. При адиабатическом сжатии идеального газа...

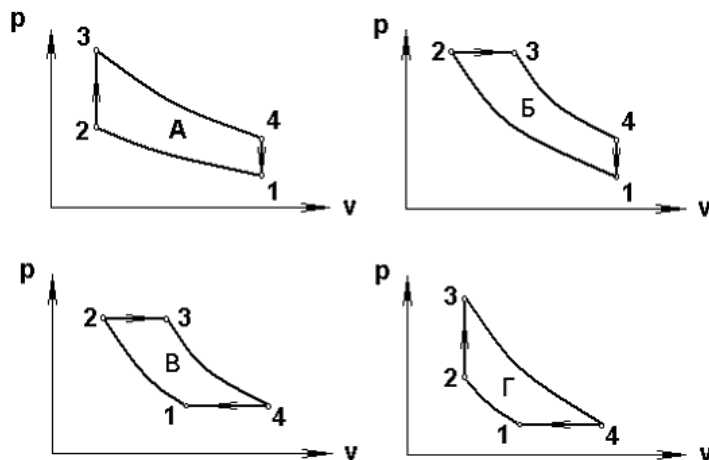
- 1) температура не изменяется, энтропия возрастает;
- 2) температура возрастает, энтропия убывает;
- 3) **температура возрастает, энтропия не изменяется;**
- 4) температура и энтропия возрастает

7. Если  $dF$  – изменение площади сечения вдоль сопла Лавалья, то сопло суживается при условии ...

- 1)  $dF < 0$
- 2)  $dF > 0$

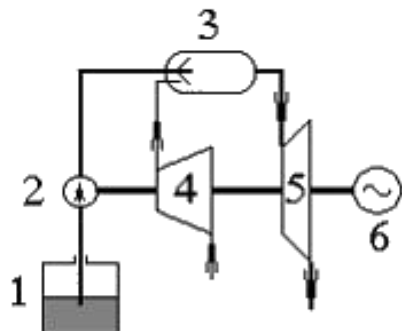
- 3)  $dF = 0$   
 4)  $dF \geq 0$

8. Цикл карбюраторного ДВС представлен на графике, обозначенном буквой ...



- 1) А  
 2) Б  
 3) В  
 4) Г

9. В схеме газотурбинной установки, представленной на рисунке, элементы 2 и 6 соответствуют ...



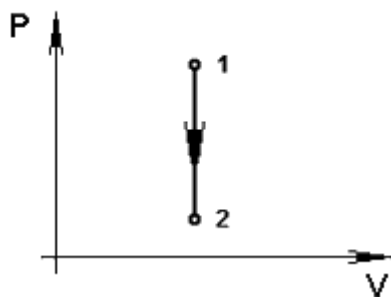
- 1) 2 – топливному насосу, 6 – электрическому генератору  
 2) 2 – топливному баку, 6 – газовой турбине  
 3) 2 – компрессору, 6 – электрическому генератору  
 4) 2 – камере сгорания, 6 – компрессору

10. Формула закона Фурье имеет вид ...

- 1)  $q = -\lambda \cdot gradT$   
 2)  $q = -gradT$   
 3)  $q = -\lambda / gradT$   
 4)  $q = -1/(\lambda \cdot gradT)$

Уметь

1. Если  $T_1 = 400\text{ K}$ ,  $T_2 = 40\text{ K}$ ,  $P_2 = 1\text{ кПа}$ , то в процессе 1 – 2, показанном на рисунке, давление в точке 1 равно \_\_\_\_\_ кПа.

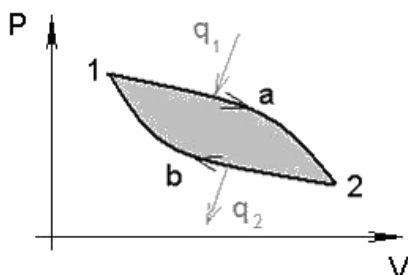


- 1) 10
- 2) 0,1
- 3) 1000
- 4) 0,001

2. Если  $u = 100$  Дж/кг,  $p = 5$  кПа,  $v = 1$  м<sup>3</sup>/кг, то удельная энтальпия рабочего тела равна \_\_\_\_\_ Дж/кг.

- 1) 5100
- 2) 5,1
- 3) 105
- 4) 106

3. Если  $q_1 = 1000$  кДж/кг,  $q_2 = 200$  кДж/кг, то термический КПД цикла, представленного на графике, равен \_\_\_\_\_ %.

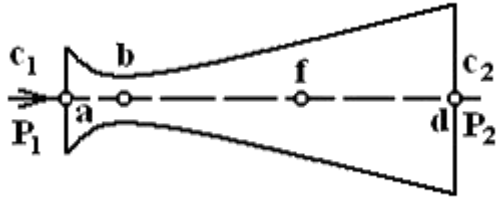


- 1) 80
- 2) - 400
- 3) 20
- 4) 100

4. Смесь идеальных газов состоит из двух компонентов. Их парциальные давления равны  $p_1 = 1000$  Па,  $p_2 = 100$  Па. Полное давление смеси в кПа равно ...

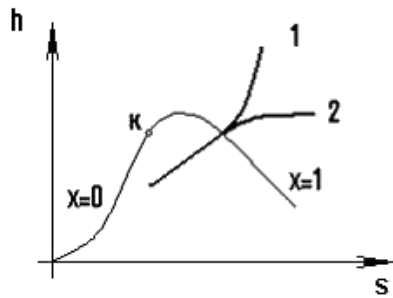
- 1) 1,1
- 2) 1
- 3) 0,9
- 4) 110

5. Если на входе в сопло Лавала  $c < a$ , где  $a$  – местная скорость звука, то на участке b – d сопла поток ...



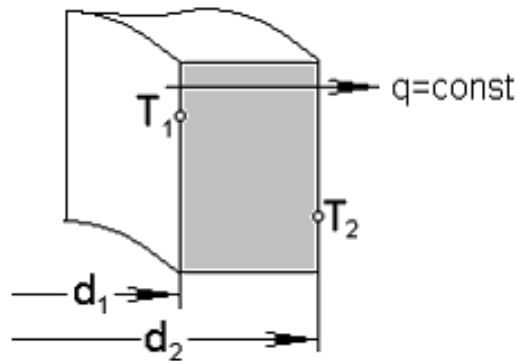
- 1) ускоряется
- 2) не изменяется
- 3) тормозится
- 4) не изменяется или тормозится

6. Изображенные на графике процессы водяного пара 1 и 2 являются ...



- 1) 1 – изобарный, 2 – изотермический
- 2) 2 – изобарный, 1 – изотермический
- 3) 1 – изобарный, 2 – изохорный
- 4) 1 – изобарный, 2 – адиабатный

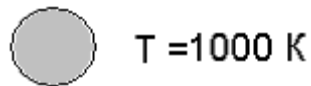
7. Если  $\ell = 1 \text{ м}$ ,  $\ln \frac{d_2}{d_1} = 2$ ,  $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м·К)}$  , то термическое сопротивление цилиндрической стенки  $R$  равно ...



- 1)  $\frac{20}{\pi}$
- 2)  $20\pi$
- 3)  $2\pi$
- 4)  $\frac{2}{\pi}$

8. Если излучательная способность серого тела  $E = 5000 \text{ Вт/м}^2$  , то

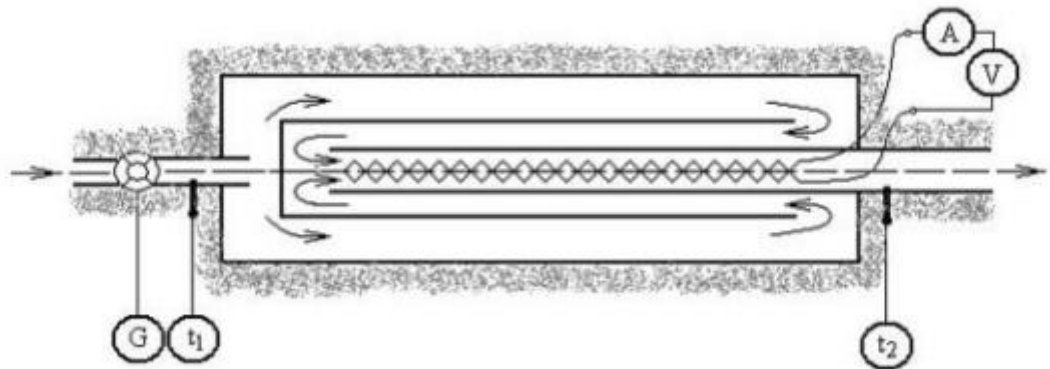
коэффициент излучения тела в Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>) равен ...



- 1) 0,5
- 2) 2
- 3) 5,67
- 4) 4

**Владеть**

1. В проточном теплоизолированном калориметре с самоулавливанием тепловых потерь протекает газ.



Результаты измерений:  $U=201 \text{ В}$ ,  $I=5 \text{ А}$ ,  $G=0,1 \text{ кг/с}$ .

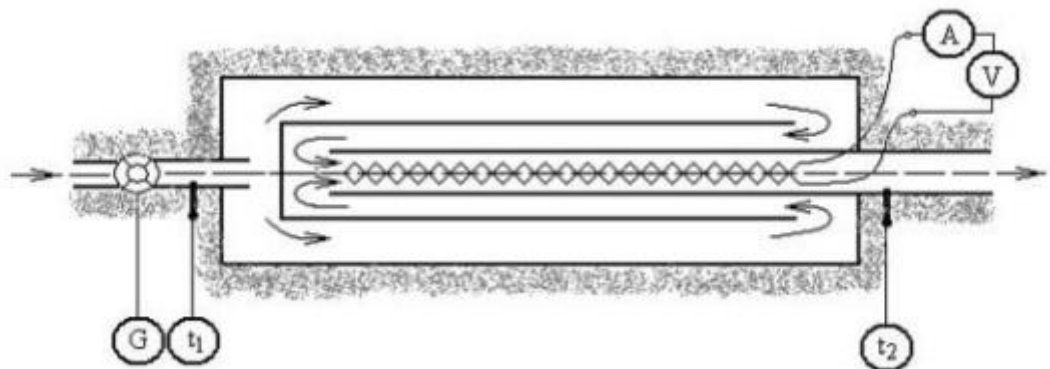
Задание:

Если протекающий через калориметр лабораторной установки гелий (He) можно считать идеальным газом, то  $c_p - c_v = \underline{\hspace{2cm}}$  Дж/(кг·К).

Укажите один вариант ответа.

- 1) 287
- 2) 461,6
- 3) 488,2
- 4) 296,8

2. В проточном теплоизолированном калориметре с самоулавливанием тепловых потерь протекает газ.



Результаты измерений:  $U=201 \text{ В}$ ,  $I=5 \text{ А}$ ,  $G=0,1 \text{ кг/с}$ .

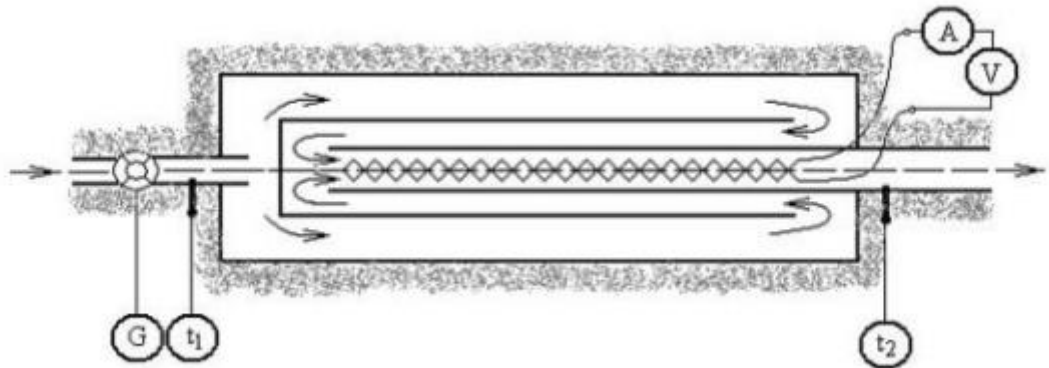
Задание:

При проведении лабораторного эксперимента принимают, что...

Выберите не менее двух вариантов.

- 1)  $l_{техн} \approx 0$
- 2)  $l_{техн} \neq 0$
- 3)  $\frac{c_2^2}{2000} - \frac{c_1^2}{2000} \approx 0$
- 4)  $\frac{c_2^2}{2000} - \frac{c_1^2}{2000} \neq 0$

3. В проточном теплоизолированном калориметре с самоулавливанием тепловых потерь протекает газ.



Результаты измерений:  $U=201$  В,  $I=5$  А,  $G=0,1$  кг/с.

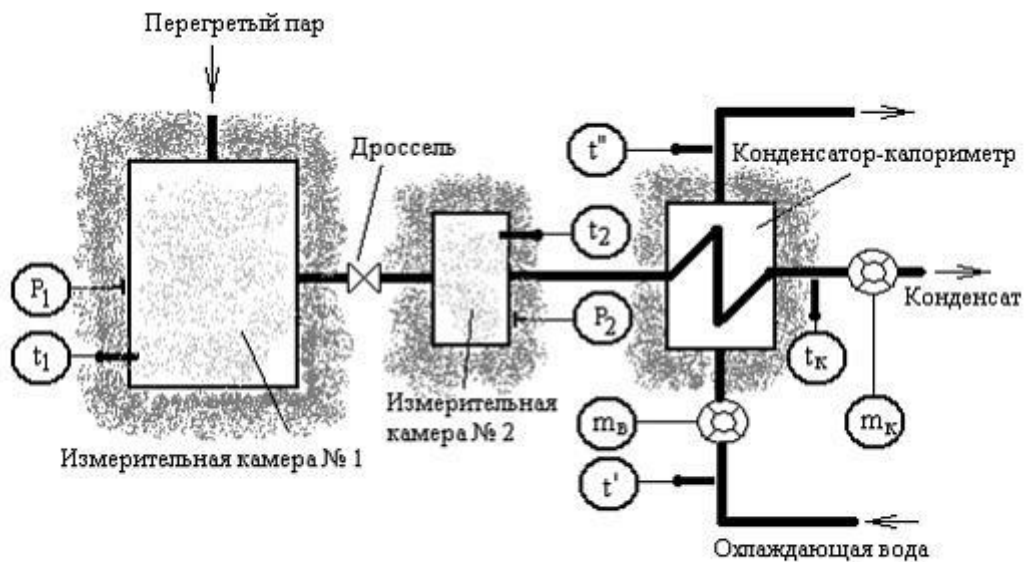
Задание:

Разность энтальпий воздуха в проточном калориметре равна \_\_\_\_\_ кДж/кг.

Результат вычислений округлить до сотых.

**10,05**

4.



В первой измерительной камере измеряются температура и давление перегретого пара. Далее пар поступает в дроссельный вентиль, где происходит его дросселирование до давления, близкого к атмосферному. Во второй измерительной камере измеряются параметры насыщенного пара после

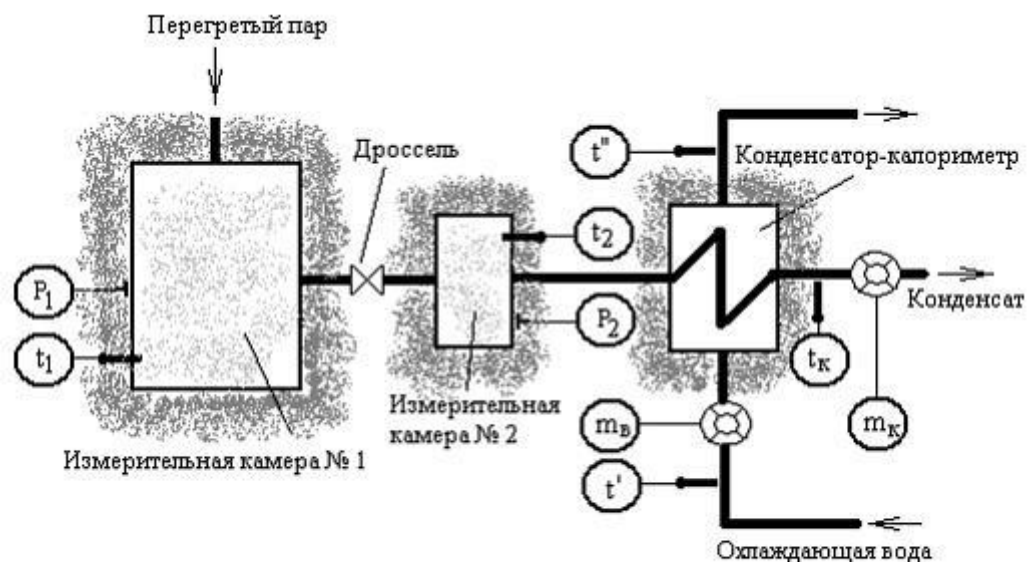
дросселирования. В конденсаторе-калориметре происходит конденсация пара. Показания

приборов:  $P_1 = 20 \text{ МПа}$ ,  $t_1 = 375^\circ\text{C}$ ,  $P_{2S} = 1,6 \text{ МПа}$ ,  $t_{2S} = 347,4^\circ\text{C}$ ,  
 $x_2 = 0,95$ ,  $h_{\kappa} = 417,44 \text{ кДж/кг}$ ,  $m_{\text{в}} = 4,5 \text{ кг}$ ,  $m_{\kappa} = 0,299 \text{ кг}$ ,  
 $t' = 20^\circ\text{C}$ ,  $t'' = 35^\circ\text{C}$ ,  $c_p = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ .

Энтальпия  $m$  кг перегретого пара в измерительной камере 1 вычисляется по формулам ...

- 1)  $H_1 = m/h_1$
- 2)  $H_1 = m \cdot (u_1 + p_1 \cdot v_1)$
- 3)  $H_1 = m \cdot h_1$
- 4)  $H_1 = m \cdot (u_1 - p_1 \cdot v_1)$

5.



В первой измерительной камере измеряются температура и давление перегретого пара. Далее пар поступает в дроссельный вентиль, где происходит его дросселирование до давления, близкого к атмосферному. Во второй измерительной камере измеряются параметры насыщенного пара после дросселирования. В конденсаторе-калориметре происходит конденсация пара. Показания

приборов:  $P_1 = 20 \text{ МПа}$ ,  $t_1 = 375^\circ\text{C}$ ,  $P_{2S} = 1,6 \text{ МПа}$ ,  $t_{2S} = 347,4^\circ\text{C}$ ,  
 $x_2 = 0,95$ ,  $h_{\kappa} = 417,44 \text{ кДж/кг}$ ,  $m_{\text{в}} = 4,5 \text{ кг}$ ,  $m_{\kappa} = 0,299 \text{ кг}$ ,  
 $t' = 20^\circ\text{C}$ ,  $t'' = 35^\circ\text{C}$ ,  $c_p = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ .



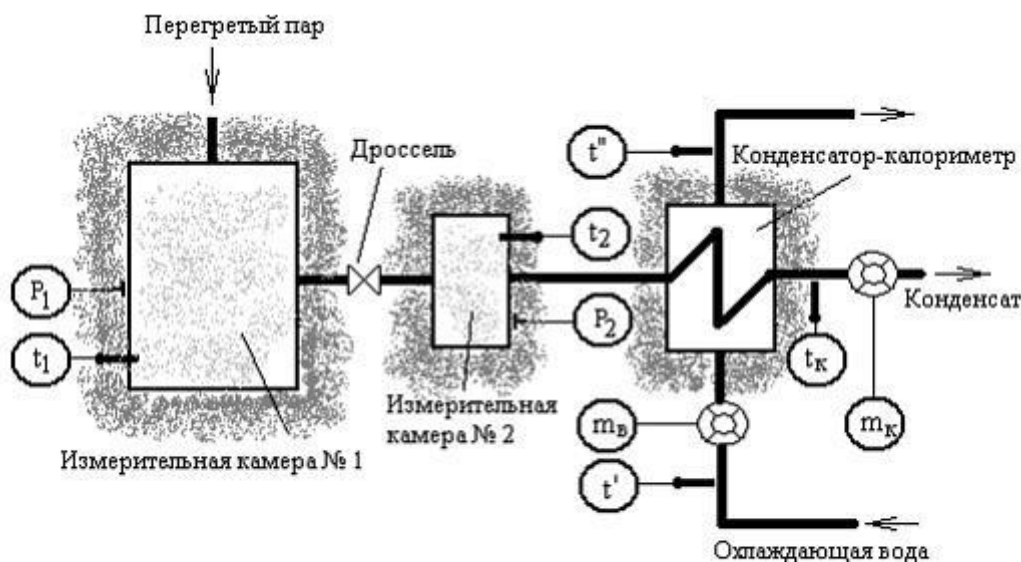
$p, \text{Па}$	$t, \text{°C}$	$h, \text{кДж/кг}$
$2,0 \cdot 10^5$	375	3215,0
$2,0 \cdot 10^6$	375	3182,1
$2,0 \cdot 10^7$	375	2602,4

Энтальпия перегретого пара в измерительной камере № 1, найденная по таблице теплофизических свойств воды и водяного пара, равна           $\text{кДж / кг}$ .

(Результат округлить до целых.)

- 1) 2600
- 2) 3215
- 3) 3182
- 4) **2602**

6.



В первой измерительной камере измеряются температура и давление перегретого пара. Далее пар поступает в дроссельный вентиль, где происходит его дросселирование до давления, близкого к атмосферному. Во второй измерительной камере измеряются параметры насыщенного пара после дросселирования. В конденсаторе-калориметре происходит конденсация пара. Показания

приборов:  $P_1 = 20 \text{ МПа}, t_1 = 375 \text{ °C}, P_{2S} = 1,6 \text{ МПа}, t_{2S} = 347,4 \text{ °C},$   
 $x_2 = 0,95, h_k = 417,44 \text{ кДж/кг}, m_в = 4,5 \text{ кг}, m_k = 0,299 \text{ кг},$   
 $t' = 20 \text{ °C}, t'' = 35 \text{ °C}, c_p = 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}.$

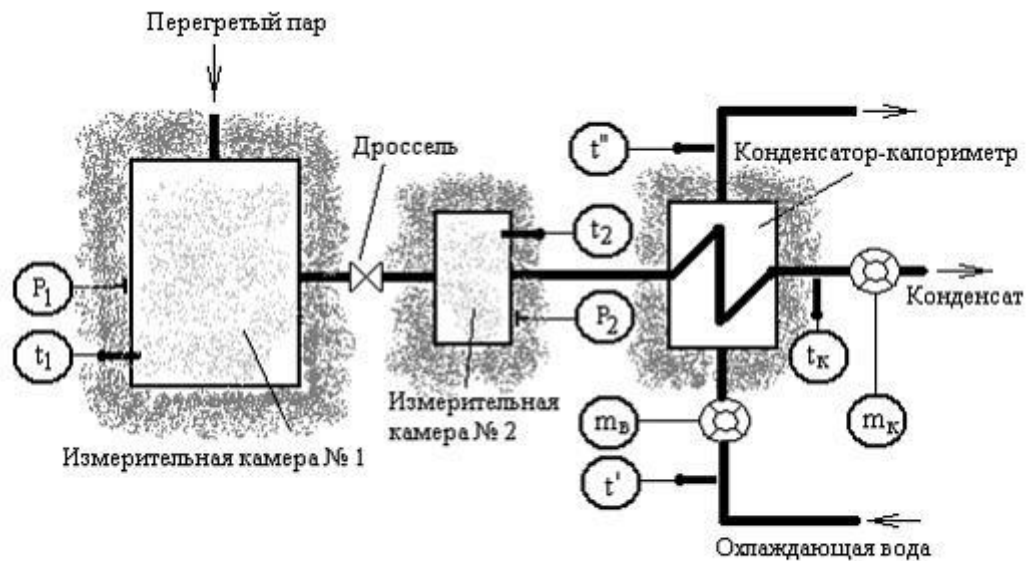
В процессе дросселирования пара в лабораторной установке ...

Выберите не менее 2-х вариантов ответа.

- 1) температура увеличивается
- 2) давление увеличивается
- 3) **температура уменьшается**

4) давление уменьшается

7.



В первой измерительной камере измеряются температура и давление перегретого пара. Далее пар поступает в дроссельный вентиль, где происходит его дросселирование до давления, близкого к атмосферному. Во второй измерительной камере измеряются параметры насыщенного пара после дросселирования. В конденсаторе-калориметре происходит конденсация пара. Показания

приборов:  $P_1 = 20 \text{ МПа}, t_1 = 375^\circ\text{C}, P_{2S} = 1,6 \text{ МПа}, t_{2S} = 347,4^\circ\text{C},$   
 $x_2 = 0,95, h_{\kappa} = 417,44 \text{ кДж/кг}, m_{\sigma} = 4,5 \text{ кг}, m_{\kappa} = 0,299 \text{ кг},$   
 $t' = 20^\circ\text{C}, t'' = 35^\circ\text{C}, c_p = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$

Удельная энтальпия пара в измерительной камере 1 (2) представляет собой функцию вида ...

Выберите не менее 2-х вариантов ответа.

- 1)  $h_2 = u_2 + p_2 \cdot v_2$
- 2)  $h_1 = u_1 - p_1 \cdot v_1$
- 3)  $h_1 = u_1 + p_1 \cdot v_1$
- 4)  $h_2 = u_2 - p_2 \cdot v_2$