



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник УРОПС

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе модуля)

**«ТЕПЛОТЕХНИКА»**

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата  
по направлению подготовки

**15.03.04 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

ИНСТИТУТ

Институт цифровых технологий

РАЗРАБОТЧИК

Кафедра энергетики

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
<p>ОПК-7: Способен применять современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.</p>	<p>ОПК-7.2: Использует знания в области теплотехники необходимыми для применения рационального использования энергетических ресурсов.</p>	<p>Теплотехника</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты,</li> <li>- калорические и переносные свойства вещества;</li> <li>- термодинамические процессы и циклы преобразования энергии в тепловых машинах, агрегатах и устройствах;</li> <li>- законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы</li> </ul> <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД;</li> <li>- рассчитывать температурные поля и передаваемые тепловые потоки в теплоносителях и элементах конструкций тепловых и технологических установок с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения оптимального режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты</li> </ul> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах;</li> <li>- навыками определения параметров работы теплосиловых и холодильных установок и их эффективности;</li> <li>- основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и технологического оборудования;</li> </ul>

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
			- типовыми методиками расчета теплообменных аппаратов

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- индивидуальные задания по отдельным темам (для очной формы обучения);
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам;
- тестовые задания по отдельным темам дисциплины.

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся:

- задания для контрольной работы (для заочной формы обучения);
- экзаменационные вопросы по дисциплине.

## 3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 *Индивидуальные задания* по отдельным темам дисциплины разработаны кафедрой и изданы в виде отдельной брошюры внутривузовского издания (см.: Теоретические основы теплотехники: методические указания и индивидуальные задания для СРС / В.В. Селин, Е.А. Беркова; КГТУ. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 38 с.).

К решению предлагаются задачи по двум разделам: техническая термодинамика и теория теплообмена. Первый раздел включает 41 задачу по 11 темам, второй раздел – 16 задач по четырем темам. Для самостоятельного решения разработано 30 вариантов заданий. Каждому студенту вариант задания и номера задач определяются преподавателем. В четвертом семестре студенты выполняют индивидуальные задания (16 задач) по темам 1.1, 1.2, 1.4-1.6, 1.9 и 1.10 из первого раздела и 2.1, 2.2 и 2.4 из второго раздела методических указаний (Приложение №1).

Консультации по выполнению индивидуальных заданий и проверка их выполнения проводятся преподавателями в часы индивидуальных консультаций. По результатам бесе-

дований студент, самостоятельно выполнивший задания и продемонстрировавший понимание физического смысла рассмотренных процессов, получает оценку «зачтено».

3.2 *Задания по лабораторным работам* выдаются в лаборатории. Перед началом выполнения работы студент изучает задание и после краткой беседы с преподавателем приступает к её выполнению. По окончании работы студент предварительно знакомит преподавателя с полученными результатами и получает его согласие на оформление отчета, которое осуществляется во внеаудиторное время.

Защита отчета проводится либо на очередном лабораторном занятии, либо в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя. Студент, защитивший отчёты по всем лабораторным работам с ответами на контрольные вопросы, получает оценку «зачтено», которая является одним из условий допуска к промежуточной аттестации по дисциплине – экзамену. Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам представлены в Приложении № 2.

3.3 Тестовые задания по дисциплине представлены в Приложении № 3.

Целью тестирования является закрепление, углубление и систематизация знаний студентов, полученных на занятиях и в процессе самостоятельной работы; проведение тестирования позволяет ускорить контроль за усвоением знаний и объективизировать процедуру оценки знаний студента. Оценивание осуществляется по следующим критериям:

«зачтено» – 41-100 % правильных ответов на заданные вопросы;

«не зачтено» – 0-40 % правильных ответов.

Универсальная система оценивания результатов обучения, приведенная в таблице 2, включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100 - балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

## **4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

4.1 *Задания для контрольной работы* по отдельным темам дисциплины выдаются студентам заочной формы обучения в четвертом семестре с целью контроля качества их самостоятельной работы. Контрольная работа предполагает решение шести задач по темам: 1.4 Термодинамические процессы для идеального газа, 1.6 Реальные газы и пары, 1.9 Циклы теплосиловых установок, 2.1 Теплопроводность, 2.2 Конвективный теплообмен, 2.4 Теплопередача и теплообменные аппараты (см.: Теоретические основы теплотехники: методиче-

ские указания и индивидуальные задания для СРС / В.В. Селин, Е.А. Беркова; КГТУ. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 38 с.). Для самостоятельного решения разработано 30 вариантов заданий. Каждому студенту вариант задания и номера задач определяются преподавателем (Приложение №1).

Выполненные контрольные задания студенты сдают на проверку преподавателю, который делает замечания по их выполнению и пишет рецензию. В случае отсутствия серьёзных замечаний студент допускается к защите контрольной работы. При наличии серьёзных замечаний работа направляется на доработку. Защита проводится в часы индивидуальных консультаций преподавателя. Студент, самостоятельно выполнивший задание и обнаруживший понимание физического смысла рассмотренных процессов, получает оценку «зачтено», которая является одним из условий допуска к промежуточной аттестации по дисциплине – экзамену.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в четвертом семестре в форме экзамена. К экзамену допускаются студенты, получившие положительную оценку по результатам практических занятий, лабораторных занятий и самостоятельной работы. Экзамен по дисциплине проводится при условии выполнения всех индивидуальных заданий или контрольной работы (для студентов заочной формы обучения), успешной защиты лабораторных работ и прошедшие контроль на практических занятиях (тесты).

4.3 Экзаменационный билет содержит три вопроса (два – по технической термодинамике и один – по тепломассообмену), относящиеся соответственно к темам:

- основные понятия, определения и законы термодинамики, идеальный газ и его свойства, термодинамические процессы для идеального газа;
- реальный газ и его свойства, циклы теплосиловых и холодильных установок;
- тепломассообмен.

#### **Типовые экзаменационные вопросы:**

1. Предмет и метод термодинамики. Энергия и её виды. Работа и теплота как формы преобразования энергии. Термодинамическая система и окружающая среда.

2. Термодинамические параметры. Основные термические параметры. Термическое уравнение состояния. Термодинамическая поверхность. Термодинамическое равновесие. Термодинамические процессы. Процессы обратимые и необратимые.

3. Калорические параметры и их свойства. Внутренняя энергия и энтальпия. Вид калорических уравнений состояния.

4. Первый закон термодинамики и его аналитические выражения.

5. Вычисление работы процесса. Работа изменения объёма. Работа проталкивания. Располагаемая работа. Графическое определение работы. Рабочая диаграмма.
6. Вычисление теплоты процесса. Теплоёмкость. Энтропия. Тепловая диаграмма.
7. Идеальный газ и его свойства. Уравнение состояния идеального газа. Вид калорических уравнений состояния для идеального газа. Отношение теплоёмкостей. Энтропия идеального газа.
8. Смеси идеальных газов. Газовая постоянная и средняя молярная масса смеси. Теплоёмкости смеси.
9. Изохорный процесс для идеального газа. Изобарный процесс для идеального газа.
10. Изотермический процесс для идеального газа. Адиабатный процесс для идеального газа.
11. Политропные процессы для идеального газа, общая характеристика. Графическое представление процессов в рабочей и тепловой диаграммах.
12. Основные положения и формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические схемы теплосиловой и холодильной установок. Термический КПД и холодильный коэффициент.
13. Прямые и обратные циклы. Прямой обратимый цикл Карно. Обратный обратимый цикл Карно.
14. Математические выражения второго закона термодинамики. Интегралы Клаузиуса. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.
15. Уравнение состояния реальных газов. Основные свойства чистых веществ. Фазовые переходы. Критические параметры вещества. Тройная точка. Фазовая диаграмма  $p$ - $T$ .
16. Диаграмма  $p$ - $v$  для воды и пара. Теплота парообразования и теплота конденсации.
17. Определение параметров жидкости, сухого насыщенного, влажного и перегретого паров с помощью таблиц. Степень сухости и степень влажности.
18. Диаграмма  $T$ - $s$  для воды и пара. Графическое изображение процессов нагрева жидкости, парообразования и перегрева пара.
19. Диаграмма  $h$ - $s$  для водяного пара. Графическое изображение процессов парообразования и перегрева пара.
20. Расчёт процессов изменения состояния водяного пара с помощью таблиц и диаграмм.
21. Теоретические циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объёме, при постоянном давлении и комбинированном. Термический и индикаторный КПД. Эффективный КПД установки.

22. Тепловая схема и теоретический цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Регенерация. Эффективный КПД установки.

23. Теоретический цикл паросиловой установки. Термический КПД и его зависимость от начальных и конечных параметров. Эффективный КПД установки.

24. Методы повышения эффективности паросиловых циклов: регенерация, вторичный перегрев пара, теплофикация.

25. Методы получения холода. Теоретический цикл воздушной холодильной установки. Действительный холодильный коэффициент.

26. Теоретический цикл парокомпрессорной холодильной установки. Действительный холодильный коэффициент. Понятие о тепловых насосах.

27. Элементарные способы распространения теплоты. Сложный теплообмен. Теплоотдача. Теплопередача. Понятие о массопереносе. Полное математическое описание процессов теплообмена. Система дифференциальных уравнений и условия однозначности.

28. Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.

29. Теплопроводность плоской стенки при стационарном режиме. Многослойная стенка.

30. Теплопроводность цилиндрической стенки при стационарном режиме. Многослойная стенка.

31. Общая характеристика процесса теплоотдачи. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Гидродинамический пограничный слой. Тепловой пограничный слой. Полное математическое описание процессов конвективного теплообмена.

32. Основы теории подобия. Числа подобия. Теоремы подобия. Уравнение подобия. Частные задачи конвективного теплообмена.

33. Теплоотдача при вынужденном движении в трубах.

34. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной трубы и пучков труб.

35. Теплоотдача при свободном движении в большом объеме и в ограниченном пространстве.

36. Теплообмен при кипении жидкости. Кризисы кипения.

37. Теплообмен при конденсации пара.

38. Теплопередача через плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Многослойная стенка.

39. Теплопередача через цилиндрическую стенку. Линейный коэффициент теплопередачи. Многослойная стенка.

40. Теплообменные аппараты и их классификация. Конструкторский расчёт рекуперативного теплообменного аппарата. Прямоток и противоток. Средний температурный напор.

4.4 Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на экзаменационные вопросы) и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

Таблица 2 – Система и критерии выставления экзаменационной оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи	В состоянии решать поставленные задачи	В состоянии решать поставленные задачи в со-	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы,



Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
профессиональных задач	чи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	в соответствии с заданным алгоритмом	ответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

## 5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Теплотехника» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств.

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетике (протокол № 4 от 29.03.2022 г.)

Заведующий кафедрой



---

В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры автоматизации производственных процессов 08.04.2022 г. (протокол № 8).

Заведующий кафедрой



А.Н.Румянцев

Приложение №1

**ТИПОВЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

*Часть 1. Техническая термодинамика*

*Тема 1.1 Параметры состояния*

Задача 2. Избыточное давление в паровом котле измеряется пружинным манометром и составляет  $p_{и}$  кПа. Барометрическое давление по ртутному барометру составляет  $p_{бар}$  мм рт. ст. при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить абсолютное давление пара в котле  $p$  в кПа, Па, МПа, барах.

Задача 3. Избыточное давление в сосуде, измеряемое пружинным манометром  $p_{и}$  МПа. Атмосферное давление по ртутному барометру при  $t\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет  $p_{бар}$  мм рт. ст. Определить абсолютное давление в сосуде в МПа, Па, барах.

Задача 4. Ртутный вакуумметр, присоединенный к конденсатору паровой турбины, показывает разрежение  $p_{в}$  мм рт. ст. при температуре  $t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Атмосферное давление по ртутному барометру  $p_{бар}$  мм рт. ст. при  $t_2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить абсолютное давление  $p$  в конденсаторе в мм рт. ст., Па, барах.

*Тема 1.2 Закон сохранения энергии*

Задача 5. Сколько килограммов свинца  $m_c$  можно нагреть от температуры  $t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления  $t_2 = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$  посредством удара молотом массой  $m_m$  кг при падении его с высоты  $h_m$  м? Предполагается, что вся энергия падения молота превращается в теплоту, которая поглощается свинцом. Теплоемкость свинца  $c_p = 0,1256\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Задача 6. Современная паротурбинная электростанция мощностью  $N$  МВт работает в году  $\tau$  суток с КПД  $\eta$ . Теплота сгорания топлива  $Q_{н}^p$  кДж/кг. Определить суточный  $V_{сут}$  и годовой  $V_{г}$  расходы топлива.

Задача 7. Определить годовой расход ядерного горючего на АЭС той же мощности, что и в предыдущей задаче, если 1 кг урана при расщеплении выделяет  $(Q_{н}^p)^y = 825 \cdot 10^8$  кДж/кг теплоты.

#### *Тема 1.4 Термодинамические процессы для идеального газа*

Задача 11. Газовая смесь состоит из  $m_{N_2}$  кг, азота,  $m_{CO_2}$  кг углекислого газа и  $m_{CO}$  кг окиси углерода. Начальные параметры смеси  $p_1$  МПа и  $t_1$  °С. В процессе  $T = \text{const}$  смесь расширяется до давления  $p_2$  МПа. Определить работу расширения смеси  $L$ , количество подведенной теплоты  $Q$ , объем в конце расширения  $V_2$  и парциальные давления газов в начальном состоянии. Определить также изменение внутренней энергии  $\Delta U$  и энтальпии  $\Delta H$  смеси. Построить процесс в  $p$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

Задача 12. Сосуд вместимостью  $V_1$  л содержит газ при абсолютном давлении  $p_1 = 1$  МПа и температуре  $t_1$  °С. Определить массу газа, конечную температуру, изменение энтропии и количество теплоты, которое необходимо подвести, чтобы повысить давление в процессе при постоянном объеме до  $p_2 = 2$  МПа. Определить также изменение внутренней энергии и энтальпии газа. Удельную теплоемкость принять переменной. Построить процесс в  $p$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

Задача 13. В цилиндре двигателя объемом  $V_1$  л находится газ со свойствами воздуха при абсолютном давлении  $p_1$  МПа и температуре  $t_1 = 1500$  °С. От воздуха отводится теплота при постоянном давлении до температуры  $t_2$  °С. Определить массу воздуха, конечный объем, изменение внутренней энергии, количество отнятой теплоты, изменение энтальпии, работу сжатия и изменение энтропии. Теплоемкость считать переменной. Построить процесс в  $p$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

Задача 14. В компрессор ГТУ входит  $m$  кг воздуха с начальными параметрами  $p_1$  МПа и  $t_1 = 27$  °С. Воздух сжимается адиабатно до  $p_2$  МПа. Определить начальный и конечный объемы, конечную температуру, работу сжатия, располагаемую работу сжатия, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Теплоемкость принять постоянной. Построить процесс в  $p$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

#### *Тема 1.5 Второй закон термодинамики*

Задача 16. В воздухонагревателе парового котла воздух нагревается до температуры  $t_1$  °С, а дымовые газы охлаждаются от температуры  $t_3 = 450$  °С до  $t_4$  °С. Тепловые потери воздухонагревателя составляют 20 % от количества теплоты, отдаваемой газами. Теплоемкости воздуха и газов постоянны. Дымовые газы обладают свойствами воздуха. Определить температуру  $t_2$  °С, до которой нагревается воздух и потерю работоспособности системы вследствие необратимого теплообмена  $\Delta I_c$ . Температуру окружающей среды  $t_0 = 17$  °С.

Задача 17. Определить эксергию потока воздуха с массовым расходом  $G = 1$  кг/с, если его начальные параметры  $p_1$  МПа и  $t_1$  °С. Параметры окружающей среды:  $p_0 = 0,1$  МПа,  $t_0 = 27$  °С. Построить процесс в  $T$ - $s$  диаграмме.

*Тема 1.6 Реальные газы и пары*

Задача 21. Состояние водяного пара характеризуется давлением  $p$  МПа и влажностью  $u$ . Найти температуру, удельный объем, энтропию, энтальпию и внутреннюю энергию пара.

Задача 23. Определить теплоту, необходимую для перегрева пара в пароперегревателе котла до температуры  $t$  °С при постоянном давлении  $p$  МПа. Построить процесс в  $h$ - $s$  диаграмме.

Задача 24. В пароперегреватель парового котла поступает влажный пар со степенью сухости  $x_1$ , где происходит его перегрев при постоянном давлении  $p_1$  МПа до температуры  $t$  °С. Затем пар адиабатно расширяется без потерь в турбине до давления  $p_2 = 0,003$  МПа. Построить процесс в  $h$ - $s$  диаграмме, определить все параметры пара до и после расширения, а также теплоту, подведенную к пару, и располагаемую работу адиабатного расширения.

*1.9 Циклы теплосиловых установок*

Задача 32. Сравнить термический КПД циклов Ренкина, осуществленных при одинаковых начальных и конечных давлениях  $p_1$  МПа и  $p_2$  МПа, если в одном случае пар влажный со степенью сухости  $x = 0,9$ , в другом – пар сухой насыщенный, в третьем – перегретый с температурой  $t_1$  °С. Построить процессы расширения пара в турбине в  $h$ - $s$  диаграмме.

Задача 33. Сравнить термический КПД двух паросиловых установок, работающих на паре с параметрами  $p_1$  МПа и  $t_1$  °С, если у одной из них турбина работает на выхлоп в атмосферу ( $p_2 = 0,1$  МПа) и котел питается водой из внешнего источника с температурой  $t_{пв} = 30$  °С, а у другой имеется конденсатор с абсолютным давлением  $p_2 = 0,004$  МПа, а котел питается конденсатом отработавшего пара. Построить процессы в  $h$ - $s$  диаграмме.

Задача 34. Паротурбинная установка мощностью  $N = 200$  МВт работает на паре следующих параметров: начальное давление  $p_1$  МПа, температура  $t_1$  °С. Промежуточный перегрев осуществляется при давлении  $p_{пе}$  МПа до первоначальной температуры  $t_{пе} = t_1$ . Давление в конденсаторе  $p_2 = 0,004$  МПа. Температура питательной воды  $t_{пв}$  °С. Определить часовой расход топлива  $B$  кг/ч, если его теплота сгорания  $Q_n^p = 30$  МДж/кг, а КПД парогенератора  $\eta_{пг} = 0,91$ . Прочими потерями пренебречь. Работу насоса учесть.

Задача 35. Турбина мощностью  $N = 24$  МВт работает при параметрах пара:  $p_1$  МПа,  $t_1$  °С и  $p_2 = 0,004$  МПа. Для подогрева питательной воды из турбины отбирается пар при  $p_{отб}$  МПа. Определить термический КПД регенеративного цикла и удельный расход пара на 1 кВт·ч выработанной энергии. Сравнить эти показатели с такими же показателями для цикла

без регенерации. Вычислить величину экономии от введения регенеративного подогрева.

Задача 36. На ТЭЦ установлена теплофикационная турбина мощностью  $N = 12$  МВт, в которой работает пар с начальными параметрами  $p_1$  МПа,  $t_1$  °С, противодавление  $p_2 = 0,2$  МПа. Отработанный пар отправляется на производство и полностью возвращается на ТЭЦ в виде конденсата при температуре насыщения. Определить часовой расход топлива  $B$  кг/ч, если КПД парогенератора  $\eta_{\text{пг}} = 0,90$ , теплота сгорания топлива  $Q_{\text{п}}^{\text{р}} = 29,3$  МДж/кг. Каков был бы суммарный часовой расход топлива, если бы выработка энергии производилась отдельно: электроэнергии – в конденсационной установке с давлением пара в конденсаторе  $p_2 = 0,004$  МПа и теплоты – в отопительной котельной. КПД всех парогенераторов и котлов  $\eta_{\text{пг}} = 0,90$ .

#### *1.10 Циклы холодильных установок*

Задача 37. В воздушной холодильной установке поступающий из холодильной камеры (рефрижератора) в компрессор воздух имеет температуру  $t_3$  °С при давлении  $p_2 = 0,1$  МПа. В компрессоре воздух адиабатно сжимается до давления  $p_1$  МПа, а затем при постоянном давлении охлаждается в охладителе до температуры  $t_1$  °С. После охладителя воздух поступает в детандер, где адиабатно расширяется до давления  $p_2$ , после чего снова направляется в холодильную камеру, где отбирает теплоту  $q_2$  от охлаждаемого вещества и нагревается до температуры  $t_3$ . Определить температуру воздуха за компрессором  $t_4$ ; температуру воздуха, поступающего в холодильную камеру  $t_2$ ; теоретическую удельную работу, затраченную на осуществление цикла; теоретическую удельную холодопроизводительность; теоретический холодильный коэффициент цикла; холодильный коэффициент цикла Карно в том же интервале температур. Определить также расход холодильного агента и теоретическую мощность, необходимую для привода компрессора, если холодопроизводительность установки должна составлять  $Q = 200$  кВт. Теплоемкость воздуха считать постоянной и равной  $c_p = 1,012$  кДж/(кг·К),  $k = 1,4$ .

Задача 38. Компрессор холодильной установки всасывает пар фреона-12 при  $t_3$  °С и степени сухости  $x_1$  и изоэнтропийно сжимает его до давления, при котором степень сухости  $x_2 = 1$ . Из компрессора фреон-12 поступает в конденсатор, где охлаждается водой с температурой на входе  $t_{1в}$  °С, а на выходе  $t_{2в} = 20$  °С. В дроссельном вентиле жидкий фреон-12 дросселируется до состояния влажного насыщенного пара, после чего направляется в испаритель, из которого выходит со степенью сухости  $x_1$ . Теплота, необходимая для испарения фреона-12, подводится из охлаждаемой камеры. Определить теоретическую мощность двигателя холодильной установки, часовой расход фреона-12 и охлаждающей воды, если холодопроизводительность установки  $Q = 60$  кВт.

Варианты индивидуальных заданий по разделу техническая термодинамика представ-

лены в таблице 1.1-1.3.

Таблица 1.1 – Варианты 1-10 индивидуальных заданий по технической термодинамике

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	$p_i \cdot 10^{-2}$	90	90	96	96	98	98	75	75	75	75
	$p_{бар}^0$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
3	$p_i$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	$t$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
4	$p_{бар}^1$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	750
	$p_{в}^{11}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
4	$t_1$	15	20	25	30	35	40	45	15	20	25
	$p_{бар}^{12}$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
5	$t_2$	25	30	35	40	45	20	15	20	25	30
	$t_1$	5	10	15	20	25	30	35	5	10	15
5	$m_M$	200	250	150	300	200	250	150	300	200	250
	$h_M$	1	2	3	1	2	3	4	2	1	1
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	24	36	48	6	12	24	36	48
	$\tau$	330	330	330	330	330	320	320	320	320	320
6	$\eta$	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	27	26	25	24	28	29	24	25	26	27
11	$m_{N_2}$	2	2	3	1	4	5	6	7	8	2
	$m_{CO_2}$	4	3	1	2	3	4	1	2	1	6
11	$m_{CO}$	4	5	6	7	3	1	3	1	1	2
	$p_1$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
12	$t_1$	7	17	27	37	47	57	67	7	17	27
	$p_2$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
12	$V_1$	100	150	250	300	350	400	100	150	250	300
	Газ	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
13	$t_1$	27	27	27	27	27	37	37	37	37	37
	$V_1$	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150
14	$p_1$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	$t_2$	100	150	250	300	350	400	450	500	600	650
14	$m$	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	$p_1$	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12
16	$p_2$	0,5	0,6	0,7	0,4	1,0	1,2	1,4	0,8	1,5	1,8
	$t_1$	17	22	27	32	37	42	17	22	27	32
17	$t_4$	150	160	170	180	190	200	210	150	160	170
	$p_1$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6
21	$t_1$	327	377	427	477	527	577	627	327	377	427
	$p$	20,0	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	7,0	6,0	5,0
23	$y$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1
	$t$	100	120	150	200	200	210	250	250	260	270
24	$p$	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
	$x_1$	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
32	$p_1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$t$	200	300	310	320	330	340	350	360	370	380
33	$p_1$	3,0	2,2	2,0	1,6	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,5
	$p_2$	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05
33	$t_1$	300	300	300	250	250	250	200	200	200	200
	$p_1$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
34	$t_1$	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450
	$p_1$	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
34	$t_1$	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$p_{пе}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{пв}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	$p_1$	4,0	3,5	3,0	4,0	3,5	3,0	4,0	3,5	3,0	4,5
	$t$	450	440	435	420	400	450	440	435	420	480
36	$p_{отб}$	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,4
	$p_1$	3,5	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0
37	$t_1$	435	420	400	450	435	420	400	450	430	420
	$t_3$	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-20	-20
38	$p_1$	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4
	$t_1$	10	10	20	20	15	15	10	10	20	20
38	$t_3$	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-12	-13	-14	-15
	$x_1 \cdot 10^2$	96,8	96,8	96,8	96,8	96,	97	97	97	97	97
	$t_{пв}$	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

Таблица 1.2 – Варианты 11-20 индивидуальных заданий по технической термодинамике

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	$p_H \cdot 10^{-2}$	75	75	48	51	51	51	54	58	60	62
	$p_{бар}^0$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	750
3	$p_H$	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	$t$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
4	$p_{бар}^t$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
	$p_{в}^{I}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
	$t_1$	30	35	40	45	15	20	25	30	35	40
	$p_{бар}^{II}$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
5	$t_2$	35	40	45	15	20	25	30	35	40	45
	$t_1$	20	25	30	35	5	10	15	20	25	30
	$m_M$	150	300	200	250	150	300	200	250	150	300
6	$h_M$	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	24	36	48	6	12	24	36	48
	$\tau$	310	310	310	310	310	300	300	300	300	300
	$\eta$	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,34	0,36	0,38	0,35	0,40
11	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	28	29	24	25	26	27	28	29	24	25
	$m_{N_2}$	3	2	4	6	2	5	3	10	2	9
	$m_{CO_2}$	2	4	3	2	7	5	8	2	11	5
	$m_{CO}$	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
	$p_1$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	$t_1$	37	47	57	67	7	17	27	37	47	57
	$p_2$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
12	$V_1$	350	400	100	150	250	300	350	400	100	150
	Газ	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
	$t_1$	17	17	17	17	17	57	57	57	57	57
13	$V_1$	200	250	300	350	400	450	100	150	200	250
	$p_1$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	$t_2$	500	550	450	400	350	300	250	150	100	150
14	$m$	3,0	2,5	2,0	1,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
	$p_1$	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08
	$p_2$	2,1	1,2	2,0	2,4	2,8	1,6	2,5	3,0	3,5	2,0
16	$t_1$	37	42	17	22	27	32	37	42	17	22
	$t_4$	180	190	200	210	150	160	170	180	190	200



Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17	$p_1$	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2
	$t_1$	477	527	577	627	327	377	427	477	527	577
21	$p$	4,0	3,0	2,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
	$y$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2
23	$t$	280	290	300	310	320	350	360	370	380	390
	$p$	0,30	0,60	0,90	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
24	$x_1$	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	$p_1$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
	$t$	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480
32	$p_1$	2,8	2,6	2,4	1,8	1,4	1,2	0,8	0,6	0,45	0,4
	$p_2$	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
	$t_1$	400	400	400	350	350	350	300	300	300	300
33	$p_1$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	$t_1$	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450
34	$p_1$	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
	$t_1$	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	$p_{пе}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{пв}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	$p_1$	5,0	5,5	4,5	5,0	5,5	4,5	5,0	5,5	4,5	6,0
	$t$	450	440	435	420	480	450	440	435	420	480
	$p_{отб}$	0,45	0,35	0,3	0,4	0,45	0,35	0,3	0,4	0,45	0,5
36	$p_1$	4,5	4,0	4,5	4,0	4,0	4,5	4,0	4,0	4,5	4,0
	$t_1$	435	420	400	450	435	420	400	450	430	420
37	$t_3$	-16	-16	-16	-16	-16	-18	-18	-18	-18	-18
	$p_1$	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5
	$t_1$	15	15	10	10	20	20	15	15	10	10
38	$t_3$	-16	-17	-18	-19	-20	-11	-12	-13	-14	-15
	$x_1 \cdot 10^{-2}$	97	97	97	97	97	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
	$t_{1в}$	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

Таблица 1.3 – Варианты 21-30 индивидуальных заданий по технической термодинамике

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2	$p_H \cdot 10^{-2}$	64	65	40	35	25	28	26	28	25	25
	$p_{бар}^0$	755	760	765	770	745	750	755	760	770	765
3	$p_H$	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	1,52
	$t$	20	25	30	35	40	20	25	30	40	35
	$p_{бар}^1$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	770
4	$p_{1в}^1$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	280
	$t_1$	45	15	20	25	30	35	40	45	15	40
	$p_{бар}^2$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	760
	$t_2$	15	20	25	30	35	40	45	15	20	30
5	$t_1$	35	5	10	15	20	25	30	35	5	15
	$m_M$	200	250	150	300	200	250	150	300	150	200
	$h_M$	4	4	3	2	1	1	2	3	4	2
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	36	48	6	12	24	36	48	20
	$\tau$	340	340	340	340	330	330	330	330	330	334
	$\eta$	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,30
	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	26	27	28	29	24	25	26	28	29	27
11	$m_{N_2}$	1	1	1	2	2	5	10	3	2	4

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	$m_{CO_2}$	2	3	1	2	2	5	3	2	10	5
	$m_{CO}$	2	1	3	1	1	5	2	10	3	6
	$p_1$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1
	$t_1$	67	7	17	27	37	47	57	67	57	37
	$p_2$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,5
	$V_1$	250	300	350	400	450	500	300	350	400	200
12	Газ	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
	$t_1$	7	7	7	7	7	47	47	47	47	47
	$V_1$	300	350	400	450	100	150	200	250	300	500
13	$p_1$	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0
	$t_2$	250	300	350	400	450	500	550	600	500	200
	$m$	7,0	7,5	8,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	4,5	5,0
14	$p_1$	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,12	0,14	0,08	0,10	0,10
	$p_2$	3,0	3,6	4,2	2,4	4,0	4,8	5,6	3,2	0,3	4,0
	$t_1$	27	32	37	42	17	22	27	32	37	40
16	$t_4$	210	150	160	170	180	190	200	210	150	200
	$p_1$	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0
17	$t_1$	627	327	377	427	477	527	577	623	327	427
	$p$	0,3	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,08	0,01
21	$y$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2	0,3
	$t$	400	400	420	450	500	350	360	370	380	400
23	$p$	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
	$x_1$	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
24	$p_1$	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
	$t$	490	500	510	520	530	540	560	570	580	500
	$p_1$	0,26	0,27	0,28	0,29	0,35	0,45	0,55	0,65	0,70	0,75
25	$t_1$	220	230	240	250	260	270	280	290	300	327
	$G$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
	$p_1$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
26	$t_1$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	$G$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
	$p_1$	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
27	$t_1$	300	280	260	240	220	200	220	240	260	280
	$p_2 \cdot 10^2$	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4
	$p_1$	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7
28	$t_1$	275	275	275	300	300	300	310	310	310	320
	$p_2$	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4
	$p_1$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
29	$t_1$	250	300	350	400	450	300	350	400	450	500
	$p_2$	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
	$p_1$	0,35	0,28	0,26	0,24	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,4
32	$p_2$	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
	$t_1$	300	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	$p_1$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
33	$t_1$	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400
	$p_1$	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
34	$t_1$	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	$p_{не}$	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	$t_{нв}$	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
	$p_1$	7,0	6,5	6,5	7,0	6,5	6,0	7,0	6,5	6,0	7,0
35	$t$	450	440	435	500	480	450	440	435	500	480
	$p_{отб}$	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55
	$p_1$	5,5	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0
36	$t_1$	435	420	400	450	435	420	400	450	435	420

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
37	$t_3$	-10	-10	-10	-10	-10	-12	-12	-12	-12	-12
	$p_1$	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,4
	$t_1$	20	20	15	15	10	10	20	20	15	15
38	$t_3$	-16	-17	-18	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
	$x_1 \cdot 10^2$	97,1	97,1	97,1	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
	$t_{1в}$	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

## Часть 2. Теплопередача

### 2.1 Теплопроводность

Задача 1. Плоскую поверхность с температурой  $t_1$  °С необходимо изолировать, чтобы потеря теплоты не превышала  $q$  Вт/м<sup>2</sup> при температуре внешней поверхности изоляции  $t_2 = 50$  °С. Определить толщину изоляционного слоя  $\delta$  из совелита, коэффициент теплопроводности которого зависит от температуры и равен  $\lambda = 0,09 + 0,000087 \cdot t$  Вт/(м·К). Изменение температуры в слое изоляции показать на графике.

Задача 2. Определить термическое сопротивление  $R$  обмуровки топочной камеры, состоящей из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми имеется засыпка из диатомита. Толщина шамотного слоя  $\delta_1$  мм, диатомитовой засыпки  $\delta_2$  мм и красного кирпича  $\delta_3$  мм. Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны:  $\lambda_1 = 0,93$ ;  $\lambda_2 = 0,13$ ;  $\lambda_3 = 0,7$  Вт/(м·К). Какой толщины следует сделать слой красного кирпича  $\delta_3'$ , если отказаться от применения засыпки из диатомита, чтобы тепловые потери через обмуровку остались неизменными?

Задача 3. Паропровод диаметром  $d_2/d_1 = 170/160$  мм покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $\delta_2$  мм и второго  $\delta_3$  мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1 = 50$ ;  $\lambda_2 = 0,15$  и  $\lambda_3 = 0,1$  Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1$  °С и внешней поверхности изоляции  $t_4 = 50$  °С. Определить тепловые потери с 1 м длины паропровода и температуры  $t_2$  и  $t_3$  на стыке отдельных слоев. Температурное поле представить графически.

Задача 4. Плоская стальная стенка толщиной  $\delta_2 = 20$  мм с одной стороны покрыта слоем сажи толщиной  $\delta_1 = 1$  мм, а с другой стороны слоем накипи толщиной  $\delta_3 = 3$  мм. Коэффициенты теплопроводности равны: для сажи  $\lambda_1 = 0,08$  Вт/(м·К); для стали  $\lambda_2 = 50$  Вт/(м·К); для накипи  $\lambda_3 = 2,3$  Вт/(м·К). Температура наружной поверхности сажи  $t_1$  °С, а температура наружной поверхности накипи  $t_4$  °С. Определить поверхностную плотность теплового потока через стенку и температуры  $t_2$  и  $t_3$  на поверхностях соприкосновения сажи и накипи с металлом. Определить во сколько раз увеличится поверхностная плотность теплового потока через

стенку, если удалить сажу и накипь. Температурное поле в обоих случаях представить графически.

## 2.2 Конвективный теплообмен

Задача 5. Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  и количество передаваемой теплоты  $Q$  при течении теплоносителя в горизонтальной трубе диаметром  $d$  мм и длиной  $l$  м, если средняя скорость течения  $\bar{W}$  м/с, средняя температура теплоносителя  $\bar{t}_ж$  °С, средняя температура стенки  $\bar{t}_c$  °С.

Задача 6. Определить средний коэффициент теплоотдачи от воздуха для  $n$ -рядного пучка труб диаметром  $d$  мм. Средняя температура воздуха  $\bar{t}_ж$  °С, средняя скорость в самом узком сечении пучка  $\bar{W}$  м/с, угол атаки  $\varphi^\circ$ .

Задача 7. Определить потерю теплоты путем свободной конвекции от трубы диаметром  $d$  мм и длиной  $l$  м к воздуху, если средняя температура поверхности трубы  $\bar{t}_c$  °С, а средняя температура воздуха  $\bar{t}_ж$  °С.

Задача 8. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и потери теплоты при свободной конвекции в плоской воздушной или водяной прослойке (щели) с поперечным размером  $\delta$  мм, расположенной между нагретой и холодной поверхностями с температурами  $\bar{t}_{c1}$  °С и  $\bar{t}_{c2}$  °С.

Задача 9. Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при кипении воды и количество пара, получаемое в испарителе за 1 час, если общая поверхность испарения составляет  $F$  м<sup>2</sup>, средняя температура стенки испарителя  $\bar{t}_c$  °С, давление пара  $p$  МПа.

Задача 10. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе (горизонтальной или вертикальной) конденсатора и количество конденсата, образующегося за 1 час, если труба имеет наружный диаметр  $d$  мм, длину (высоту)  $l$  м и среднюю температуру поверхности  $\bar{t}_c$  °С. На поверхности трубы конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p$  МПа.

## 2.4 Теплопередача и теплообменные аппараты

Задача 14. В воде-водяном теплообменнике охлаждается пресная вода из системы охлаждения ДВС от  $t_1'$  °С до  $t_1''$  °С. Для охлаждения используется заборная вода с температурой  $t_2'$  °С. Расход пресной воды  $G_1$  кг/с, расход заборной воды  $G_2$  кг/с, коэффициент теплопередачи  $k = 800$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить площадь поверхности теплообмена при прямотоке

и противотоке при условии, что теплоемкость пресной воды  $c_{p1} = 4,19$  кДж/(кг·К), заборной воды  $c_{p2} = 3,85$  кДж/(кг·К).

Задача 15. В трубчатом подогревателе судовой адиабатной опреснительной установки подогревается заборная вода от  $t_2^I$  °С до  $t_2^{II} = 90$  °С; расход воды  $G_2$  кг/с, а ее средняя теплоемкость  $c_{p2} = 3,9$  кДж/(кг·К). Подогрев происходит за счет конденсации сухого насыщенного пара с давлением  $p$  МПа. Средний коэффициент теплопередачи  $k = 2800$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить расход конденсирующегося пара и площадь поверхности нагрева подогревателя.

Задача 16. Для подогрева мазута от температуры  $t_2^I$  °С до  $t_2^{II} = 95$  °С используется сухой насыщенный пар с давлением  $p$  МПа. Пар конденсируется на внешней поверхности трубчатого подогревателя. Определить среднелогарифмический температурный напор. Какую погрешность внесем в расчет, если заменим его среднеарифметическим температурным напором?

Варианты индивидуальных заданий по разделу теория теплообмена представлены в таблице 1.4-1.6.

Таблица 1.4 – Варианты 1-10 индивидуальных заданий по теплообмену

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$t_1$	200	250	300	350	400	450	200	250	300	350
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	$\delta_2$	40	50	60	70	80	90	100	40	50	60
	$\delta_3$	170	180	190	200	210	220	170	180	190	200
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$\delta_3$	30	35	40	45	50	55	30	35	40	45
	$t_1$	250	260	270	280	290	300	310	250	260	270
4	$t_1$	700	690	680	670	660	650	640	630	620	610
	$t_4$	110	120	130	140	150	160	170	110	120	130
5	$d$	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	теплоноситель	вода					воздух				
	$l$	0,12	0,16	0,12	0,16	0,20	2	3	4	5	6
	$\overline{W}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	5	20	15	20	25
	$\overline{t}_ж$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	$\overline{t}_с$	10	10	20	20	30	40	60	60	50	40
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	$d$	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50
	$\overline{t}_ж$	200	250	300	350	400	400	350	300	250	200
	$\overline{W}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
	$\varphi$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	160	180	200	220	240	40	50	60	70	80
	$l$	4	5	6	8	7	2	3	4	5	6
	$\bar{t}_c$	50	60	70	80	90	150	160	170	180	190
	$\bar{t}_ж$	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
8	$\delta$	25	20	15	10	30	5	10	15	20	25
	$\bar{t}_{c1}$	150	160	170	180	190	80	85	90	95	100
	$\bar{t}_{c2}$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	теплоноситель	воздух					вода				
9	$F$	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4
	$\bar{t}_c$	110	115	125	135	140	150	160	165	170	190
	$p$	0,1	0,12	0,16	0,2	0,26	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	$l$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	$\bar{t}_c$	95	95	95	100	100	100	120	130	140	95
	$p$	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	0,3
14	$t_1$	80	82	84	86	78	82	84	86	78	80
	$t_1$	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	$t_2$	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10
	$G_1$	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28
	$G_2$	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	15	$t_2$	10	12	14	16	18	20	22	22	20
$G_2$		3	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6
$p$		0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
16	$t_2$	25	23	21	19	27	29	21	19	23	25
	$p$	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Таблица 1.5 – Варианты 11-20 индивидуальных заданий по тепломассообмену

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	$t_1$	400	450	200	250	300	350	400	450	200	250
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160
	$\delta_2$	70	80	90	100	40	50	60	70	80	90
	$\delta_3$	210	220	170	180	190	200	210	220	170	180
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
	$\delta_3$	50	55	30	35	40	45	50	55	30	35
	$t_1$	280	290	300	310	250	260	270	280	290	300
4	$t_1$	600	590	700	690	680	670	660	650	640	630
	$t_4$	140	150	160	170	110	120	130	140	150	160

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	$d$	3	4	5	6	8	50	60	70	80	90
	теплоноситель	вода					воздух				
	$l$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	2	3	4	5
	$\overline{W}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	10	15	20	25	30
	$\overline{t}_{ж}$	70	80	90	60	50	120	130	140	150	160
	$\overline{t}_{с}$	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
6	тип пучка	коридорный					шахматный				
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
	$d$	20	30	50	70	60	70	60	40	30	20
	$\overline{t}_{ж}$	200	250	300	350	400	450	450	450	450	450
	$\overline{W}$	30	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	$\varphi$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	40	50	60	70	80	160	180	200	220	240
	$l$	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6
	$\overline{t}_{с}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\overline{t}_{ж}$	20	30	40	20	30	10	20	30	10	20
8	$\delta$	40	50	60	70	80	30	35	40	45	50
	$\overline{t}_{с1}$	200	210	220	230	240	40	50	60	70	80
	$\overline{t}_{с2}$	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20
	теплоноситель	воздух					вода				
9	$F$	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
	$\overline{t}_{с}$	195	200	210	220	230	235	240	250	255	260
	$p$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,0	3,5
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально				
	$d$	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40
	$l$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8
	$\overline{t}_{с}$	90	85	85	85	80	75	70	65	60	55
	$p$	0,26	0,20	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
14	$t_1$	84	86	78	80	82	86	78	80	82	84
	$t_1$	40	38	36	32	42	40	38	36	32	42
	$t_2$	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12
	$G_1$	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
	$G_2$	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
15	$t_2$	16	14	12	10	8	8	10	12	14	16
	$G_2$	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
	$p$	0,25	0,3	0,35	0,2	0,4	0,25	0,2	0,3	0,35	0,4
16	$t_2$	27	29	19	21	23	25	27	29	19	21
	$p$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,25	0,35	0,45	0,55	0,15

Таблица 1.6 – Варианты 21-30 индивидуальных заданий по теплообмену

Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов										
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	$t_1$	300	350	400	450	200	250	300	350	400	450	
	$q$	600	550	500	450	400	600	550	500	450	400	
2	$\delta_1$	120	130	140	150	160	120	130	140	150	160	
	$\delta_2$	100	40	50	60	70	80	90	100	40	50	
	$\delta_3$	190	200	210	220	170	180	190	200	210	220	
3	$\delta_2$	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40	
	$\delta_3$	40	45	50	55	30	35	40	45	50	55	
4	$t_1$	310	250	260	270	280	290	300	310	250	260	
	$t_4$	620	610	600	590	700	690	680	670	660	650	
5	$d$	170	110	120	130	140	150	160	170	110	120	
	теплоноситель	4	6	8	10	12	40	50	60	70	80	
	$l$	вода					воздух					
	$\overline{W}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
	$\overline{t}_ж$	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	5	10	15	20	25	
	$\overline{t}_c$	50	60	70	80	90	180	190	200	210	220	
6	тип пучка	коридорный					шахматный					
	$n$	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	
	$d$	60	60	80	80	100	100	80	60	80	60	
	$\overline{t}_ж$	200	300	400	500	600	550	450	350	250	150	
	$\overline{W}$	5	10	15	20	25	30	20	10	35	40	
	$\varphi$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	80	
7	расположение трубы	горизонтально					вертикально					
	$d$	50	60	80	100	120	20	30	40	50	60	
	$l$	2	4	5	6	7	1	2	3	4	5	
	$\overline{t}_c$	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
	$\overline{t}_ж$	10	30	50	20	30	40	20	30	40	40	
8	$\delta$	90	100	110	120	130	10	20	30	40	50	
	$\overline{t}_{c1}$	200	250	300	350	400	60	70	80	90	100	
	$\overline{t}_{c2}$	80	80	80	80	80	40	40	40	40	40	
	теплоноситель	воздух					вода					
9	$F$	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	
	$\overline{t}_c$	270	280	295	300	310	320	330	340	350	350	
	$p$	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	
10	расположение трубы	горизонтально					вертикально					
	$d$	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	$l$	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	3,8	
	$\overline{t}_c$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	
14	$p \cdot 10^2$	2,5	2,0	1,8	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	
	$t_1$	78	80	82	84	86	77	79	81	83	85	
	$t_1$	40	38	36	32	42	39	41	43	45	47	
	$t_2$	11	11	11	11	11	7	8	9	10	11	
	$G_1$	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	



Но- мера задач	Обозначе- ние величи- ны	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	$G_2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
15	$t_2$	10	20	22	20	18	16	14	12	10	8
	$G_2$	2,4	2,2	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,8	2,6
	$p$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
16	$t_2$	23	25	27	29	20	22	24	26	28	30
	$p$	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,55	0,45	0,35	0,25	0,15

## Приложение № 2

### Типовые задания и контрольные вопросы для лабораторных работ

*Лабораторная работа № 1. Определение изобарной теплоёмкости воздуха при атмосферном давлении*

Задание по лабораторной работе: Определить среднюю изобарную теплоёмкость воздуха в интервале температур от комнатной до 40-50 °С методом потока в проточном калориметре. Сравнить полученные значения показателей для воздуха со справочными.

Контрольные вопросы:

1. Что называется теплоёмкостью, удельной теплоёмкостью? Единицы измерения удельных теплоёмкостей и связь между ними.
2. Как определить теплоёмкости  $c_p$  и  $c_v$  для идеального газа? Закон Майера. Что такое отношение теплоёмкостей?
3. Истинная и средняя теплоёмкости. Как вычисляется теплота через истинную и среднюю теплоёмкости?
4. Какова техника измерения температуры, расхода воздуха и теплового потока?
5. Как производится тарировка графика для определения расхода воздуха?
6. Как оценить точность экспериментальных данных?

*Лабораторная работа № 2. Определение газовой постоянной и показателя адиабаты для воздуха*

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить величину газовой постоянной воздуха и показатель адиабаты, используя метод взвешивания стеклянного сосуда с воздухом при переменном давлении. Сравнить с табличными значениями.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается идеальный газ от реальных газов? Свойства идеального газа.
2. Что такое универсальная газовая постоянная, каков ее физический смысл? Что такое газовая постоянная вещества, как ее определить?
3. Что представляет собой термическое уравнение состояния для идеального газа?
4. Какой процесс называют изохорным? Уравнения для работы изменения объёма, располагаемой работы и теплоты в изохорном процессе. Каково соотношение между параметрами изохорного процесса?
5. Какой процесс называют адиабатным? Его графическое изображение в  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$  координатах.
6. Как в лабораторной работе определяется показатель адиабаты?

*Лабораторная работа № 3. Исследование кривой насыщения для воды и водяного пара*

Задание по лабораторной работе: Построить зависимость температуры насыщения водяного пара от давления и сравнить с действительной кривой насыщения.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятиям: парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация.

2. Что такое температура насыщения, давление насыщения, температурная депрессия?

Что называют теплотой парообразования?

3. Что такое критическая точка, тройная точка?

4. Изобразите фазовую диаграмму  $p$ - $T$  и линии фазовых переходов.

5. Дайте определение понятиям: сухой насыщенный пар, влажный насыщенный пар, перегретый пар. Что такое степень перегрева?

6. Что такое степень сухости и степень влажности?

*Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента теплопроводности твёрдого материала методом цилиндрического слоя*

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально коэффициент теплопроводности исследуемого материала и его зависимость от температуры.

Контрольные вопросы:

1. Какова физическая сущность процесса теплопроводности?

2. Что такое коэффициент теплопроводности? От чего он зависит? Какие материалы можно считать теплоизоляционными?

3. Что называется температурным полем? Какие бывают типы температурных полей? Как определяется градиент температуры?

4. Как формулируется закон Фурье для теплопроводности?

5. Что такое линейная плотность теплового потока?

6. Как определяется линейное термическое сопротивление теплопроводности для цилиндрической стенки?

*Лабораторная работа № 5. Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре*

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить значение среднего коэффициент теплоотдачи на поверхности горизонтально расположенного цилиндра при стационарной естественной конвекции в неограниченном пространстве и сравнить результат опыта с теоретическими данными.

Контрольные вопросы:

1. Что такое конвективный теплообмен? Какой процесс называется теплоотдачей?
2. Как определяется плотность теплового потока в процессе теплоотдачи?
3. Дайте определения коэффициента теплоотдачи и температурного напора. От чего зависит коэффициент теплоотдачи?
4. Каков физический смысл чисел Грасгофа, Прандтля, Нуссельта?
5. Что такое свободная конвекция? Какие факторы влияют на теплоотдачу при свободной конвекции?
6. Какой вид имеет уравнение подобия при свободном движении жидкости в большом объеме?

*Лабораторная работа № 6. Исследование теплоотдачи при пузырьковом кипении*

Задание по лабораторной работе: Определить экспериментально средний коэффициент теплоотдачи от обогреваемой поверхности медного цилиндра к воде.

Контрольные вопросы:

1. Что такое кипение? При каких условиях возникает процесс кипения?
2. Что такое центры парообразования?
3. В чём различие кипения в объёме жидкости и на обогреваемой поверхности?
4. Какие режимы кипения на обогреваемой поверхности вы знаете?
5. Что такое кризисы кипения? В чём их причины?
6. Какие уравнения используют для определения коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости?

*Лабораторная работа № 7. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении теплоносителя в трубе*

Задание по лабораторной работе: Определить значение местного коэффициента теплоотдачи по длине круглой трубы и построить его графическую зависимость от длины трубы.

Контрольные вопросы:

1. Что называется теплоотдачей? Какие факторы влияют на интенсивность процесса теплоотдачи?
2. Какими силами вызывается вынужденное движение? Каков физический смысл числа Рейнольдса?
3. Какие гидродинамические режимы присущи вынужденному движению?
4. Что такое: определяющий линейный размер, определяющая температура, определяющая скорость?
5. Как изменяется коэффициент теплоотдачи по длине трубы? Что понимают под участком термической стабилизации?
6. Какой вид имеют уравнения подобия для вынужденного ламинарного движения в трубах?

## ТИПОВЫЕ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

### Вариант 1

Тестовые задания по дисциплине «Теплотехника», направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических и производственных процессов для оценки результатов обучения, соотнесенных с компетенциями/индикаторами достижения компетенции:

ОПК-7: Способен применять современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.

Индикатор достижения компетенции ОПК-7.2 Использует знания в области теплотехники необходимыми для применения рационального использования энергетических ресурсов.

*Вопрос 1. Термодинамическая система, которая **НЕ** может обмениваться веществом с окружающей средой, называется...*

1. неизолированная система	3. изолированная система
2. закрытая система	4. открытая система

*Вопрос 2. Сумма внутренней энергии системы и внешней потенциальной энергии давления называется...*

1. энтальпия	3. кинетическая энергия
2. потенциальная энергия	4. теплота

*Вопрос 3. Из приведенных формулировок ко второму закону термодинамики **НЕ** относится...*

1. для преобразования тепловой энергии в механическую необходим температурный перепад	3. все самопроизвольные процессы направлены в сторону наиболее вероятных, т. е. равновесных состояний
2. любой реальный самопроизвольный процесс является необратимым	4. энергия изолированной термодинамической системы остается постоянной

*Вопрос 4. Из приведенных уравнений состояния идеального газа, записанное неверно имеет вид... Здесь  $R_\mu$  – универсальная газовая постоянная.*

1. $F(p, v, T) = 0$	3. $p \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R_\mu \cdot T$
2. $p \cdot v = R_\mu \cdot T$	4. $p \cdot V_\mu = R_\mu \cdot T$

*Вопрос 5. Для идеального газа объем остается постоянным в...*

1. изотермическом процессе	3. изохорном процессе
2. изобарном процессе	4. адиабатном процессе

*Вопрос 6. Формула, по которой рассчитывается количество теплоты, подведенной к 1 кг идеального газа в изохорном процессе, имеет вид...*

1. $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$	3. $q = T \cdot (s_2 - s_1)$
2. $q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$	4. $q = R \cdot (T_2 - T_1)$

*Вопрос 7. В координатах p-v представляет собой вертикальную прямую линию...*

1. изохорный процесс	3. изобарный процесс
2. изотермический процесс	4. адиабатный процесс

*Вопрос 8. Соотношение между параметрами идеального газа в изотермическом процессе имеет вид...*

1. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$	3. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$
2. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$	4. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$

*Вопрос 9. Процесс перехода вещества из твердого состояния в парообразное называется...*

1. парообразование	3. сублимация
2. конденсация	4. десублимация

*Вопрос 10. Пар, температура которого выше температуры насыщения при данном давлении, называется...*

1. сухой насыщенный пар	3. сконденсированный пар
2. влажный пар	4. перегретый пар

*Вопрос 11. Количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости, предварительно нагретой до температуры кипения, в сухой насыщенный пар при постоянном давлении, называется...*

1. теплота перегрева пара	3. теплота плавления
2. теплота парообразования	4. теплота конденсации

*Вопрос 12. По таблице “Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по температурам)” можно определить параметры...*

1. только кипящей жидкости	3. только перегретого пара
2. кипящей жидкости и сухого насыщенного пара	4. воды и перегретого пара

*Вопрос 13. Отношение парциального давления водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, к давлению насыщения водяного пара при данной температуре называется...*

1. влагосодержание	3. относительная влажность
2. абсолютная влажность	4. степень сухости

<i>Вопрос 14. В процессе нагрева влажного воздуха остается постоянным(ой)...</i>	
1. температура	3. относительная влажность
2. влагосодержание	4. энтальпия

<i>Вопрос 15. Перенос теплоты в результате перемещения макроскопических масс жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой называется...</i>	
1. теплоотдача	3. теплопередача
2. теплопроводность	4. конвекция

<i>Вопрос 16. Хуже всего проводит тепло...</i>	
1. воздух	3. шамотный кирпич
2. сталь	4. вода

<i>Вопрос 17. Число подобия, которое определяет гидродинамический режим свободного движения, называется...</i>	
1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса

<i>Вопрос 18. Режим вынужденного движения в трубах, при котором учитывается влияние естественной конвекции, называется...</i>	
1. ламинарный вязкостный	3. турбулентный вязкостный
2. ламинарный вязкостно-гравитационный	4. турбулентный вязкостно-гравитационный

<i>Вопрос 19. Температурным напором теплоотдачи называют разность...</i>	
1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

<i>Вопрос 20. Температура одного из теплоносителей может оставаться постоянной в...</i>	
1. конденсаторе	3. пароперегревателе
2. маслоохладителе	4. воздухоподогревателе

## Вариант 2

Тестовые задания по дисциплине «Теплотехника», направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических и производственных процессов для оценки результатов обучения, соотнесенных с компетенциями/индикаторами достижения компетенции:

ОПК-7: Способен применять современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.

Индикатор достижения компетенции ОПК-7.2 Использует знания в области теплотехники необходимыми для применения рационального использования энергетических ресурсов.



*Вопрос 1. Термодинамическая система, которая **НЕ** может обмениваться теплотой с окружающей средой, называется...*

- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. неизолированная система | 3. изолированная система  |
| 2. адиабатная система      | 4. изотермическая система |

*Вопрос 2. Форма передачи внешней энергии, связанная с перемещением тел в силовом поле или с изменением объема тел под действием внешнего давления, называется...*

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. работа                | 3. кинетическая энергия |
| 2. потенциальная энергия | 4. теплота              |

*Вопрос 3. "В общем случае теплота, подведенная к системе, расходуется на изменение её энергии и на совершение внешней работы" – это формулировка...*

- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. первого закона термодинамики | 3. тепловой теоремы Нернста |
| 2. второго закона термодинамики | 4. закона Бойля-Мариотта    |

*Вопрос 4. Формула для определения энтальпии идеального газа имеет вид...*

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. $h = u + R \cdot p$ | 3. $h = u - R \cdot p$ |
| 2. $h = u + R \cdot T$ | 4. $h = u - R \cdot T$ |

*Вопрос 5. Для идеального газа внутренняя энергия и энтальпия **НЕ** изменяются в...*

- |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| 1. изотермическом процессе | 3. изохорном процессе  |
| 2. изобарном процессе      | 4. адиабатном процессе |

*Вопрос 6. Формула для определения количества теплоты, подведенной к 1 кг идеального газа в изотермическом процессе, имеет вид...*

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$ | 3. $q = T \cdot (s_2 - s_1)$ |
| 2. $q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$ | 4. $q = R \cdot (T_2 - T_1)$ |

*Вопрос 7. Вертикальной прямой линией в координатах T-s изображается...*

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. изохорный процесс      | 3. изобарный процесс  |
| 2. изотермический процесс | 4. адиабатный процесс |

*Вопрос 8. Соотношение между параметрами идеального газа в адиабатном процессе имеет вид...*

- |  |   |
|--|---|
| 1. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$ | 3. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$ |
| 2. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$ | 4. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$ |

*Вопрос 9. Процесс перехода вещества из жидкого состояния в парообразное называется...*

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1. парообразование | 3. сублимация   |
| 2. конденсация     | 4. десублимация |

<i>Вопрос 10. Критическая точка – это точка, в которой...</i>	
1. вещество может одновременно существовать в трех фазах	3. исчезает различие между жидкой и паровой фазами
2. вещество может существовать только в одной фазе	4. исчезает различие между жидкой и твердой фазами
<i>Вопрос 11. Наибольшая температура существования жидкости и наименьшая температура существования пара при данном давлении называется...</i>	
1. температура насыщения	3. температура сублимации
2. температура испарения	4. температура плавления
<i>Вопрос 12. Степень сухости – это массовая доля...</i>	
1. кипящей жидкости во влажном паре	3. сухого насыщенного пара во влажном паре
2. влажного пара в кипящей жидкости	4. влажного пара в сухом насыщенном паре
<i>Вопрос 13. Отношение массы чистого пара к массе сухого воздуха во влажном воздухе называется...</i>	
1. влагосодержание	3. относительная влажность
2. абсолютная влажность	4. степень сухости
<i>Вопрос 14. Водяной пар в ненасыщенном влажном воздухе находится в состоянии...</i>	
1. перегретый пар	3. сухой насыщенный пар
2. влажный пар	4. ненасыщенный пар
<i>Вопрос 15. К элементарным способам распространения теплоты <b>НЕ</b> относится...</i>	
1. теплопроводность	3. излучение
2. конвекция	4. теплоотдача
<i>Вопрос 16. Коэффициент теплопроводности с ростом температуры увеличивается у ...</i>	
1. стекла	3. чугуна
2. стали углеродистой	4. масла трансформаторного
<i>Вопрос 17. Число подобия, представляющее собой безразмерный коэффициент теплоотдачи, называется...</i>	
1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса
<i>Вопрос 18. На интенсивность процесса теплоотдачи <b>НЕ</b> влияют...</i>	
1. физические свойства твердой поверхности	3. физические свойства теплоносителя
2. режим движения теплоносителя	4. форма твердой поверхности

*Вопрос 19. Температурным напором для теплообмена при кипении жидкости на обогреваемой твердой поверхности называют разность...*

1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

*Вопрос 20. Теплота от нагретого теплоносителя к холодному передается через разделяющую их твердую стенку в теплообменных аппаратах, называемых...*

1. смесительных	3. с внутренним источником энергии
2. рекуперативных	4. регенеративных

### Вариант 3

*Вопрос 1. Термодинамическая система, которая может обмениваться веществом с окружающей средой, называется...*

1. неизолированная система	3. изолированная система
2. закрытая система	4. открытая система

*Вопрос 2. Форма передачи внутренней энергии от более нагретых тел к менее нагретым называется...*

1. работа	3. кинетическая энергия
2. потенциальная энергия	4. теплота

*Вопрос 3. "Все самопроизвольные процессы направлены в сторону наиболее вероятных, т. е. равновесных состояний" – это формулировка...*

1. первого закона термодинамики	3. тепловой теоремы Нернста
2. второго закона термодинамики	4. закона Бойля-Мариотта

*Вопрос 4. Уравнением, носящим название уравнения Майера, является... Здесь  $R$  – газовая постоянная.*

1. $c_p = c_v + R$	3. $c_p = c_v \cdot k$
2. $c_p = c_v - R$	4. $c_p = c_v/k$

*Вопрос 5. Обратимым термодинамическим процессом, в котором **НЕ** изменяется энтропия, является*

1. изотермический процесс	3. изохорный процесс
2. изобарный процесс	4. адиабатный процесс

*Вопрос 5. Формула для расчета количества теплоты, подведенной к 1 кг идеального газа в изобарном процессе, имеет вид...*

1. $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$	3. $q = T \cdot (s_2 - s_1)$
2. $q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$	4. $q = R \cdot (T_2 - T_1)$

*Вопрос 7. В координатах  $T-s$  горизонтальной прямой линией изображается...*

1. изохорный процесс	3. изобарный процесс
2. изотермический процесс	4. адиабатный процесс

*Вопрос 8. Соотношение между параметрами идеального газа в изохорном процессе имеет вид...*

1. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$	3. $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$
2. $\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$	4. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$

*Вопрос 9. Процесс перехода вещества из парообразного состояния в жидкое называется*

1. парообразование	3. сублимация
2. конденсация	4. десублимация

*Вопрос 10. Тройная точка – это точка, в которой...*

1. вещество может одновременно существовать в трех фазах	3. исчезает различие между жидкой и паровой фазами
2. вещество может существовать только в одной фазе	4. исчезает различие между жидкой и твердой фазами

*Вопрос 11. Смесь кипящей жидкости и насыщенного пара называется...*

1. сухой насыщенный пар	3. конденсат
2. влажный насыщенный пар	4. перегретый пар

*Вопрос 12. Степень влажности – это массовая доля...?*

1. кипящей жидкости во влажном паре	3. сухого насыщенного пара во влажном паре
2. влажного пара в кипящей жидкости	4. влажного пара в сухом насыщенном паре

*Вопрос 13. Отношение массы пара к единице объема влажного воздуха называется...*

1. влагосодержание	3. относительная влажность
2. абсолютная влажность	4. степень сухости

*Вопрос 14. Водяной пар в насыщенном влажном воздухе находится в состоянии...*

1. перегретый пар	3. сухой насыщенный пар
2. влажный пар	4. ненасыщенный пар

*Вопрос 15. Молекулярный перенос теплоты в телах (или между ними), обусловленный наличием градиента температуры, называется...*

1. конвекция	3. теплопроводность
2. теплопередача	4. излучение

*Вопрос 16. Коэффициент теплопроводности с ростом температуры уменьшается у...*

1. воздуха	3. кирпича красного
2. меди	4. ваты минеральной

*Вопрос 17. Число подобия, определяющее гидродинамический режим вынужденного движения теплоносителя, называется...*

1. число Грасгофа	3. число Прандтля
2. число Нуссельта	4. число Рейнольдса

*Вопрос 18. Учение о подобии физических явлений, позволяющее определять условия распространения результатов модельных испытаний на подобные процессы в промышленных установках, называется...*

1. теория теплообмена	3. закон Фурье
2. теория подобия	4. гипотеза Ньютона-Рихмана

*Вопрос 19. Температурным напором теплопроводности называют разность...*

1. температуры стенки и температуры насыщения	3. температур горячей и холодной жидкости
2. температуры стенки и температуры жидкости	4. температур горячей и холодной поверхностей стенки

*Вопрос 20. Наиболее эффективной является ... конденсация.*

1. пленочная	3. капельная
2. пузырьковая	4. объемная