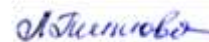


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



Титова Л. В.
16.06.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Термодинамические циклы АЭС

1. Код и наименование специальности:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

2. Специализация:

Проектирование и эксплуатация атомных станций

3. Квалификация выпускника: инженер – физик

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф.-м.н., профессор, Кадменский Станислав Георгиевич, к.ф.-м.н., доцент Алейников
Алексей Николаевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 14.06.2023 г.

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с теоретическими и практическими вопросами, лежащими в основе функционирования современных атомных электростанций, алгоритмами инженерных расчетов и оборудованием АЭС.

Задачи учебной дисциплины:

- подготовка выпускника к расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности в области разработки структуры и оборудования для теплоэнергетических систем АЭС с использованием современных технологий;

- подготовка выпускника к производственно-технологической деятельности в области эксплуатации современного высокоэффективного оборудования АЭС;

- подготовка выпускника к научно-исследовательской деятельности, связанной с выбором, оптимизацией и разработкой высокоэффективной структуры и оборудования теплоэнергетических установок АЭС;

- подготовка выпускника к обслуживанию и испытаниям теплоэнергетического оборудования АЭС;

- подготовка выпускника к самостоятельному обучению и освоению новых профессиональных знаний и умений.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Термодинамические циклы АЭС относится к вариативной части блока Б1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить производственно-технологические исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	ПК-1.1	Выбирает оптимальные рабочие циклы энергетических установок	Знать: о термодинамических системах и параметрах, практическом использовании основных законов термодинамики, основах термодинамических процессов; о законах движения реальных жидкостей и газов; общие свойства реальных газов и жидкостей, критические параметры, уравнений Клапейрона-Клаузиуса и Ван-дер-Ваальса; Уметь: использовать первый и второй законы термодинамики; применять понятия термодинамических циклов и метод расчета их КПД; понимать принципы фазовых переходов.
ПК-10	Способен составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-	ПК-10.2	Составляет тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов преобразования ядерной энергии топлива в тепловую и электрическую	Владеть: опытом практических расчетов и проведения простейших исследований по определению термодинамических свойств веществ

	энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем		энергию	
		ПК-10.3	Готовит исходные данные для расчета тепловых схем различных типов	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 5/180.

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			6 семестр
Аудиторные занятия		64	64
в том числе:	лекции	32	32
	практические	32	32
	лабораторные		
Самостоятельная работа		80	80
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		36	Экзамен (36 ч)
Итого:		180	180

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Показатели тепловой экономичности ПТУ	Термодинамические цикл ПТУ. Основные параметры цикла. Термический и внутренний коэффициенты полезного действия (КПД) термодинамического цикла. Расход пара простейшей ПТУ. Показатели тепловой экономичности конденсационной АЭС: КПД, удельный расход теплоты и пара, удельный и годовой расход ядерного топлива. Тепловой баланс АЭС. Значение показателей тепловой экономичности.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
1.2	Методы повышения тепловой экономичности ПТУ	Начальные параметры пара и их влияние на тепловую экономичность ПТУ. Зависимость располагаемого теплоперепада на турбину и конечной степени сухости от начальных параметров. Сопряженные параметры. Промежуточный перегрев пара и его влияние на тепловую экономичность ПТУ. Оптимальные давления и температура промежуточного перегрева. Двухступенчатый промперегрев. Зависимость располагаемого теплоперепада на турбину и конечной степени сухости от промперегрева. Паровой промежуточный перегрев. Конечное давление и его влияние на тепловую экономичность ПТУ. Выбор и обоснование конечных параметров пара на атомных электростанциях. Факторы, определяющие выбор конечного давления. Регенеративный подогрев питательной воды	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240

		(РППВ). Сущность РППВ. Расход пара и тепловая экономичность паротурбинной установки с РППВ. Типы регенеративных подогревателей, их сравнительные достоинства и недостатки. Расчет регенеративных подогревателей. Влияние температуры питательной воды на эффективность РППВ. Распределение подогрева по ступеням. Влияние РППВ на экономичность установки с промежуточным перегревом. Экономически наивыгоднейшая температура питательной воды. Схемы включения поверхностных регенеративных подогревателей. Каскадный слив дренажа. Применение охладителей дренажа. Схемы включения смешивающих подогревателей. Структурные схемы тракта высокого и низкого давления АЭС. Конструкции регенеративных подогревателей: поверхностных ПВД и ПНД, смешивающих.	
1.3	Циклы паротурбинных установок АЭС	Современные ядерные энергетические реакторы (ЯЭР) и параметры пара паропроизводящих установок с различными типами ЯЭР. Сепарация пара и ее влияние на тепловую экономичность. Циклы АЭС с сепарацией пара и промежуточным перегревом. Двукратная сепарация. Оптимальное разделительное давление.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
1.4	АЭС с газотурбинными установками	Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (ВТГР). Циклы газотурбинных установок. Эффективность глеевого цикла для АЭС с ВТГР	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
1.5	Перспективные термодинамические циклы АЭС	АЭС с реакторами на сверхкритические параметры. Циклы АЭС с отпуском теплоты. Циклы АЭС на диссоциирующих газах	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
2. Практические занятия			
2.1	Показатели тепловой экономичности ПТУ	Влияние начальных параметров на экономичность ПТУ.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
2.2	Методы повышения тепловой экономичности ПТУ	Промежуточный перегрев пара. Влияние конечного давления на экономичность цикла ПТУ. Регенеративный подогрев питательной воды.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
2.3	Циклы паротурбинных установок АЭС	Современные ядерные энергетические реакторы (ЯЭР) и параметры пара паропроизводящих установок с различными типами ЯЭР. Сепарация пара и ее влияние на тепловую экономичность. Циклы АЭС с сепарацией пара и промежуточным перегревом. Двукратная сепарация. Оптимальное разделительное давление.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240
2.4	АЭС с газотурбинными установками	Расчетный проект тепловой схемы ПТУ АЭС.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29240

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Показатели тепловой экономичности ПТУ	4	8		16	28
2.	Методы повышения тепловой экономичности ПТУ	6	8		16	30
3.	Циклы паротурбинных установок АЭС	8	8		16	32

4.	АЭС с газотурбинными установками	8	8		16	32
5.	Перспективные термодинамические циклы АЭС	6			16	22
	Итого:	32	32		80	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Барсуков, О.А. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии / О.А. Барсуков. - Москва: Физматлит, 2011. - 560 с. URL: https://e.lanbook.com/book/2722
2.	Кудинов, И.В. Теоретические основы теплотехники: учебное пособие / И.В. Кудинов, Е.В. Стефанюк; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. - Ч. I. Термодинамика. - 172 с. URL: https://e.lanbook.com/book/73897
3.	Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники: техническая термодинамика и теплообмен: учебное пособие / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь: СКФУ, 2014. - 225 с. URL: https://e.lanbook.com/book/155167
4.	Паровые и газовые турбины для электростанций. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 556 с

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Тепловые и атомные электростанции : справочник / под ред. А. В.Клименко; В. М. Зорина. — 3-е изд., пераб. и доп.. — М.: Изд-во МЭИ, 2003. — 648 с.: ил.. — Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: в 4 кн.; Кн. 3.
6.	Трояновский Б.М., Филиппов Г.А., Булкин А.Е. Паровые и газовые турбины атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1985.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ.
8.	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

9.	https://e.lanbook.com – ЭБС «Лань»
10.	https://www.studentlibrary.ru – ЭБС «Консультант студента»
11.	https://urait.ru – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
12.	https://rucont.ru - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Тепловые и атомные электростанции: справочник / под ред. А. В. Клименко; В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. 648 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

1. активные и интерактивные формы проведения занятий;
2. компьютерные технологии при проведении занятий;
3. презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
4. специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
5. разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и метода.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации

Специализированная мебель

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации)

Специализированная мебель, ноутбук, проектор

Microsoft Windows 7, Windows 10

LibreOffice, Adobe Reader

Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Показатели тепловой	ПК-1	ПК-1.1	Устный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	экономичности ПТУ	ПК-10	ПК-10.2 ПК-10.3	
2.	Методы повышения тепловой экономичности ПТУ			Устный опрос
3.	Циклы паротурбинных установок АЭС			Устный опрос
4.	АЭС с газотурбинными установками			Устный опрос
5.	Перспективные термодинамические циклы АЭС			Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Пункт 20.2 Вопросы к экзамену

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: устный опрос.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Перечень вопросов к устному опросу:

1. Рассказать, как происходит преобразование энергии на АЭС.
2. Какие типы тепловых двигателей, применяются на АЭС?
3. Устройство паротурбинной установки (ПТУ) и принцип её работы.
4. Устройство газотурбинной установки (ГТУ) и принцип её работы.
5. Перечислить основные требования, предъявляемые к АЭС.
6. Перечислить начальные параметры пара и рассказать о их влиянии на экономичность ПТУ.
7. Какова зависимость располагаемого теплоперепада на турбину и конечной степени сухости от начальных параметров?
8. Каково влияние промежуточного перегрева пара на тепловую экономичность ПТУ.
9. Назвать виды промперегрева. В каких целях промперегревы применяются на АЭС?
10. Зачем осуществляется регенеративный подогрев питательной воды (РППВ)?
11. Назвать типы регенеративных подогревателей. Перечислить их сравнительные достоинства и недостатки.
12. Влияние РППВ на экономичность установки с промежуточным перегревом.
13. Конструкции регенеративных подогревателей: поверхностных ПВД и ПНД, смешивающих.
14. Современные ядерные энергетические реакторы (ЯЭР). Принцип работы, недостатки и преимущества.
15. Перечислить параметры паропроизводящих установок с различными типами ЯЭР.
16. Циклы АЭС с сепарацией пара и промежуточным перегревом.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах	Хорошо

показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к экзамену:

1. Первый закон Ньютона.
2. Второй закон Ньютона.
3. Третий закон Ньютона.
4. Дайте определение понятию «термодинамический процесс».
5. Понятие давления. Единицы измерения.
6. Давление: статическое, динамическое, полное.
7. Понятие энтальпии. Единицы измерения.
8. Изотермический процесс. Изображение в Ts – диаграмме водяного пара.
9. Уравнение теплопроводности.
10. Техническая работа в термодинамическом процессе.
11. Удельная теплоемкость вещества. Единицы измерения.
12. Механическая работа. Единицы измерения.
13. Работа расширения в термодинамических процессах.
14. Скрытая теплота парообразования. Определение энтальпии влажного пара.
15. Изобарный и изохорный процесс. Изображение в hs – диаграмме водяного пара.
16. Закон сохранения и превращения энергии.
17. Коэффициент теплопередачи.
- 18.
19. Понятие коэффициента полезного действия (КПД).
20. Изотермический процесс и его изображение в Ts - и hs – диаграммах водяного пара.
21. Первый закон термодинамики.
22. Теплота и работа в адиабатном процессе.
23. Температурный напор и его определение (среднеарифметический и среднегеометрический).
24. Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара.
25. Мощность. Единицы измерения.
26. Второй закон термодинамики.
27. Изобарный процесс и его изображение в Ts - и hs – диаграммах водяного пара.
28. Уравнение теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи.
29. Круговой процесс (цикл). КПД цикла.
30. Работа, затраченная на повышение давления воды.
31. Определение количества теплоты, затраченной на: а) нагрев воды; б) нагрев пара.
32. Удельный объем вещества. Единицы измерения.
33. Нулевое начало термодинамики.

34. Понятие температуры. Единицы измерения.
35. Расписать единицу измерения мощности через основные единицы измерения системы СИ.
36. Теплота и работа в изобарном процессе.
37. Уравнение теплопередачи.
38. Цикл Карно. КПД цикла Карно.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

4) при постоянной теплоемкости

4. В воду температурой 15°C и объемом 2 л опустили неизвестный сплав массой 1 кг и температурой 90°C . В результате теплообмена установилась температура 20°C . Какова удельная теплоемкость сплава ($\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{K}$), если удельная теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{K}$?

1) 400

2) 600

3) 1100

4) 1300

5. Взято по одному молю гелия, неона и аргона при одинаковой температуре. У какого газа внутренняя энергия самая большая?

1) у всех газов одинакова

2) у аргона

3) у гелия

4) у неона

6. Укажите все верные утверждения. Работа -

1) это скалярная величина;

2) это векторная величина;

3) измеряется в джоулях;

4) измеряется в киловатт-часах;

1) 2 и 3

2) 1, 3 и 4

3) 1 и 2

4) 1, 2, 3, и 4

7. Какая работа (Дж) совершается при изохорном нагревании одного моля идеального газа на 20 K ?

1) 4,05

2) при изохорном процессе работа не совершается

3) 8,31

4) 16,62

8. При адиабатном сжатии идеального газа внешними силами совершена работа 100 Дж . Как изменилась при этом внутренняя энергия этого газа?

1) увеличилась на 50 Дж

2) увеличилась на 100 Дж

3) уменьшилась на 100 Дж

4) не изменилась

9. Смешали 30 л воды при 10°C и 50 л воды температурой 50°C . Определите температуру смеси.

1) 40

2) 25

3) 35

4) 30

10. Нагреватель идеальной тепловой машины имеет температуру 527°C , а холодильник - $+127^{\circ}\text{C}$. Определите КПД данной машины (%).

1) 60

2) 50

3) 40

4) 25

11. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить азоту массой 14 г, чтобы изобарно нагреть его на 10 К? Молярная масса азота равна 28 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$.

1) 51,9

2) 208

3) 156

4) 104

12. Под поршнем, который может свободно перемещаться в вертикальном цилиндре, находится 1 моль идеального одноатомного газа. Давление газа равно 200 кПа. На сколько литров увеличится объем этого газа, если ему сообщить 3 кДж теплоты?

1) 5

2) 6

3) 4

4) 2

13. Найдите работу (Дж), совершаемую при нагревании 2 молей идеального одноатомного газа на 100°C при постоянном давлении. $R=8,3 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$

1) 104

2) 415

3) 207

4) 1660

14. Какое количество теплоты (Дж) нужно сообщить кислороду массой 10 г, чтобы изобарно нагреть его на 20К? Молярная масса кислорода равна 32 г/моль. $R = 8,3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$.

- 1) 32,5
- 2) 65
- 3) 97,5

4) 130

15. Камень массой 100 кг, сорвавшись со скалы, упал в ущелье глубиной 200 м. Какое количество теплоты при этом выделилось (кДж)? $g=10 \text{ м/с}^2$.

- 1) 200
- 2) 400
- 3) 50
- 4) 100

Вопросы с развернутыми ответами

1. Дайте определение идеального газа.

Идеальный газ – это газ, молекулы которого рассматриваются как материальные точки, взаимодействие которых между собой ограничено только соударениями, т.е. в идеальном газе полностью отсутствуют силы притяжения между молекулами.

Идеальный газ – предельное состояние реального газа при стремлении его плотности к нулю.

2. Какие выводы можно сделать из первого закона термодинамики?

Из первого закона термодинамики можно сделать следующие выводы:

- если система изолирована, т.е. над системой не совершается работа и к ней не подводится теплота, внутренняя энергия системы остается неизменной $\Delta U=0$;
- если система не совершает работу, но к ней подводится теплота, то внутренняя энергия такой системы растет;
- внутренняя энергия системы может изменяться одинаково как за счет совершения системой работы, так и за счет передачи окружающим телам какого-либо количества теплоты.

3. Из чего состоит цикл Карно и в какой последовательности он происходит?

Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат и протекает в такой последовательности:

- изотермическое расширение с подводом от источника тепла;
- адиабатное расширение, при котором температура газа понижается;
- изотермическое сжатие с отводом в холодильник тепла;
- адиабатное сжатие, при котором температура газа повышается.

4. Объясните почему если в изолированной системе существует произвольный необратимый цикл, то энтропия системы растет.

Возрастание энтропии системы связано с тем, что энтропия рабочего тела за цикл не изменяется, поскольку в результате осуществления цикла рабочее тело возвращается в исходное состояние, а уменьшение энтропии горячих источников меньше по абсолютной величине, чем увеличение энтропии холодных источников теплоты. Таким образом, в результате осуществления необратимого цикла энтропия изолированной, совершающей работу системы, горячий источник – рабочее тело – холодный источник, в целом возрастает, но никак не рабочего тела. Следовательно, какие бы процессы ни протекали в изолированной системе, ее энтропия не может уменьшаться.

5. Объясните почему необратимый адиабатный процесс на TS-диаграмме будет изображаться линией, имеющей наклон к оси энтропий в сторону ее возрастания.

Это можно объяснить следующим образом. При необратимых процессах часть энергии рабочего тела превращается в тепловую, например, за счет потерь на трение, что приводит к росту энтропии рабочего тела в необратимом адиабатном процессе.

Действительные потери работы расширения всегда оказываются меньше, чем фактическая затрата работы на трение, т.к. часть работы трения превращается в теплоту, сообщаемую рабочему телу, тем самым увеличивая тепло, используемое в совершении полезной работы.

Фактически затрачиваемая дополнительная работа на адиабатическое сжатие, вызванная наличием трения, всегда оказывается больше действительной работы трения, так как тепло, сообщаемое рабочему телу при трении, ведет к уменьшению КПД цикла.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) открытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) закрытые задания (вопросы с развернутыми ответами, повышенный уровень сложности):

- 5 баллов – указан верный ответ;
- 2 балла – указан неверный ответ, но приведен верный ход решения;
- 0 баллов – указан неверный ответ.