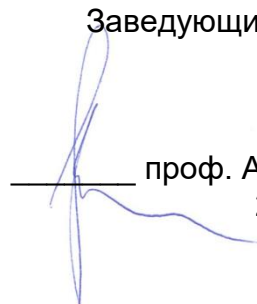


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

 проф. А.В. Ковалев
21.03.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.27 Основы физико-химических процессов

- 1. Код и наименование направления подготовки:** 15.03.06 Мехатроника и робототехника.
- 2. Профиль подготовки/специализация:** Интеллектуальные системы управления в мехатронике и робототехнике.
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** Бакалавр
- 4. Форма обучения:** Очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Механики и компьютерного моделирования
- 6. Составители программы:**
Гоцев Дмитрий Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ
- 7. Рекомендована:** НМС факультета ПММ 17.03.2025, протокол № 6
- 8. Учебный год:** 2025 - 2026 **Семестр(-ы):** 1, 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения дисциплины являются физико-химические основы деформирования, разделения и соединения твердых тел, акцентируется внимание на термофлуктуационных механизмах разрыва и восстановления межатомных связей и механизмах термической активации технологических и физико-химических процессов

Задачи учебной дисциплины: изучение существующих технологических процессов производства конкретных изделий, теоретических основ этих процессов для инженерного расчета параметров режимов обработки и точности изготовления продукции, изучение и освоение современных представлений о физико-химических основах технологических методов и их взаимосвязи с технологическими процессами и технологическим обеспечением и повышением качества продукции.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к обязательной части блока Б1. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин школьного курса естественного направления. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать дисциплины: теоретическая механика, математическое моделирование, физико-механический практикум и вычислительный эксперимент, а также специальные курсы по профилю подготовки.

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
ОПК-7	Способен применять современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении и	ОПК-7.1	Имеет представление о современных методах рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов и делает обоснованный их выбор при проектировании отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем	Знать: основные положения, законы и методы молекулярной физики, термодинамики, роль и место молекулярной физики и термодинамики в современной научной картине мира, границы применимости законов молекулярной физики и термодинамики
		ОПК-7.2	Имеет практические навыки применения современных методов и технологий рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов при проектировании отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем	Уметь: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области молекулярной физики и термодинамики, пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами, моделями и методами молекулярной физики и термодинамики Владеть: основными понятиями, законами, моделями и методами молекулярной физики и термодинамики, навыками обработки и анализа теоретической информации в области молекулярной физики и термодинамики

ОПК-10	Способен контролировать и обеспечивать производственную и экологическую безопасность на рабочих местах	ОПК-10.1	Демонстрирует знание нормативных документов в сфере производственной и экологической безопасности и методов контроля их соблюдения	Знать: принципы использования на практике основных положений, законов и методов молекулярной физики и термодинамики, а также принципы оформления нормативных документов в сфере производственной и экологической безопасности
		ОПК-10.2	Анализирует угрозы производственной и экологической безопасности на предприятии, выбирает оптимальные технические средства контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах	Уметь: выбирать методы анализа и исследований для подтверждения теоретических положений молекулярной физики, и термодинамики, представлять и интерпретировать результаты теоретических исследований и анализировать результаты с учетом экологической безопасности Владеть: навыками решения проблем производственной и экологической безопасности, возникающих в ходе исследований, с привлечением необходимого физико-математического аппарата

12. Структура и содержание учебной дисциплины:

Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 7/252.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) зачет, экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			№ 1	№2
Аудиторные занятия		128	64	64
В том числе:	лекции	64	32	32
	практические	32	0	32
	лабораторные	32	32	0
Самостоятельная работа		88	44	44
Промежуточная аттестация <i>зачет, экзамен</i>		36	0	36
252		252	108	144

13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Молекулярно-кинетические представления о веществе. Основные величины характеризующие атомы и молекулы. Агрегатные состояния вещества. Статистический и термодинамический методы.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Идеальный газ. Давление и абсолютная температура. Постоянная Больцмана. Основное уравнение элементарной кинетической теории газов. Уравнение Менделеева - Клайперона.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
3	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Внутренняя энергия. Работа, теплота. Первый закон термодинамики.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
4	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Обратимые и необратимые процессы. Циклы. Функции состояния. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
5	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Процессы в идеальном газе. Принцип работы тепловой машины ее КПД.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
6	Энтропия. Второе начало термодинамики.	Цикл Карно. Теоремы Карно. Принцип Кельвина. Энтропия. Термодинамическое тождество. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
7	Термодинамические потенциалы	Термодинамические потенциалы, соотношения Максвелла. Взаимодействие молекул в реальном газе. Эффективный диаметр молекул. Потенциал Леннарда-Джонса. Понятие критической температуры.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
8	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма. Уравнение Ван-дер-Ваальса.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
9	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Критические параметры вещества. Эффект Джоуля-Томсона. 3 закон термодинамики.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2. Практические занятия			
1	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Идеальный газ. Давление и абсолютная температура. Постоянная Больцмана. Основное уравнение элементарной кинетической теории газов. Уравнение Менделеева - Клайперона.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Внутренняя энергия. Работа, теплота. Первый закон термодинамики. Циклы. Функции состояния. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
5	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Процессы в идеальном газе. Принцип работы тепловой машины ее КПД.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
6	Энтропия. Второе начало термодинамики.	Цикл Карно. Теоремы Карно. Принцип Кельвина. Энтропия. Термодинамическое тождество. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

7	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Уравнение Ван-дер-Ваальса.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
3. Лабораторные работы			
1	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Идеальный газ. Давление и абсолютная температура. Постоянная Больцмана. Основное уравнение элементарной кинетической теории газов. Уравнение Менделеева - Клайперона.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Внутренняя энергия. Работа, теплота. Первый закон термодинамики. Циклы. Функции состояния. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
5	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Процессы в идеальном газе. Принцип работы тепловой машины ее КПД.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
6	Энтропия. Второе начало термодинамики.	Цикл Карно. Теоремы Карно. Принцип Кельвина. Энтропия. Термодинамическое тождество. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
7	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Уравнение Ван-дер-Ваальса.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	СРС	Всего
1.	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	8	4	4	8	24
2.	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	12	6	8	16	42
3.	Энтропия. Второе начало термодинамики.	16	16	16	24	72
4.	Термодинамические потенциалы	16	2	2	24	44
5.	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	12	4	2	16	34
6.	Промежуточная аттестация					36
7.	Итого	64	30	32	88	252

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др)

На лекционных занятиях студенты знакомятся с основными понятиями курса, их логической взаимосвязью. Изучение тем начинается с лекций, которые составляют основу теоретической подготовки студентов. Лекции читаются с использованием технических средств обучения. На самостоятельной работе студенты развивают и углубляют полученные знания. Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме, выполнение индивидуальных заданий. Практические занятия позволяют развивать у студентов творческое теоретическое мышление, умение самостоятельно изучать литературу, анализировать практику; учат четко формулировать мысль, вести дискуссию, то есть имеют исключительно важное значение в развитии самостоятельного мышления. При подготовке к практическим занятиям необходимо повторить основные положения и понятия по

теме занятия. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

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

(список оформляется в соответствии с требованиями ГОС и ФГОС, используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Механика и термодинамика : учебное пособие : [16+] / В. Г. Дубровский, А. А. Корнилович, И. И. Суханов, И. Б. Формусатик ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 95 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574883 (дата обращения: 19.05.2025). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3881-7. – Текст : электронный.
2	Термодинамика : практикум : [16+] / сост. М. П. Ланкина, Г. М. Серопян, С. А. Сычев, И. С. Позыгун [и др.]. – Омск : Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского (ОмГУ), 2023. – 21 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=708157 (дата обращения: 19.05.2025). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7779-2659-3. – Текст : электронный.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Никеров, В. А. Физика для вузов : механика и молекулярная физика : учебник : [16+] / В. А. Никеров. – Москва : Дашков и К°, 2021. – 136 с. : ил., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=684326 (дата обращения: 19.05.2025). – ISBN 978-5-394-00691-3. – Текст : электронный.
2.	Архипов, В. П. Основы классической механики и молекулярной физики : [16+] / В. П. Архипов ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2019. – 124 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=683528 (дата обращения: 19.05.2025). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-2678-1. – Текст : электронный.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
2	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru/

3	Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
---	--

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы:

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к практическим занятиям и подготовку к промежуточной аттестации.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс Молекулярная физика и термодинамика, <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944>, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению заданий. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1	Положение об организации самостоятельной работы обучающихся в Воронежском государственном университете
2	Малышев, Л. Г. Избранные главы курса физики : Молекулярная физика и термодинамика : учебное пособие / Л. Г. Малышев, А. А. Повзнер ; науч. ред. А. В. Мелких ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. – 195 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=699063 (дата обращения: 19.05.2025). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7996-2988-5. – Текст : электронный.
3	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
4	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru/
5	Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

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

При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам.

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале. Применяются разные типы лекций (вводная, обзорная, информационная, проблемная).

Информационные технологии для реализации учебной дисциплины:

- технологии синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателя посредством служб (сервисов) по пересылке и получению электронных сообщений, в том числе, по сети Интернет а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.;

- сервис электронной почты для оперативной связи преподавателя и студентов.

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944>, а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины: Учебная аудитория для проведения лекций специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения).

ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, Мой Офис, Libre Office).

Учебная аудитория для практических занятий, лабораторных работ и организации самостоятельной работы: специализированная мебель, персональные компьютеры в количестве, обеспечивающем возможность индивидуальной работы, компьютер преподавателя, мультимедийное оборудование (проектор, экран).

ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, Мой Офис, Libre Office), специализированное ПО по тематике дисциплины (допускается демоверсия или виртуальный аналог ПО).

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.	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	ОПК-7 ОПК-10	ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-10.1, ОПК-10.2	Собеседование.
2.	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	ОПК-7 ОПК-10	ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-10.1, ОПК-10.2	Собеседование.
3	Энтропия. Второе начало термодинамики.	ОПК-7 ОПК-10	ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-10.1, ОПК-10.2	Комплект практических заданий №1
4	Термодинамические потенциалы	ОПК-7 ОПК-10	ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-10.1, ОПК-10.2	Практикоориентированные задания/домашние задания
5	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	ОПК-7 ОПК-10	ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-10.1, ОПК-10.2	Комплект практических заданий №2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет, экзамен				Перечень вопросов

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:

Собеседование

Перечень вопросов для собеседования:

1. Молекулярно кинетические представления о веществе (молекула, атомный и молекулярный вес, количество вещества, постоянная Авогадро)
2. Статистический и термодинамический методы
3. Идеальный газ. Давление и абсолютная температура
4. Уравнение состояния Менделеева-Клайперона
5. Внутренняя энергия и работа идеального газа
6. Теплота. Первый закон термодинамики
7. Обратимые и необратимые процессы
8. Параметры состояния. Равновесное состояние. Квазистатический процесс
9. Обратимый процесс и необратимые процессы. Свойство обратимого процесса
10. Цикл. Функция состояния.
11. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями. Формула Майера
12. Изобарический процесс. Нахождение температуры и работы
13. Изохорический процесс. Нахождение Давления и работы
14. Изотермический процесс. Определение давления и работы
15. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты в переменных T, V и в переменных P, V . Определение работы

Описание технологии проведения. Проводится в виде опроса на лекционных и практических занятиях, возможно использование тестовой формы опроса.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

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

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

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно;
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно.

Практикоориентированные задания/домашние задания

Перечень заданий из задачников и пособий из п.16

Описание технологии проведения. Контроль проводится путем проверки выполненных упражнений

Шкалы и критерии оценивания

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Обосновано получено правильное решение задачи.
Хорошо	Обосновано получено правильное решение задачи, но есть (не более одной) ошибка вычислительного характера.
Удовлетворительно	Верно выбран метод решения. Получено решение задачи но есть более одной ошибки вычислительного характера
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.

Комплект практических заданий №1

Из предложенных ответов выберите уравнение состояния идеального газа.

☐ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
☒ $pV = \frac{m}{M} \cdot RT$
☐ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
☐ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$

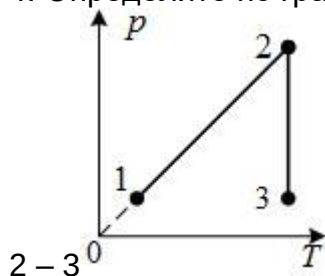
2. Углекислый газ массой 88 кг при давлении $3 \cdot 10^5$ Па и температуре 27°C занимает объем ...

☒ $16,62 \text{ м}^3$
☐ $8,31 \text{ м}^3$
☐ $1,67 \text{ м}^3$
☐ $0,0831 \text{ м}^3$

3. При изотермическом расширении газа его давление уменьшается, так как уменьшается ...

- ☒ концентрация молекул
 ☐ средняя кинетическая энергия
☐ масса газа
 ☐ объем газа

4. Определите по графику изменение объема идеального газа при переходах 1 – 2 и



- ☐ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 уменьшится
 ☐ 1 - 2 уменьшится, 2 - 3 уменьшится
☒ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 увеличится
 ☐ 1 - 2 увеличится, 2 - 3 увеличится

5. При уменьшении давления в 1,5 раза и уменьшения массы в 6 раз установилась температура 600 K. Определите, на сколько градусов изменилась температура?

☒ 450 K
☐ 400 K
☐ 150 K
☐ 100 K

Описание технологии проведения. Контроль проводится путем проверки выполненных упражнений

Шкалы и критерии оценивания

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Обосновано получено правильное решение задачи.
Хорошо	Обосновано получено правильное решение задачи, но есть (не более одной) ошибка вычислительного характера.
Удовлетворительно	Верно выбран метод решения. Получено решение задачи но есть более одной ошибки вычислительного характера
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод

Комплект практических заданий №2

1. Выведите соотношение между теплоемкостями газа при изобарическом и изохорическом процессах в общем виде

Пример ответа:

Уравнение состояния в общем случае представимо в виде $f(P, V, T) = 0$. Пусть независимыми будут T и V , тогда $U = U(T, V)$. Следовательно,

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV.$$

Из первого закона термодинамики

$$\delta Q = dU + PdV = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] dV.$$

С учетом последнего равенства теплоемкость определится в виде

$$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \frac{dV}{dT}.$$

зависит
от характера
процесса

При $dV = 0$ имеем $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$, при $dP = 0$ имеем $C_P = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_P$

2. Получите уравнение адиабаты Пуассона

Пример ответа:

Уравнение, связывающее параметры состояния в адиабатическом процессе называется *уравнением адиабаты Пуассона*.

Из первого закона термодинамики $dU + \delta A = 0 \Rightarrow C_V dT + PdV = 0$.

Откуда $C_V \frac{dT}{T} + \frac{P}{C_V T} dV = 0$, учитывая, что $\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$, получим $\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V V} dV = 0$. Из

формулы Майера $R = C_P - C_V$. Обозначим $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$. Тогда

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \frac{dV}{V} \Rightarrow \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = -(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow T_1 V_1^{(\gamma - 1)} = T_2 V_2^{(\gamma - 1)} \Rightarrow$$

$$\boxed{TV^{(\gamma - 1)} = \text{const}} \text{ уравнение адиабаты в переменных } T, V.$$

Учитывая, что $T = \frac{PV}{R}$, получим уравнение адиабаты в переменных P, V :

$$\boxed{PV^\gamma = \text{const}}$$

Описание технологии проведения. Контроль проводится путем проверки выполненных упражнений

Шкалы и критерии оценивания

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Обосновано получено правильное решение задачи.
Хорошо	Обосновано получено правильное решение задачи, но есть (не более одной) ошибка вычислительного характера.
Удовлетворительно	Верно выбран метод решения. Получено решение задачи но есть более одной ошибки вычислительного характера
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Перечень вопросов к зачету

1. Молекулярно кинетические представления о веществе (молекула, атомный и молекулярный вес, количество вещества, постоянная Авогадро)
2. Статистический и термодинамический методы
3. Идеальный газ. Давление и абсолютная температура
4. Уравнение состояния Менделеева-Клайперона
5. Внутренняя энергия и работа идеального газа
6. Теплота. Первый закон термодинамики
7. Обратимые и необратимые процессы
8. Параметры состояния. Равновесное состояние. Квазистатический процесс
9. Обратимый процесс и необратимы процессы. Свойство обратимого процесса
10. Цикл. Функция состояния.
11. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями. Формула Майера
12. Изобарический процесс. Нахождение температуры и работы
13. Изохорический процесс. Нахождение Давления и работы
14. Изотермический процесс. Определение давления и работы
15. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты в переменных T, V и в переменных P, V . Определение работы
16. Сравнение работы при адиабатическом и изотермическом процессах
17. Политропический процесс. Уравнение политропы в переменных T, V и в переменных P, V .
18. Принцип работы тепловой машины. КПД тепловой машины.
19. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
20. Первая теорема Карно и ее физическое объяснение. Вторая теорема Карно
21. Принцип Кельвина.
22. Энтропия
23. Второй закон термодинамики для обратимых процессов (термодинамическое тождество)
24. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики для необратимых процессов

Описание технологии проведения. Зачет проводится на основе КИМ, составленных на основе вопросов из перечня.

Шкалы и критерии оценивания

Критерии оценивания	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом в данной области науки (теоретическими основами дисциплины), верно применяет теоретические знания для решения практических задач.	Зачет
Обучающийся не в полной мере владеет понятийным аппаратом в данной области науки (теоретическими основами дисциплины) или с не грубыми ошибками применяет теоретические знания для решения практических задач. Дает верные ответы на дополнительные вопросы.	Зачет
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания.	Зачет
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	Незачет

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Перечень вопросов к экзамену

1. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия и энергия Гиббса. Соотношения Максвелла (свойства смешанных производных)
2. Межмолекулярные взаимодействия
3. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц
4. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая изолированной системы ($U=const$, $V=const$, $N=const$)
5. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая системы в термостате при постоянном объеме ($T=const$, $V=const$, $N=const$)
6. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая системы в термостате под постоянным внешним давлением ($T=const$, $P=const$, $N=const$)
7. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы
8. Принцип Ле-Шателье-Брауна
9. Фазовые переходы первого рода
10. Газ Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальсовского газа
11. Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса
12. Сжимаемость газа
13. Поверхностное натяжение и давление
14. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы
15. Охлаждение газа при необратимом адиабатном расширении. Эффект Джоуля-Томсона
16. Охлаждение газа при обратимом адиабатном расширении
17. Третий закон термодинамики

Описание технологии проведения. Экзамен проводится на основе КИМ, составленных на основе вопросов для подготовки к экзамену.

Шкалы и критерии оценивания

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Полные и точные ответы на 2 вопроса экзаменационного билета; свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме вопросов; исчерпывающие ответы на

	вопросы при сдаче экзамена
Хорошо	Полные и точные ответы на 2 вопроса экзаменационного билета; знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена
Удовлетворительно	Полный и точный ответ на 1 вопрос экзаменационного билета; удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов
Неудовлетворительно	Ответ не более чем на 1 вопрос экзаменационного билета

Зачет может проводиться в виде теста в электронной образовательной среде «Электронный университет ВГУ». Большая часть вопросов проверяется автоматически, проверки преподавателем с ручным оцениванием требуют только расчетные задачи, практико-ориентированные задачи

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

1. Из предложенных ответов выберите уравнение состояния идеального газа.

☐ $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$
☒ $pV = \frac{m}{M} \cdot RT$
☐ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
☐ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$

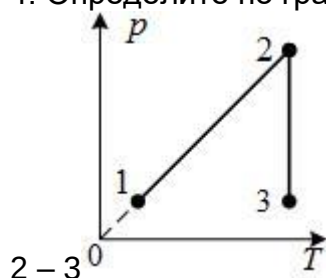
2. Углекислый газ массой 88 кг при давлении $3 \cdot 10^5$ Па и температуре 27°C занимает объем ...

☒ $16,62 \text{ м}^3$
☐ $8,31 \text{ м}^3$
☐ $1,67 \text{ м}^3$
☐ $0,0831 \text{ м}^3$

3. При изотермическом расширении газа его давление уменьшается, так как уменьшается ...

- ☒ концентрация молекул
 ☐ средняя кинетическая энергия
☐ масса газа
 ☐ объем газа

4. Определите по графику изменение объема идеального газа при переходах 1 – 2 и



- ☐ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 уменьшится
 ☐ 1 - 2 уменьшится, 2 - 3 уменьшится
☒ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 увеличится
 ☐ 1 - 2 увеличится, 2 - 3 увеличится

5. При уменьшении давления в 1,5 раза и уменьшения массы в 6 раз установилась температура 600 K. Определите, на сколько градусов изменилась температура?

☒ 450 K
☐ 400 K
☐ 150 K
☐ 100 K

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

1. Выведите соотношение между теплоемкостями газа при изобарическом и изохорическом процессах в общем виде

Пример ответа:

Уравнение состояния в общем случае представимо в виде $f(P, V, T) = 0$. Пусть независимыми будут T и V , тогда $U = U(T, V)$. Следовательно,

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV.$$

Из первого закона термодинамики

$$\delta Q = dU + PdV = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] dV.$$

С учетом последнего равенства теплоемкость определится в виде

$$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \frac{dV}{dT}.$$

зависит
от характера
процесса

При $dV = 0$ имеем $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$, при $dP = 0$ имеем $C_P = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_P$

2. Получите уравнение адиабаты Пуассона

Пример ответа:

Уравнение, связывающее параметры состояния в адиабатическом процессе называется уравнением адиабаты Пуассона.

Из первого закона термодинамики $dU + \delta A = 0 \Rightarrow C_V dT + PdV = 0$.

Откуда $C_V \frac{dT}{T} + \frac{P}{C_V T} dV = 0$, учитывая, что $\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$, получим $\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V V} dV = 0$. Из

формулы Майера $R = C_P - C_V$. Обозначим $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$. Тогда

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \frac{dV}{V} \Rightarrow \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = -(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow T_1 V_1^{(\gamma - 1)} = T_2 V_2^{(\gamma - 1)} \Rightarrow$$

$$\boxed{TV^{(\gamma - 1)} = \text{const}} \text{ уравнение адиабаты в переменных } T, V.$$

Учитывая, что $T = \frac{PV}{R}$, получим уравнение адиабаты в переменных P, V :

$$\boxed{PV^\gamma = \text{const}}$$

3. Сформулируйте второй закон термодинамики для обратимых и необратимых адиабатически замкнутых систем

Пример ответа:

$TdS = dU + \delta A$ - второй закон термодинамики для обратимых процессов (или термодинамическое тождество).

Из первой теоремы Карно следует, что

$$\eta_{\text{необр}} < \eta_{\text{обр}} \Rightarrow 1 - \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{\text{необр}} < 1 - \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{\text{обр}} \Rightarrow \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{\text{необр}} > \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{\text{обр}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q^{(-)}}{T_2} > \frac{Q^{(+)}}{T_1} \Rightarrow$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

Можно показать, что это неравенство, выполняется для любого кругового необратимого процесса.

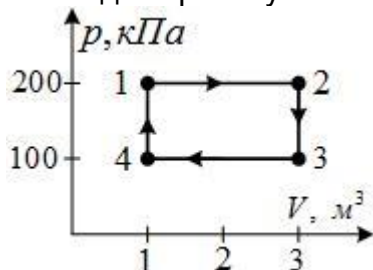
Второй закон термодинамики для необратимых процессов.

Для замкнутой системы (т.е. изолированной от источников тепла) $\delta Q = 0$ и $S_2 - S_1 > 0$

Энтропия замкнутой (то есть адиабатически изолированной) системы при необратимом процессе растет – второй закон термодинамики для необратимых процессов.

2) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

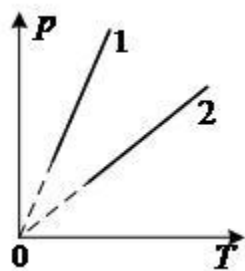
1. Найдите работу газа за термодинамический цикл, представленный на графике



- ☐ 200 Дж ☐ 300 Дж ☐ 400 Дж ☐ 600 Дж

2. В двух одинаковых сосудах нагревают один и тот же газ разной массы.

Зависимость давления газа от температуры в этих сосудах представлена на рисунке. Сравните массы газов в сосудах.



- ☐ $m_1 > m_2$ ☐ $m_1 < m_2$ ☐ $m_1 = m_2$ ☐ надо знать объем сосудов

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

1. Выведите формулу для работы газа при адиабатическом расширении.

Пример ответа:

$$A = \int_1^2 P dV \quad \left| \begin{array}{l} PV^\gamma = \text{const} \Rightarrow PV_1^\gamma = PV_2^\gamma \Rightarrow P = \frac{PV_1^\gamma}{V^\gamma} \end{array} \right. \Rightarrow A = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) \Rightarrow$$

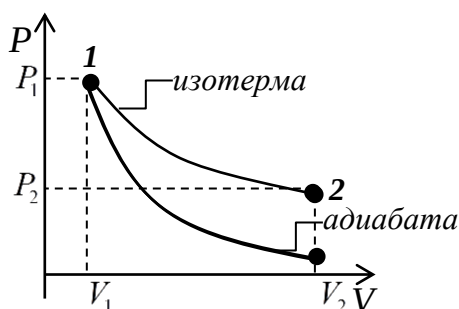
$$\Rightarrow A = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} V_1^{\gamma-1} - V_1^{1-\gamma} V_1^{\gamma-1}) = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right).$$

Так как, $TV^{(\gamma-1)} = \text{const} \Rightarrow T_1 V_1^{(\gamma-1)} = T_2 V_2^{(\gamma-1)} \Rightarrow \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$, то

$$\Rightarrow A = \frac{P_1 V_1}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} V_1^{\gamma-1} - V_1^{1-\gamma} V_1^{\gamma-1}) \Rightarrow \boxed{A = \frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2)}.$$

2. Проведите сравнительный анализ величин работы при изотермическом и адиабатическом расширениях газа на одинаковую величину из общей начальной точки

Пример ответа:



Работа при адиабатическом процессе всегда меньше, чем при изотермическом процессе $A_{ад} < A_{изот}$. Это связано с тем, что в изотермическом процессе $T = \text{const}$ и давление уменьшается только за счет уменьшения плотности. В адиабатическом процессе, как следует из (*), при $dV > 0 \Rightarrow dT < 0$ и давление падает дополнительно за счет уменьшения температуры. Поэтому $\int_1^2 P dV$ в адиабатическом

процессе оказался меньше

3. Сформулируйте первый закон термодинамики и его основные следствия

Пример ответа:

1 формулировка. Работа, совершаемая системой равна разности между количеством подведенной теплоты и изменением ее внутренней энергии:

$$\boxed{\delta A = \delta Q - dU} \text{ в бесконечно малых величинах или } \boxed{A = Q - \Delta U} \text{ в конечных величинах.}$$

2 формулировка. Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами.

$$\boxed{dU = \delta Q - \delta A} \text{ в бесконечно малых величинах или } \boxed{\Delta U = Q - A} \text{ в конечных величинах.}$$

3 формулировка. Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

$$\boxed{\delta Q = dU + \delta A} \text{ в бесконечно малых величинах или } \boxed{Q = \Delta U + A} \text{ в конечных величинах.}$$

Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о

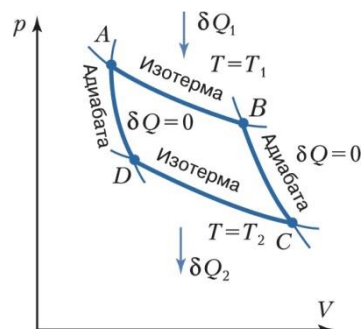
невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Любая машина может совершать положительную работу A над внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты Q от окружающих тел или уменьшения ΔU своей внутренней энергии.

Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую.

4. Сформулируйте определение. Выведите формулу КПД цикла Карно.
Сформулируйте теоремы Карно.

Пример ответа:

Круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат называется **циклом Карно**



к.п.д. цикла Карно:

$$Q^{(+)} = \int_1^2 \delta Q = \int_1^2 dU + \int_{V_1}^{V_2} PdV = RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right), \quad Q^{(-)} = RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right).$$

Уравнения адиабаты Пуассона

$$\left. \begin{aligned} T_1 V_2^{\gamma-1} &= T_2 V_3^{\gamma-1}, \\ T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_2 V_4^{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}.$$

Тогда,

$$\eta = 1 - \frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} = 1 - \frac{RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}}.$$

Первая теорема Карно. Тепловая машина, работающая при данных значениях температур нагревателя и холодильника, не может иметь к.п.д. больший, чем машина, работающая по обратимому циклу Карно при тех же значениях температур нагревателя и холодильника. Другими словами к.п.д. обратимого цикла Карно максимальный.

Вторая теорема Карно. К.П.Д. цикла Карно не зависит от рабочего тела, а зависит лишь от температур нагревателя и холодильника

5. Сформулируйте понятие энтропии

Пример ответа:

Для обратимого цикла Карно мы получили $\frac{Q^{(+)}}{T_1} = \frac{Q^{(-)}}{T_2}$ или $\frac{Q^{(+)}}{T_1} - \frac{Q^{(-)}}{T_2} = 0$. Последнее

соотношение можно переписать в виде $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$.

Это соотношение может быть обобщено на любой замкнутый обратимый процесс.

Следовательно, для любого обратимого процесса $\oint \frac{\delta Q}{T}$ не зависит от пути и поэтому

отношение $\frac{\delta Q}{T}$ есть полный дифференциал некоторой функции состояния, то есть,

$$\frac{\delta Q}{T} = dS.$$

Функция S называется *энтропией* (Р. Клаузиус, 1865 г.). При этом $\int_A^B \frac{\delta Q}{T} = S_B - S_A$ -

разность значений энтропии в двух состояниях равна приведенному теплу, полученному системой при обратимом переходе из одного состояния в другое. Принято считать, что $S=0$ при $T=0$.

Описание технологии проведения. Для студента будет предложено десять вопросов, на один из которых необходимо дать письменный ответ (расчетные задачи, практико-ориентированные задачи). Остальные вопросы с выбором ответа, которые проверяются автоматически.

На прохождение теста отводится 30 минут. Максимальное число баллов, которое может получить абитуриент, пройдя тест, равно **35** баллам. Правила оценивания вопросов приведены в «**Критерии и шкалы оценивания**».

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

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

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

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно;
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно.

Оценка промежуточной аттестации формируется как интегральная оценка по следующей формуле:

$$Q_{\text{промматтест}} = 0,5Q_{\text{текамтес}} + 0,5Q_{\text{зачет}}$$

При округлении оценки используется правило округления. При получении оценки менее 3 баллов - выставляется «не зачтено». Считается, что контрольная работа и лабораторные работы должны быть зачтены.

Студент, выполнивший в полном объеме программу курса (выполнено практическое задание с оценкой «отлично» и/или «хорошо» (лабораторные работы и контрольная работа зачтена) и имеющий посещаемость занятий 75% и более, на усмотрение преподавателя может быть освобожден от вопросов к зачету. В этом случае

промежуточная аттестация осуществляется по текущей аттестации. Итоговая оценка в этом случае, выставляется как балл по практическому заданию.

20.3 Задания раздела 20.1 и 20.2 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).