



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

УТВЕРЖДАЮ
Начальник УРОПСИ

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА»

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата
по направлению подготовки

13.03.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Профиль программы
«ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ»

ИНСТИТУТ морских технологий, энергетики и строительства
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
ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	<p>ОПК-3.4 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений</p> <p>ОПК-3.5 Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей</p>	Техническая термодинамика	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, - калорические и переносные свойства вещества; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - основами термодинамического анализа рабочих процессов в теплосиловых машинах; - навыками определения параметров работы теплосиловых установок и их тепловой эффективности

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

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;
- задание на написание реферата (для студентов 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 третьем семестре в форме зачета, в четвертом семестре – в форме экзамена, относятся соответственно:

- контрольные вопросы по дисциплине;
- задание и контрольные вопросы по курсовой работе;
- экзаменационные вопросы по дисциплине.

3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Индивидуальное задание (задачи) по отдельным темам дисциплины разработано кафедрой и издано 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 первому разделу – техническая термодинамика, который включает 41 задачу по 11 темам. Для самостоятельного решения разработано 30 вариантов заданий. Каждому студенту вариант задания определяется преподавателем. Студенты очной формы обучения в третьем семестре в рамках выполнения индивидуального задания (задачи) решают 19 задач по темам 1.1-1.5 и 1.9 методических указаний, в четвертом семестре – 19 задач по темам 1.6-1.10 (Приложение №1).

Наряду с этим в третьем семестре каждый студент очной формы обучения должен провести термодинамический анализ одного из трёх теоретических циклов ДВС (Отто, Дизеля, Тринклера). Задание на эту работу (30 вариантов) с алгоритмом расчета цикла и методикой анализа также разработано кафедрой и издано отдельной брошюрой (Селин, В.В. Термодинамический анализ теоретических циклов ДВС: методическое пособие по выполнению СРС по дисциплинам «Теплотехника» и «Теоретические основы теплотехники» / В.В. Селин, Е.А. Беркова; ФГОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. – 18 с.) (Приложение № 2). Оформленная работа должна содержать: результаты расчетов по заданному варианту в форме таблицы; изображение цикл ДВС в $p-v$ и $T-s$ диаграммах; графики зависимостей и результаты их анализа.

Индивидуальное задание (задачи) для студентов заочной формы обучения включает решение шести задач по темам: параметры состояния, закон сохранения энергии, идеальный газ и его свойства, термодинамические процессы для идеального газа, второй закон термодинамики на выбор преподавателя и выполняется в третьем семестре. Вариант задания опре-

деляется преподавателем.

Консультации по выполнению индивидуальных заданий и их проверка проводятся преподавателями в часы индивидуальных консультаций. По результатам собеседований студент, самостоятельно выполнивший задания и продемонстрировавший понимание физического смысла рассмотренных процессов, получает оценку «зачтено».

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 в третьем семестре – зачету.

3.2 Задание на написание реферата выдается студентам очной формы обучения в начале третьего семестра. Студентам предлагаются на выбор темы по истории и проблемам развития мировой, отечественной и региональной энергетики, по технологии преобразования природных энергоресурсов (традиционных и нетрадиционных возобновляемых), по экологическим проблемам энергетики, по обеспечению энергетической безопасности (Приложение № 3).

Объём реферата должен составлять 8-10 страниц формата А4. Выполненная работа предъявляется преподавателю на собеседовании. Студент, самостоятельно выполнивший задание и усвоивший суть реферируемой проблемы, получает оценку «зачтено».

3.3 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 в четвертом семестре. Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам представлены в Приложении № 4.

3.4 Тестовые задания по дисциплине представлены в Приложении № 5.

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, приведенным в Таблице 2: «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 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в третьем семестре в форме зачета по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

Оценка «зачтено» выставляется студентам, получившим положительную оценку по результатам практических занятий, тестирования и самостоятельной работы: выполнения и успешной защиты всех индивидуальных заданий и реферата для студентов очной формы обучения или индивидуального задания (задачи) для студентов заочной формы обучения.

В отдельных случаях зачет принимается по контрольным вопросам, которые приведены в Приложении № 6. Оценивание результатов сдачи зачета («зачтено» или «не зачтено») осуществляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

4.2 Задание по курсовой работе студент получает в середине четвёртого семестра, когда начинается изучение циклов паросиловых установок. Целью работы является углубление знаний, полученных студентами на лекциях и в лаборатории, в области теоретических и действительных циклов паросиловых установок, являющихся основными для тепловых электрических станций.

Курсовая работа выполняется по единой теме «Термодинамический анализ цикла паросиловой установки» (в 30-ти вариантах) по учебно-методическому пособию, разработанному на кафедре (см.: Селин, В.В. Техническая термодинамика: учебно-методическое пособие по курсовой работе / В.В. Селин; Е.А. Беркова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 33 с.). Варианты различаются выбором начальных параметров пара, что

приводит к существенному различию в технико-экономических показателях цикла. УМП по выполнению курсовой работы устанавливает общие требования к содержанию и оформлению курсовой работы, включает методики термодинамического анализа теоретического цикла Ренкина и термодинамического анализа действительного цикла паросиловой установки (ПСУ) методом коэффициентов полезного действия и эксергетическим методом, сопоставление результатов анализа необратимого цикла разными методами, примеры расчетов и образцы графического материала. Пособие обязательно для ознакомления перед началом выполнения курсовой работы.

Курсовая работа должна быть выполнена студентом до завершения курса лекций и лабораторного практикума. Выполненная в соответствии с заданием курсовая работа защищается на собеседовании у преподавателя. Контрольные вопросы и задание по курсовой работе приведены в Приложении № 7. По результатам защиты курсовой работы выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»), которая учитывается при промежуточной аттестации по дисциплине (на экзамене). Критерии выставления оценки приведены в таблице 2. Студенту, получившему неудовлетворительную оценку, предоставляется право доработки курсовой работы и определяется новый срок её защиты.

4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине в четвертом семестре проводится в форме экзамена. К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины в третьем семестре (получившие оценку «зачтено»);
- получившие положительную оценку по результатам практических и лабораторных занятий и самостоятельной работы – индивидуального задания (только для очной формы обучения);
- получившие положительную оценку за курсовую работу.

4.4 Экзаменационный билет содержит три вопроса, относящиеся соответственно к темам:

- первый закон термодинамики и процессы идеального газа;
- свойства реальных газов и термодинамика покоя;
- второй закон термодинамики и циклы тепловых и холодильных установок.

Типовые экзаменационные вопросы по дисциплине приведены в Приложении № 8.

4.5 Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом тем дис-

циплины (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 оценки промежуточной аттестации

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. 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 полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. 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
3. 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 задачи данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, 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 «Техническая термодинамика» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Тепловые электрические станции»).

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

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Приложение №1

к п. 3.1

ТИПОВЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ЗАДАЧИ)

Тема 1.1 Параметры состояния

Задача 1. В сосуде объемом V м³ находится m кг воздуха. Определить его удельный объём v и плотность ρ .

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 °С. 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 °С 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 °С. Атмосферное давление по ртутному барометру $p_{бар}$ мм рт. ст. при t_2 °С. 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 °С до температуры плавления $t_2 = 327$ °С 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 $c_p = 0,1256$ кДж/(кг·К).

Задача 6. Современная паротурбинная электростанция мощностью N МВт работает в году τ суток с КПД η . 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.

Задача 8. При испытании двигателей для определения мощности необходимо их тормозить гидротормозом. При этом работа, произведенная двигателем, расходуется на преодоление сил трения и превращается в теплоту, часть которой (примерно 20 %) рассеивается в окружающей среде, а остальная часть отводится с охлаждающей тормоз водой. Сколько во-

ды необходимо подводить к тормозу G_e за 1 час, если крутящий момент на валу $M_{кр}$ Дж, частота вращения n об/мин, а допустимое повышение температуры воды ΔT К. Теплоемкость воды $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К).

Тема 1.3 Идеальный газ и его свойства

Задача 9. Определить среднюю теплоемкость газа c_x в интервале температур t_1 °С и t_2 °С, пользуясь таблицами средних теплоемкостей.

Задача 10. Определить теплоту, подведенную к газу при $p = \text{const}$, если его температура изменяется от t_1 °С до t_2 °С.

а) Масса газа m кг.

б) Объем газа при температуре t_1 равен V_1 м³.

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 ΔU и энтальпии ΔH 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.

Задача 15. Определить теоретическую работу на привод одноступенчатого и z -ступенчатого с промежуточным охлаждением компрессоров при сжатии воздуха от давления p_1 МПа до p_2 МПа, если начальная температура t_1 °С. Показатель политропы для всех ступеней принять равным n . Начальный объем газа $V_1 = 1000$ м³. Сравнить величину работы одно- и z -ступенчатого сжатия. Определить температуры в конце сжатия. 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 Δl_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.

Задача 18. Определить эксергетический КПД котельной установки, если известно, что температура сгорания в топке равна $t_1 = 1827$ °С, а теплотворная способность мазута $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 42000$ кДж/кг. В котельной установке вырабатывается пар с температурой t_2 °С. Потери теплоты в окружающую среду составляют $(1-\eta)$ % от теплоты сгорания топлива. Параметры окружающей среды: $t_0 = 27$ °С; $p_0 = 0,1$ МПа.

Тема 1.6 Реальные газы и пары

Задача 19. Пользуясь таблицами для воды и пара определить:

19.1 Все параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара при температуре $t_{\text{н}}$ °С;

19.2 Все параметры кипящей воды и сухого насыщенного пара при давлении $p_{\text{н}}$ МПа;

19.3 Удельный объем, энтальпию, энтропию и внутреннюю энергию перегретого пара при температуре t °С и давлении p МПа.

Задача 20. Состояние воды определяется параметрами:

20.1 p МПа; $t = 300$ °С;

20.2 p МПа; $v = 0,015$ м³/кг;

20.3 t °С; $v = 0,00105$ м³/кг;

20.4 p МПа; $t = 350$ °С.

Каковы качественно эти состояния (жидкость, кипящая жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар)?

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

Задача 22. Пользуясь h - s диаграммой определить параметры состояния водяного пара, если:

22.1 t °С; $v = 2,5$ м³/кг;

22.2 p МПа; $t = 300$ °С;

22.3 t °С; $x = 0,95$;

22.4 p МПа; $x = 1,0$.

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.

Тема 1.7 Термодинамика потока

Задача 25. Воздух с начальными параметрами p_1 МПа и t_1 °С вытекает через сопло в атмосферу ($p_2 = 0,1$ МПа). Определить тип сопла, скорость и параметры воздуха на выходе из сопла, а также площадь выходного сечения, если расход воздуха G кг/с. Потерями, теплообменном со стенками и скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять $k = 1,4$.

Задача 26. Определить длину расширяющейся части сопла Лавалья, через которое происходит истечение воздуха с начальными параметрами p_1 МПа и t_1 °С в количестве G кг/с в среду с атмосферным давлением $p_2 = 0,1$ МПа. Угол конусности принять равным $\alpha = 10^\circ$, коэффициент скорости сопла $\varphi = 0,95$. Скоростью на входе в сопло пренебречь.

Задача 27. Как велика скорость истечения перегретого пара через сопло Лавалья, если начальные параметры его p_1 МПа и t_1 °С, а конечное давление p_2 МПа, коэффициент скорости $\varphi = 0,95$. Чему была бы равна эта скорость, если бы сопло было суживающимся? Теплообменном со стенками и скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять $\beta_k = 0,546$. Построить процесс в h - s диаграмме.

Задача 28. Перегретый пар на входе в сопло имеет параметры p_1 МПа и t_1 °С. Давле-

ние пара за соплом p_2 МПа. Истечение происходит без теплообмена с окружающей средой, коэффициент скорости сопла $\varphi = 0,95$. Определить тип сопла, состояние пара за соплом, действительную скорость истечения и площадь выходного сечения сопла, если расход пара через сопло $G = 0,5$ кг/с. Критическое отношение давлений принять равным $\beta_k = 0,546$. Скоростью пара на входе в сопло пренебречь.

Задача 29. В клапанах турбины перегретый пар с параметрами p_1 МПа и t_1 °С дросселируется до давления p_2 МПа, а затем адиабатно расширяется до $p_3 = 0,004$ МПа. Определить потерю теоретической мощности турбины вследствие дросселирования, если расход пара $G = 10$ кг/с. Построить процесс в $h-s$ диаграмме.

Тема 1.8 Влажный воздух

Задача 30. В сушильной установке производится подсушка материала с помощью воздуха при атмосферном давлении. От начального состояния с температурой t_1 °С и относительной влажностью φ_1 % воздух предварительно подогревается до температуры t_2 °С и далее направляется в сушильную камеру, где в процессе высушивания материала воздух охлаждается до $t_3 = 35$ °С. Рассчитать необходимое количество теплоты q для нагревания 1 кг воздуха, параметры воздуха на выходе из сушильной камеры и количество воды, которое отбирает каждый килограмм воздуха от материала. Считать, что тепловые потери отсутствуют. Определить также, какое максимальное количество воды мог бы унести с собой 1 кг воздуха, если бы он направлялся в сушильную камеру без предварительного подогрева.

Тема 1.9 Циклы теплосиловых установок

Задача 31. Для идеального цикла поршневого ДВС с комбинированным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в узловых точках, термический КПД, количество подведённой и отведённой теплоты, полезную работу и степень заполнения цикла, если начальные параметры рабочего тела $p_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 25$ °С, степень адиабатного сжатия ε , степень повышения давления по изохоре λ и степень предварительного расширения ρ . Рабочее тело – воздух ($k = 1,4$).

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 $Q_{н}^p = 30$ 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 $\eta_{пг} = 0,90$, теплота сгорания топлива $Q_{н}^p = 29,3$ 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 $\eta_{пг} = 0,90$.

Тема 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 представлены в таблицах 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
1	V	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	m	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
2	$p_u \cdot 10^{-2}$	90	90	96	96	98	98	75	75	75	75
	$p_{\text{бар}}^0$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
3	p_u	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
	$p_{\text{бар}}^1$	765	770	745	750	755	760	765	770	745	750
4	$p_{\text{бар}}^1$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
	t_1	15	20	25	30	35	40	45	15	20	25
	$p_{\text{бар}}^{12}$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
	t_2	25	30	35	40	45	20	15	20	25	30
5	t_1	5	10	15	20	25	30	35	5	10	15
	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
	τ	330	330	330	330	330	320	320	320	320	320
	η	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
	$Q_{\text{H}}^p \cdot 10^{-3}$	27	26	25	24	28	29	24	25	26	27
8	$M_{\text{сп}}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	$n \cdot 10^{-2}$	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
	Δt	20	25	30	35	40	45	20	25	30	35
9	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воз-дух	O ₂	N ₂	CO

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	c_x	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_0	c_p	c_p	c_p
	t_1	150	150	150	150	150	150	150	150	50	50	50
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	5	6	7	8	11	9	12	4	5	6	6
10	Газ	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	
	t_1	100	200	300	400	500	600	700	100	200	300	
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	350	450	550	650	750	850	950	450	550	650	
	m	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
	V_1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	
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	
	m_{CO}	4	5	6	7	3	1	3	1	1	2	
	p_1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
	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 ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	
	t_1	27	27	27	27	27	37	37	37	37	37	
13	V_1	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150	
	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	
	p_2	0,5	0,6	0,7	0,4	1,0	1,2	1,4	0,8	1,5	1,8	
15	p_1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	
	p_2	0,4	0,8	1,6	0,9	2,7	8,1	1,6	6,4	25,6	0,8	
	t_1	17	17	17	17	17	17	17	17	17	27	
	z	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	
	n	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,12	1,14	1,16	1,18	
16	t_1	17	22	27	32	37	42	17	22	27	32	
	t_4	150	160	170	180	190	200	210	150	160	170	
17	p_1	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	
	t_1	327	377	427	477	527	577	627	327	377	427	
18	t_2	477	527	577	627	427	427	477	527	577	627	
	η	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	
19	t_n	374	350	325	300	275	249	224	119	176	150	
	p_n	0,1	0,2	0,4	0,6	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	5,0	
	t	595	795	215	315	415	475	555	805	565	455	
	p	0,9	1,1	1,3	1,5	2,0	5,0	9,0	9,8	12,0	13,5	
20	p	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	
	p	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
	t	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
	p	22,0	21,8	21,6	21,4	21,2	21,0	20,8	20,6	20,4	20,2	
21	p	20,0	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0	8,0	7,0	6,0	5,0	
	y	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	
22	t	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
	p	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	
	t	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150	
	p	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	t	100	120	150	200	200	210	250	250	260	270
	p	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
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	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
25	p_1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
	t_1	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
	G	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8
26	p_1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	t_1	500	600	700	800	900	500	600	700	800	900
	G	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7
27	p_1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
	t_1	500	450	400	350	300	500	450	400	350	300
	$p_2 \cdot 10^2$	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6
28	p_1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7
	t_1	260	260	260	270	270	270	280	280	280	290
	p_2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,3	0,35	0,4	0,45	0,3	0,35
29	p_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	t_1	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400
	p_2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
30	t_1	20	18	16	22	20	18	16	22	20	18
	φ_1	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
	t_2	80	75	70	80	75	70	80	75	70	80
31	ε	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
	λ	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
	ρ	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
32	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
	t_1	300	300	300	250	250	250	200	200	200	200
33	p_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	t_1	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450
34	p_1	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	t_1	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	p_{ne}	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	t_{ne}	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
	$\rho_{омб}$	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,20	0,18	0,12	0,24	0,4
36	p_1	3,5	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0
	t_1	435	420	400	450	435	420	400	450	430	420
37	t_3	-15	-15	-15	-15	-15	-20	-20	-20	-20	-20
	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_{16}	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
1	V	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	m	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
2	$p_u \cdot 10^{-2}$	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_u	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
	$p_{бар}^1$	755	760	765	770	745	750	755	760	765	770
4	$p_{г}^{11}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
	t_1	30	35	40	45	15	20	25	30	35	40
	$p_{бар}^{12}$	745	750	755	760	765	770	745	750	755	760
	t_2	35	40	45	15	20	25	30	35	40	45
5	t_1	20	25	30	35	5	10	15	20	25	30
	m_m	150	300	200	250	150	300	200	250	150	300
	h_m	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
6	$N \cdot 10^{-2}$	6	12	24	36	48	6	12	24	36	48
	τ	310	310	310	310	310	300	300	300	300	300
	η	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,34	0,36	0,38	0,35	0,40
	$Q_H^p \cdot 10^{-3}$	28	29	24	25	26	27	28	29	24	25
8	$M_{кр}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	$n \cdot 10^{-2}$	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
	Δt	20	25	30	35	40	45	20	25	30	35
9	Газ	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
	c_x	c_p	c_p	c_p	c_p	$\mu_{св}$	$\mu_{св}$	$\mu_{св}$	$\mu_{св}$	$\mu_{св}$	$\mu_{св}$
	t_1	50	50	50	50	50	250	250	250	250	250
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7	8	9	10	5	6	7	9	10	8
10	Газ	Воздух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух	O ₂	N ₂
	t_1	400	500	600	700	700	600	500	400	300	200
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	8,5	10,5	9,5	8,5
	m	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
	V_1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
11	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 ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂
	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

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
15	p_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	
	p_2	1,6	3,2	1,8	5,4	16,2	3,2	12,8	51,2	0,2	0,4	
	t_1	27	27	27	27	27	27	27	27	27	37	37
	z	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	
	n	1,20	1,22	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,12	1,14	
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	
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	
18	t_2	427	477	527	577	627	427	477	527	577	627	
	η	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	
19	t_n	120	100	80	60	40	90	20	10	10	30	
	p_n	22,4	22,0	20,0	18,0	16,0	15,0	12,0	9,0	8,0	6,0	
	t	105	295	645	125	695	805	745	565	615	275	
	p	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
20	p	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	
	p	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	
	t	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
	p	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	
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	
22	t	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
	p	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
	t	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100	
	p	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	
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	
25	p_1	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	
	t_1	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	
	G	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,4	0,5	0,6	
26	p_1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	
	t_1	200	300	400	500	600	200	300	200	300	400	
	G	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	
27	p_1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	
	t_1	400	480	460	440	420	400	380	360	340	320	
	$p_2 \cdot 10^2$	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	
28	p_1	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	
	t_1	290	290	290	300	300	300	310	310	310	320	
	p_2	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	
29	p_1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	t_1	250	300	350	400	450	250	300	400	450	350	
	p_2	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
30	t_1	19	21	23	25	19	21	23	25	19	21	
	φ_1	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	
	t_2	75	70	80	75	70	80	75	70	80	75	

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
31	ε	6	6	6	6	6	9	9	9	9	9
	λ	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	ρ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,1	1,2	1,3	1,4
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_{ne}	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
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
	$\rho_{отб}$	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
1	V	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,3	1,7	1,9	1,8
	m	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,5
2	$p_u \cdot 10^{-2}$	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_u	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_{ε}^{11}	200	220	240	260	280	300	320	340	360	280
	t_1	45	15	20	25	30	35	40	45	15	40
	$p_{бар}^{12}$	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
	τ	340	340	340	340	330	330	330	330	330	334
	η	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

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8	$M_{кр}$	300	310	320	330	340	350	360	370	380	200
	$n \cdot 10^{-2}$	10	9	21	20	19	18	17	16	15	15
	Δt	30	35	40	45	20	25	30	35	40	35
9	Газ	Воздух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух	O ₂	Воздух
	c_x	μc_v	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_p	c'_v
	t_1	250	350	350	350	350	350	350	350	450	450
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	11	12	11	11	9	7	8	6	9	10
10	Газ	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
	t_1	100	300	400	500	600	700	100	200	600	500
	$t_2 \cdot 10^{-2}$	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	7,5	8,5	10,5	9,5
	m	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
	V_1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
11	m_{N_2}	1	1	1	2	2	5	10	3	2	4
	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
12	V_1	250	300	350	400	450	500	300	350	400	200
	Газ	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	N ₂	CO	CO ₂	SO ₂	O ₂
	t_1	7	7	7	7	7	47	47	47	47	47
13	V_1	300	350	400	450	100	150	200	250	300	500
	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
14	m	7,0	7,5	8,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	4,5	5,0
	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
15	p_1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,3	0,3
	p_2	0,8	0,45	1,35	4,05	0,8	3,2	12,8	1,2	2,4	12,5
	t_1	37	37	37	37	37	37	37	37	27	27
	z	4	2	3	4	2	3	4	2	3	3
	n	1,16	1,18	1,20	1,22	1,17	1,14	1,16	1,18	1,22	1,2
16	t_1	27	32	37	42	17	22	27	32	37	40
	t_4	210	150	160	170	180	190	200	210	150	200
17	p_1	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0
	t_1	627	327	377	427	477	527	577	623	327	427
18	t_2	427	477	527	577	627	427	477	527	577	557
	η	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
19	t_u	50	70	110	130	140	200	5	8	25	360
	p_u	5,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,12	0,15
	t	365	445	965	875	715	615	555	745	405	155
	p	16,0	17,5	20,0	22,0	22,5	25,0	27,0	30,0	15,0	17,0
20	p	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,06	0,05
	p	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
	t	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
21	p	18,0	17,8	17,6	17,4	17,2	17,0	16,8	16,6	16,4	16,2
	p	0,3	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,08	0,01
	y	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	0,2	0,3
22	t	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
	p	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	t	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150
23	p	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
	t	400	400	420	450	500	350	360	370	380	400
	p	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
24	x_1	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	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
25	p_1	0,26	0,27	0,28	0,29	0,35	0,45	0,55	0,65	0,70	0,75
	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
26	p_1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
	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
27	p_1	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
	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
28	p_1	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,7
	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
29	p_1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	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
30	t_1	22	20	18	16	22	20	18	16	22	20
	φ_1	35	45	55	65	75	35	45	55	65	75
	t_2	70	80	75	70	80	75	70	80	75	70
31	ε	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
	λ	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	ρ	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
32	p_1	0,35	0,28	0,26	0,24	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,4
	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
33	p_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	t_1	200	250	300	350	400	200	250	300	350	400
34	p_1	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	t_1	565	560	555	550	545	565	560	555	550	545
	p_{ne}	3,0	2,8	3,0	2,8	2,2	2,0	1,8	2,2	2,0	1,8
	t_{ne}	160	150	160	150	160	150	160	150	160	150
35	p_1	7,0	6,5	6,5	7,0	6,5	6,0	7,0	6,5	6,0	7,0
	t	450	440	435	500	480	450	440	435	500	480
	ρ_{om6}	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55	0,45	0,5	0,55
36	p_1	5,5	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0	5,0	5,5	5,0
	t_1	435	420	400	450	435	420	400	450	435	420
37	t_3	-10	-10	-10	-10	-10	-12	-12	-12	-12	-12

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
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	20	20	15	15	10	10	20	20	15	15
	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_{1e}	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8

Приложение № 2

к п. 3.1

ТИПОВЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВС

Для предложенного варианта задания произвести расчет цикла с определением термодинамических параметров в узловых точках для пяти значений одного из анализируемых относительных параметров: степени адиабатного сжатия ε , степени повышения давления по изохоре λ или степени предварительного расширения по изобаре ρ .

По предложенной методике определить термодинамические показатели цикла: удельную подведённую теплоту q_1 в кДж/кг; удельную отведённую теплоту q_2 в кДж/кг; полезную удельную работу цикла ℓ в кДж/кг; изменение удельной энтропии в процессе отвода теплоты ($s_4 - s_1$) в Дж/(кг·К); термический КПД цикла η_t .

Для оценки степени термодинамического совершенства цикла η определить величину термического КПД цикла Карно η^k в интервале максимальной T_{max} и минимальной T_{min} температур анализируемого цикла. В конце расчёта определить среднее индикаторное давление p_i в МПа.

По результатам расчета необходимо сделать следующее:

- для трёх значений исследуемого относительного параметра (наименьшего, среднего и наибольшего) построить (в масштабе) графические изображения циклов в $p-v$ диаграмме. Построение для всех трёх циклов произвести для наглядности сравнения на одном и том же рисунке с указанием их характеристик;

- то же самое проделать для этих циклов в диаграмме $T-s$. В качестве базы для изменения энтропии по оси абсцисс использовать величину изменения энтропии в процессе отвода теплоты ($s_4 - s_1$), полученную при расчетах.

- построить по результатам расчетов всех пяти точек зависимости термического КПД цикла η_t , термического КПД цикла Карно η^k , степени термодинамического совершенства цикла η и среднего индикаторного давления p_i от одного из относительных параметров цикла (в зависимости от задания) – ε , λ или ρ . Все четыре зависимости представить на одном рисунке и провести их анализ.

В результате анализа необходимо установить:

- как влияет выбор величины исследуемого относительного параметра (ε , λ или ρ) на величину термического КПД цикла η_t ;

- как влияет выбор величины этого же параметра на величину термического КПД цик-

Приложение № 3

к п. 3.2

ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА НАПИСАНИЕ РЕФЕРАТА

1. Характеристика и классификация природных энергетических ресурсов.
2. Топливо-энергетический комплекс России.
3. Проблемы топливо-энергетического комплекса Калининградской области.
4. История развития энергетики России.
5. Энергетическая безопасность России.
6. Тенденции развития мировой энергетики.
7. Экологические проблемы энергетики.
8. Перспективы развития угольной энергетики в России и в мире.
9. Современные способы сжигания твёрдых топлив.
10. Перспективы развития ядерной энергетики.
11. Подземные атомные электростанции повышенной безопасности.
12. Плавающие атомные электростанции.
13. Причины и уроки Чернобыльской аварии.
14. Характеристика и классификация возобновляемых источников энергии.
15. Гидроэнергетические ресурсы мира и России.
16. Развитие малой гидроэнергетики в России.
17. Крупнейшие аварии на ГЭС: причины и последствия.
18. Использование солнечной энергии для теплоснабжения.
19. Термодинамические и фотоэлектрические солнечные электростанции.
20. Перспективы использования геотермальной энергии в энергетике.
21. Тепловые насосы и перспективы их использования в автономных системах теплоснабжения.
22. Развитие ветроэнергетики в России и в мире.
23. Биомасса и технологии её использования для получения электроэнергии и тепла.
24. Перспективы использования биомассы в энергетическом балансе Калининградской области.
25. Способы переработки твёрдых коммунальных отходов. Мировой опыт.
26. Характеристика и потенциал энергетических ресурсов мирового океана.
27. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии на ТЭЦ. Крупнейшие ТЭЦ России.

28. Паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции: преимущества и недостатки.

29. История восстановления и послевоенного развития энергетических объектов Калининградской области.

30. О вероятности «сланцевой революции» в энергетике.

Приложение № 4

к п. 3.3

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

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. Теплоёмкости c_p и c_v для идеального газа. Закон Майера. 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. Каков физический смысл газовой постоянной? Ее связь с универсальной газовой постоянной.
3. Что представляет собой термическое уравнение состояния для идеального газа?
4. Какой процесс называют изохорным? Уравнения для работы изменения объёма, располагаемой работы и теплоты. Соотношение между параметрами 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. Исследование процессов во влажном воздухе.

Задание по лабораторной работе: Изучение изменений состояния влажного воздуха в процессах, протекающих в сушильной установке, определить опытным путем термодинамические параметры влажного воздуха в характерных точках процессов нагрева воздуха и сушки материала, построить эти процессы на $h-d$ диаграмме, оценить их термодинамическую эффективность.

Контрольные вопросы:

1. Что называют влажным воздухом?

2. В каких случаях влажный воздух является ненасыщенным и насыщенным влагой?

3. Что называется точкой росы? Как определить «точку росы» с помощью $h-d$ диаграммы?

4. Что такое абсолютная влажность и относительная влажность? Как определяются давление, плотность, газовая постоянная и энтальпия влажного воздуха?

5. Что такое влагосодержание? В каких пределах оно может изменяться?

6. h - d диаграмма влажного воздуха. Графическое изображение основных процессов в h - d диаграмме.

Лабораторная работа № 5. Исследование процесса адиабатного истечения газа через суживающееся сопло.

Задание по лабораторной работе: Построить экспериментальную зависимость расхода воздуха через суживающееся сопло от давления за соплом (расходную характеристику сопла). Определить коэффициенты расхода и скорости сопла.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятиям сопло и диффузор.
2. Что такое критическое давление и от чего оно зависит? Каково критическое отношение давлений для воздуха?
3. Что такое расходная характеристика сопла?
4. Каков физический смысл критической скорости?
5. Как определяется скорость на выходе из сопла и массовый расход через сопло? Что такое коэффициент скорости сопла?
6. В каких случаях используются суживающиеся сопла и сопла Лаваля?

Лабораторная работа № 6. Исследование процесса дросселирования воздуха через пористую перегородку

Задание по лабораторной работе: Опытным путем определить изменение температуры воздуха в процессе адиабатного дросселирования при перепаде давления на дросселе до 0,8 МПа, а также определить Ван-дер-Ваальса, применяя для воздуха модель реального газа Ван-дер-Ваальса.

Контрольные вопросы:

1. Что такое адиабатное дросселирование?
2. Основные закономерности процесса адиабатного дросселирования.
3. Что называют дифференциальным и интегральным дроссель-эффектом?
4. Что такое температура инверсии? Кривая инверсии?
5. Процесс Джоуля-Томсона. Схема опытного участка.
6. Назовите сферы использования процесса дросселирования в технике и в быту? В каких случаях необходимо бороться с эффектом дросселирования?

Лабораторная работа № 7. Определение теплоёмкости твёрдых материалов методом монотонного нагрева.

Задание по лабораторной работе: Экспериментально определить теплоёмкость исследуемого твердого тела в диапазоне температур от 50 до 225 °С и её температурную зависимость и сравнить со справочными данными.

Контрольные вопросы:

1. Что такое теплоёмкость, удельная теплоёмкость?
2. Чем отличается теплоёмкость твёрдых тел от теплоёмкости газов?
3. Что такое адиабатная оболочка?
4. Методы экспериментального определения теплоёмкости твердых материалов.
5. Объясните принцип действия лабораторной установки.
6. Что такое метод регулярного нагрева?

Приложение № 5

к п. 3.4

ТИПОВЫЕ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.2: Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений

*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. Единицы измерения удельной энтропии.

1. Дж/(кг·К)	3. Дж/К
2. Дж/кг	4. Дж/с

*Вопрос 4. Из перечисленного к термическим параметрам состояния **НЕ** относится...*

1. абсолютная температура	3. удельный объем
2. абсолютное давление	4. удельная энтальпия

Вопрос 5. "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 6. Отношение теплоемкостей называется...

1. газовая постоянная	3. коэффициент сжатия
2. показатель адиабаты	4. тепловая доля

*Вопрос 7. Для идеального газа внутренняя энергия и энтальпия **НЕ** изменяются в...*

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

Вопрос 8. Теплоемкость c_v идеального газа зависит только от...

1. температуры	3. энтальпии
2. объема	4. энтропии

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

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

Вопрос 10. Критическая 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. Наибольшая температура существования жидкости и наименьшая температура существования пара при данном давлении называется...

1. температура насыщения	3. температура сублимации
2. температура испарения	4. температура плавления

Вопрос 12. 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 13. Степень сухости представляет собой массовую долю...

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 14. При изобарном подводе теплоты к влажному пару будет оставаться постоянным(ой)...

1. удельная энтальпия	3. температура
2. удельная энтропия	4. удельный объем

Вопрос 15. Отношение массы чистого пара к массе сухого воздуха во влажном воздухе называется...

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

Вопрос 16. Водяной пар в ненасыщенном влажном воздухе находится в состоянии...

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

Вопрос 17. Сопло – это канал переменного сечения, в котором при перемещении газа происходит его...

1. расширение с уменьшением давления и увеличением скорости	3. сжатие с увеличением давления и уменьшением скорости
2. сжатие с уменьшением давления и увеличением скорости	4. расширение с увеличением давления и уменьшением скорости

Вопрос 18. Профиль сопла Лаваля является...

1. суживающимся	3. расширяющимся
2. комбинированным	4. суживающимся с минимальным сечением

Вопрос 19. После адиабатного дросселирования идеального газа уменьшается...

1. энтальпия	3. скорость
2. температура	4. давление

Вопрос 20. При дросселировании реальных газов имеет место положительный дроссель-эффект, если...

1. понижение давления сопровождается повышением температуры	3. понижение давления сопровождается понижением температуры
2. при понижении давления температура не изменяется	4. при неизменном давлении температура повышается

Вопрос 21. 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 22. Формула для расчета массовой доли компонента в смеси идеальных газов имеет вид...

1. $g_i = m_i / m_{см}$	3. $r_i = V_i / V_{см}$
2. $g_i = m_{см} / m_i$	4. $r_i = V_{см} / V_i$

Вопрос 23. 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 24. В координатах T-s вертикальной прямой линией изображается...

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

Вопрос 25. Формула для расчета работы изменения объема 1 кг идеального газа в изобарном процессе имеет вид...

1. $\ell = p \cdot (v_2 - v_1)$	3. $\ell_0 = v \cdot (p_2 - p_1)$
2. $\ell = p \cdot (v_1 - v_2)$	4. $\ell_0 = v \cdot (p_1 - p_2)$

Вопрос 26. Формула для расчета 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 27. Формула для расчета изменение энтропии 1 кг идеального газа в изохорном процессе имеет вид...

1. $\Delta s = c_p \cdot \ln(T_2/T_1)$	3. $\Delta s = R \cdot \ln(v_2/v_1)$
2. $\Delta s = c_v \cdot \ln(p_2/p_1)$	4. $\Delta s = c_n \cdot \ln(T_2/T_1)$

Вопрос 28. Уравнение первого закона термодинамики для обратимых процессов с идеальным газом для открытой системы имеет вид...

1. $\delta q = dh - v \cdot dp$	3. $\delta q = du - p \cdot dv$
2. $\delta q = dh + v \cdot dp$	4. $\delta q = du + p \cdot dv$

Вопрос 29. В таблицах термодинамических свойств воды и водяного пара **НЕ** приводится...

1. удельный объем	3. удельная внутренняя энергия
2. удельная энтальпия	4. удельная энтропия

Вопрос 30. Основной цикл паротурбинной установки называется

1. цикл Ренкина	3. цикл Брайтона
2. цикл Тринклера	4. цикл Отто

Вопрос 31. Наиболее распространенным рабочим телом в газотурбинных установках является...

1. вода	3. смесь воздуха и продуктов сгорания топлива
2. воздух	4. аммиак

Вопрос 32. Циклы двигателей внутреннего сгорания в зависимости от свойств рабочего тела относятся к...

1. газовым циклам	3. парогазовым циклам
2. паровым циклам	4. бинарным циклам

Вопрос 33. Термический КПД обратимого цикла Карно определяется по формуле...

1. $\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$	3. $\eta_t^K = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
2. $\eta_t = \frac{q_1}{q_1 - q_2}$	4. $\eta_t^K = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$

Вопрос 34. Термический КПД газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении зависит от...

1. степени повышения давления в компрессоре	3. внутреннего относительного КПД газовой турбины
2. расхода воздуха в цикле	4. степени адиабатного сжатия

Вопрос 35. Количественной мерой термодинамической эффективности обратимого цикла теплосилового устройства является...

1. внутренний абсолютный КПД	3. термический КПД
2. эффективный КПД	4. степень термодинамического совершенства

	ства
--	------

Вопрос 36. Внутренний относительный КПД цикла паротурбинной установки определяется по формуле...

1. $\eta_t = \frac{\ell_T - \ell_H}{q_1}$	3. $\eta_{oi}^{\text{ц}} = \frac{\ell_{\text{ц}}^{\text{дейст}}}{\ell_{\text{ц}}^{\text{обрат}}}$
2. $\eta_{oi}^T = \frac{\ell_{\text{ц}}^{\text{дейст}}}{\ell_T^{\text{теор}}}$	4. $\eta_e^{\text{уст}} = \frac{\ell_3}{q'}$

Вопрос 37. Увеличение температуры перегрева пара в цикле паросиловой установки при неизменных значениях начального давления пара и давления в конденсаторе может привести к...

1. уменьшению термического КПД цикла	3. уменьшению внутреннего относительного КПД турбины
2. увеличению конечной влажности пара	4. увеличению средней температуры подвода теплоты

Вопрос 38. Часовой расход топлива паросиловой установкой рассчитывается по формуле...

1. $B = \frac{3600 \cdot N}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$	3. $b = \frac{3600}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$
2. $D = \frac{3600 \cdot N}{\ell_T}$	4. $d = \frac{3600}{\ell_T}$

Вопрос 39. Расход охлаждающей воды через конденсатор паротурбинной установки рассчитывается по формуле...

1. $G = \frac{Q}{c_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})}$	3. $G = \frac{h_{\text{вых}} - h_{\text{вх}}}{Q}$
2. $G = Q \cdot c_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})$	4. $G = Q \cdot (h_{\text{вых}} - h_{\text{вх}})$

Вопрос 40. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии называется...

1. регенерация	3. утилизация
2. теплофикация	4. газификация

Вариант 2

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.2: Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений

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. Единицы измерения удельной энтальпии?

1. Дж/(кг·К)	3. Дж/К
2. Дж/кг	4. Дж/с

Вопрос 4. Из перечисленного калорическим параметром состояния является...

1. абсолютная температура	3. удельный объем
2. абсолютное давление	4. удельная энтальпия

Вопрос 5. "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 6. Теплоемкость процесса постоянного объема c_v называется...

1. изобарная	3. объемная
2. изохорная	4. массовая

Вопрос 7. Обратимый термодинамический процесс, протекающий при постоянной энтропии, называется...

1. изотермическим	3. изохорным
2. изобарным	4. адиабатным

Вопрос 8. Внутренняя энергия идеального газа зависит только от...

1. температуры	3. давления
2. энтропии	4. объема

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

1. парообразование	3. сублимация
--------------------	---------------

2. конденсация	4. десублимация
----------------	-----------------

<i>Вопрос 10. Тройная 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 твердой фазы и наименьшая температура существования жидкости при данном давлении называется...</i>	
1. температура насыщения	3. температура сублимации
2. температура испарения	4. температура плавления

<i>Вопрос 12. Смесь кипящей жидкости и насыщенного пара называется...</i>	
1. сухой насыщенный пар	3. конденсат
2. влажный насыщенный пар	4. перегретый пар

<i>Вопрос 13. Степень влажности – 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 14. При изотермическом подводе теплоты к влажному пару будет оставаться постоянным(ой)...</i>	
1. удельная энтальпия	3. давление
2. удельная энтропия	4. удельный объем

<i>Вопрос 15. Отношение массы пара к единице объема влажного воздуха называется...</i>	
1. влагосодержание	3. относительная влажность
2. абсолютная влажность	4. степень сухости

<i>Вопрос 16. Водяной пар в насыщенном влажном воздухе находится в состоянии...</i>	
1. перегретый пар	3. сухой насыщенный пар
2. влажный пар	4. ненасыщенный пар

<i>Вопрос 17. Диффузор – это канал переменного сечения, в котором при перемещении газа происходит его...</i>	
1. расширение с уменьшением давления и увеличением скорости	3. сжатие с увеличением давления и уменьшением скорости
2. сжатие с уменьшением давления и увеличением скорости	4. расширение с увеличением давления и уменьшением скорости

<i>Вопрос 18. Профиль дозвукового сопла является?</i>	
1. суживающийся	3. расширяющийся
2. комбинированный	4. суживающийся с минимальным сечением

<i>Вопрос 19. После адиабатного дросселирования влажного пара уменьшится...</i>	
1. энтальпия	3. энтропия

2. температура	4. степень сухости
----------------	--------------------

Вопрос 20. При дросселировании реальных газов имеет место отрицательный дроссель-эффект, если...

1. понижение давления сопровождается повышением температуры	3. понижение давления сопровождается понижением температуры
2. при понижении давления температура не изменяется	4. при неизменном давлении температура повышается

Вопрос 21. Уравнение, называемое уравнением Майера, имеет вид... 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 22. Объемную долю компонента в смеси идеальных газов рассчитывают по формуле...

1. $g_i = m_i/m_{см}$	3. $r_i = V_i/V_{см}$
2. $g_i = m_{см}/m_i$	4. $r_i = V_{см}/V_i$

Вопрос 23. 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 24. В координатах $T-s$ изображается горизонтальной прямой линией...

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

Вопрос 25. Располагаемую работу 1 кг идеального газа в изохорном процессе рассчитывают по формуле...

1. $\ell = p \cdot (v_2 - v_1)$	3. $\ell_0 = v \cdot (p_2 - p_1)$
2. $\ell = p \cdot (v_1 - v_2)$	4. $\ell_0 = v \cdot (p_1 - p_2)$

Вопрос 26. Количество теплоты, подведенной к 1 кг идеального газа в изобарном процессе, рассчитывают по формуле...

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 27. Изменение энтропии 1 кг идеального газа в изотермическом процессе рассчитывают по формуле...

1. $\Delta s = c_p \cdot \ln(T_2/T_1)$	3. $\Delta s = R \cdot \ln(v_2/v_1)$
2. $\Delta s = c_v \cdot \ln(p_2/p_1)$	4. $\Delta s = c_n \cdot \ln(T_2/T_1)$

Вопрос 28. Уравнение первого закона термодинамики для обратимых процессов с идеальным газом для закрытой системы имеет вид...

1. $\delta q = dh - v \cdot dp$	3. $\delta q = du - p \cdot dv$
2. $\delta q = dh + v \cdot dp$	4. $\delta q = du + p \cdot dv$

Вопрос 29. Количество таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара

1. четыре	3. две
2. три	4. одна

Вопрос 30. Основной цикл газотурбинной установки называется...

1. цикл Ренкина	3. цикл Брайтона
2. цикл Тринклера	4. цикл Отто

Вопрос 31. Наиболее распространенным рабочим телом в двигателях внутреннего сгорания является...

1. вода	3. смесь воздуха и продуктов сгорания топлива
2. воздух	4. аммиак

Вопрос 32. Циклы паротурбинных установок в зависимости от свойств рабочего тела относятся к...

1. газовым циклам	3. парогазовым циклам
2. паровым циклам	4. бинарным циклам

Вопрос 33. Термический КПД обратимого цикла теплосиловой установки определяется по формуле...

1. $\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$	3. $\eta_t^K = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
2. $\eta_t = \frac{q_1}{q_1 - q_2}$	4. $\eta_t^K = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$

Вопрос 34. Термический КПД двигателя внутреннего сгорания с изохорным подводом теплоты зависит от...

1. степени повышения давления в компрессоре	3. степени повышения давления по изохоре
2. расхода воздуха в цикле	4. степени адиабатного сжатия

Вопрос 35. Количественной мерой термодинамической эффективности необратимого цикла теплосиловой установки является...

1. степень термодинамического совершенства	3. термический КПД
2. эффективный КПД	4. внутренний абсолютный КПД

Вопрос 36. Термический КПД обратимого цикла Ренкина определяется по формуле...

1. $\eta_t = \frac{\ell_T - \ell_H}{q_1}$	3. $\eta_{oi}^c = \frac{\ell_{ц}^{дейст}}{\ell_{ц}^{обрат}}$
---	--

2. $\eta_{oi}^T = \frac{\ell_T^{\text{дейст}}}{\ell_T^{\text{теор}}}$	4. $\eta_e^{\text{уст}} = \frac{\ell_3}{q'}$
---	--

Вопрос 37. Увеличение начального давления пара в цикле паросиловой установки при неизменных начальной температуре пара и давлении в конденсаторе может привести к...

1. уменьшению термического КПД цикла	3. увеличению относительного внутреннего КПД турбины
2. увеличению конечной влажности пара	4. уменьшению средней температуры подвода теплоты

Вопрос 38. Удельный расход пара на выработку 1 кВт·ч электроэнергии в паротурбинной установке рассчитывается по формуле...

1. $B = \frac{3600 \cdot N}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$	3. $b = \frac{3600}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$
2. $D = \frac{3600 \cdot N}{\ell_T}$	4. $d = \frac{3600}{\ell_T}$

Вопрос 39. Термический КПД цикла газотурбинной установки определяется по формуле...

1. $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$	3. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
2. $\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi \cdot \frac{k-1}{k}}$	4. $\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot (\rho - 1)}$

Вопрос 40. Процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии называется...

1. регенерация	3. утилизация
2. когенерация	4. газификация

Вариант 3

ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Индикатор достижения компетенции ОПК-4.2: Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений

*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. Единицы измерения удельная внутренняя энергия

1. Дж/(кг·К)	3. Дж/К
2. Дж/кг	4. Дж/с

*Вопрос 4. Из перечисленного к калорическим параметрам состояния **НЕ** относится...*

1. удельная внутренняя энергия	3. удельный объем
2. удельная энтропия	4. удельная энтальпия

*Вопрос 5. **НЕ** является формулировкой второго закона термодинамики утверждение, что...*

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 6. Объем, который занял бы каждый отдельный компонент при давлении и температуре смеси идеальных газов, называется...

1. парциальный объем	3. объем смеси
2. удельный объем	4. объем компонента

Вопрос 7. Объем идеального газа остается постоянным в...

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

Вопрос 8. Энтальпия идеального газа зависит только от...

1. температуры	3. объемы
2. давления	4. энтропии

*Вопрос 9. Из перечисленного к свойствам реальных газов **НЕ** относится утверждение, что...*

1. молекулы имеют конечные размеры	3. при высоких температурах наблюдается диссоциация части молекул
2. между молекулами отсутствуют силы взаимодействия	4. при низких температурах наблюдается ассоциация части молекул

Вопрос 10. Процесс перехода вещества из твердого состояния в парообразное называется...

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

Вопрос 11. Пар, температура которого выше температуры насыщения при данном давлении, называется...

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

Вопрос 12. Количество теплоты, которое необходимо отвести от 1 кг сухого насыщенного пара для превращения его в жидкость при постоянном давлении, называется...

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

Вопрос 13. Степень сухости кипящей жидкости имеет значение...

1. $x = 0$	3. $0 \leq x \leq 1$
2. $x = 1$	4. $0 < x < 1$

Вопрос 14. При обратимом адиабатном расширении пара будет оставаться постоянным(ой)...

1. удельная энтальпия	3. температура
2. удельная энтропия	4. давление

Вопрос 15. 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

Вопрос 16. В процессе нагрева влажного воздуха остается постоянным(ой)...

1. температура	3. относительная влажность
2. влагосодержание	4. энтальпия

Вопрос 17. Силы трения при расчете действительной скорости на выходе из канала в реальном процессе адиабатного течения учитываются с помощью...

1. критического отношения давлений	3. коэффициента расхода
2. коэффициента скорости	4. угла конусности

Вопрос 18. Профиль дозвукового диффузора является...

1. суживающийся	3. расширяющийся
2. комбинированный	4. суживающийся с минимальным сечением

<i>Вопрос 19. При адиабатном течении располагаемая работа получается за счет...</i>	
1. уменьшения давления	3. уменьшения энтальпии
2. увеличения температуры	4. увеличения энтропии

<i>Вопрос 20. При дросселировании реальных газов имеет место нулевой дроссель-эффект, если...</i>	
1. понижение давления сопровождается повышением температуры	3. понижение давления сопровождается понижением температуры
2. при понижении давления температура не изменяется	4. при неизменном давлении температура повышается

<i>Вопрос 21. Неверно записанное уравнение состояния идеального газа имеет вид... Здесь R_μ – универсальная газовая постоянная.</i>	
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. $p \cdot V_\mu = R_\mu \cdot T$

<i>Вопрос 22. Массовую теплоемкость смеси идеальных газов рассчитывают по формуле...</i>	
1. $c_{см} = \sum(g_i \cdot c_i)$	3. $c_{см} = 1/\sum(g_i \cdot c_i)$
2. $c_{см} = \sum(r_i \cdot c_i)$	4. $c_{см} = 1/\sum(r_i \cdot c_i)$

<i>Вопрос 23. Соотношение между параметрами идеального газа в изохорном процессе имеет вид...</i>	
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. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$

<i>Вопрос 24. В координатах p-v изображается вертикальной прямой линией...</i>	
1. изохорный процесс	3. изобарный процесс
2. изотермический процесс	4. адиабатный процесс

<i>Вопрос 25. Работу изменения объема 1 кг идеального газа в изотермическом процессе рассчитывают по формуле...</i>	
1. $\ell = p \cdot (v_2 - v_1)$	3. $\ell = v \cdot (p_2 - p_1)$
2. $\ell = p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$	4. $\ell = \frac{p_1 \cdot v_1}{k-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$

<i>Вопрос 26. Количество теплоты, подведенной к 1 кг идеального газа в изохорном процессе, рассчитывают по формуле...</i>	
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. $q = R \cdot (T_2 - T_1)$

<i>Вопрос 27. Изменение энтропии 1 кг идеального газа в изобарном процессе рассчитывают по формуле...</i>	
1. $\Delta s = c_p \cdot \ln(T_2/T_1)$	3. $\Delta s = R \cdot \ln(v_2/v_1)$

2. $\Delta s = c_v \cdot \ln(p_2/p_1)$	4. $\Delta s = c_n \cdot \ln(T_2/T_1)$
--	--

Вопрос 28. Обобщенное уравнение первого и второго законов термодинамики имеет вид...

1. $\delta q = dh - v \cdot dp$	3. $T \cdot ds = du + p \cdot dv$
2. $\delta q = dh + v \cdot dp$	4. $T \cdot ds = du - p \cdot dv$

Вопрос 29. 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 30. Цикл двигателя внутреннего сгорания с комбинированным подводом теплоты называется...

1. цикл Ренкина	3. цикл Брайтона
2. цикл Тринклера	4. цикл Отто

Вопрос 31. Наиболее распространенным рабочим телом в паротурбинных установках является...

1. вода	3. смесь воздуха и продуктов сгорания топлива
2. воздух	4. аммиак

Вопрос 32. Циклы газотурбинных установок в зависимости от свойств рабочего тела относятся к...

1. газовым циклам	3. парогазовым циклам
2. паровым циклам	4. бинарным циклам

Вопрос 33. Термический КПД цикла Отто определяется по формуле...

1. $\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$	3. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
2. $\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$	4. $\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k \cdot \epsilon^{k-1} \cdot (\rho - 1)}$

Вопрос 34. Термический КПД двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Дизеля, зависит от...

1. степени повышения давления в компрессоре	3. степени предварительного расширения по изобаре
2. расхода воздуха в цикле	4. степени повышения давления по изохоре

Вопрос 35. Отношение термического КПД цикла теплосилового устройства к термическому КПД цикла Карно в том же интервале температур называется...

1. внутренний абсолютный КПД	3. внутренний относительный КПД
2. эффективный КПД	4. степень термодинамического совершенства

Вопрос 36. Эффективный КПД паротурбинной установки определяется по формуле...

1. $\eta_t = \frac{\ell_T - \ell_H}{q_1}$	3. $\eta_{oi}^{\text{ц}} = \frac{\ell_{\text{ц}}^{\text{дейст}}}{\ell_{\text{ц}}^{\text{обрат}}}$
2. $\eta_{oi}^T = \frac{\ell_T^{\text{дейст}}}{\ell_T^{\text{теор}}}$	4. $\eta_e^{\text{уст}} = \frac{\ell_3}{q'}$

Вопрос 37. Уменьшение конечного давления пара в конденсаторе паросиловой установки при неизменных начальных параметрах пара: температуре и давлении может привести к уменьшению...

1. термического КПД цикла	3. удельного объема пара
2. конечной влажности пара	4. средней температуры отвода теплоты

Вопрос 38. Удельный расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии в паротурбинной установке рассчитывается по формуле...

1. $B = \frac{3600 \cdot N}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$	3. $b = \frac{3600}{Q_H^p \cdot \eta_e^{\text{уст}}}$
2. $D = \frac{3600 \cdot N}{\ell_T}$	4. $d = \frac{3600}{\ell_T}$

Вопрос 39. Количество теплоты, подведенной к рабочему телу в паротурбинной установке, определяется по формуле...

1. $Q = D \cdot q_1$	3. $Q = B \cdot q_1$
2. $Q = D \cdot q_2$	4. $Q = B \cdot q_2$

Вопрос 40. Подогрев поступающей в паровой котел воды паром из промежуточных отборов турбины на ТЭС называется...

1. регенерация	3. утилизация
2. теплофикация	4. газификация

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Предмет и метод термодинамики. Работа и теплота. 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 состояния 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. Техническая (полезная) работа. Графическое определение работы. Рабочая диаграмма.
6. Вычисление теплоты процесса. Теплоёмкость как функция процесса. Истинная и средняя теплоёмкости.
7. Энтропия как функция состояния. Тепловая диаграмма. Определение теплоты в обратимых процессах.
8. Идеальный газ и его свойства. Уравнение состояния идеального газа. Вид калорических уравнений состояния для внутренней энергии и энтальпии. Отношение теплоёмкостей.
9. Энтропия идеального газа. Калорические уравнения состояния для энтропии.
10. Смеси идеальных газов. Газовая постоянная и средняя молярная масса смеси.
11. Изохорный процесс для идеального газа.
12. Изобарный процесс для идеального газа.
13. Изотермический процесс для идеального газа.
14. Адиабатный процесс для идеального газа. Изоэнтروпийный процесс.
15. Политропные процессы для идеального газа. Их общая графическая интерпретация. Процессы с отрицательной теплоёмкостью.
16. Процессы сжатия в компрессоре. Индикаторная диаграмма. Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением.

17. Основные положения и формулировки второго закона термодинамики. Прямые и обратные циклы. Термический коэффициент (КПД). Теоретический холодильный коэффициент.

18. Прямой обратимый цикл Карно. Среднеинтегральная температура. Теорема Карно.

19. Обратный обратимый цикл Карно. Регенеративный цикл. Идеальный регенератор.

20. Математические выражения второго закона термодинамики. Интегралы Клаузиуса. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.

21. Принцип возрастания энтропии. Теорема Гюи-Стодолы. Физический смысл энтропии. Энтропия и термодинамическая вероятность.

22. Эксергия и её свойства. Эксергетический КПД.

Приложение № 7

к п. 4.2

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Курсовая работа включает в себя теоретическую, расчетную и графическую части.

В курсовой работе студент должен самостоятельно в соответствии с предложенным ему заданием выполнить расчеты теоретического и действительного циклов паросиловой установки и проанализировать полученные результаты. Все расчеты в пояснительной записке должны быть представлены в табличной форме.

В разделе «Термодинамический анализа обратимого цикла Ренкина» необходимо рассчитать теоретический цикл паросиловой установки (цикл Ренкина), определить его термический КПД и сравнить с термическим КПД обратимого цикла Карно в том же интервале температур. При этом необходимо усвоить, что термический КПД (термический коэффициент) обратимого цикла Ренкина характеризует лишь степень превратимости тепловой энергии источника в механическую энергию, допускаемую вторым законом термодинамики.

В действительном цикле Ренкина из-за различных необратимых потерь величина от данной теплосиловой установкой (ТСУ) внешнему потребителю энергии уменьшится.

Для оценки эффективности действительных циклов теплосиловых установок в настоящее время используют два основных метода – коэффициентов полезного действия и эксергетический.

Метод коэффициентов полезного действия заключается в определении потерь теплоты на отдельных участках цикла и в различных элементах установки, обусловленных лишь внутренней необратимостью, вызванной наличием трения при течении рабочего тела, механическими и электрическими потерями. В основе этого метода лежит первый закон термодинамики.

Эксергетический метод анализа теплосиловых установок базируется одновременно на первом и втором законах термодинамики. Его сущность – определение потерь работоспособности во всех элементах установки и для всей ТСУ в целом, обусловленных конечной разностью температур источника тепла и рабочего тела (внешняя необратимость).

В разделе «Анализ необратимого цикла Ренкина по методу коэффициентов полезного действия» студент должен познакомиться с принципом определения внутренних необратимых потерь и способом вычисления внутреннего относительного КПД и внутреннего абсолютного КПД цикла.

Потери в каждом из элементов установки оцениваются в общем случае эффективными КПД этого элемента, а эффективность теплосиловой установки электростанции в целом определяется ее эффективным абсолютным КПД. Определяя необратимые тепловые потери в различных элементах установки, можно построить графически диаграмму ее тепловых потоков, показывающую, какая доля тепловой энергии источника может быть преобразована в электрическую энергию на тепловой электростанции.

В разделе «Анализ необратимого цикла Ренкина с помощью эксергетического метода» каждый элемент теплосиловой установки рассматривается как самостоятельная неизолированная система. Студенту необходимо определить потери эксергии и эксергетический КПД каждого элемента и всей ТСУ в целом.

По аналогии с диаграммой тепловых потоков можно построить диаграмму потоков эксергии рассмотренной паросиловой установки, показывающую, какая доля потока эксергии теплоты, выделившейся при сгорании топлива в топке котлоагрегата, превращается в полезную работу.

После выполнения всех расчетов студент должен сопоставить результаты анализа действительного цикла Ренкина по методу коэффициентов полезного действия с результатами анализа по эксергетическому методу. При сравнении результатов анализа необходимо отметить общность использованных методов и имеющиеся в них отличия. Кроме того, следует обратить особое внимание на количественную величину потерь теплоты и потерь эксергии в котлоагрегате и в конденсаторе и объяснить несовпадение результатов при их определении разными методами.

Графическая часть курсовой работы включает в себя следующее:

- принципиальную тепловую схему электростанции;
- изображение теоретического цикла Ренкина в диаграмме $T-s$;
- изображение теоретического и действительного процессов повышения давления воды в насосе в диаграммах $h-s$ (а) и $T-s$ (б);
- изображение теоретического и действительного процессов расширения пара в турбине в диаграммах $h-s$ (а) и $T-s$ (б);
- диаграмму тепловых потоков, построенную на основании анализа необратимого цикла Ренкина по методу коэффициентов полезного действия;
- изображение необратимого цикла Ренкина в диаграмме $T-s$;
- диаграмму потоков эксергии, построенную на основании анализа необратимого цикла Ренкина с помощью эксергетического метода.

При изображении теоретического и действительного цикла Ренкина, процессов повышения давления и расширения в диаграммах $T-s$ и $h-s$, а также при построении диаграмм тепловых потоков и потоков эксергии должны быть выбраны масштабы для величин абсолютной температуры T , удельной энтропии s , удельной энтальпии h , величины теплового потока q и потока эксергии $\dot{\epsilon}$.

В качестве исходных данных для расчета задаются начальные параметры пара перед турбиной (температура t_1 и давление p_1) и конечное давление пара в конденсаторе p_2 . Варианты заданий по курсовой работе приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Варианты заданий по курсовой работе по Технической термодинамике

Номер варианта	Параметр		
	Температура пара перед турбиной t_1 , °C	Давление пара перед турбиной p_1 , МПа (бар)	Давление пара в конденсаторе p_2 , кПа (бар)
1	500	9,0 (90)	4,0 (0,04)
2	480		
3	460		
4	440		
5	420		
6	540	13,0 (130)	
7	520		
8	500		
9	480		
10	460		
11	580	17,0 (170)	
12	560		
13	540		
14	520		
15	500		
16	500	6,0 (60)	4,5 (0,045)
17	480		
18	460	6,0 (60)	4,5 (0,045)
19	440		
20	420		
21	540	11,0 (110)	
22	520		
23	500		
24	480		
25	460		
26	580	14,0 (140)	
27	560		
28	540		
29	520		

Номер варианта	Параметр		
	Температура пара перед турбиной t_1 , °С	Давление пара перед турбиной p_1 , МПа (бар)	Давление пара в конденсаторе p_2 , кПа (бар)
30	500		

Контрольные вопросы для защиты курсовой работы

1. От чего зависит термический КПД ПСУ, работающей по циклу Ренкина?
2. Основное назначение ПСУ.
3. Какой параметр характеризует эффективность ПСУ? Написать формулу и название всех величин, входящих в эту формулу.
4. Как определяются внутренний относительный КПД турбины и внутренний относительный КПД насоса?
5. Как определяется потеря эксергии турбогенераторной установки? Какие потери эксергии она учитывает?
6. Подробно объяснить, что изображено на рис. – Изображение теоретического цикла Ренкина в T-s диаграмме.
7. Подробно объяснить, что изображено на рис. – Изображение действительного цикла Ренкина в T-s диаграмме.
8. Объяснить, что изображено на рис. – Принципиальная тепловая схема электростанции.
9. Как определяется внутренний абсолютный КПД цикла ПСУ?
10. Как определяется потеря эксергии котельной установки? Какие потери эксергии она учитывает?
11. Как определяется эксергетический КПД турбогенераторной установки? Написать формулу, название всех величин и формулы для их определения.
12. Перечислить способы снижения потерь эксергии в каждом элементе ПСУ.
13. Какой элемент ПСУ характеризуется самым низким эксергетическим КПД? Объяснить, с чем это связано.
14. Объяснить принцип действия парового котла.
15. Объяснить принцип действия паровой турбины.
16. Объяснить принцип действия конденсатора.

Приложение № 8

к п. 4.4

ТИПОВЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Природные энергетические ресурсы. Классические схемы получения тепловой, механической и электрической энергии. Предмет теплотехники. Теоретические основы теплотехники. Топливо-энергетический комплекс. Топливо-энергетический баланс. Энергетическая стратегия России. Энергетическая безопасность. Проблемы развития мировой энергетики. Экологические проблемы энергетики.

2. Предмет и метод технической термодинамики. Энергия внешняя и внутренняя. Работа и теплота. Термодинамическая система. Термодинамические параметры. Термические и калорические параметры. Термическое уравнение состояния.

3. Термодинамические процессы. Процессы обратимые и необратимые. Диаграммы состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия.

4. Первый закон термодинамики. Закон сохранения и превращения энергии. Вычисление работы процесса. Работа изменения объёма, работа проталкивания, располагаемая работа. Графическая интерпретация работы. Рабочая диаграмма.

5. Вычисление теплоты процесса. Теплоёмкость. Аналитические выражения первого закона термодинамики. Энтропия. Тепловая диаграмма.

6. Идеальный газ и его свойства. Уравнение состояния идеального газа. Калорические уравнения состояния. Термодинамические тождества. Энтропия идеального газа. Смеси идеальных газов.

7. Термодинамические процессы для идеального газа. Политропный процесс.

8. Частные случаи политропного процесса: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный.

9. Второй закон термодинамики. Основные формулировки. Термодинамические схемы теплосиловой и холодильной установок. Термический коэффициент (КПД). Холодильный коэффициент.

10. Прямые и обратные циклы. Прямой обратимый цикл Карно. Среднеинтегральная температура.

11. Обратный обратимый цикл Карно. Регенеративный цикл. Термодинамическая температурная шкала.

12. Математические выражения второго закона термодинамики. Принцип возрастания энтропии. Теорема Гюи-Стодолы.

13. Статистическое толкование второго закона термодинамики. Термодинамическая вероятность состояния. Физический смысл энтропии по Больцману.

14. Эксергия. Эксергия потока вещества. Графическое представление эксергии в диаграммах состояния. Потери эксергии в необратимых процессах.

15. Эксергия теплоты. Температурный эксергетический коэффициент. Эксергетический КПД.

16. Рабочий процесс одноступенчатого компрессора. Индикаторная диаграмма для теоретического процесса.

17. Многоступенчатый компрессор. Промежуточное охлаждение газа. Рабочий процесс в индикаторной и тепловой диаграммах. Распределение степеней повышения давления по ступеням компрессора.

18. Циклы теплоэнергетических установок. Общие методы анализа обратимых и необратимых циклов. Метод тепловых потоков. Энтропийный и эксергетический методы.

19. Циклы ДВС. Теоретический цикл с комбинированным подводом теплоты. Индикаторная диаграмма. Относительные параметры цикла. Термический КПД и его зависимость от относительных параметров.

20. Теоретический цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объёме. Сравнение теоретических циклов ДВС при одинаковых степенях адиабатного сжатия.

21. Теоретический цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении. Сравнение теоретических циклов ДВС при одинаковых максимальных параметрах.

22. Теоретический цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Установки открытого и закрытого цикла. Термический КПД.

23. Влияние начальной температуры газа на термический КПД цикла ГТУ. Основные достоинства и недостатки ГТУ в сравнении с ДВС. Способы повышения начальной температуры газа.

24. Действительный цикл ГТУ. Влияние гидравлических сопротивлений, КПД турбин и компрессоров и ряда других факторов на эффективный КПД установки. Оптимальная степень повышения давления. Удельный расход воздуха.

25. Регенерация в газотурбинных установках. Влияние степени регенерации на характеристики цикла.

26. Газотурбинные установки с промежуточным охлаждением воздуха и промежуточным подводом теплоты. Многовальные ГТУ. Распределение степеней повышения давления по ступеням компрессора.

27. Общие методы получения холода. Цикл воздушной холодильной установки. Теоретический холодильный коэффициент. Действительный холодильный коэффициент.
28. Основные свойства чистых веществ. Фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Тройная точка. Понятие о степени сухости и степени влажности пара.
29. Уравнение состояния реальных газов. Водяной пар. Анализ Уравнения Ван-дер-Ваальса. Критическая точка.
30. Диаграмма $p-v$ для воды и пара. Таблицы термодинамических свойств воды и пара. Диаграмма $T-s$ для воды и пара.
31. Диаграмма $h-s$ для воды и пара. Определение эксергии потока с помощью этой диаграммы.
32. Расчётные уравнения для воды и водяного пара. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
33. Термодинамические процессы для воды и водяного пара. Расчёт процессов с помощью таблиц и диаграмм.
34. Расчёт смешения потоков водяного пара с помощью $h-s$ диаграммы. Смешение газов в постоянном объёме, в потоке и при заполнении объёма.
35. Термодинамика потока. Располагаемая работа. Сопла и диффузоры. Адиабатное течение. Определение скорости потока.
36. Расходная характеристика сопла. Анализ зависимости расхода от давления за соплом для идеального газа. Критическое давление. Критическая скорость. Профилирование сопел и диффузоров.
37. Адиабатное течение с трением. Решение задачи истечения с помощью $h-s$ диаграммы.
38. Термодинамика потока несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли.
39. Дросселирование газов и паров. Температура инверсии. Потери энергии при дросселировании.
40. Методы термодинамического анализа обратимых и необратимых циклов. Термический КПД. Понятие об относительном внутреннем КПД цикла, абсолютном внутреннем (внутреннем) КПД цикла и эффективном КПД установки.
41. Теоретический цикл простейшей паросиловой установки. Влияние начальных и конечных параметров цикла на его термический КПД.
42. Методы повышения эффективности паросиловых циклов. Цикл со вторичным перегревом пара.

43. Регенеративный цикл паросиловой установки.
44. Теплофикационные циклы паросиловых установок. Коэффициент использования теплоты. Различные схемы теплофикации.
45. Требования к свойствам рабочих тел, обеспечивающие увеличение термического КПД паросилового цикла. Бинарные циклы.
46. Циклы парогазовых установок. Техничко-экономические показатели блока ПГУ-450 ТЭЦ-2 в Калининграде.
47. Циклы атомных электростанций. Особенности ПТУ АЭС. Тепловая схема и цикл ПТУ АЭС с реактором типа ВВЭР в T-s диаграмме. Термический КПД, удельный расход топлива. Сравнение этих показателей с показателями ТЭС на органическом топливе.
48. Понятие о холоде. Общие принципы получения холода. Циклы теплонасосных установок. Отопительный коэффициент.
49. Теоретический цикл парокомпрессорной холодильной установки. Теоретический холодильный коэффициент. Действительный холодильный коэффициент.
50. Влажный воздух. Понятие об абсолютной и относительной влажности. Влагосодержание. H-d диаграмма влажного воздуха.
51. Предмет химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса и его следствия.
52. Тепловые эффекты изохорно-изотермической и изобарно-изотермической реакций. Зависимость тепловых эффектов реакций от температуры. Уравнения Кирхгофа.
53. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Правило Ле-Шателье-Брауна. Химическое сродство. Максимальная работа реакции. Термодинамические потенциалы. Константа равновесия.
54. Тепловой закон Нернста. Третий закон термодинамики.