

Документ подписан простой электронной подписью  
 Информация о владельце:  
 ФИО: Максимов Алексей Борисович  
 Должность: директор департамента по образовательной политике  
 Дата подписания: 16.09.2023 11:30:17  
 Уникальный программный ключ:  
 8db180d1a3f02ac9ef0521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  
 химической технологии и биотехнологии  
 / С.В. Белуков /  
 « 31 августа » 2020 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Термодинамика**

Направление подготовки

**16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения**

Профиль «Холодильная техника и технологии»

Квалификация (степень) выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Москва 2020

### 1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Термодинамика» относятся:

- подготовка студента к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой по направлению;
- освоение основных законов термодинамики, особенностей и областей их применения, формирования знаний и умений, необходимых для самостоятельного, обоснованного и аргументированного выбора методов решения прикладных задач;

К **основным задачам** освоения дисциплины «Термодинамика» относятся:

- ознакомление с принципом работы основных теплотехнических устройств;

### 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата:

Дисциплина «Термодинамика» входит в блок обязательных дисциплин вариативной части образовательной программы бакалавриата.

«Термодинамика» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Высшая математика.
- Физика.
- Основы проектирования холодильных систем.
- Тепломассообмен
- Основы теории кондиционирования воздуха
- Установки сжижения и разделения газов.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК–2	Готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.	<p><b>Знать:</b> основные законы термодинамики и их практическое применение</p> <p><b>Уметь:</b> определять теплоемкость материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета</p>

#### 4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, т.е. академических часов 108 (из них 54 часа – самостоятельная работа студентов).

Дисциплина «Термодинамика» изучается на втором курсе.

На втором курсе в 3 семестре выделяется 3 зачетные единицы, т.е. академических часов 108 (из них 54 часа – самостоятельная работа студентов)

Лекции –36 часов, практические занятия 18 часов, форма контроля – экзамен.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
			3
<b>Очная форма</b>			
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>54</b>	-	<b>54</b>
В том числе:		-	
Лекции	36	-	36
Практические занятия (ПЗ)	18	-	18
Семинары (С)	-	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>54</b>	-	<b>54</b>
В том числе:		-	
Курсовой проект (работа)	-	-	-
Расчетно-графические работы	10	-	10
Реферат	-	-	-
Эссе	-	-	-
Контрольная работа (2 контрольные работы)	10	-	10
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>		-	
Изучение лекционного материала	10	-	10
Подготовка к практическим занятиям	4		4
Подготовка к промежуточному/итоговому тестированию	-	-	-
Изучение литературы	10	-	10
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	<b>10</b>	-	<b>10</b>
Общая трудоемкость час./ зач. ед	<b>108/3</b>	-	<b>108/3</b>

#### Содержание разделов дисциплины:

**Раздел 1.** Предмет и метод термодинамики. Основные термодинамические функции. I закон термодинамики и его частные случаи. Параметры идеального газа. Термические и калорические параметры. Уравнение состояния идеального газа. Теплоемкость. Истинная и средняя теплоемкость; теплоемкость изобарного, изохорного и политропного процессов, уравнение Майера; массовая, объемная и молярная теплоемкость, связь между массовой и молярной теплоемкостью.

**Раздел 2.** Термодинамические процессы идеальных газов. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы. Политропный процесс как наиболее общий, его частные случаи. Рабочая и тепловая диаграммы, изображение процессов. Расчет процессов идеального газа (расчет начальных и конечных параметров, определение термодинамических функций, работы и теплоты).

**Раздел 3.** II закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Математическое выражение II закона (принцип существования и возрастания энтропии). Формулировки второго закона.

**Раздел 4.** Круговые процессы или циклы. Прямые и обратные циклы. Оценка эффективности циклов тепловых двигателей и холодильных установок. Цикл Карно как эталонный с точки зрения термического КПД, его достоинства и недостатки.

**Раздел 5.** Циклы реальных тепловых двигателей: Отто, Дизеля и Тринклер Циклы газотурбинных установок.

**Раздел 6.** Водяной пар и его характеристики. Анализ трех стадий получения перегретого пара. Диаграммы водяного пара и анализ основных термодинамических процессов.

**Раздел 7.** Циклы паротурбинных установок. Паровой цикл Карно, его достоинства и недостатки. Цикл Ренкина.

**Раздел 8.** Термодинамика потока. Уравнение энергии для потока. Работа против сил трения. Исследование адиабатных течений. Энтальпия и температура торможения. Изменение параметров потока при разгоне и торможении. Расчет скорости течения и расхода. Механизм переноса энергии в потоке. Скорость звука. Критические условия.

Кинематическое исследование течения в каналах. До- и сверхзвуковое течение. Сопло Лавалля. Дросселирование. Инверсия. Кривая инверсии.

**Раздел 9.** Компрессор. Одноступенчатый поршневой компрессор. Теоретическая и реальная индикаторные диаграммы компрессора. Многоступенчатый компрессор.

### **5. Образовательные технологии.**

Методика преподавания дисциплины «Термодинамика» и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- защита и индивидуальное обсуждение расчетно-графических работ;
- подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;
- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;
- проведение интерактивных занятий по процедуре подготовки к интернет-тестированию;
- использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

- выполнение контрольных работ, предусмотренных рабочей программой;
- выполнение и защита расчетно-графических работ.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Термодинамика и теплопередача» и в целом составляет 50% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 66% от объема аудиторных занятий.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают задания и вопросы контрольной работы, экзамен по дисциплине.

#### **6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).**

Фонды оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Термодинамика» приведены в Приложении 2 к рабочей программе.

## 6.2. Шкала оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

### Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю). Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка - «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» или «отлично».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Термодинамика» (выполнили контрольную работу и РГР.)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, при этом допускаются незначительные ошибки, проявляется отсутствие некоторых знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает некоторые затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации

### 6.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Методические указания по выполнению самостоятельной работы
1.	Раздел 1	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Изучение справочной литературы
2.	Раздел 2	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Изучение учебно-методических материалов
3.	Раздел 3	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3]
4.	Раздел 4	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Самостоятельное выполнение практических заданий
5.	Раздел 5	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Изучение учебно-методических материалов
6.	Раздел 6	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Самостоятельное выполнение практических заданий
7.	Раздел 7	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Изучение справочной литературы
8	Раздел 8	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Изучение справочной литературы
9	Раздел 9	Чтение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы [1-3] Самостоятельное выполнение практических заданий

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

### а) Основная литература

1. Шаров, Ю. И. Термодинамика и теплопередача : учебник / Ю. И. Шаров. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 311 с. — ISBN 978-5-7782-4024-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152148> (дата обращения: 14.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### б) Дополнительная литература

2. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.С. Логинов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93718>. — Загл. с экрана.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Кафедра обладает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лекционных, практических и лабораторных занятий, предусмотренных учебным планом по данной и другим дисциплинам.

Компьютерный класс факультета обеспечивает выполнение всех видов программ и выход в интернет.

Библиотечный фонд обеспечивает студентов необходимыми источниками, перечисленными выше.

Материально-техническая база Московского Политеха соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

## **9. Методические рекомендации преподавателю**

Данный раздел настоящей рабочей программы предназначен для начинающих преподавателей и специалистов-практиков, не имеющих опыта преподавательской работы.

Дисциплина «Термодинамика» является обязательной дисциплиной базовой части учебного плана и обеспечивает формирование компетентности в тесной связи с важнейшими дисциплинами базовой и вариативной частей учебного плана.

В условиях конструирования образовательных систем на принципах компетентного подхода произошло концептуальное изменение роли преподавателя, который наряду с традиционной ролью носителя знания выполняет функцию организатора научно-поисковой работы студента, консультанта в процедурах выбора, обработки и интерпретации информации, необходимой для практического действия и дальнейшего развития, что должно обязательно учитываться при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине «Термодинамика»

Преподавание теоретического (лекционного) материала по дисциплине «Термодинамика» осуществляется по последовательно-параллельной схеме на основе междисциплинарной интеграции и четких междисциплинарных связей в рамках ОП и рабочего учебного плана по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Структура и последовательность проведения лекционных занятий, практических занятий и лабораторных работ по дисциплине представлена в приложении 1 к настоящей рабочей программе. Проведение практических занятий ориентировано на использование заданий для практических занятий по дисциплине «Термодинамика». Подробное содержание отдельных разделов дисциплины «Термодинамика» рассматривается в п.4 рабочей программы.

Целесообразные к применению в рамках дисциплины «Термодинамика» образовательные технологии изложены в п.5 настоящей рабочей программы.

Примерные варианты заданий для промежуточного/ итогового контроля и перечень вопросов к экзамену по дисциплине представлены в составе ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе.

Перечень основной и дополнительной литературы и нормативных документов, необходимых в ходе преподавания дисциплины «Термодинамика», приведен в п.7 настоящей рабочей программы. Преподавателю следует ориентировать студентов на использование современной учебной и справочной литературы при подготовке к промежуточной и итоговой аттестации и выполнению расчетно-графической работы по дисциплине.

## **10. Методические указания обучающимся**

### Методические указания по освоению дисциплины

Лекционные занятия проводятся в соответствии с содержанием настоящей рабочей программы и представляют собой изложение сведений о применении основных законов термодинамики и теплопередачи при разработке процессов и аппаратов очистки атмосферы, сточных вод и отходов.

Посещение лекционных занятий является обязательным.

Регулярное повторение материала конспектов лекций по каждому разделу в рамках подготовки к промежуточным и итоговым формам аттестации по дисциплине «Термодинамика» является одним из важнейших видов самостоятельной работы студента в течение, необходимой для качественной подготовки к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине.

В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала. Допускается конспектирование лекционного материала письменным и компьютерным способом.
- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью правильного понимания теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой.

Практическое занятие – это активная форма учебного процесса в вузе. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, учесть рекомендации преподавателя. Практические задания выполняются обучающимися в аудиториях и самостоятельно. Практическое задание оценивается по критериям, представленным в Приложении 2 к рабочей программе.

Проведение практических занятий по дисциплине «Термодинамика» осуществляется в формах, описанных в пункте 5 настоящей рабочей программы.

Посещение практических занятий и активное участие в них является обязательным.

Подготовка к практическим занятиям обязательно включает в себя изучение конспектов лекционного материала для адекватного понимания условия и способа решения заданий, запланированных преподавателем на конкретное практическое занятие.

Методические указания по выполнению различных форм внеаудиторной самостоятельной работы

Важной частью самостоятельной работы является чтение учебной и научной литературы. Основная функция учебников - ориентировать обучающегося в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены по данной дисциплине будущими выпускниками.

Список основной и дополнительной литературы и обязательных к изучению нормативно-правовых документов по дисциплине «Термодинамика» приведен в п.7 настоящей рабочей программы. Следует отдавать предпочтение современным литературным источникам по соответствующим разделам дисциплины «Термодинамика».

Изучение основной и дополнительной, а также справочной литературы по дисциплине проводится на регулярной основе в разрезе каждого раздела, в соответствии с приведенными в п.6 рабочей программы рекомендациями для подготовки к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине «Термодинамика».

Регулярное повторение материала конспектов лекций по каждому разделу в рамках



подготовки к текущим и итоговым формам контроля по дисциплине «Термодинамика» является одним из важнейших видов самостоятельной работы обучающегося в течение семестра, необходимой для качественной подготовки к итоговой аттестации по дисциплине.

#### Методические указания по подготовке к промежуточной/ итоговой аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине «Термодинамика» в 4-м семестре проходит в форме экзамена. Экзаменационный билет по дисциплине «Термодинамика» состоит из 2 вопросов теоретического характера. Примерный перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Термодинамика» и критерии оценки ответа обучающегося на экзамене для целей формирования БРС и оценки сформированности компетенций приведен в соответствующем подпункте Приложении 2 к рабочей программе.

Подготовка к экзамену предполагает изучение рекомендуемой литературы и других источников, конспектов лекций, повторение материалов практических занятий.



<b>Раздел 2.</b> Термодинамические процессы идеальных газов. Равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые процессы. Политропный процесс как наиболее общий, его частные случаи. Рабочая и тепловая диаграммы, изображение процессов. Расчет процессов идеального газа (расчет начальных и конечных параметров, определение термодинамических функций, работы и теплоты).	3	3,4	4	2		6						+	+
<b>Раздел 3.</b> II закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Математическое выражение II закона (принцип существования и возрастания энтропии). Формулировки второго закона.	3	5	2			2							+
<b>Раздел 4.</b> Круговые процессы или циклы. Прямые и обратные циклы. Оценка эффективности циклов тепловых двигателей и холодильных установок. Цикл Карно как эталонный с точки зрения термического КПД, его достоинства и недостатки.	3	6	2	2		4				+		+	+
<b>Раздел 5.</b> Циклы реальных тепловых двигателей: Отто, Дизеля и Тринклера. Циклы газотурбинных установок	3	7,8	4	2		6							+
<b>Раздел 6.</b> Водяной пар и его характеристики. Анализ трех стадий получения перегретого пара. Диаграммы водяного пара и анализ	3	9-11	6	2		8							+

основных термодинамических процессов.													
<b>Раздел 7.</b> Циклы паротурбинных установок. Паровой цикл Карно, его достоинства и недостатки. Цикл Ренкина	3	12	2	2		4				+			+
<b>Раздел 8.</b> Термодинамика потока. Уравнение энергии для потока. Работа против сил трения. Исследование адиабатных течений. Энтальпия и температура торможения. Изменение параметров потока при разгоне и торможении. Расчет скорости течения и расхода. Механизм переноса энергии в потоке. Скорость звука. Критические условия. Кинематическое исследование течения в каналах. До- и сверхзвуковое течение. Сопло Лаваля.. Дросселирование. Инверсия. Кривая инверсии.	3	13-16	8	2		10							+
<b>Раздел 9.</b> <b>Компрессор.</b> Одноступенчатый поршневой компрессор. Теоретическая и реальная индикаторные диаграммы компрессора. Многоступенчатый компрессор	3	17,18	4	2		6							+
<b>Итого:</b>	3		36	18		54				2		2	

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-  
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: **16.03.03. – «Холодильная, криогенная техника и  
системы жизнеобеспечения»**

Форма обучения: очная

Кафедра: **Холодильная, криогенная техника и  
системы жизнеобеспечения»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Термодинамика**

**Составитель:**

**Чл.корр.РАН, д.т.н.**

**Покусаев Б.Г.**

Москва, 2020

## 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины. Формы контроля формирования компетенций

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Компетенция	Код по ФГОС	Форма контроля	Этапы формирования (разделы дисциплины)
ПК-2	Готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.	<b>Промежуточный контроль:</b> экзамен <b>Текущий контроль:</b> опрос на практических занятиях; контрольная работа;	1-9

В процессе освоения образовательной программы данная компетенция, в том числе её отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций при изучении дисциплины, описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

### 2.1 Критерии оценки ответа на экзамене (формирование компетенции ПК-2)

**«5» (отлично):** обучающийся демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, показывает способность быстро реагировать на уточняющие вопросы.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«4» (хорошо):** обучающийся демонстрирует прочные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, но при этом делает несущественные ошибки, которые быстро исправляет самостоятельно или при незначительной коррекции преподавателем.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«3» (удовлетворительно):** обучающийся демонстрирует неглубокие теоретические знания, проявляет слабо сформированные навыки анализа явлений и процессов,

недостаточное умение делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает не достаточно свободное владение монологической речью, терминами, логичностью и последовательностью изложения, делает ошибки, которые может исправить только при коррекции преподавателем.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«2» (неудовлетворительно):** обучающийся демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает слабое владение монологической речью, не владеет терминами, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить даже при коррекции преподавателем, отказывается отвечать на дополнительные вопросы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

## **2.2 Критерии оценки работы обучающегося на практических занятиях (формирование компетенций ПК-2)**

**«5» (отлично):** выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы, активно работал на практических занятиях.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«4» (хорошо):** выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся с корректирующими замечаниями преподавателя ответил на все контрольные вопросы, достаточно активно работал на практических занятиях.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«3» (удовлетворительно):** выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями с замечаниями преподавателя; обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«2» (неудовлетворительно):** обучающийся не выполнил или выполнил неправильно практические задания, предусмотренные практическими занятиями; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

### 2.3 Критерии оценки контрольной работы (формирование компетенции ПК-2)

**«5» (отлично):** все задания контрольной работы выполнены без ошибок в течение отведенного на работу времени; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«4» (хорошо):** задания контрольной работы выполнены с незначительными замечаниями в полном объеме либо отсутствует решение одного задания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; отсутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«3» (удовлетворительно):** задания контрольной работы имеют значительные замечания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

**«2» (неудовлетворительно):** задания в контрольной работе выполнены не полностью или неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

### 2.5. Критерии оценки защиты курсового проекта (формирование компетенции ПК-2)

**«5» (отлично):** выполнены все задания курсового проекта; проект выполнен в срок; оформление, структура и стиль проекта соответствуют предъявляемым требованиям к текстовым документам и чертежам; проект выполнен самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы при защите проекта.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-2)

**«4» (хорошо):** выполнены все задания курсового проекта с незначительными замечаниями; проект выполнен в срок; в оформлении, структуре и стиле пояснительной записки и чертежей нет грубых ошибок; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы с помощью преподавателя при защите работы.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и ком-



пьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«3» (удовлетворительно): задания курсового проекта имеют значительные замечания; работа выполнена с нарушениями графика, в оформлении, структуре и стиле работы есть недостатки; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; ответы не на все вопросы при защите работы.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«2» (неудовлетворительно): задания курсового проекта выполнены не полностью или выполнены неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; оформление проекта не соответствует предъявляемым требованиям; нет ответов на вопросы преподавателя при защите работы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

## 2.6. Итоговые показатели балльной оценки сформированности компетенций по дисциплине в разрезе дескрипторов «знать/ уметь/ владеть»:

<b>ПК-2 готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности</b>				
<b>Показатель</b>	<b>Критерии оценивания</b>			
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Знать:</b> основные законы термодинамики и их практическое применение	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные законы термодинамики и их практическое применение	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные законы термодинамики и их практическое применение Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные законы термодинамики и их практическое применение, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные законы термодинамики и их практическое применение, свободно оперирует приобретенными знаниями.
<b>Уметь:</b> определять теплоемкость	Обучающийся не умеет или в недостаточной	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следую-	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие	Обучающийся демонстрирует полное соот-

<p>материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.</p>	<p>степени умеет определять теплоемкость материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.</p>	<p>щих умений: определять теплоемкость материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.  . Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>следующих умений: определять теплоемкость материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.  Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>ветствие следующих умений: определять теплоемкость материалов, рассчитывать циклы тепловых двигателей, холодильных установок, газотурбинных и паротурбинных установок, компрессоров и т.д.  Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>
<p><b>Владеть:</b> навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета</p>	<p>Обучающийся владеет навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.</p>	<p>Обучающийся частично владеет навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета , но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет навыками определения физических свойств веществ, методиками расчета термодинамических процессов и циклов, компьютерными программами для их расчета, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.</p>

### **3. Методические материалы (типовые контрольные задания), определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Контрольные задания, применяемые в рамках текущего и промежуточного контроля по дисциплине, носят универсальный характер и предусматривают возможность комплексной оценки всего набора компетенций, предусмотренных ОП по дисциплине.

#### **3.1. Текущий контроль (работа на практических занятиях) (формирование компетенции ПК-2)**

Тематика практических заданий для текущего контроля по дисциплине изложена в Приложении 1 к рабочей программе.

#### **3.2. Текущий контроль (выполнение контрольных работ) (формирование компетенции)**

##### **Темы контрольных работ:**

1. Расчет процессов идеального газа
2. Истечение газов и паров

#### **Задачи для контрольной работы №1 (Формирование компетенции ПК-2)**

##### **Задача 1.**

В результате полного сгорания углерода в атмосфере чистого кислорода в бомбе объемом 5 л образовался углекислый газ  $\text{CO}_2$  при давлении 0.613 МПа и температуре 1400°C.

*Найти:*

- Количество тепла, выделившегося при остывании  $\text{CO}_2$  до температуры 20°C.
- Давление, которое установится в бомбе при остывании  $\text{CO}_2$  до указанной выше температуры.

*Теплоемкость углекислого газа считать зависящей от температуры по линейному закону.*

##### **Задача 2.**

В резервуаре  $V=25 \text{ м}^3$  находится азот при давлении  $P_1=730 \text{ мм рт ст}$  и температуре  $t_1=10^\circ\text{C}$ . В результате подвода тепла давление азота возросло до 2.35 МПа.

*Найти:*

- Количество подведенного тепла.
- Изменение внутренней энергии.
- Изменение энтальпии.

*Теплоемкость азота считать не зависящей от температуры.*

##### **Задача 3.**

Начальный объем углекислого газа  $V=5 \text{ л}$ , начальное давление  $P_1=0.4 \text{ МПа}$ , начальная температура 400°C. Углекислый газ изобарически охлаждается до температуры 100°C.

*Найти:*

- Количество тепла, которое необходимо отвести в процессе охлаждения.
- Изменение внутренней энергии.
- Работу, совершенную газом.

*Теплоемкость углекислого газа считать зависящей от температуры по линейному закону.*

#### **Задача 4.**

Кислород массой 10 кг расширяется изотермически при температуре  $t=150^{\circ}\text{C}$ . Начальное давление 1.5 МПа. При расширении газ производит работу  $A=303$  кДж.

*Найти:*

- Давление в конце изотермического расширения.
- Изменение энтропии газа.

*Теплоемкость кислорода считать не зависящей от температуры.*

#### **Задача 5.**

В баллоне емкостью 40 л заключен кислород при начальном давлении  $P_1=135$  атм и температуре  $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$ . Вследствие быстрого открытия выпускного клапана происходит адиабатическое расширение газа, и давление в баллоне падает до 60 атм. Далее, уже при закрытом клапане вследствие теплообмена с атмосферой, имеющей температуру  $t_a = 15^{\circ}\text{C}$ , происходит выравнивание температур.

*Найти:*

- Какое количество кислорода было выпущено в атмосферу.
- Найти давление, установившееся после выхода кислорода из баллона и выравнивания температур.

#### **Задача 6.**

В цилиндр дизеля засасывается 25 л воздуха при температуре  $t_1=60^{\circ}\text{C}$ . В результате адиабатического сжатия температура воздуха повышается и становится равной или большей температуре воспламенения топлива, равной  $t_2= 720^{\circ}\text{C}$ .

*Найти:*

- Объем сжатого воздуха, при котором его температура станет равной температуре воспламенения топлива.

#### **Задача 7.**

Пропан массой 5 кг расширяется политропически от давления  $P_1=80$  атм и объема  $V_1 = 0.127$  м<sup>3</sup> до давления  $P_2=8$  атм и объема  $V_2 = 0.8$  м<sup>3</sup>.

*Найти:*

- Теплоемкость пропана в этом процессе.

#### **Задача 8.**

Процесс изменения состояния 1 кг кислорода характеризуется теплоемкостью  $C = 8.374$  кДж/кг·К. Известны начальная температура  $t_1=30^{\circ}\text{C}$ , давление  $P_1=100$  атм и конечное давление  $P_2 = 2$  атм.

*Найти:*

- Работу, совершенную газом.
- Изменение внутренней энергии.
- Изобразить процесс на P-V диаграмме.

#### **Задача 9.**

Азот массой 3 кг политропически сжимается от начального давления  $P_1=1.2$  атм и температуры  $t_1=45^{\circ}\text{C}$  до давления  $P_2=8$  атм и температуры  $t_2=274^{\circ}\text{C}$ .

*Найти:*

- Показатель политропы.
- Величину работы затраченной на сжатие газа.
- Изменение внутренней энергии.

*Теплоемкость азота считать не зависящей от температуры.*

#### **Задача 10.**

Начальное состояние 2 кг азота характеризуется параметрами: давление  $P_1=15$  атм и температура  $t_1=60$  °С. Азот политропически расширяется с теплоемкостью  $C = 573.6$  Дж/кг·К до конечного давления  $P_2= 7$  атм.

*Найти:*

- Изменение энтропии азота.
- Найти изменение внутренней энергии.
- Количество подведенного тепла.

*Теплоемкость азота считать не зависящей от температуры.*

#### **Задача 11.**

Углекислый газ массой 3 кг политропически расширяется от начального давления  $P_1=20$  атм и температура  $t_1=35$  °С до температуры  $t_2= -15$  °С. Известно, что в ходе расширения от газа отнимается тепло  $Q = 200$  кДж.

*Найти:*

- Изменение энтропии в этом процессе.
- Изменение внутренней энергии.

#### **Задача 12.**

Температура самовоспламенения дизельного топлива 750°С. Температура в камере поднимается за счет сжатия воздуха. Начальная температура воздуха, подаваемого в камеру 60°С при атмосферном давлении ( $\approx 1$  атм).

*Найти:*

- Минимально необходимую степень сжатия  $\epsilon$ .

*Теплоемкость воздуха считать зависящей от температуры по линейному закону.*

#### **Задача 13.**

Между двумя источниками тепла  $t_1= 400$  °С и  $t_2= 20$  °С совершается цикл Карно. Время осуществления одного цикла 2 сек. Рабочей средой для цикла служит 2 кг азота. Известно, что давление в конце изотермического расширения совпадает с давлением в начале адиабатического сжатия и равно 5 атм.

*Найти:*

- КПД цикла.
- Мощность двигателя.
- Изобразить цикл в P-V и T-S диаграммах.

#### **Задача 14.**

Начальное состояние 2 кг азота характеризуется параметрами: давление  $P_1=5$  атм и температура  $t_1=20$  °С. Азот политропически сжимается с теплоемкостью  $C = 800$  Дж/кг·К до конечного давления  $P_2= 70$  атм.

*Найти:*

- Изменение энтропии азота.
- Найти изменение внутренней энергии.
- Количество подведенного тепла.

*Теплоемкость азота считать не зависящей от температуры.*

**Задача 15.**

Энтропия "нулевого" состояния при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  и давлении  $P_0 = 760$  мм рт ст считается равной нулю.

Диоксид углерода находится в объеме  $V_1 = 5$  м<sup>3</sup> при температуре  $t_1 = 500^\circ\text{C}$  и давлении  $P_1 = 10$  атм.

*Найти:*

- Изменение энтропии при переходе из нулевого состояния в состояние 1 при адиабатическом процессе.
- Изменение энтропии при переходе из нулевого состояния в состояние 1 при политропическом процессе с показателем политропы  $n = 1.15$ .

**Задача 16.**

Воздух в цилиндре дизеля сжимается политропически с показателем  $n = 1.3$ . Начальное состояние воздуха: температура  $t_1 = 80^\circ\text{C}$ , давление  $P_1 = 1$  атм. Температура воспламенения дизельного топлива  $t_2 = 680^\circ\text{C}$ . Масса воздуха  $M = 1$  кг.

*Найти:*

- Конечное давление воздуха в дизеле.
- Работу сжатия газа.
- Количество отводимого тепла.

**Контрольная работа № 2****Задача 1.**

Азот с начальными параметрами  $p_1 = 5$  МПа и  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  поступает со скоростью  $w_1 = 15$  м/с в суживающееся сопло и выходит через него в среду с давлением  $p_2 = 4$  МПа. Пренебрегая потерями энергии на трение и теплообменом со стенками, определить скорость и температуру азота на выходе из сопла.

**Задача 2.**

Определить скорость и параметры углекислого газа на выходе при истечении через суживающееся сопло, если начальные параметры его  $p_1 = 8$  МПа и  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ , а давление среды, в которую происходит истечение  $p_2 = 0,1$  МПа. Потерями энергии на трение, теплообменом со стенками и начальной скоростью пренебречь

**Задача 3.**

Через суживающееся сопло форсунки в цилиндр ДВС подается распыливающий воздух с начальными параметрами  $p_1 = 6$  МПа и  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ . Определить скорость истечения, а также удельный объем и температуру воздуха при выходе из сопла, если давление в цилиндре  $p_2 = 4$  МПа. Потерями энергии на трение, теплообменом со стенками и начальной скоростью пренебречь

**Задача 4.**

Воздух с начальными параметрами  $p_1 = 0,2$  МПа и  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в атмосферу. Давление  $p_2 = 0,1$  МПа. Определить скорость и параметры воздуха на выходе из сопла. Потерями энергии на трение, теплообменом со стенками и скоростью на входе пренебречь

**Задача 5.**

Воздух с начальными параметрами  $p_1 = 1$  МПа и  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в атмосферу. Давление  $p_2 = 0,1$  МПа. Определить скорость истечения из сопла, если его скоростной коэффициент  $\varphi = 0,92$ . Скоростью на входе пренебречь

**Задача 6.**

К соплу газовой турбины подводятся продукты сгорания топлива с начальными параметрами  $p_1=1,3$  МПа и  $t_1=550^\circ\text{C}$ . В сопле давление понижается до  $p_2=0,2$  МПа. Считая продукты сгорания идеальным газом с  $R=280$  Дж/кг К и  $k=1,33$  определить: 1 – тип сопла, примененного в турбине; 2 - параметры и скорость газа в выходном сечении сопла; 3 – расход газа, если минимальный диаметр сопла  $d = 10$  мм. Потерями энергии на трение пренебречь.

**Задача 7.**

Водород с начальными параметрами  $p_1=6$  МПа и  $t_1=300^\circ\text{C}$  вытекает через сопло во внешнюю среду, давление в которой постоянно и равно  $p_2=0,42$  МПа. Считая водород идеальным газом с коэффициентом  $k=1,4$  определить: 1 - параметры и скорость в выходном сечении суживающегося сопла; 2- параметры и скорость в выходном сечении сопла Лавала; 3 – площадь минимального сечения сопла Лавала при расходе 3 кг/с.

**Задача 8.**

Азот с начальными параметрами  $p_1=0,4$  МПа и  $t_1=600^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в среду, давление в которой постоянно и равно 0,1 МПа. Считая азот идеальным газом с коэффициентом  $k=1,4$  определить: давление, скорость, температуру, плотность на выходе из сопла, а также массовый расход азота через сопло, если площадь выходного сечения сопла 6 см<sup>2</sup>.

**Задача 9.**

Воздух с начальными параметрами  $p_1=4$  МПа и  $t_1=600^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в среду, давление в которой постоянно и равно  $p_2=0,1$  МПа. Считая воздух идеальным газом с коэффициентом  $k=1,4$  определить: давление, скорость, температуру, плотность на выходе из сопла, а также массовый расход азота через сопло, если площадь выходного сечения сопла 5,8 см<sup>2</sup>, а скоростной коэффициент  $\varphi=0,92$ . Скоростью на входе пренебречь.

**Задача 10.**

Воздух с начальными параметрами  $p_1=0,3$  МПа и  $t_1=40^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в среду, давление в которой постоянно и равно  $p_2=0,12$  МПа. Считая воздух идеальным газом с коэффициентом  $k=1,4$  определить: давление, скорость, температуру, плотность на выходе из сопла, а также массовый расход азота через сопло, а скоростной коэффициент  $\varphi=0,95$ . Определить также площадь выходного сечения сопла 5,8 см<sup>2</sup>, если расход воздуха через сопло равен 3 кг/с.

**Задача 11.**

Определить скорость истечения перегретого пара через суживающееся сопло, если начальные параметры пара  $p_1=0,6$  МПа и  $t_1=350^\circ\text{C}$ , а давление среды, в которую происходит истечение  $p_2=0,4$  МПа. Потерями энергии на трение, теплообменом со стенками и начальной скоростью пренебречь. Изобразить процесс в  $i$ - $s$  координатах

**Задача 12.**

Влажный пар с начальными параметрами  $p_1=1,5$  МПа и  $x_1=0,95$  вытекает из сопла Лавала в среду с давлением  $p_2=0,2$  МПа. Определить скорость в минимальном и выходном сечениях сопла, если скоростной коэффициент  $\varphi=0,95$ . Скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять  $\beta_{кр}=0,577$ . Изобразить процесс в  $i$ - $s$  координатах

**Задача 13.**

Перегретый пар с начальными параметрами  $p_1=4$  МПа и  $t_1=400^\circ\text{C}$  расширяется при истечении через сопло Лавалья до давления  $p_2=0,2$  МПа. Определить скорость в минимальном и выходном сечениях сопла. Скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять  $\beta_{кр}=0,55$ . Изобразить процесс в  $i$ - $s$  координатах

**Задача 14.**

Перегретый пар с параметрами  $p_1=4$  МПа и  $t_1=500^\circ\text{C}$  расширяется при истечении через сопло Лавалья до давления  $p_2=0,2$  МПа. Определить скорость в минимальном и выходном сечениях сопла. Скоростью на входе в сопло пренебречь. Принять  $\beta_{кр}=0,565$ .

**Задача 15.**

Влажный пар с начальными параметрами  $p_1=1,6$  МПа и  $x_1=0,98$  вытекает через суживающееся сопло с площадью выходного сечения  $f=40$  мм в атмосферу с  $p_2=0,1$  МПа. Определить скорость истечения, расход пара, а также энтальпию на выходе из сопла, если скоростной коэффициент  $\varphi=0,92$ . Принять  $\beta_{кр}=0,577$ . Скоростью на входе в сопло пренебречь. Изобразить процесс в  $i$ - $s$  координатах

**Задача 16.**

В клапанах турбины перегретый пар с параметрами  $p_1=6$  МПа и  $t_1=400^\circ\text{C}$  дросселируется до  $p_2=5$  МПа, а затем расширяется в турбине до  $p_3=0,004$  МПа. Определить параметры пара после дросселя и турбины, если расход пара 10 кг/с

**Задача 16.**

Определить, до какого давления нужно дросселировать влажный пар с параметрами  $p_1=1$  МПа и  $x_1=0,95$ , чтобы он стал сухим насыщенным. Определить также изменение внутренней энергии в этом процессе. Изобразить процесс в  $i$ - $s$  координатах

**Задача 17.**

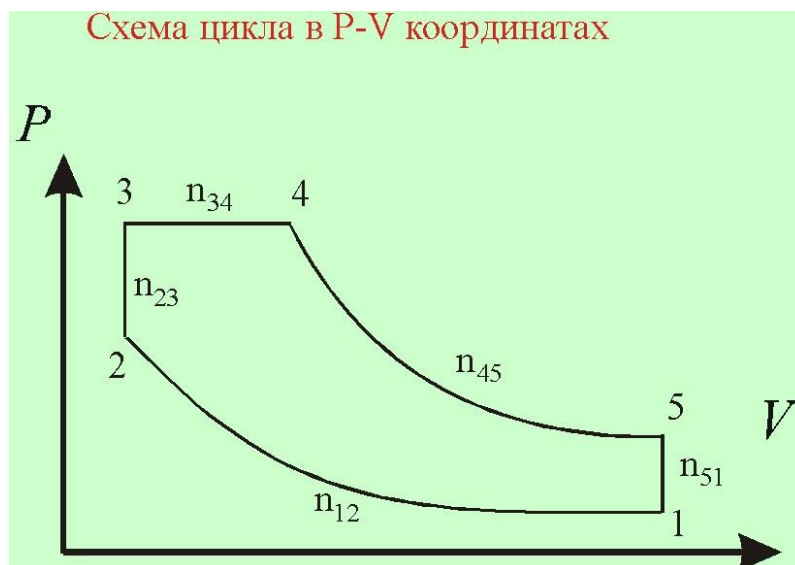
Водяной пар течет по соплу Лавалья. Параметры пара во входном сечении сопла  $p_1=4$  МПа и  $t_1=600^\circ\text{C}$ . Объемный расход пара на входе в сопло  $V_1=1,6$  м<sup>3</sup>/с. Давление пара в выходном сечении сопла  $p_2=0,1$  МПа. Определить параметры скорость пара, а также диаметры сопла в наиболее узком и выходном сечении. Принять  $\beta_{кр}=0,565$ .

**Темы расчетно-графических работ:****Задание на РГР (Формирование компетенции ПК-2)**

РГР должны быть напечатаны на компьютерном принтере через 1,5 интервала на стандартных листах бумаги формата А4. На каждой странице должны быть предусмотрены поля: левое 25 мм, верхнее 20 мм, правое 10 мм или в случае недоступности печатной техники лабораторная работа может быть представлена в виде рукописи, выполненной чётким почерком. Сокращения слов, кроме общепринятых и профессиональных аббревиатур, не допустимы. Принципиальные положения в тексте работы должны подтверждаться ссылками на литературные источники, перечисленные в порядке упоминания в отдельном списке.



**РГР №1. «Расчет цикла теплового двигателя со смешанным подводом теплоты».**



**Методические указания по выполнению РГР №1.**

По заданным параметрам в т.1 определяется неизвестный параметр с помощью уравнения состояния идеального газа. В остальных точках параметры определяются по заданным степеням сжатия или повышения давления в каждом процессе, а также по соотношениям параметров в соответствующих процессах. Составляется таблица параметров для каждой точки.

По справочникам определяются изобарные теплоемкости в каждой точке цикла, а затем средне интегральные в каждом процессе. По уравнению Майера находятся изохорные средние теплоемкости для всех процессов, а затем политропные теплоемкости в политропных процессах.

В каждом процессе рассчитываются основные термодинамические функции (внутренняя энергия, энтальпия и энтропия), а также работа и теплота.

Составляется таблица значений термодинамических функций для каждого процесса и суммарных значений для цикла в целом.

Определяется термический КПД цикла и сравнивается с термическим КПД цикла Карно.

Составляются графики цикла в p-V и T-s координатах

Таблица исходных данных

№ п/п	$n_{12}$	$n_{23}$	$n_{34}$	$n_{45}$	$n_{51}$	$P \cdot 10^{-5}$ Па	$V$ $m^3$	$t$ $^{\circ}C$	$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$	$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$	$\rho = \frac{V_4}{V_3}$
1	1,33	$\infty$	0	1,27	$\infty$	1,05	0,90	-	15	1,5	1,3
2	1,32	$\infty$	0	1,29	$\infty$	1,00	-	18	16	1,5	1,2
3	1,38	$\infty$	0	1,28	$\infty$	0,95	-	25	14	1,4	1,4
4	1,36	$\infty$	0	1,29	$\infty$	-	0,93	25	15	1,4	1,4
5	1,36	$\infty$	0	1,26	$\infty$	-	0,90	30	14	1,5	1,2
6	1,38	$\infty$	0	1,24	$\infty$	1,20	1,00	-	15	1,4	1,4
7	1,35	$\infty$	0	1,25	$\infty$	1,30	-	10	12	1,5	1,2
8	1,37	$\infty$	0	1,28	$\infty$	1,00	-	20	14	1,4	1,3
9	1,39	$\infty$	0	1,30	$\infty$	0,90	-	30	12	1,3	1,4
10	1,33	$\infty$	0	1,25	$\infty$	0,80	-	20	14	1,5	1,3
11	1,37	$\infty$	0	1,23	$\infty$	-	0,80	15	15	1,4	1,3
12	1,39	$\infty$	0	1,29	$\infty$	1,00	0,90	-	15	1,4	1,2
13	1,36	$\infty$	0	1,28	$\infty$	1,00	1,10	-	14	1,5	1,4
14	1,40	$\infty$	0	1,25	$\infty$	0,90	1,00	-	12	1,5	1,2
15	1,37	$\infty$	0	1,28	$\infty$	-	1,00	17	10	1,6	1,5
16	1,37	$\infty$	0	1,30	$\infty$	1,00	-	20	14	1,6	1,2
17	1,40	$\infty$	0	1,29	$\infty$	0,90	-	25	15	1,4	1,2
18	1,39	$\infty$	0	1,26	$\infty$	1,20	1,00	-	14	1,5	1,5
19	1,35	$\infty$	0	1,25	$\infty$	1,15	1,00	-	12	1,4	1,2
20	1,38	$\infty$	0	1,24	$\infty$	1,10	0,90	-	15	1,7	1,3
21	1,35	$\infty$	0	1,30	$\infty$	1,00	-	17	14	1,4	1,4
22	1,33	$\infty$	0	1,25	$\infty$	1,10	-	25	14	1,4	1,3
23	1,38	$\infty$	0	1,28	$\infty$	0,95	1,10	-	15	1,3	1,4
24	1,36	$\infty$	0	1,22	$\infty$	1,00	-	20	8	1,8	1,3
25	1,34	$\infty$	0	1,30	$\infty$	1,05	-	15	10	1,6	1,4
26	1,38	$\infty$	0	1,24	$\infty$	1,00	1,00	-	10	1,4	1,2
27	1,37	$\infty$	0	1,26	$\infty$	0,95	-	20	12	1,3	1,3
28	1,39	$\infty$	0	1,27	$\infty$	0,98	-	15	11	1,2	1,4
29	1,38	$\infty$	0	1,28	$\infty$	0,95	-	20	10	1,4	1,2
30	1,36	$\infty$	0	1,29	$\infty$	0,90	-	25	12	1,3	1,3

### ***РГР №2. Расчет парового цикла***

В паросиловой установке пар с начальными параметрами  $P_1$  и  $t_1$ , после адиабатного расширения в турбине до давления  $P_2$ , попадает в конденсатор, где полностью конденсируется при постоянном давлении. Насос забирает воду и адиабатически сжимает ее до давления  $P_1$ , подавая ее в котел.

Определить:

1. а) параметры основных точек цикла ( $P, t, V, H, X$ );  
 б) изменения внутренней энергии во всех процессах ( $\Delta U$ );  
 в) количество теплоты подведенной или отведенной во всех процессах ( $Q$ );  
 г) работу во всех процессах  $A$ ;
2. а) термический КПД цикла ( $\eta$ );  
 б) термический КПД цикла Карно в том же интервале температур ( $\eta_k$ );

Нарисовать в масштабе цикл в диаграммах  $P-V, T-S, H-S$ .

### ***Методические указания по выполнению РГР №2.***

По заданным параметрам определяются неизвестные параметры с помощью таблиц водяного пара. Составляется таблица параметров для каждой точки.

Рассчитываются изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, а также работа и теплота в каждом процессе.

Составляется таблица значений термодинамических функций для каждого процесса и суммарных значений для цикла в целом.

Определяется термический КПД цикла и сравнивается с термическим КПД парового цикла Карно.

Строятся графики цикла в  $p-V$  и  $T-s$  координатах

Исходные данные для расчета цикла на водяном паре.

**Таблица заданий**

№ п/п	$P_1 \cdot 10^{-5}, \text{ Па}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$P_2 \cdot 10^{-5}, \text{ Па}$
1	20	250	0,10
2	18	280	0,12
3	25	300	0,08
4	28	260	1,0
5	30	260	0,6
6	22	280	0,8
7	25	300	0,6
8	20	320	0,14
9	30	300	0,4
10	18	250	0,15
11	16	230	0,20
12	22	250	0,14
13	30	300	0,12
14	35	350	0,10
15	18	250	0,8
16	18	280	1,4
17	20	300	1,6

18	30	340	1,08
19	32	360	0,6
20	25	280	1,10
21	20	260	0,5
22	28	240	0,8
23	22	200	0,10
24	18	280	0,14
25	30	300	0,10
26	55	320	1,04
27	28	280	0,8
28	25	250	0,10
29	22	200	0,12
30	20	240	0,14

### 3.6. Промежуточный контроль (вопросы к экзамену) (формирование компетенции ПК-2)

1. Термодинамические параметры. Рабочее тело.
2. Термодинамическая система.
3. Уравнение состояния идеального газа.
4. . Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа.
5. Идеальный газ. Уравнения теплоемкости в интервале температур. Теплоемкость при постоянном давлении и при постоянном объеме. Уравнение Майера.
6. Энтальпия. Расчет изменения энтальпии.
7. Энтропия. Расчет изменения энтропии.
8. Графическое изображение работы и теплоты на  $V$ - $P$  и  $S$ - $T$  диаграммах.
9. Термодинамические процессы идеального газа: изохорный, изобарный, изотермический: основные соотношения параметров.  $V$ - $P$  и  $S$ - $T$  диаграммы.
10. Адиабатный процесс: основные соотношения.  $V$ - $P$  и  $S$ - $T$  диаграммы.
11. Политропный процесс. Определение показателя политропы. Теплоемкость политропного процесса.
12. Второй закон термодинамики. Основные формулировки. Математическое выражение второго закона термодинамики для круговых процессов.
13. Круговые процессы или циклы.
14. Прямой обратимый цикл Карно. Термический к.п.д. цикла.
15. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент.
16. Теорема Карно.
17. Цикл ДВС с подводом теплоты при  $V = \text{const}$ .
18. Цикл ДВС с подводом теплоты при  $P = \text{const}$ .
19. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты.
20. Нагнетание газов и паров. Поршневой компрессор.
21. Цикл газотурбинной установки.
22. Цикл воздушной компрессорной холодильной установки.
23. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы.
24. Свойства реальных газов.
25. Водяной пар. Парообразование при постоянном давлении.
26.  $P$ - $V$ ,  $S$ - $T$ ,  $I$ - $S$  диаграммы водяного пара
27. Паровые процессы: изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный.
28. Цикл Ренкина.  $P$ - $V$ ,  $S$ - $T$ ,  $I$ - $S$  диаграммы.

29. Первый закон термодинамики для потока. Располагаемая работа и работа проталкивания.
30. Адиабатный процесс истечения. Определение скорости и массового расхода
31. Критическое отношение давлений. Критическая скорость
32. Сверхзвуковое течение. Выбор профиля сопла