

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт транспорта и логистики
Кафедра двигателей внутреннего сгорания

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
Быкадоров В.В.
2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника»

Луганск 2023

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Термодинамика и теплопередача». – 54 с.
Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Термодинамика и теплопередача» разработана с учетом ФГОС ВО: Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 145.

СОСТАВИТЕЛИ:

д-р. техн. наук, проф. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Киреев А.Н.,
старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ковтун А.С.,
канд. техн. наук, доц. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Данилейченко А.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания»

« 12 » 04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой  А.А.Данилейченко

Переутверждена: « ____ » ____ 20__ г., протокол № ____

Согласована (для обеспечивающей кафедры):  Быкадоров В.В.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики

« 14 » 04 2023г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины – изучение законов и методов получения, преобразования, передачи и использования тепловой энергии (теплоты) в тепломеханических агрегатах (тепловых машинах, двигателях технологического оборудования, аппаратах и устройствах) и их системах.

Задачи дисциплины – формирование багажа знаний, которые позволят будущему специалисту правильно выполнять теплотехнические расчеты, повышать качество и эффективность работы тепломеханических агрегатов и технологического оборудования, новых технологических процессов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.

Дисциплина «Термодинамика и теплопередача» входит в обязательную часть модуля профессиональных дисциплин.

Основывается на базе дисциплин: физика, математика. Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин: теория рабочих процессов ДВС, основы математического моделирования процессов в ДВС, тепломассообмен, двигатели внешнего сгорания, специальные виды двигателей.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

<p>ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач</p>	<p>ОПК-3.1 Демонстрирует знание математического аппарата аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.</p>	<p>знать: основные законы термодинамики и тепломассообмена; основные положения и методы термодинамики и теплообмена; методы получения и преобразования, передачи и использования теплоты в тепломеханических агрегатах, тепловых машинах и двигателях, в технологических процессах автомобилестроения и пр.; методы расчета термодинамических и тепловых процессов, возникающих в тепломеханических агрегатах (тепловых машинах, технологическом оборудовании и пр.) процессов сушки, вытекания, дросселирования, нагнетание газа (пара) и пр.;</p> <p>уметь: определять параметры рабочего состояния тела тепловых машин, двигателей, аппаратов; проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин, технологического оборудования; рассчитывать рабочие тепловые процессы в тепловых машинах и технологическом оборудовании; рассчитывать процессы тепломассообмена в тепловых машинах и технологическом оборудовании; выполнять расчеты теплообменников.</p> <p>владеть навыками: анализа и расчета термодинамических и тепловых</p>
---	--	---

		процессов в агрегатах, технологическом оборудовании и приборах.
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (3 зач. ед)	108 (3 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	51	10
Лекции	34	6
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия		
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	57	98
Форма аттестации	зачет	зачет

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Исходные положения технической термодинамики: 1. Предмет и методы. 2. Основные понятия и определения. 3. Параметры состояния. 4. Уравнения состояния газов. 5. Работа и теплота в термодинамическом процессе. 6. Теплоемкость. 7. Газовые смеси.

Тема 2. Основные законы термодинамики: 1. Первый закон термодинамики. 2. Второй закон термодинамики. 3. Циклы Карно. 4. Математическое выражение второго закона термодинамики. 5. Изменение энтропии в изолированной термодинамической системе. 6. Максимальная работа (эксергия). 7. Основные термодинамические процессы.

Тема 3. Свойства и процессы реальных газов. 1. Общие свойства. 2. Свойства и процессы воды и водного пара. Свойства и процессы влажного воздуха. h-d диаграмма влажного воздуха.

Тема 4. Термодинамика потока. 1. Первый закон термодинамики для потока газа. 2. Истечение газов и паров. 3. Дросселирование газов и паров. 4. Нагнетания газов и паров.

Тема 5. Циклы теплосиловых установок. 1. Циклы двигателей внутреннего сгорания. 2. Циклы газовых турбин. 3. Циклы паросиловых установок. 4. Циклы холодильных установок и тепловых насосов. Термодинамические и тепловые процессы в технологических машинах и оборудовании.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Исходные положения технической термодинамики: Предмет и методы. Основные понятия и определения. Параметры состояния. Уравнения состояния газов. Работа и теплота в термодинамическом процессе. Теплоемкость. Газовые смеси	7	1

2	Основные законы термодинамики: Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Циклы Карно. Математическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в изолированной термодинамической системе. Максимальная работа (эксергия). Основные термодинамические процессы.	7	2
3	Свойства и процессы реальных газов. Общие свойства. Свойства и процессы воды и водного пара. Свойства и процессы влажного воздуха. h-d диаграмма влажного воздуха.	7	1
4	Термодинамика потока. Первый закон термодинамики для потока газа. Истечение газов и паров. Дросселирование газов и паров. Нагнетания газов и паров.	7	1
5	Циклы теплосиловых установок. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы газовых турбин. Циклы паросиловых установок. Циклы холодильных установок и теплосиловых насосов. Термодинамические и тепловые процессы в технологических машинах и оборудовании.	6	1
	Итого:	34	6

4.4. Практические (семинарские) занятия

Не предусмотрены учебным планом

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Определение объемной изобарной теплоемкости воздуха	1,7	2
2.	Исследование термодинамических процессов идеального газа	1,7	
3.	Определение теплоемкости веществ при различной температуре	1,7	
4.	Измерение давления манометрами различных типов	1,7	
5.	Определение коэффициента теплоотдачи от поверхности цилиндра к воздуху в условиях свободной конвекции	1,7	
6.	Исследование работы теплооб-менного аппарата при параллельном токе и противотоке	1,7	2
7.	Исследование особенностей лучистого теплообмена между твердыми телами	1,7	
8.	Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов методом пластины	1,7	
9.	Определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного теплового режима	1,7	
10.	Исследование работы водо-воздушного теплообменного аппарата при свободном и вынужденном движении воздуха.	1,7	
11.	Итого:	17	

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов
-------	---------------	---------	-------------

			Очная форма	Заочная форма
1	Изучение лекционных тем	Изучение лекций	19	40
2	Анализ термодинамических циклов	Изучение лекций	18	18
3	Расчет теплообменника	Изучение лекций	20	40
	ИТОГО:		57	98

4.7. Курсовые работы/проекты. Не предусмотрено учебным планом.

5. Образовательные технологии

В процессе обучения для достижения планируемых результатов освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;
- информационно-коммуникационная технология, в том числе визуализация, создание электронных учебных материалов;
- использование электронных образовательных ресурсов при подготовке к лекциям, практическим и лабораторным занятиям;
- технология проблемного обучения, в том числе в рамках разбора проблемных ситуаций;
- технология развивающего обучения, в том числе постановка и решение задач от менее сложных к более сложным, развивающих компетенции студентов.

В рамках перечисленных технологий основными методами обучения являются: работа в команде; самостоятельная работа; проблемное обучение.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Куликов Ю. А. Теплопередача [Текст]: учебник / Ю. А. Куликов; М-во образования и науки Луг. Нар. Республики, Луг. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Ноулидж, 2018. - 141 с. - Библиогр.: с. 135-136. - 140 р.
2. Куликов Ю. А. Теоретические основы термодинамики [Текст]: учебное пособие / Ю. А. Куликов. - Луганск: Элтон-2, 2008. - 204 с. - Библиогр.: с. 201. - ISBN 978-966-8827-93-0 : 35 грн.
3. Куликов Ю. А. Теоретические основы теплопередачи [Текст]: учебное пособие / Ю. А. Куликов; М-во образования и науки Украины, Вочточнукр. нац. ун-т им. в. Даля. - Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2005. - 116 с. - Библиогр.: с. 112. - 10 грн. 95 к.
4. Куликов Ю. А. Теоретические основы термодинамики и тепломассообмена [Текст]: учебник / Ю. А. Куликов. - Луганск: Ноулидж, 2015. - 360 с. - Библиогр.: с. 345 - 346. - ISBN 978-966-8827-93-0 : 350 р.

б) дополнительная литература:

5. Федоровский, К. Ю. Тепловой и гидравлический расчеты рекуперативного теплообменного аппарата / К. Ю. Федоровский. - Текст : электронный // Znanium.com. - 2017. - №1-12. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/854606> (дата обращения: 27.01.2024)
6. Иванов, В. Л. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок : учебник / В. Л. Иванов, Э. А. Манушин ; под общ. ред. А. Ю. Вараксина. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2019. - 536 с. - ISBN 978-5-7038-4813-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1964958> (дата обращения: 27.01.2024).
7. Горбачев, М. В. Тепломассообмен. Теплопроводность : учебное пособие / М. В. Горбачев. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 76 с. - ISBN 978-5-7782-4134-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1868890> (дата обращения: 27.01.2024).

8. Сторчеус Ю.В. Термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Сторчеус Ю. В., Ковтун А. С.; - Луганск: изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2015. – 93 с.
9. Круглов Г. А. Теплотехника [Текст] : учебное пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2022. - 207 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 204-205. - ISBN 978-5-507-45269-9 : 1300 р.
10. Куликов Ю.А., Ажило А.Г., Гончаров А.В., Быкадоров В.В. Оробцов Т.А. (под ред. проф., д.т.н, Куликова Ю.А.) Компактные теплообменники из пучков труб с винтовым оребрением для транспортных машин. Монография.- Луганск: Изд-во «Элтон-2», 2011. – 201с. ISBN 978-617-563-105-8.
11. Куликов Ю. А., Быкадоров В.В., Котнов А.С., Ажило А.Г., Грибиниченко М.В., Гончаров А.В., Томачинский Ю.Н., Пыхтя В.А., Верховодов А.А. (под ред. проф., д.т.н, Куликова Ю.А.) Теплоэнергетические системы транспортных машин: монография/ - Луганск: Изд-во «Элтон- 2», 2009. – 365 с. ISBN 978-617-563-012-0.
12. Основы гидравлики и теплотехники : учебное пособие / С.Ф. Вольвак, Ю.Н. Ульянов, Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 525 с. — (Среднее профессиональное образование). — DOI 10.12737/1865774. - ISBN 978-5-16-017670-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1865774> (дата обращения: 29.01.2024).
13. Крайнов А.Ю. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества : учеб. пособие.— Томск: STT, 2016. – 48 с. <https://ftf.tsu.ru/wp-content/uploads/A.YU.-Krajnov-Osnovy-teploperedachi.-Teploperedacha-cherez-sloj-veshhestva.pdf>
14. Баранов, В.М. Б 241 Термодинамика и теплопередача: Учебное пособие: 2-е издание, переработанное / В.М. Баранов, А.Ю.Коньков. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2004. – 91 с. <http://www.vixri.com/d2/Baranov%20-%20Termodinamika%20I%20Teploperedacha.pdf>

в) методические указания:

15. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.03 – Энергетическое машиностроение специальности «Двигатели внутреннего сгорания») [Электронный ресурс]/ Сост.: Ю.А.Куликов, А.А.Данилейченко. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 93 с.
16. Методические указания к выполнению индивидуального задания по дисциплине "Теоретические основы теплотехники" [Электронный ресурс] : для студентов всех специальностей / Сост.: Н.Г. Банников, В.А. Волков, Ю.А.Куликов, А.Н.Кинщак, В.А. Рыбальченко - Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2014.-25 с.
17. Методические указания к выполнению домашнего задания «Расчет теплообменных аппаратов» по дисциплине «Основы теплотехники» [Электронный ресурс] : для студентов всех специальностей / Сост.: Ю.А.Куликов, Ю.А.Шманев. - Луганск: Изд-во ВНУ им. Даля, 2013.-30с.
18. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Прикладная термодинамика» для студентов инженерных специальностей [Электронный ресурс]/ Сост.: А.С Ковтун. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2018. – 17с.
19. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» (для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.03 – Энергетическое машиностроение специальности «Двигатели внутреннего сгорания») [Электронный ресурс]/ Сост.: Ю.А.Куликов, А.А.Данилейченко. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 105 с.
20. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» для студентов инженерных специальностей [Электронный ресурс]/ Сост.: А.С Ковтун. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2019. – 24с.

в) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
 Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
 Министерство образования и науки Луганской Народной Республики –<https://minobr.su>
 Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>
 Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
 Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
 Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>
 Электронные библиотечные системы и ресурсы
 Электронно-библиотечная система «Консультант-студента» –
<http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
 Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
 Информационный ресурс библиотеки образовательной организации
 Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся в академических аудиториях.

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: проводятся с использованием раздаточного материала, наглядных пособий, демонстрационных плакатов. Прочее: комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме.

Лабораторные работы: лаборатория ДВС, оснащенная специализированными лабораторными стендами (Стенд «Всетин» с ДВС, стенды с дизелями 5Д2, 6ЧН12/14, 1Ч12/14, 5Д4, стенд СДТА, стенд «Motorpal», стенд с ДВС 4ЧН8,5/11 с волновым обменником давления, наглядное пособие двигатель ТВЗ-117 и СПГГ, лабораторные стенды 1, 2, 3, 4 по теплотехнике, лабораторное контрольно-измерительное оборудование, наглядные пособия), плакаты со схемами лабораторных работ, шаблоны отчетов по лабораторным работам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет (комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме).

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

**Паспорт
оценочных средств по учебной дисциплине
«Термодинамика и теплопередача»**

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Пороговый	знать: основные законы термодинамики и тепломассообмена; основные положения и методы термодинамики и теплообмена; методы получения и преобразования, передачи и использования теплоты в тепломеханических агрегатах, тепловых машинах и двигателях, в технологических процессах автомобилестроения и пр.; методы расчета термодинамических и тепловых процессов, возникающих в тепломеханических агрегатах (тепловых машинах, технологическом оборудовании и пр.) процессов сушки, вытекания, дросселирования, нагнетание газа (пара) и пр.
		Базовый	уметь: определять параметры рабочего состояния тела тепловых машин, двигателей, аппаратов; проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин, технологического оборудования; рассчитывать рабочие тепловые процессы в тепловых машинах и технологическом оборудовании; рассчитывать процессы тепломассообмена в тепловых машинах и технологическом оборудовании; выполнять расчеты теплообменников
		Высокий	владеть навыками: анализа и расчета термодинамических и тепловых процессов в агрегатах, технологическом оборудовании и приборах

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Этапы формирования (семестр изучения)
1.	ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат,	ОПК-3.1 Демонстрирует знание математического аппарата аналитической геометрии,	Тема 1. Исходные положения технической термодинамики. Предмет и методы. Основные понятия и определения. Параметры состояния. Уравнения	5

		<p>методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач</p>	<p>линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.</p>	<p>состояния газов. Работа и теплота в термодинамическом процессе. Теплоемкость. Газовые смеси.</p> <p>Тема 2. Основные законы термодинамики. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Циклы Карно. Математическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в изолированной термодинамической системе. Максимальная работа (эксергия). Основные термодинамические процессы.</p> <p>Тема 3 Свойства и процессы реальных газов. Общие свойства. Свойства и процессы воды и водного пара. Свойства и процессы влажного воздуха. h-d диаграмма влажного воздуха.</p> <p>Тема 4 Термодинамика потока. Первый закон термодинамики для потока газа. Истечение газов и паров. Дросселирование газов и паров. Нагнетания газов и паров.</p> <p>Тема 5. Циклы теплосиловых установок. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы газовых турбин. Циклы паросиловых установок. Циклы холодильных установок и теплосиловых насосов. Термодинамические и тепловые процессы в технологических машинах и оборудовании.</p>	
--	--	--	---	--	--

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ОПК-3	<p>ОПК-3.1 Демонстрирует знание математического аппарата аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.</p>	<p>знать: основные законы термодинамики и теплообмена; основные положения и методы термодинамики и теплообмена; методы получения и преобразования, передачи и использования теплоты в тепломеханических агрегатах, тепловых машинах и двигателях, в технологических процессах автомобилестроения и пр.; методы расчета термодинамических и тепловых процессов, возникающих в тепломеханических агрегатах (тепловых машинах, технологическом оборудовании и пр.) процессов сушки, вытекания, дросселирования, нагнетание газа (пара) и пр.;</p> <p>уметь: определять параметры рабочего состояния тела тепловых машин, двигателей, аппаратов; проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин, технологического оборудования; рассчитывать рабочие тепловые процессы в тепловых машинах и технологическом оборудовании; рассчитывать процессы теплообмена в тепловых машинах и технологическом оборудовании; выполнять</p>	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5	Лабораторная работа, контрольная работа

			расчеты теплообменников. владеть навыками: анализа и расчета термодинамических и тепловых процессов в агрегатах, технологическом оборудовании и приборах.		
--	--	--	---	--	--

Оценочные средства по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1 Демонстрирует знание математического аппарата аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, численных методов; законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, основы оптики, квантовой механики и атомной физики; химические процессы.
--	---

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника» дисциплина «Термодинамика и теплопередача»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа

Пороговый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие единицы измерения температуры являются эмпирическими?

- 1) Цельсий.
- 2) Кельвин.
- 3) Фарингейт.
- 4) Реомюр.
- 5) Энглер.

Ответ: 134

Обоснование: по определению шкалы Цельсия, Фарингейта и Реомюра являются эмпирическими, т.е. измерение температуры по ним связано с физическими свойствами термометрического тела; шкала Кельвина – абсолютная температурная шкала, построенная на основании второго закона термодинамики. По шкале Энглера измеряется вязкость вещества, соответственно, к температуре вариант 5) не имеет отношения.

Задание с выбором ответа

пороговый уровень

Задание 2.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Для превращения теплоты в работу в тепловой машине необходимо наличие:

- 1) цилиндропоршневой группы.
- 2) рабочего тела.
- 3) хотя бы двух источников теплоты с различными термическими потенциалами.
- 4) аккумулятора работы.
- 5) только одного источника тепловой энергии.

Ответ: 23

Обоснование: согласно второму закону термодинамики для превращения теплоты в работу в тепловом двигателе необходимо наличие хотя бы двух источников теплоты с различными термическими потенциалами, что говорится в варианте 3). Очевидно, что наличие рабочего тела (вариант 2) является также необходимым условием работы любой тепловой машины. Варианты 1) и 4) являются неверными, т.к. для осуществления термодинамического цикла с точки зрения термодинамики наличие данных элементов не является обязательным. Вариант 5) является неверным, т.к. он предопределяет наличие только одного источника теплоты в схеме теплового двигателя; такой двигатель является монотермическим или вечным двигателем второго рода, что невозможно с точки зрения второго закона термодинамики.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Параметрами состояния химически однородного рабочего тела являются:

- 1) концентрация.
- 2) давление.
- 3) объём.
- 4) масса.
- 5) температура.

Ответ: 235

Обоснование: параметрами состояния химически однородного вещества по определению являются давление, объём и температура, т.е. варианты 2), 3) и 5). Вариант 1) неверный, т.к. понятие концентрации имеет смысл в смесях, состоящих из химически неоднородных веществ, где концентрация также является параметром состояния. Вариант 4) неверный, т.к. масса не является параметром состояния, это мера инертности вещества и в некоторой степени является количественной характеристикой вещества.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Внутренняя энергия реального газа является функцией:

- 1) температуры и давления.
- 2) температуры и объёма.
- 3) только температуры.
- 4) только давления.
- 5) давления и объёма.

Ответ: 125

Обоснование: в реальных газах в отличие от модели идеального газа имеется межмолекулярное взаимодействие и является конечной величиной собственный объём молекул, следовательно, внутренняя энергия является функцией двух любых попарно взятых из трёх параметров

состояния: давления, объёма и температуры, что соответствует вариантам 1), 2) и 5). Вариант 3) соответствует идеальному газу, вариант 4) не относится ни к модели идеального, ни к модели реального газа.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

В каких единицах в системе СИ измеряется удельная массовая теплоёмкость?

- 1) Дж/(кмоль·К).
- 2) Дж/(м³·К)
- 3) Дж/К.
- 4) Дж/(кг·К).
- 5) Дж/кг.

Ответ: 4

Обоснование: удельная массовая теплоёмкость – это отношение абсолютной теплоёмкости к массе системы. В системе СИ абсолютная теплоёмкость измеряется в Дж/К, следовательно, удельная массовая теплоёмкость имеет размерность, указанную в варианте 4) Дж/(кг·К).

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 6.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Термодинамический процесс, при котором система и окружающая среда не обмениваются теплом, называется:

- 1) политропный.
- 2) адиабатный.
- 3) изотермический.
- 4) изохорный.
- 5) изобарный.

Ответ: 2

Обоснование: по определению адиабатный процесс – это процесс, проходящий без теплообмена между системой и окружающей средой.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 7.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

В системе СИ единицей измерения давления является:

- 1) Н/м.
- 2) Н·м
- 3) Па.
- 4) кгс/см².
- 5) Бар.

Ответ: 3

Обоснование: по определению Паскаль является единицей измерения давления в системе СИ: 1 Па = 1 Н/м².

Задание с выбором ответа

пороговый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой термодинамический процесс является обобщающим для остальных изо процессов?

- 1) политропный.
- 2) изобарный.
- 3) изохорный.
- 4) изотермический.
- 5) адиабатный.

Ответ: 1

Обоснование: политропный процесс является обобщающим. Уравнение политропного процесса (уравнение Пуассона) в неявном виде

$$pV^n = const .$$

Любой изо процесс является частным случаем политропного: подставляя в уравнение политропы различные значения показателя n , получим уравнение того или иного изо процесса. Например, при $n = 1$ получаем неявное уравнение изотермы

$$pV = const .$$

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляются процессы в прямом цикле Карно, начиная с точки диаграммы, соответствующей максимальному объёму рабочего тела?

- 1) подключение двигателя к горячему источнику и изотермическое расширение газа.
- 2) отвод тепла от рабочего тела холодному источнику при изотермическом сжатии.
- 3) адиабатное сжатие рабочего тела до максимальной температуры цикла.
- 4) отключение двигателя от горячего источника и адиабатное расширение газа.
- 5) отключение двигателя от холодного источника.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	5	3	1	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется упрощённый расчёт идеального термодинамического цикла двигателя с внешним подводом тепла?

- 1) определение термического КПД цикла.
- 2) расчёт изменения функций состояния рабочего тела в изо процессах, составляющих цикл.
- 3) определение параметров состояния рабочего тела в характерных точках цикла.
- 4) определение значений функций процессов: работ и теплоты в каждом процессе.
- 5) вычисление подведённой и отведённой теплоты в цикле, а также работы газа за цикл.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	2	4	5	1
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности вычисляется плотность газа по данным измерений?

- 1) по показаниям манометра находится абсолютное давление газа; измеренная эмпирическая температура газа переводится в абсолютную.
- 2) производится расчёт плотности газа.
- 3) определяется газовая постоянная для данного газа при выборе модели идеального газа или поправочные коэффициенты в случае модели реального газа.
- 4) по барометру определяется давление окружающей среды; по термометру определяется эмпирическая температура газа.
- 5) на основании полученных значений абсолютного давления и температуры принимается решение о выборе уравнения состояния газа.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	1	5	3	2
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности определяется удельная массовая изобарная теплоёмкость воздуха методом проточного калориметрирования?

- 1) по показаниям вольтметра и амперметра вычисляется тепловая мощность, подводимая к потоку воздуха в калорифере.
- 2) по данным опытов определяются средние температуры воздуха на входе и выходе экспериментальной установки.
- 3) по измеренным параметрам окружающей среды (барометрическое давление, температура) и фактическому объёмному расходу воздуха через установку определяется значение объёмного расход воздуха, приведенного к нормальным условиям.
- 4) по средней температуре воздуха между выходом и входом в установку определяется «табличное» значение теплоёмкости воздуха по эмпирической зависимости. Полученное расчётное значение теплоёмкости сравнивается с табличным и вычисляется относительная погрешность эксперимента.
- 5) рассчитывается средняя изобарная удельная объёмная теплоёмкость воздуха и по её значению на основании закона Авогадро определяется удельная массовая изобарная теплоёмкость воздуха.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	1	3	5	4
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между физическими величинами, используемыми в термодинамике, и единицами их измерения.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Абсолютная теплоёмкость	1	Дж/(кмоль·К)
Б	Удельная энтальпия	2	Дж/К
В	Коэффициент теплоотдачи	3	Дж/(м ³ ·К)
Г	Удельная молярная теплоёмкость	4	Вт/(м ² ·К)
		5	Дж/кг

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	5	4	1

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между термодинамическими процессами и значениями показателя политропы.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Изотермический	1	$(k-1)/k$
Б	Изобарный	2	k
В	Изохорный	3	0
Г	Адиабатный	4	1
		5	$\pm\infty$

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	3	5	2

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между термодинамическими процессами и их характеристиками

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Адиабатный	1	Подведенное к газу тепло идёт на приращение энтальпии
Б	Изобарный	2	Теплоёмкость обращается в бесконечность
В	Изотермический	3	Работа газа совершается за счёт убыли внутренней энергии
Г	Изохорный	4	Внутренняя энергия газа обращается в ноль
		5	Работа газа равна нулю

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
3	1	2	5

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Какое количество тепла подводится к воздуху при изобарном нагреве от 35°C до 72°C, если через входное сечение нагревателя прошло 25 л воздуха, абсолютное давление воздуха во входном сечении нагревателя равно 103 кПа? Истинная удельная массовая изобарная теплоёмкость воздуха задана формулой

$$c_p(t) = 1,0304 + 2,4 \cdot 10^{-5} t \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)}$$

Ответ (решение): по определению абсолютное количество тепла, подведенного в процессе, характеризуемом постоянством некоего параметра «х», в общем случае при переменной теплоёмкости $c_x(t)$, зависящей от температуры, определяется выражением

$$Q = m \cdot \int_{t_1}^{t_2} c_x(t) \cdot dt ,$$

где t_1 и t_2 – соответственно начальная и конечная температура термодинамической системы, m – масса системы.

Постоянным параметром «х» процесса в данном случае является давление p , т.к. по условию задачи подвод тепла к воздуху осуществляется при постоянном давлении: в этом случае теплоёмкость $c_x(t)$ является изобарной теплоёмкостью $c_p(t)$.

Масса воздуха, прошедшего через нагреватель определяется по уравнению состояния идеального газа, т.к. при заданных в условии температурах и давлении воздух можно считать идеальным газом

$$pV = mRT ,$$

где p – абсолютное давление воздуха во входном сечении нагревателя, V – заданный по условию объём воздуха, прошедший через входное сечение, T – абсолютная температура воздуха во входном сечении. Т.к. по условию нагрев осуществляется от 35°C до 72°C, то во входном сечении температура воздуха $T = 35 + 273 = 308$ К. $R = 0,287$ кДж/(кг·К) – газовая постоянная воздуха.

Тогда масса воздуха, прошедшего через нагреватель, равна

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{103 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{0,287 \cdot 308} = 0,029 \text{ кг.}$$

Количество тепла, подведенное к воздуху,

$$Q = m \cdot \int_{t_1}^{t_2} c_p(t) \cdot dt = m \cdot \int_{t_1}^{t_2} (1,0304 + 2,4 \cdot 10^{-5} t) \cdot dt = m \cdot \left(1,0304 \cdot t + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{t^2}{2} \right) \Big|_{t_1}^{t_2} = \\ = m \cdot [1,0304 \cdot (t_2 - t_1) + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (t_2^2 - t_1^2)] = 0,029 \cdot [1,0304 \cdot (72 - 35) + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (72^2 - 35^2)] = 1,1 \text{ кДж.}$$

К воздуху подводится 1,1 кДж тепла.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

До какого давления сжимается воздух в цилиндре компрессора, если степень сжатия компрессора $\epsilon = 6$, начальное давление в цилиндре 250 кПа? Процесс сжатия происходит быстро.

Ответ (решение): т.к. по условию сжатие осуществляется быстро, то процесс сжатия можно считать адиабатным, т.е. происходящим без теплообмена между воздухом и окружающей средой. Из уравнения адиабаты

$$pV^k = const ,$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для воздуха, можно записать

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k .$$

Степень сжатия компрессора по определению представляет собой отношение полного объёма цилиндра компрессора к текущему объёму цилиндра в момент начала открытия выпускного

клапана. В данной задаче степень сжатия можно считать отношением начального V_1 и конечного V_2 объёмов цилиндра. Тогда

$$p_2 = p_1 \frac{V_1^k}{V_2^k} = p_1 \cdot \varepsilon^k = 250 \cdot 6^{1,4} = 3071 \text{ кПа.}$$

Воздух в цилиндре компрессора сжимается до 3071 кПа.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить термический КПД и работу цикла Карно, если от горячего источника в цикл подведено 500 кДж тепла, температура горячего источника 44°C, температура холодного источника 12°C.

Ответ (решение): термический КПД цикла Карно согласно теореме Карно, не зависит от вида рабочего тела и определяется лишь соотношением абсолютных температур горячего и холодного источников тепла

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{12 + 273}{44 + 273} = 0,1.$$

Работа цикла равна разности абсолютных значений подведенной и отведенной в цикле теплоты. Из выражения термического КПД работа цикла равна

$$L = Q_1 \cdot \eta_t = 500 \cdot 0,1 = 50 \text{ кДж.}$$

Термический КПД цикла Карно равен 0,1 (10%), работа цикла равна 50 кДж.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

В баллоне объёмом 40 л, находящимся в прохладном помещении при температуре 15°C, содержится кислород. Давление по манометру в баллоне 124 кГс/см². Баллон вынесли из помещения и оставили на некоторое время под действием прямых солнечных лучей, в результате чего давление по манометру составило 147 кГс/см². Как изменилась внутренняя энергия кислорода и какое количество тепла солнечного излучения при этом было поглощено газом, если атмосферное давление неизменно и равно 1 Бар, кислород из баллона не расходовался? Теплоёмкость кислорода считать независимой от температуры.

Ответ (решение): т.к. по условию кислород из баллона не расходовался, то в баллоне содержится постоянная масса газа. Учитывая, что стенки баллона жёсткие и их собственной термической деформацией и расширением от давления газа можно пренебречь, то процесс нагрева газа в баллоне от солнечного излучения можно считать изохорным. Т.к. в изохорном процессе газ не совершает работы, то первый закон термодинамики для изохоры имеет вид

$$Q = \Delta U,$$

где Q – подведенное к газу количество тепла, ΔU – изменение внутренней энергии газа.

Изменение внутренней энергии определяется выражением

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot \Delta T = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1),$$

где m – масса кислорода в баллоне, c_v – удельная массовая изохорная теплоёмкость, ΔT – изменение температуры кислорода от начальной T_1 до конечной T_2 .

Т.к. нагрев кислорода является изохорным, то согласно закону Шарля отношение абсолютных температур газа равно отношению абсолютных давлений. Переводя показания манометра из технических атмосфер в кПа и учитывая, что 1 Бар = 100 кПа, можно записать

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{124 \cdot 98,1 + 100}{147 \cdot 98,1 + 100} = 0,844 \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} = (15 + 273) \cdot \frac{1}{0,844} = 341 \text{ К},$$

Параметры газа таковы, что кислород можно считать идеальным газом и соответственно, применяя уравнение состояния идеального газа, можно выразить массу кислорода в баллоне

$$m = \frac{p_1 V M}{R_\mu T_1} = \frac{(124 \cdot 98,1 + 100) \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 32}{8,3144 \cdot 288} = 6,56 \text{ кг},$$

где $M = 32 \text{ кг/кмоль}$ – молярная масса кислорода, $R_\mu = 8,3144 \text{ кДж/(кмоль}\cdot\text{К)}$ – универсальная газовая постоянная.

Т.к. по условию теплоёмкость не зависит от температуры, то согласно кинетической теории теплоёмкости Больцмана, она определяется в зависимости от числа степеней свободы молекулы газа. Т.к. кислород – двухатомный газ, то удельная молярная изохорная теплоёмкость для двухатомных газов равна $20,9 \text{ кДж/(кмоль}\cdot\text{К)}$, тогда удельная массовая изохорная теплоёмкость кислорода равна

$$c_V = \frac{\mu c_V}{M} = \frac{20,9}{32} = 0,653 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Количество подведенного тепла и изменение внутренней энергии кислорода

$$Q = \Delta U = m \cdot c_V \cdot (T_2 - T_1) = 6,56 \cdot 0,653 \cdot (341 - 288) = 227 \text{ кДж}.$$

Количество подведенного тепла и изменение внутренней энергии кислорода в баллоне равно 227 кДж .

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить удельную работу изотермического сжатия азота и изменение удельной энтропии при температуре 50°C , если полный объём цилиндра в 8 раз превосходит конечный объём камеры сжатия.

Ответ (решение): удельная работа изотермического процесса определяется по формуле

$$l = RT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

где R – газовая постоянная азота, T – абсолютная температура газа, V_2 и V_1 – соответственно конечный и начальный объём газа.

Газовая постоянная азота равна

$$R = \frac{R_\mu}{M} = \frac{8,3144}{28} = 0,297 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)},$$

где $M = 28 \text{ кг/кмоль}$ – молярная масса азота.

Удельная работа сжатия азота равна

$$l = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,297 \cdot (50 + 273) \ln \frac{1}{8} = -199,5 \text{ кДж/кг}.$$

Знак « \leftarrow » указывает на то, что над газом совершается положительная работа, при этом газ против внешних тел или среды совершает такую же по модулю отрицательную работу.

Изменение удельной энтропии в термодинамическом процессе 1-2 в общем случае выражается интегралом

$$\Delta s = \int_1^2 \frac{\delta q}{T},$$

где 1 и 2 – начальное и конечное состояние системы.

Т.к. для изотермического процесса $T = \text{const}$, то вынося T за знак интеграла, выражение для Δs примет вид

$$\Delta s = \frac{1}{T} \int_1^2 \delta q = \frac{q_{1-2}}{T}.$$

Согласно первому закону термодинамики всё подведенное в изотерме тепло идёт на совершение работы: $Q = L$, или для удельных величин: $q = l$, тогда изменение энтропии в изотерме будет равно

$$\Delta s = \frac{q_{1-2}}{T} = \frac{l}{T} = R \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,297 \ln \frac{1}{8} = -0,618 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Знак «←» указывает на то, что тепло отводится от газа, по правилу знаков, тепло, отводимое от системы является отрицательным. Абсолютная температура по определению положительная величина: при отводе тепла от системы изменение её энтропии отрицательно, т.е. энтропия в данном процессе убывает.

Удельная работа изотермического сжатия азота равна $-199,5$ кДж/кг. Изменение удельной энтропии равно $-0,618$ кДж/(кг·К).

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	134	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	23	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	235	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	125	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	25314	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	32451	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	41532	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	21354	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A2B5B4Г1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A4B3B5Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A3B1B2Г5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	К воздуху подводится 1,1 кДж тепла.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Воздух в цилиндре компрессора сжимается до 3071 кПа.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Термический КПД цикла Карно равен 0,1 (10%), работа цикла равна 50 кДж.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной

		ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Количество подведенного тепла и изменение внутренней энергии кислорода в баллоне равно 227 кДж.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Удельная работа изотермического сжатия азота равна $-199,5$ кДж/кг. Изменение удельной энтропии равно $-0,618$ кДж/(кг·К).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

ВАРИАНТ 2

Задание с выбором ответа пороговый уровень

Задание 1.

Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В каких единицах измеряется удельная теплоёмкость?

- 1). Дж/(кг·°C).
- 2) Дж/(м³·К).
- 3) Дж/К.
- 4) Дж/(кг·К).
- 5) Дж/(кмоль·К).

Ответ: 1245

Обоснование: по определению теплоёмкость – это отношение количества теплоты, которое нужно подвести к системе, чтобы увеличить её температуру на 1 К или 1°C к этому изменению температуры; в этом случае это абсолютная средняя теплоёмкость в интервале температур 1 град. Следовательно, её размерность будет Дж/К (вариант 3) или Дж/град, т.к. изменение температуры в кельвинах, цельсиях, фарингейтах и т.д. одинаково. Удельной теплоёмкостью является отношением абсолютной теплоёмкости к количественной характеристике термодинамической системы: массе, объёму, количеству вещества. Следовательно, удельные теплоёмкости имеют размерность, представленную в вариантах 1), 2), 4) и 5).

Задание с выбором ответа пороговый уровень

Задание 2.

Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие параметры являются постоянными в политропном процессе?

- 1) температура.
- 2) показатель политропы.
- 3) теплоёмкость.
- 4) отношение изменения внутренней энергии к количеству тепла, переданному в процессе.
- 5) энтропия.

Ответ: 234

Обоснование: по определению политропным является процесс, в котором отношение изменения внутренней энергии системы к подведенному (или отведенному) количеству тепла постоянно (вариант 4); при постоянной изохорной теплоёмкости идеального газа из уравнения Майера, первого закона термодинамики в дифференциальной форме и дифференциального уравнения политропы следует постоянство политропной теплоёмкости (вариант 3) и показателя политропы (вариант 2). Варианты 1) и 2) неверные, т.к. в общем случае, кроме изотермы и адиабаты, соответственно, температура и энтропия в политропном процессе изменяются.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

От чего зависит термический КПД цикла Карно?

- 1) температуры горячего источника тепла.
- 2) характеристической газовой постоянной рабочего тела.
- 3) числа степеней свободы молекул рабочего тела.
- 4) температуры холодного источника тепла.
- 5) изобарной теплоёмкости рабочего тела.

Ответ: 14

Обоснование: согласно теореме Карно термический КПД цикла Карно зависит только от отношения температур горячего и холодного источников теплоты (варианты 1) и 4) соответственно) и не зависит от свойств рабочего тела, т.е. варианты 2), 3), 5) являются неверными; формула термического КПД цикла Карно справедлива как для идеального газа, так и для любого реального рабочего тела.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

В изобарном процессе:

- 1) энтропия постоянная.
- 2) тепло, участвующее в процессе, равно изменению энтальпии системы.
- 3) показатель политропы равен единице.
- 4) абсолютная работа равна произведению давления рабочего тела на изменение его объёма.
- 5) удельная работа равна произведению газовой постоянной рабочего тела на изменение его температуры.

Ответ: 245

Обоснование: на основании первого закона термодинамики и уравнения Майера доказывается, что тепло, подведенное (или отведенное) системе в изобарном процессе равно изменению энтальпии системы (вариант 2). В общем выражении работы газа в термодинамическом процессе, представляющем интеграл давления по объёму, для изобарного процесса постоянное давление можно вынести за знак интеграла, при этом получается выражение абсолютной работы в виде произведения давления газа на изменение его объёма (вариант 4). Дифференцируя обе части уравнения состояния идеального газа $pV = RT$, записанное через удельный объём, и учитывая $R = \text{const}$ и постоянство давления в изобарном процессе, получаем дифференциальное уравнение $p dV = R dT$, интегрируя которое, получаем выражение удельной работы: $l = R \Delta T$, т.е. удельная работа равна произведению газовой постоянной R рабочего тела на изменение его температуры ΔT

(вариант 5). Вариант 1) неверный, т.к. энтропия в изобарном процессе изменяется, вариант 3) неверный, т.к. показатель политропы в изобарном процессе равен нулю.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 5.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В каком равновесном термодинамическом процессе энтропия системы не изменяется?

- 1) изотермический.
- 2) изохорный.
- 3) адиабатный.
- 4) изобарный.
- 5) политропный.

Ответ: 3

Обоснование: в адиабатном процессе нет теплообмена системы и окружающей среды, следовательно, входящее в интеграл Клаузиуса, выражающий изменение энтропии, элементарное количество тепла в процессе $\delta q = 0$. В изолированных (адиабатных) системах $ds = 0$, следовательно, $s = \text{const}$, т.е. энтропия системы остаётся постоянной.

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В каком термодинамическом процессе давление является линейной функцией абсолютной температуры?

- 1) адиабатный.
- 2) изохорный.
- 3) изотермический.
- 4) политропный.
- 5) изобарный.

Ответ: 2

Обоснование: для изохорного процесса $V = \text{const}$ и, следовательно, $v = \text{const}$. Из уравнения состояния идеального газа $p v = RT$ можно записать $p = RT/v$. Т.к. $R/v = \text{const}$, из чего следует, что давление p является линейной функцией абсолютной температуры T .

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Физический смысл характеристической газовой постоянной:

- 1) изменение внутренней энергии газа при изобарном нагреве на 1 К.
- 2) количество тепла, переданное газу при изобарном нагреве на 1 К.
- 3) истинная теплоёмкость данного газа при изобарном нагреве.
- 4) средняя теплоёмкость данного газа при изобарном нагреве на 1 К.
- 5) работа 1 кг данного газа при изобарном нагреве на 1 К.

Ответ: 5

Обоснование: на основании уравнения состояния идеального газа $p v = RT$ для изобарного процесса справедливо выражение $p \Delta v = R \Delta T$, выражение $p \Delta v$ представляет собой удельную

работу l (работу 1 кг) газа в изобарном процессе, отсюда $R = l / \Delta T$. Полагая $\Delta T = 1$ К, раскрываем физический смысл R : работа 1 кг данного газа при изобарном нагреве на 1 К (вариант 5).

Задание с выбором ответа
пороговый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Изотерма в p - V координатах представляется:

- 1) прямой.
- 2) дугой окружности.
- 3) параболой.
- 4) равнобокой гиперболой.
- 5) неравнобокой гиперболой.

Ответ: 4

Обоснование: из уравнения состояния $pV = mRT$ при $T = \text{const}$, получаем $pV = \text{const}$, что представляет собой неявно заданное уравнение гиперболы; т.к. переменные p и V входят в уравнение в одинаковой (первой) степени, то гипербола $pV = \text{const}$ равнобокая (вариант 4).

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности определяется относительная влажность воздуха с помощью психрометра и психрометрической таблицы?

- 1) заводится пружина привода вентилятора и запускается вентилятор, протягивающий воздух через смачиваемую водой ткань, которой обернута колба «мокрого» термометра.
- 2) психрометр устанавливается в помещении, где определяется влажность воздуха не менее, чем за 15 минут до начала наблюдений.
- 3) по показанию «сухого» термометра и найденной разности температур «сухого» и «мокрого» термометра по психрометрической таблице определяется относительная влажность.
- 4) снимают показания «сухого» и «мокрого» термометра; находят их разность.
- 5) колбу с термометрическим телом «мокрого» термометра смачивается водой из пипетки, осуществляя периодический подвод капель воды.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

5	2	1	4	3
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляются термодинамические процессы в элементах конденсационной паротурбинной установки, работающей по теоретическому циклу Ренкина, начиная с нагрева жидкости в паровом котле?

- 1) давление конденсата адиабатически повышается питательным насосом, подающим жидкость в паровой котёл при максимальном давлении цикла.
- 2) отработавший влажный пар конденсируется при постоянном давлении и температуре в конденсаторе, отдавая низкопотенциальную теплоту холодному источнику.
- 3) жидкость при постоянном давлении нагревается в паровом котле до кипения; по мере испарения жидкости образуется влажный насыщенный пар.

- 4) перегретый пар поступает в паровую турбину и, расширяясь адиабатически, совершает механическую работу.
- 5) сухой насыщенный пар при постоянном давлении перегревается в пароперегревателе до максимальной температуры цикла.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	5	4	2	1
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности изменяются термодинамические параметры вещества при переводе из жидкого состояния в перегретый пар?

- 1) подвод тепла при постоянном давлении и температуре насыщения к кипящей жидкости; увеличение степени сухости влажного пара.
- 2) нагрев жидкости при постоянном давлении.
- 3) подвод тепла к сухому пару при постоянном давлении; получение перегретого пара; увеличение температуры и удельного объема перегретого пара.
- 4) подвод к жидкости скрытой теплоты парообразования при данном давлении; образование влажного насыщенного пара.
- 5) полное испарение жидкой фазы; образование сухого насыщенного пара.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	4	1	5	3
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
базовый уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляются термодинамические процессы в цикле Тринклера-Сабатэ, начиная с точки диаграммы состояния, соответствующей минимальному давлению и максимальному объёму рабочего тела?

- 1) адиабатное сжатие.
- 2) изохорный отвод тепла.
- 3) изобарный подвод тепла.
- 4) изохорный подвод тепла.
- 5) адиабатное расширение.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	4	3	5	2
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между понятиями термодинамических величин и их определениями.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия		
А	Работа	1	Максимальная полезная работа (работоспособность системы), которую может	

			совершить система, при переходе из начального состояния в состояние равновесия с окружающей средой
Б	Энтальпия	2	Функция состояния термодинамической системы, полный дифференциал от которой равен отношению элементарного количества тепла, переданного на бесконечно малом участке процесса к температуре системы на этом участке
В	Энтропия	3	Доля тепла, которая ни при каких условиях не может быть преобразована в полезную работу; низкопотенциальное тепло, передаваемое окружающей среде, работоспособность которого равна нулю
Г	Эксергия	4	Функция состояния термодинамической системы, равная сумме внутренней энергии системы и произведения давления системы и занимаемого ею объёма
		5	Характеристика изменения макросостояния термодинамической системы; функция процесса, представляющая собой интеграл давления по объёму

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
5	4	2	1

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между термодинамическими величинами и описанием их выражения

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Термический КПД цикла Карно	1	Отношение изобарной к изохорной теплоёмкости рабочего тела
Б	Показатель адиабаты	2	Единица минус отношение абсолютных температур холодного и горячего источников тепла
В	Универсальная газовая постоянная	3	Массы водяного пара, приходящаяся на 1 м ³ влажного воздуха
Г	Абсолютная влажность	4	Массы водяного пара, приходящаяся на 1 м ³ сухого воздуха
		5	Разность удельных молярных изобарной и изохорной теплоёмкости газа

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
---	---	---	---

2	1	5	3
---	---	---	---

Задание на установление соответствия
базовый уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между конечными значениями показателя политропы n и термодинамическими процессами

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	$n = k$	1	Адиабатное расширение
Б	$n > k$	2	Изохорный нагрев
В	$n < k$	3	Политропное расширение с подводом теплоты
Г	$n = 1$	4	Изотермическое сжатие
		5	Политропное сжатие с подводом теплоты

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
1	5	3	4

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

По результатам экспериментов была получена эмпирическая зависимость абсолютного количества тепла $Q(t)$ (кДж), подведенного к некоторой массе газа, как функция температуры, аппроксимированная в диапазоне температур 50-200°C уравнением квадратной параболы

$$Q(t) = 0,025t^2 - 2t + 80.$$

Определить истинную теплоёмкость газа при температуре 80°C.

Ответ (решение): по определению истинная теплоёмкость определяется выражением

$$C = \frac{dQ}{dT}.$$

Т.к. количество теплоты в экспериментах определялось в функции эмпирической температуры t , то выражение истинной теплоёмкости запишется в виде

$$C = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(0,025t^2 - 2t + 80) = 0,05t - 2.$$

При температуре $t = 80^\circ\text{C}$ истинная теплоёмкость газа равна

$$C = 0,05t - 2 = 0,05 \cdot 80 - 2 = 2 \text{ кДж/К},$$

где в знаменателе размерности указаны кельвины, т.к. изменение температуры в кельвинах и цельсиях одинаково.

Истинная теплоёмкость газа при температуре 80°C равна 2 кДж/К.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить массу и плотность метана, содержащегося в стальной не теплоизолированной цистерне объёмом 50 м^3 при абсолютном давлении 60 кгс/см^2 и температуре 25°C .

Ответ (решение): т.к. по условию цистерна не теплоизолированная, то при указанной температуре 25°C при заданном давлении 60 кгс/см^2 метан находится в газообразном состоянии, следовательно, его термодинамические параметры связаны уравнением газового состояния и при данных давлении и температуре метан можно считать идеальным газом. Тогда из уравнения состояния идеального газа

$$pV = mRT,$$

масса и плотность метана, соответственно, равны:

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{60 \cdot 98,1 \cdot 50}{0,52 \cdot 298} = 1899 \text{ кг},$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{RT} = \frac{60 \cdot 98,1}{0,52 \cdot 298} = 38 \text{ кг/м}^3,$$

где $R = R_u/M = 8,3144/16 = 0,52 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ – удельная газовая постоянная метана, $M = 16 \text{ кг/кмоль}$ – молярная масса метана, $R_u = 8,3144 \text{ кДж/(кмоль}\cdot\text{K)}$ – универсальная газовая постоянная; $98,1$ – переводной коэффициент из кгс/см^2 в кПа .
Масса метана в цистерне 1899 кг , плотность метана 38 кг/м^3 .

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить среднее значение показателя политропы сжатия воздуха в цилиндре компрессора, если степень сжатия $\varepsilon = 5$, абсолютное давление воздуха в цилиндре в начале сжатия $p_1 = 94 \text{ кПа}$, абсолютное давление конца сжатия $p_2 = 985 \text{ кПа}$. Определить, является ли сжатие условно адиабатным или происходящим с теплообменом между сжимаемым воздухом и стенками цилиндра; в этом случае определить направление теплового потока.

Ответ (решение): т.к. в общем случае в изохорная теплоёмкость идеального газа зависит от температуры, то переменным будет и показатель политропы n . Тогда уравнение политропы

$$pV^n = \text{const}$$

не описывает термодинамический процесс сжатия с переменной теплоёмкостью. В этом случае условно принимая процесс политропным, проходящим через точки диаграммы состояния, соответствующие заданным давлениям и объёмам, можно вычислить условное среднее значение n . Логарифмируя уравнение политропы, записанное для начальной и конечной точки процесса сжатия

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n,$$

получаем

$$\lg \frac{p_2}{p_1} = n \cdot \lg \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow n = \frac{\lg \frac{p_2}{p_1}}{\lg \frac{V_1}{V_2}}.$$

Т.к. по определению степень сжатия ε является отношением начального V_1 и конечного V_2 объёмов газа, то выражение для показателя политропы примет вид

$$n = \frac{\lg \frac{p_2}{p_1}}{\lg \varepsilon}.$$

Подставляя исходные данные, получаем

$$n = \frac{\lg \frac{p_2}{p_1}}{\lg \varepsilon} = \frac{\lg \frac{985}{94}}{\lg 5} = 1,4597 \approx 1,46.$$

В предположении постоянства теплоёмкости показатель адиабаты воздуха $k = 1,4$. Т.к. полученное значение $n = 1,46 \neq k = 1,4$, то процесс сжатия не является условно адиабатным. Поскольку $n > k$, то сжатие осуществляется с подводом тепла от стенок цилиндра к воздуху. Среднее значение показателя политропы сжатия воздуха $n = 1,46$. Т.к. $n > k$, то сжатие происходит с подводом тепла от стенок цилиндра к воздуху.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

В термодинамическом процессе к газу подводится теплота, в результате чего давление (кПа) изменяется по закону

$$p = \frac{5}{\sqrt{V}}.$$

Какую работу совершит газ при расширении от 3 до 7 л.

Ответ (решение): абсолютная работа газа в термодинамическом процессе 1-2 в общем случае выражается интегралом

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV,$$

где V_1 и V_2 – начальный и конечный объём, соответственно.

Интегрируя заданное уравнение давления $p(V)$ с учётом предложенной в условии задачи размерности давления в кПа и объёма в литрах, получаем

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{5}{\sqrt{V}} dV = 5 \cdot 2\sqrt{V} \Big|_{V_1}^{V_2} = 10\sqrt{V} \Big|_3^7 = 10 \cdot (\sqrt{7} - \sqrt{3}) = 9,137 \text{ кПа} \cdot \text{л}.$$

Переводя полученное значение работы в систему СИ с учётом $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$ и $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$, получаем $L = 9,137 \text{ Дж}$.

Работа газа равна 9,137 Дж.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Азот массой 1 кг и абсолютным давлением $p = 470 \text{ кПа}$ изобарно расширяется в цилиндре диаметром $D = 130 \text{ мм}$, поднимая поршень на высоту $h = 240 \text{ мм}$. Определить работу газа, изменение энтальпии и подведенное количество тепла, считая азот идеальным газом с постоянной теплоёмкостью.

Ответ (решение): т.к. по условию термодинамический процесс изобарный, то работа газа вычисляется по формуле

$$L = p\Delta V,$$

где p – абсолютное давление, ΔV – изменение объёма газа в изобарном процессе.

Для цилиндра изменение объёма ΔV равно

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{3,14 \cdot 130^2}{4} 240 \cdot 10^{-6} = 3,184 \text{ л}.$$

Работа газа

$$L = p\Delta V = 470 \cdot 3,184 = 1496 \text{ Дж}.$$

Абсолютное изменение энтальпии газа при постоянной удельной изобарной теплоёмкости c_p определяется по формуле

$$\Delta I = m \cdot c_p \cdot \Delta T,$$

где $m = 1$ кг – заданная масса азота, ΔT – изменение температуры газа в изобарном процессе. Удельная изобарная теплоёмкость связана с изохорной уравнением Майера

$$c_p = c_v + R = 0,743 + 0,297 = 1,04 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

где c_v – постоянная массовая изохорная теплоёмкость идеального газа

$$c_v = \frac{\mu c_v}{M} = \frac{20,8}{28} = 0,743 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

$M = 28$ кг/кмоль – молярная масса азота, μc_v – молярная изохорная теплоёмкость идеального газа, зависящая от числа степеней свободы молекулы i

$$\mu c_v = \frac{i}{2} \cdot R_\mu = \frac{5}{2} \cdot 8,3144 = 20,786 \approx 20,8 \text{ кДж}/(\text{кмоль}\cdot\text{К}),$$

для двухатомных газов, к которым относится азот, $i = 5$, $R_\mu = 8,3144$ кДж/(кмоль·К) – универсальная газовая постоянная.

R – удельная газовая постоянная азота

$$R = \frac{R_\mu}{M} = \frac{8,3144}{28} = 0,297 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Из уравнения состояния идеального газа

$$pV = mRT$$

при постоянном давлении можно записать

$$p\Delta V = mR\Delta T.$$

Отсюда изменение температуры азота ΔT равно

$$\Delta T = \frac{p\Delta V}{mR}.$$

При $m = 1$ кг численно ΔT равно

$$\Delta T = \frac{p\Delta V}{R} = \frac{L}{R} = \frac{1496}{297} = 5,04 \text{ К}.$$

Численное значение абсолютного изменения энтальпии азота массой $m = 1$ кг равно

$$\Delta I = c_p \cdot \Delta T = 1,04 \cdot 5,04 = 5,24 \text{ кДж}$$

В изобарном процессе подведенное тепло идёт на приращение энтальпии рабочего тела, т.е.

$$Q = \Delta I = 5,24 \text{ кДж}.$$

Работа, совершаемая азотом при изобарном нагреве, равна 1496 Дж. Изменение энтальпии газа равно подведенному количеству тепла и равно 5,24 кДж.

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 2

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	1245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	14	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	52143	1б – полное правильное соответствие

		0б – остальные случаи
10.	35421	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	24153	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	14352	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A5B4B2Г1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2B1B5Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A1B5B3Г4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	Истинная теплоёмкость газа при температуре 80°C равна 2 кДж/К.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Масса метана в цистерне 1899 кг, плотность метана 38 кг/м ³ .	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Среднее значение показателя политропы сжатия воздуха $n = 1,46$. Т.к. $n > k$, то сжатие происходит с подводом тепла от стенок цилиндра к воздуху.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Работа газа равна 9,137 Дж.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Работа, совершаемая азотом при изобарном нагреве, равна 1496 Дж. Изменение энтальпии газа равно подведенному количеству тепла и равно 5,24 кДж.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

Вопросы при защите лабораторных работ (пороговый уровень):

1. Что такое процесс теплопроводности?
2. Каковы единицы измерения коэффициента теплопроводности? Почему сыпучие, пористые и волокнистые материалы имеют низкие значения коэффициента теплопроводности?
3. Как записывается уравнение Фурье для плоской однослойной стенки при стационарном режиме?
4. Как зависит коэффициент теплопроводности от температуры в данном случае? Чем это объяснить?
5. Может ли рассматриваемый материал иметь другие величины коэффициента теплопроводности? Если да, то в каких условиях? В каких пределах? Почему?
6. Что называется конвективным теплообменом?

7. Как записывается уравнение теплоотдачи (уравнение Ньютона - Рихмана)?
8. Каковы физический смысл и единицы измерения коэффициента теплоотдачи?
9. От каких величин зависит коэффициент теплоотдачи?
10. Какие условия лежат в основе теории подобия?
11. Что такое критерий подобия?
12. Какими критериями подобия характеризуется конвективный теплообмен, в чем их физический смысл?
13. Какое уравнение называется критериальным?
14. Что такое степень черноты?
15. От каких факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи?
16. Как Вы могли бы изменить величину коэффициента теплоотдачи в данной установке?
17. Что Вы понимаете под сложным теплообменом?
18. Как определяется коэффициент сложного теплообмена?
19. Почему у вертикальной трубы коэффициент теплоотдачи при прочих равных условиях меньше, чем у горизонтальной?
20. Как записывается уравнение теплопередачи?
21. Физический смысл и единицы измерения коэффициента теплопередачи.
22. Что такое средний температурный напор и как он вычисляется?
23. Каковы особенности работы теплообменника по схемам «прямоток» и «противоток»?
24. Объяснить устройство лабораторной установки по исследованию работы теплообменного аппарата.
25. Обстоятельно, с подробностями, объяснить, почему схема противотока выгоднее?
26. Как оцениваете Вы полученные величины коэффициента теплопередачи в сравнении со справочно-литературными данными? Причины расхождения?
27. Как изменяется коэффициент теплопередачи в процессе эксплуатации теплообменника и по каким причинам?
28. Как Вы могли бы повысить эффективность данного теплообменника?
29. Каковы основные особенности лучистого теплообмена?
30. Какое тело называется абсолютно белым, абсолютно прозрачным?
31. В чем сущность законов Планка и Вина?
32. В чем сущность закона Стефана-Больцмана?
33. В чем сущность закона Кирхгофа?
34. Что такое степень черноты? От каких факторов она зависит?
35. Как приблизительно изменится количество излучаемой энергии при установке двух экранов?
36. Что такое излучательная способность тела?
37. В чем основные особенности излучения газов?
38. Какие критерии подобия конвективного теплообмена используются в данной лабораторной работе? Каков их физический смысл?
39. Что называется теплообменным аппаратом? По какой схеме он работает?
40. Почему при вынужденном движении воздуха коэффициент теплопередачи больше, чем при свободном?
41. С какой целью трубы теплообменника выполнены ребристыми? Почему ребра выполнены со стороны воздуха, а не воды?
42. Что такое конвективный теплообмен?
43. Как записывается уравнение теплоотдачи (уравнение Ньютона-Рихмана)?
44. Каков физический смысл единицы измерения коэффициента теплоотдачи?
45. От каких величин зависит коэффициент теплоотдачи?
46. Что такое критерий подобия?
47. Какими критериями подобия характеризуется конвективный теплообмен, в чем их физических смысл?
48. Что такое тепловой регулярный режим?
49. Как связаны темп охлаждения с величиной коэффициента теплоотдачи? 10. Как влияет вид конвекции на коэффициент теплоотдачи?
50. Какова физическая сущность передачи тепла при теплопроводности?

51. Что такое температурное поле?
52. Что такое температурный градиент?
53. Как записывается уравнение Фурье?
54. Что такое термическое сопротивление плоской стенки?
55. Что такое удельный тепловой поток?
56. Объясните методику определения k в данной лабораторной работе.
57. Как зависит X от температуры в данном случае? Чем это можно объяснить?
58. Бывают ли иные зависимости A от температуры?
59. Какие единицы применяются для измерения давления?
60. Объясните устройство и принцип работы манометра с трубчатой пружиной.
61. Объясните принцип работы прибора ИКД-27.
62. Как подсчитывается абсолютное давление?
63. Какие бывают приборы для измерения давления, кроме использованных в данной лабораторной работе?
64. Как связаны между собой различные единицы измерения давления?
65. Объясните принцип работы шарикового клапана.
66. В чем различается назначение регулирующего и предохранительного клапана?
67. Как определяется абсолютное давление в сосуде, если известно показание вакуумметра p , подсоединенного к сосуду?
68. В чем физическая сущность абсолютного давления с точки зрения молекулярно-кинетической теории газов?
69. Какие термодинамические параметры относятся к основным?
70. Какие физические условия в термодинамике называются нормальными?
71. Объясните принцип работы манометра.
72. Приведите примеры использования в технике предохранительных клапанов.
73. Какие типы предохранительных клапанов (кроме шарикового) используются в технике?
74. Какие единицы измерения давления используются при решении задач с помощью уравнения состояния идеального газа?
75. Какие единицы измерения давления являются основными в СИ и МКГСС? .
76. Какие внесистемные единицы измерения давления Вы знаете?
77. В чем различие между технической и физической атмосферой?
78. Приведите пример из техники, когда необходимо поддерживать постоянное давление?
79. Что называется удельной теплоемкостью? В каких единицах она измеряется?
80. В чем физическая сущность метода измерения теплоемкости используемого в данной лабораторной работе?
81. Какая связь между единицами измерения теплоемкости в системах единиц СИ и МКГСС?
82. Чему равна теплоемкость воды при $20\text{ }^\circ\text{C}$ в единицах СИ и МКГСС?
83. Какое вещество из используемых в теплотехнике имеет наибольшую теплоемкость?
84. Почему в лабораторной установке ампула с образцом отделена от окружающей среды адиабатической оболочкой (теплоизоляцией)?
85. Какой пар называется насыщенным, перегретым?
86. Что такое влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар?
87. Что такое степень сухости?
88. На что расходуется подводимое тепло при парообразовании?
89. Как изображается процесс парообразования ($p = \text{const}$) в диаграммах p, v и T, S ?
90. Как определяются параметры пара и воды с помощью диаграммы h, s ?
91. Как определяются параметры влажного пара с помощью таблиц?
92. В чем заключается удобство диаграммы h, s ?
93. Каков характер изотерм, изохор, изобар в координатах T, s, h, s_l Ю. Как исследовать процесс дросселирования с помощью диаграммы h, s_l !
94. Как изменяется величина располагаемой работы адиабатного процесса, если перед его осуществлением происходит дросселирование? Почему?
95. Почему с помощью обычно применяемых в технике манометров измеряется избыточное давление, а не абсолютное?

96. Как определяется абсолютное давление на основе измеренного избыточного давления?
97. Какое давление (абсолютное или избыточное) приводится в диаграммах и таблицах термодинамических свойств воды и водяного пара?
98. Как по диаграмме h, s определить температуру насыщения по заданному давлению?
99. Как связан знак относительной ошибки с условиями эксперимента (нагрев или охлаждение)?
100. Может ли вода кипеть при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$? При $400\text{ }^{\circ}\text{C}$?
101. Может ли происходить парообразование при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? При $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
102. Что такое критическое состояние вещества? Каковы основные параметры воды в критическом состоянии?
103. Как записывается уравнение политропного процесса?
104. Чему равны значения показателя политропы соответственно для адиабатного, изотермического, изобарного и изохорного процесса?
105. Как изображается адиабатный процесс расширения в диаграмме T, s ?
106. Чему равна площадь под кривой процесса в диаграммах p, v и T, s ?
107. Как изображается адиабатный процесс сжатия в диаграмме p, v (сравнить с изотермическим)?
108. Как записывается математическое выражение первого закона термодинамики для неподвижной массы газа?
109. Чему равна работа газа при адиабатном расширении?
110. Как подсчитывается работа политропного расширения (сжатия)?
111. Как учитываются различные виды потерь при совершении газом работы?
112. Какое давление следует использовать при расчете термодинамических процессов: абсолютное или избыточное? Почему?
113. В каких единицах должна быть измерена температура при расчетах с помощью уравнений состояния? Почему?
114. Почему в данной работе оказывается возможным пренебречь изменением массы газа? Велика ли (сколько процентов) при этом погрешность?
115. Что такое теплоемкость газа и от каких факторов она зависит?
116. Что такое средняя теплоемкость, как она обозначается?
117. Что больше: изобарная теплоемкость или изохорная? Почему?
118. Какие единицы измерения имеют массовая, объемная и киломолярная теплоемкости?
119. Как найти объемную теплоемкость, если известна соответствующая массовая теплоемкость?
120. Как зависит теплоемкость газа от температуры?
121. Может ли воздух иметь другую теплоемкость? Если да, то при каких условиях?

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторным занятиям по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» (для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.03 – Энергетическое машиностроение специальности «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост.: Ю.А.Куликов, А.А.Данилейченко. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 93 с.

Задачи (высокий уровень):

Контрольная задача 1

Газообразные продукты сгорания топлива охлаждаются в изобарном процессе от температуры t_1 до температуры t_2 . Состав газов задан в объемных долях: r_{N_2} , r_{CO_2} и r_{H_2O} .

Найти количество теплоты, отдаваемое 1 м^3 продуктов сгорания. Объем определен при нормальных условиях. Исходные данные принять по табл. 1.1 в зависимости от шифра (номера варианта). Расчет выполнить с использованием средних теплоемкостей.

Таблица 1.1. Исходные данные

Последняя цифра шифра	Объемный состав, %			Предпоследняя цифра шифра	Температуры	
	r_{CO_2}	r_{N_2}	r_{H_2O}		$t_1, ^{\circ}\text{C}$	$t_2, ^{\circ}\text{C}$
1	17	72	11	1	800	200
2	25	67	8	2	700	300
3	19	75	6	3	1 500	400

4	15	64	21	4	1 400	500
5	16	70	14	5	1 300	600
6	14	57	29	6	1 200	200
7	14	73	13	7	1 100	300
8	10	70	20	8	1 000	400
9	14	79	7	9	900	500
0	11	73	16	0	800	600

Контрольная задача 2

В одноступенчатом поршневом компрессоре с объемной подачей Q_V сжимается смесь газов от давления $P_1 = 100$ кПа до давления P_2 . Начальная температура газовой смеси t_1 , ее состав задан массовыми долями g_{H_2} , g_{CO} , g_{CO_2} , g_{N_2} . Подача компрессора приведена к нормальным условиям ($P_o = 101,3$ кПа и $t_o = 0$ °С).

Определить удельный объем и удельную энтропию газовой смеси перед сжатием.

Рассчитать для изотермического, адиабатного и политропного (с показателем политропы n) процессов сжатия:

- температуру, удельный объем и удельную энтропию смеси газов в конце процесса сжатия;
- теоретическую мощность привода;
- расход охлаждающей воды G , кг/ч, при повышении температуры воды в рубашке компрессора на 10 °С.

Расчет выполнить без учета влияния вредного пространства, принимая теплоемкость смеси газов постоянной в каждом из процессов.

Построить в масштабе рабочий процесс компрессора в диаграммах $P\vartheta$ и TS . Исходные данные приведены в табл. 1.2. в зависимости от шифра (номера варианта).

Таблица 1.2. Исходные данные

Последняя цифра шифра	Состав смеси, массовые доли газов, %				Предпоследняя цифра шифра	P_2 , кПа	n	t_1 , °С	Q_V , м ³ /ч
	g_{H_2}	g_{CO}	g_{CO_2}	g_{N_2}					
1	30	5	10	60	1	500	1,1	5	30
2	15	10	15	60	2	550	1,12	10	50
3	20	15	15	50	3	600	1,14	15	80
4	35	20	10	35	4	650	1,16	20	100
5	10	40	5	45	5	700	1,18	30	120
6	15	30	15	40	6	750	1,2	5	150
7	25	15	20	40	7	800	1,23	10	200
8	20	25	5	50	8	850	1,26	20	250
9	20	10	15	55	9	900	1,29	25	300
0	30	15	10	45	0	1000	1,32	30	400

Контрольная задача 3

Рассчитать цикл поршневого ДВС по заданным начальным параметрам состояния рабочего тела (P_1 , t_1) и параметрам цикла ($\varepsilon_{ц}$, $\lambda_{ц}$, $\rho_{ц}$). В качестве рабочего тела принять воздух.

При расчете определить основные параметры состояния (P , ϑ , T и S) в характерных точках цикла, подведенную и отведенную удельную теплоту, термический КПД и удельную работу цикла.

Построить цикл в масштабе в диаграммах $P\vartheta$ и TS .

Исходные данные принять в соответствии с табл. 1.3.

Таблица 1.3. Исходные данные

Параметры цикла	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varepsilon_{ц}$	7	18	13	8	20	15	9	23	12	6

$\lambda_{ц}$	1,8	1,0	1,2	1,7	1,0	1,3	2,0	1,0	1,4	1,9
ρ	1,0	2,0	1,5	1,0	2,3	1,7	1,0	1,9	1,5	1,0
	Предпоследняя цифра шифра									
P_1 , кПа	95	120	100	150	180	110	98	102	96	95
t_1 , °C	40	30	25	27	17	20	35	27	7	0

Контрольная задача 4

Для цикла ГТУ с изобарным подводом теплоты определить параметры (P , ϑ , T и S) рабочего тела (воздуха) в характерных точках цикла, подведенную и отведенную удельную теплоту, удельную работу цикла и термический КПД, теоретическую мощность ГТУ.

Начальное давление $P_1 = 0,1$ МПа, начальная температура $t_1 = 27$ °C. Степень повышения давления в компрессоре $\beta_{ц}$, температура рабочего тела перед турбиной t_3 и расход рабочего тела m_t выбрать по табл. 1.4 в зависимости от шифра (номера варианта). Изобразить цикл в масштабе в диаграммах $P\vartheta$ и TS .

Таблица 1.4. Исходные данные

Параметры	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\beta_{ц}$	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	10	11	12
	Предпоследняя цифра шифра									
t_3 , °C	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825
m_t , кг/с	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100

Контрольная задача 5

Рассчитать идеальный цикл паросиловой установки – цикл Ренкина по заданным начальным параметрам перегретого водяного пара (P_1 , t_1) и давлению пара в конденсаторе (P_2).

Определить параметры состояния воды и водяного пара (P , t , ϑ , h , S , x) в характерных точках цикла (рис. 6.1), удельную работу цикла, термический КПД и удельный расход пара. При этом не учитывать удельную работу, затрачиваемую в насосе.

Изобразить цикл в $P\vartheta$ и TS – диаграммах. Показать стрелками процессы подвода и отвода теплоты, а штриховкой – удельную работу цикла.

Исходные данные принять по табл. 1.5.

Состояние пара в точке 5' характеризуется давлением P_1 и степенью сухости x_5 .

Таблица 1.5. Исходные данные

Параметры цикла	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1 , МПа	4,5	2,0	3,0	3,5	1,5	2,5	4,0	5,0	3,5	2,0
t_1 , °C	490	480	450	470	440	420	430	500	410	450
	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_2 , кПа	4,0	3,0	4,5	4,5	5,0	30	20	7,5	40	10
x_5 , %	87	95	96	92	98	95	88	97	95	90

Контрольная задача 6

В качестве рабочего вещества в холодильной машине холодопроизводительностью Φ , кВт, используется хладон R12, который при температуре t_1 поступает в компрессор и сжимается в адиабатном процессе до состояния сухого насыщенного пара при температуре t_2 .

Конденсация хладона происходит полностью без переохлаждения конденсата перед терморегулирующим вентилем.

Найти холодильный коэффициент, массовый расход хладона и теоретическую мощность привода компрессора.

Изобразить цикл холодильной машины в масштабе в диаграмме TS и ее схему.

Исходные данные принять по табл. 1.6

Таблица 1.6. Исходные данные

Последняя цифра шифра	t_1 , °C	Предпоследняя цифра шифра	Φ , кВт	t_c , °C
1	0	1	10	15
2	- 5	2	20	20
3	- 10	3	30	25
4	- 15	4	40	30
5	- 18	5	50	35
6	- 20	6	60	15
7	- 25	7	80	20
8	- 30	8	100	25
9	- 35	9	120	30
0	- 40	0	150	35

Контрольная задача 7

Рассчитать цикл (определить параметры в узловых точках, холодильный коэффициент, холодопроизводительность и теоретическую мощность привода компрессора) аммиачной холодильной машины. Температуру кипения t_1 , температуру конденсации t_2 и массовый расход аммиака m , принять по табл. 1.7.

Состояние пара на входе в компрессор – сухой насыщенный, переохлаждение конденсата отсутствует, сжатие пара является адиабатным.

Изобразить цикл в масштабе в диаграмме TS .

Таблица 1.7. Исходные данные

Последняя цифра шифра	t_1 , °C	Предпоследняя цифра шифра	m , кг/ч	t_2 , °C
1	- 22	1	30	35
2	- 35	2	50	30
3	- 30	3	80	25
4	- 25	4	100	20
5	- 20	5	150	15
6	- 18	6	200	35
7	- 15	7	250	30
8	- 10	8	300	25
9	- 12	9	400	20
0	- 28	0	500	15

Контрольная задача 8

По горизонтальному трубопроводу внутренним диаметром d_1 и толщиной стенки δ_1 движется горячая вода со скоростью \mathcal{Q} и средней температурой t_1 . Для снижения теплотерь предусмотрена тепловая изоляция теплопроводностью λ_2 и толщиной δ_2 . Трубопровод охлаждается в условиях свободной конвекции атмосферного воздуха температурой t_2 и лучистого теплообмена на наружной поверхности тепловой изоляции. Коэффициент теплового излучения поверхности изоляции $\varepsilon = 0,95$. Теплопроводность стали $\lambda_1 = 45$ Вт/(м·К).

Определить температуры поверхностей трубопровода и изоляции, линейный коэффициент теплопередачи и линейную плотность теплового потока.

Определить критический диаметр изоляции и сделать вывод о ее эффективности.

Построить в масштабе температурный график, исходные данные принять по табл. 1.8.

Таблица 1.8. Исходные данные к задаче 8

Последняя цифра шифра	t_1 , °С	ρ , м/с	δ_2 , мм	Предпоследняя цифра шифра	t_2 , °С	d_1 , мм	δ_1 , мм	λ_2 , Вт/(м·К)
1	90	0,5	40	1	-20	21	2	0,05
2	110	1,0	50	2	-10	28	2	0,075
3	130	1,5	60	3	0	34	2	0,1
4	150	2,0	70	4	10	41	2	0,15
5	170	2,5	80	5	20	51	3	0,2
6	90	0,5	40	6	-20	70	3	0,25
7	110	1,0	50	7	-10	83	3	0,3
8	130	1,5	60	8	0	101	4	0,35
9	150	2,0	70	9	10	126	4,5	0,4
0	170	2,5	80	0	20	150	4,5	0,5

Контрольная задача 9

Выбрать типоразмер секционного водоводяного подогревателя, устанавливаемого в системе теплоснабжения сельскохозяйственного объекта, и определить число секций, принятых к установке.

Построить температурные графики сетевой и нагреваемой воды.

Тепловую мощность подогревателя Φ , температуры сетевой воды на входе в подогреватель t_1' и на выходе t_1'' , а также температуры нагреваемой воды на входе в подогреватель t_2' и на выходе t_2'' принять по табл. 1.9. в зависимости от номера варианта.

Таблица 1.9. Исходные данные

Последняя цифра шифра	Φ , кВт	Предпоследняя цифра шифра	Температура, °С			
			t_1'	t_1''	t_2'	t_2''
1	160	1	70	20	60	10
2	200	2	70	25	60	5
3	300	3	70	30	55	5
4	400	4	70	35	60	10
5	500	5	70	20	55	5
6	600	6	70	25	60	10
7	700	7	70	30	60	5
8	800	8	70	35	55	5
9	900	9	70	30	60	10
0	1 000	0	70	35	60	5

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству лабораторная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Лабораторная работа выполнена на высоком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Лабораторная работа выполнена на среднем уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Лабораторная работа выполнена на низком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 50-74 % вопросов/задач)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
2	Лабораторная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны менее чем на 50 %)

Комплект заданий к контрольной работе:

Вариант 1

1. Предмет термодинамики. Термодинамический метод. Термодинамические параметры состояния (*пороговый уровень*).
2. В сосуде емкостью 1000 литров содержится при давлении $p = 1,2$ атм, температуре $t = 20^\circ\text{C}$ газовая смесь, состоящая по объему из 20% азота и 80% окиси углерода. Определить вес составляющей газовой смеси (*базовый уровень*).

Вариант 2

1. Рабочее тело и его параметры. Уравнение состояния.
2. Определить удельный расход пара в паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина, если параметры пара перед турбиной $p = 30$ бар, $t = 460$ C, а давление в конденсаторе $p = 0,04$ бар.

Вариант 3

1. Работа газа. Вычисление работы. Графическое представление.
2. Манометр, установленный на барабане парового котла, показывает 8 кг/см. Чему равно абсолютное давление в котле, если барометрическое давление $B = 700$ мм.рт.ст.

Вариант 4

1. Основные законы идеальных газов
2. На изобарное сжатие 1 кг кислорода (O) затрачена работа 100 кДж. Определить давление кислорода, если в начале сжатия его объем равен 0,4 м³/кг, а температура в конце сжатия равна 30° C.

Вариант 5

1. Сравнение термодинамических циклов поршневых ДВС при $\epsilon = \text{idem}$.
2. В 1 кг воздуха в изохорном процессе подводится 500 кДж тепла. Давление газа при этом возрастает от 30 бар до 70 бар. Определить конечную температуру воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 6

1. Работа и теплота в термодинамическом процессе.
2. Определить абсолютное давление в сосуде, если показание присоединенного к нему ртутного манометра равно 1 бар, а атмосферное давление по барометру составляет 750 мм.рт.ст. Температура в месте установки приборов равно 0 C.

Вариант 7

1. Уравнения состояния для реальных газов.
2. В 1 кг воздуха в изохорном процессе подводится 500 кДж тепла. Давление газа при этом возрастает от 30 бар до 70 бар. Определить конечную температуру воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 8

1. Анализ изохорного и изобарного процессов.
2. Вследствие адиабатного сжатия воздуха его температура повышается с 30 C до 310 C. при этом затрачена работа 0,2 кДж. Определить массу сжигаемого воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 9

1. Цикл поршневых ДВС со смешанным подводом теплоты.
2. Массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении $C = 1000$ Дж/(кг град). Найти модульную теплоемкость воздуха в процессе при постоянном объеме ($M = 29$ кг/кмоль).

Вариант 10

1. Какие рабочие диапазоны температур различных термопар?
2. Определить полезную работу цикла Карно, если при адиабатном сжатии абсолютная температура рабочего тела повысилась в 2,5 раза, а в цикле подводится 350 кДж тепла.

Вариант 11

1. Энтропия.
2. Определить средний температурный напор в противоточном воздушно-гелиевом теплообменнике энергетического атомного реактора. Гелий охлаждается от 730 до 440 С и нагревается воздух от 390 до 670 С.

Вариант 12

1. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл.
2. Определить работу цикла Карно, если при адиабатном сжатии абсолютная температура рабочего тела повысилась в 2 раза, в цикле проводится 180 кДж тепла.

Вариант 13

1. Цикл Карно. Его значение. Термический к.п.д. цикла Карно
2. Определить подведенное тепло q в цикле газотурбинной установки со сгоранием при $p = \text{const}$, если степень повышения в компрессоре 10, а показатель адиабата 1,4. Тепло, отданное холодному источнику, 25 кДж/кг.

Вариант 14

1. h - d диаграмма влажного воздуха.
2. Манометр, установленный на сосуде с кислородом, показывает давление 820 мм.рт.ст., а барометрическое давление равно 740 мм.рт.ст. Определить плотность кислорода при температуре 20 С.

Вариант 15

1. Температурное поле и температурный градиент. Закон Фурье.
2. Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным паропроводом диаметром 15 мм и высотой 2 м, если температура наружной стенки – 160 С, а температура окружающего воздуха 30 С.

Вариант 16

1. Второй закон термодинамики и его формулировки.
2. Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным паропроводом диаметром $d=15$ мм и высотой $h=2$ м, если температура наружной стенки $t_n=160$ С, а температура окружающего воздуха $t = 30$ С

Вариант 17

1. Реальные рабочие тела. Фазовые переходы. Диаграмма p - t .
2. При расширении азота совершается работа 150 кДж. Определить конечное давление газа, если его начальное давление равно 650 кПа, а температура газа в процессе расширения не изменяется $h= 0,5$ м .

Вариант 18

1. Графический метод расчета паровых процессов h - S (I - S) диаграмма.
2. Температура воздуха 10 С. Определить относительную влажность воздуха при нагреве его до температуры 40 С, если влагосодержание воздуха при 10 С, равно 2

Вариант 19

1. Общий вид критериального уравнения теплоотдачи. Определяющие и определяемые критерии.
2. Вследствие адиабатного сжатия воздуха его температура повышается с 30 С до 310 С. при этом затрачена работа 0,2 кДж. Определить массу сжигаемого воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 20

1. Цикл Карно. Его значение
2. Вследствие адиабатного сжатия воздуха его температура повышается с 30 С до 310 С. при этом затрачена работа 0,2 кДж. Определить массу сжигаемого воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 21

1. Обработка результатов экспериментальных исследований с использованием теории подобия.
2. В 1 кг воздуха в изохорном процессе подводится 500кДж тепла. Давление газа при этом возрастает от 30 бар до 70 бар. Определить конечную температуру воздуха, считая теплоемкость постоянной.

Вариант 22

1. Лучистый теплообмен. Закон Стефана-Больцмана.
2. Манометр, установленный на сосуде с кислородом, показывает давление 820 мм.рт.ст., а барометрическое давление равно 740 мм.рт.ст. Определить плотность кислорода при температуре 20 С.

Вариант 23

1. Цикл компрессорной холодильной машины.
2. При расширении азота совершается работа 150 кДж. Определить конечное давление газа, если его начальное давление равно 650 кПа, а температура газа в процессе расширения не изменяется $h = 0,5$ м.

Вариант 24

1. Основы работы теплообменных аппаратов.
2. Определить подведенное тепло q в цикле газотурбинной установки со сгоранием при $p = \text{const}$, если степень повышения в компрессоре 10, а показатель адиабата $K=1,4$. Тепло, отданное холодному источнику, $q = 25$ кДж/кг.

**Пример контрольного тестирования по дисциплине
«Термодинамика и теплопередача» (пороговый уровень)**

1. Закон Бойля – Мариотта утверждает что:

- 1) при $p = \text{const}$, $v_i / T_i = \text{const}$;
- 2) при $T = \text{const}$, $v_i \cdot p_i = \text{const}$;
- 3) при $V = \text{const}$, $p_i / T_i = \text{const}$;
- 4) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$.

2. Закон Гей – Люсака утверждает что:

- 1) при $p = \text{const}$, $\frac{v_i}{T_i} = \text{const}$;
- 2) при $T = \text{const}$, $p_i \cdot v_i = \text{const}$;
- 3) при $V = \text{const}$, $\frac{p_i}{T_i} = \text{const}$;
- 4) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$.

3. Закон Шарля утверждает что:

- 1) при $T = \text{const}$, $p_i \cdot v_i = \text{const}$;
- 2) при $V = \text{const}$, $\frac{p_i}{T_i} = \text{const}$;
- 3) при $p = \text{const}$, $\frac{v_i}{T_i} = \text{const}$;
- 4) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$.

4. Уравнение Клапейрона I вида имеет вид:

- 1) $p \cdot V_\mu = \mu \cdot R \cdot T$;
- 2) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$;

3) $p \cdot V = n \cdot \mu \cdot R \cdot T$; 4) $p \cdot v = R \cdot T$.

5. Уравнение Менделеева представлено выражением:

1) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$; 2) $p \cdot V_{\mu} \cdot n = n \cdot \mu \cdot R \cdot T$;

3) $p \cdot V_{\mu} = \mu \cdot R \cdot T$; 4) $p \cdot V = n \cdot \mu \cdot R \cdot T$.

6. Уравнение Менделеева – Клапейрона представлено выражением:

1) $p \cdot v = R \cdot T$; 2) $p \cdot V_{\mu} = \mu \cdot R \cdot T$;

3) $p \cdot V_{\mu} = \mu \cdot R \cdot T$; 4) $p \cdot V = n \cdot \mu \cdot R \cdot T$.

7. Уравнение состояние идеального газа записывается в виде:

1) $p \cdot m = V \cdot R \cdot T$; 2) $m \cdot R = p \cdot V \cdot T$;

3) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$; 4) $T \cdot R = m \cdot p \cdot V$.

8. Величина μR называется:

- 1) удельная газовая постоянная;
- 2) термический коэффициент полезного действия;
- 3) универсальная газовая постоянная;
- 4) холодильный коэффициент.

9. Термодинамическая система, не обменивающаяся теплотой с окружающей средой, называется:

- 1) открытой;
- 2) закрытой;
- 3) изолированной;
- 4) адиабатной.

10. Термодинамическая система, не обменивающаяся с окружающей средой веществом, называется:

- 1) закрытой;
- 2) замкнутой;
- 3) теплоизолированной;
- 4) изолированной.

11. Термодинамическая система, не обменивающаяся с окружающей средой ни энергией, ни веществом, называется:

- 1) адиабатной;
- 2) закрытой;
- 3) замкнутой;
- 4) теплоизолированной.

12. Термодинамический процесс, протекающий как в прямом, так и в обратном направлении называется:

- 1) равновесным;
- 2) обратимым;
- 3) неравновесным;
- 4) необратимым.

13. Термодинамический процесс, в котором рабочее тело, пройдя ряд состояний, возвращается в начальное состояние, называется:

- 1) необратимым;
- 2) равновесным;

- 3) обратимым;
- 4) неравновесным.

14. Закон Авогадро утверждает, что все идеальные газы при одинаковых p и T в равных объёмах содержат одинаковое число:

- 1) атомов;
- 2) молекул;
- 3) степеней свободы;
- 4) молей.

15. Удельная массовая теплоёмкость определяется по формуле:

- 1) $\mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}$;
- 2) $C = \frac{\partial Q}{dt}$;
- 3) $c = \frac{\partial Q}{m \cdot dt}$;
- 4) $c' = \frac{\partial Q}{V \cdot dt}$.

16. Удельная объёмная теплоёмкость определяется по формуле:

- 1) $c = \frac{\partial Q}{m \cdot dt}$;
- 2) $c' = \frac{\partial Q}{V \cdot dt}$;
- 3) $\mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}$;
- 4) $C = \frac{\partial Q}{dt}$.

17. Удельная молярная теплоёмкость определяется по формуле:

- 1) $\mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}$;
- 2) $c' = \frac{\partial Q}{V \cdot (t_2 - t_1)}$;
- 3) $c = \frac{\partial Q}{m \cdot dt}$;
- 4) $C = \frac{\partial Q}{dt}$.

18. Средняя удельная массовая теплоёмкость определяется по формуле:

- 1) $\bar{c}' = \frac{\partial Q}{V \cdot (t_2 - t_1)}$;
- 2) $\bar{\mu c} = \frac{\partial Q}{n \cdot (t_2 - t_1)}$;
- 3) $\bar{c} = \frac{\partial Q}{m \cdot (t_2 - t_1)}$;
- 4) $C = \frac{\partial Q}{dt}$.

19. Истинная удельная молярная теплоёмкость определяется по формуле:

- 1) $\bar{c} = \frac{\partial Q}{m \cdot (t_2 - t_1)_0}$;
- 2) $\bar{c}' = \frac{\partial Q}{V \cdot (t_2 - t_1)_0}$;
- 3) $\bar{\mu c} = \frac{\partial Q}{n \cdot (t_2 - t_1)_0}$;
- 4) $\bar{C} = \frac{\partial Q}{dt}$.

20. Теплоёмкость, определенная при постоянном давлении называется:

- 1) изохорной;
- 2) изобарной;
- 3) истинной;
- 4) средней.

21. Закон Майера утверждает что:

- 1) $\mu c_v = 4.115 \cdot z$;
- 2) $\mu c_p = \mu c_v + \mu R$;

$$3) c_p + c_v = R; \quad 4) k = \frac{\mu C_p}{\mu C_v} = \frac{C_p}{C_v}.$$

22. Уравнение для расчета удельной молярной изохорной теплоёмкости имеет вид:

$$1) \mu c_p = k \cdot \mu c_v; \quad 2) \mu c_p = \mu c_v + \mu R;$$

$$3) \mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}; \quad 4) \mu c_v = 4.115 \cdot z.$$

23. Выражение для определения удельной массовой теплоёмкости смеси имеет вид:

$$1) \tilde{n}'_{CM} = \sum_1^n r_i \cdot c'_i; \quad 2) c_{CM} = \sum_1^n g_i \cdot c_i;$$

$$3) \mu c_{CM} = \sum_1^n \chi_i \cdot \mu c_i; \quad 4) c = \frac{\partial Q}{m \cdot dt}.$$

24. Выражение для определения удельной объёмной теплоёмкости смеси имеет вид:

$$1) c'_{CM} = \sum_1^n r_i \cdot c'_i; \quad 2) \mu c_{CM} = \sum_1^n \chi_i \cdot \mu c_i;$$

$$3) c = \frac{\partial Q}{V \cdot dt}; \quad 4) c_{CM} = \sum_1^n g_i \cdot c_i.$$

25. Выражение для определения удельной молярной теплоёмкости смеси имеет вид:

$$1) \mu c = \frac{\partial Q}{n \cdot dt}; \quad 2) c_{CM} = \sum_1^n g_i \cdot c_i;$$

$$3) \mu c_{CM} = \sum_1^n \chi_i \cdot \mu c_i; \quad 4) c'_{CM} = \sum_1^n r_i \cdot c'_i.$$

26. Математическое выражение первого закона термодинамики для изолированных систем имеет вид:

$$1) \frac{\delta Q}{T} = dS; \quad 2) dh = \delta q + v \cdot dp;$$

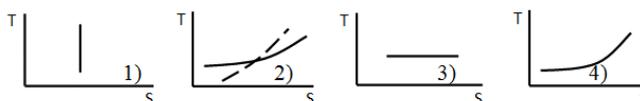
$$3) dh = c_p \cdot dT; \quad 4) \delta Q = dU + \delta \ell.$$

27. Уравнение первого закона термодинамики через энтальпию рассчитывается по формуле:

$$1) \frac{\delta Q}{T} = dS; \quad 2) dh = \delta u + v \cdot dp;$$

$$3) dh = c_p \cdot dT; \quad 4) \delta Q = dU + \delta \ell.$$

28. Изображение изохорного процесса на диаграмме в координатах T – S имеет вид:



29. Связь между параметрами для изохорного процесса имеет вид:

$$1) \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad 2) \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

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

29. Связь между параметрами для изохорного процесса имеет вид:

$$1) \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad 2) \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

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

30. Уравнение для расчёта работы расширения газа в изохорном процессе имеет вид:

$$1) L = 0; \quad 2) L = m \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2);$$

$$3) L = m \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad 4) L = m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_2).$$

31. Изменение энтальпии газа в изохорном процессе представлено:

$$1) \Delta h = 0;$$

$$2) \Delta h = c_{\Pi} \cdot (T_2 - T_1);$$

$$3) \Delta h = c_p \cdot (T_1 - T_2);$$

$$4) \Delta h = c_p \cdot (T_2 - T_1).$$

32. Уравнение для изменения энтропии в изохорном процессе имеет вид:

$$1) \Delta S = m \cdot c_v \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad 2) \Delta S = 0;$$

$$3) \Delta S = m \cdot c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}; \quad 4) \Delta S = m \cdot c_p \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

33. Уравнение для расчета теплоты в изохорном процессе имеет вид:

$$1) Q = m \cdot c_v \cdot \Delta t; \quad 2) Q = m \cdot (c_v + R) \cdot \Delta t;$$

$$3) Q = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad 4) Q = m \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

34. Уравнение для расчета подведенной теплоты в изобарном процессе имеет вид:

$$1) Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1); \quad 2) Q = m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_2);$$

$$3) Q = m \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad 4) Q = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}.$$

35. Связь между параметрами изобарного процесса представлено выражением:

$$1) \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad 2) \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \frac{T_2}{T_1};$$

$$3) p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2; \quad 4) \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50 %)

Индивидуальное задание для заочников (высокий уровень):

Требуется:

1. Определить параметры состояния рабочего тела в характерных точках цикла и заполнить таблицу

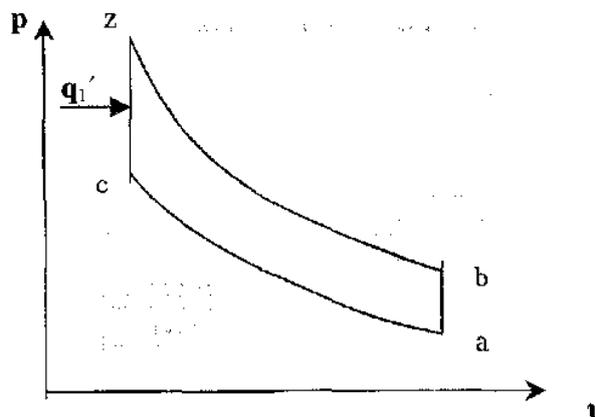
	Точка	p , кПа	v , м ³ /кг	T , К	t , °С
a					
c					
z					
b					

2. Для каждого процесса, входящего в цикл, вычислить изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, а также работу процесса и количество теплоты, участвующей в процессе.

3. Результаты вычислений термодинамических параметров процессов занести в таблицу, определить работу цикла, теплоту цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, а также термический КПД цикла.

Процесс	Δu , кДж/кг	Δh , кДж/кг	Δs , кДж/кг·К	l , кДж/кг	q , кДж/кг
a-c					
c-z					
z-b					
b-a					
Цикл					

4. Построить заданный цикл в координатах T-s.



Вариант	Газ	t_a , °C	p_a , кПа	ε	λ	a-c	z-b	n
A-1	H ₂	80	200	6,0	6,2	T=const	T=const	-
A-2	He	99	250	6,5	5,9	T=const	T=const	-
A-3	CH ₄	80	200	7,0	7,1	T=const	dq=0	-
A-4	SO ₂	99	250	7,5	6,7	T=const	dq=0	-
A-5	CO ₂	80	200	8,0	7,9	T=const	n=const	1,26
A-6	воздух	99	260	8,5	7,5	T=const	n=const	1,26
A-7	N ₂	50	140	7,0	3,6	dq=0	T=const	-
A-8	O ₂	15	101	8,0	3,7	dq=0	T=const	-
A-9	воздух	70	170	6,5	3,5	dq=0	T=const	-
A-10	H ₂	25	101	9,5	3,4	dq=0	T=const	-
A-11	CO	30	101	10,	3,3	dq=0	T=const	-
A-12	воздух	38	150	7,5	3,8	dq=0	dq=0	-

Вариант	Газ	t_a , °C	P_a , кПа	ε	q_1' , кДж/кг	a-c	z-b	n
A-37	He	99	250	5,5	5700	T=const	T=const	-
A-38	SO ₂	99	250	7,5	960	T=const	dq=0	-
A-39	воздух	80	290	8,5	1700	T=const	n=const	1,26
A-40	O ₂	15	101	9,0	1200	dq=0	T=const	-
A-41	воздух	70	170	6,5	1200	dq=0	T=const	-
A-42	H ₂	85	101	9,5	9900	dq=0	T=const	-
A-43	CO	30	101	10	1300	dq=0	dq=0	-
A-44	воздух	58	150	7,5	1500	dq=0	dq=0	-
A-45	H ₂	66	160	6,5	1500	dq=0	dq=0	-
A-46	CO ₂	20	101	9,0	1400	dq=0	n=const	1,26
A-47	CH ₄	42	150	7,0	4100	dq=0	n=const	1,26
A-48	O ₂	15	101	9,5	1300	dq=0	n=const	1,26
A-49	CO	20	101	8,0	1400	n=const	T=const	1,35
A-50	CO ₂	25	101	7,5	1500	n=const	T=const	1,35
A-51	H ₂	42	130	7,0	9900	n=const	T=const	1,35
A-52	H ₂	66	160	6,5	3000	n=const	T=const	1,35
A-53	O ₂	13	101	9,0	1200	n=const	dq=0	1,35
A-54	воздух	25	101	7,5	1400	n=const	dq=0	1,35
A-55	CH ₄	50	140	7,0	3800	n=const	dq=0	1,35
A-56	CO	70	170	6,5	1300	n=const	dq=0	1,35
A-57	H ₂	15	101	9,5	9500	n=const	n=const	1,30
A-58	He	20	101	8,0	4800	n=const	n=const	1,30
A-59	O ₂	18	150	7,0	1200	n=const	n=const	1,30
A-60	SO ₂	80	170	6,5	1000	n=const	n=const	1,30

Вариант	Газ	t_a , °C	p_a , кПа	ε	λ	a-c	z-b	n
A-13	H ₂	40	101	8,5	3,2	dq=0	dq=0	-
A-14	N ₂	66	160	8,5	3,9	dq=0	dq=0	-
A-15	CO ₂	20	101	9,0	4,1	dq=0	n=const	1,26
A-16	CH ₄	42	130	7,0	4,3	dq=0	n=const	1,26
A-17	O ₂	15	101	9,5	4,0	dq=0	n=const	1,26
A-18	SO ₂	66	160	5,0	4,2	dq=0	n=const	1,26
A-19	CH ₄	15	101	8,5	4,1	n=const	T=const	1,35
A-20	CO	20	101	8,0	3,8	n=const	T=const	1,35
A-21	CO ₂	25	101	7,5	4,3	n=const	T=const	1,35
A-22	H ₂	42	130	7,0	3,7	n=const	T=const	1,35
A-23	He	66	160	6,5	3,2	n=const	T=const	1,35
A-24	N ₂	86	190	6,0	3,4	n=const	T=const	1,35
A-25	O ₂	15	101	9,0	3,7	n=const	dq=0	1,35
A-26	SO ₂	20	101	8,0	4,2	n=const	dq=0	1,35
A-27	воздух	25	101	7,5	3,9	n=const	dq=0	1,35
A-28	CH ₄	50	140	7,0	4,0	n=const	dq=0	1,35
A-29	CO	70	170	6,5	3,9	n=const	dq=0	1,35
A-30	CO ₂	67	200	6,0	4,0	n=const	dq=0	1,35
A-31	H ₂	15	101	9,5	3,6	n=const	n=const	1,30
A-32	H ₂	20	101	8,0	3,3	n=const	n=const	1,30
A-33	N ₂	25	101	7,5	3,8	n=const	n=const	1,30
A-34	O ₂	58	150	7,0	3,5	n=const	n=const	1,30
A-35	SO ₂	80	180	6,5	3,9	n=const	n=const	1,30
A-36	воздух	67	210	6,0	3,6	n=const	n=const	1,30

Выполняется по методическим указаниям к выполнению индивидуального задания по дисциплине "Теоретические основы теплотехники" [Электронный ресурс]: для студентов всех специальностей / Сост.: Н.Г. Банников, В.А. Волков, Ю.А.Куликов, А.Н.Кинщак, В.А. Рыбальченко - Луганск: Изд-во ВЛУ им. Даля, 2010.-25 с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству индивидуальное задание

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Задание представлено на высоком уровне (студент полностью представил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста полностью соответствует требованиям оформления технического текста
4	Задание представлено на среднем уровне (студент в целом изложил рассматриваемую проблематику, привел мало аргументов в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). Изложение и оформление текста в основном соответствует требованиям оформления технического текста
3	Задание представлено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста частично соответствует требованиям оформления технического текста
2	Задание представлено на неудовлетворительном уровне или не представлено (студент не готов, не выполнил задание и т.п.). Изложение и оформление текста

Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет):

БИЛЕТ № 1

Теоретическая часть.

1. Предмет термодинамики. Термодинамический метод. Термодинамические параметры состояния.
2. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

Практическая часть.

В сосуде емкостью 1000 литров содержится при давлении $p = 1,2$ атм, температуре $t = 20^\circ\text{C}$ газовая смесь, состоящая по объему из 20% азота и 80% окиси углерода. Определить вес составляющей газовой смеси.

БИЛЕТ № 2

Теоретическая часть:

1. Рабочее тело и его параметры. Уравнение состояния.
2. Компрессионная холодильная установка. Et цикл и холодильный коэффициент..

Практическая часть:

Определить удельный расход пара в паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина, если параметры пара перед турбиной $p = 30$ бар, $t = 460$ C, а давление в конденсаторе $p = 0,04$ бар.

БИЛЕТ № 3

Теоретическая часть.

1. Работа газа. Вычисление работы. Графическое представление.
2. Анализ условия подобия на примере дифференциального уравнения теплоотдачи.

Практическая часть.

Манометр, установленный на барабане парового котла, показывает 8 кг/ см. Чему равно абсолютное давление в котле, если барометрическое давление $B = 700$ мм.рт.ст.

БИЛЕТ № 4

Теоретическая часть:

1. Основные законы идеальных газов.
2. Моделирование на основе теории подобия.

Практическая часть:

На изобарное сжатие 1 кг кислорода (O) затрачена работа 100 кДж. Определить давление кислорода, если в начале сжатия его объем равен 0,4 м³/кг, а температура в конце сжатия равна 30° C.

БИЛЕТ № 5

Теоретическая часть.

1. Смеси идеальных газов. Уравнение состояния для газовой смеси.
2. Сравнение термодинамических циклов поршневых ДВС при $\epsilon = \text{idem}$

Практическая часть.

В 1 кг воздуха в изохорном процессе подводится 500 кДж тепла. Давление газа при этом возрастает от 30 бар до 70 бар. Определить конечную температуру воздуха, считая теплоемкость постоянной.

БИЛЕТ № 6

Теоретическая часть:

1. Первый закон термодинамики.
2. Цикл поршневых ДВС с подводом тепла $p = \text{const}$.

Практическая часть:

Определить абсолютное давление в сосуде, если показание присоединенного к нему ртутного манометра равно 1 бар, а атмосферное давление по барометру составляет 750 мм.рт.ст. Температура в месте установки приборов равно 0 C.

БИЛЕТ № 7

Теоретическая часть.

1. Смеси идеальных газов. Уравнение состояния для газовой смеси.
2. Сравнение термодинамических циклов поршневых ДВС при $\epsilon = idem$

Практическая часть.

В 1 кг воздуха в изохорном процессе подводится 500 кДж тепла. Давление газа при этом возрастает от 30 бар до 70 бар . Определить конечную температуру воздуха, считая теплоемкость постоянной.

БИЛЕТ № 8

Теоретическая часть:

1. Анализ изохорного и изобарного процессов.
2. Сопло и диффузор. Изменение параметров газа по длине сопла. Профиль сопла.

Практическая часть:

Вследствие адиабатного сжатия воздуха его температура повышается с 30 С до 310 С ; при этом затрачена работа $0,2 \text{ кДж}$. Определить массу сжигаемого воздуха, считая теплоемкость постоянной.

БИЛЕТ № 9

Теоретическая часть.

1. Энтропия.
2. Цикл поршневых ДВС со смешанным подводом теплоты.

Практическая часть.

Массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении $C = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг град})$. Найти модульную теплоемкость воздуха в процессе при постоянном объеме ($M=29 \text{ кг/кмоль}$).

БИЛЕТ № 10

Теоретическая часть:

1. Круговые процессы. Прямой цикл и его термический к.п.д.
2. Теплопередача. Элементарные виды теплообмена. Общий вид уравнения теплопередачи.

Практическая часть:

Определить полезную работу и цикла Карно, если при адиабатном сжатии абсолютная температура рабочего тела повысилась в $2,5$ раза, а в цикле подводится 350 кДж тепла.

БИЛЕТ № 11

Теоретическая часть.

1. Обратный круговой процесс. Холодильный коэффициент.
2. Температурное поле и температурный градиент. Закон Фурье.

Практическая часть.

Определить средний температурный напор в противоточном воздушно-гелиевом теплообменнике энергетического атомного реактора. Гелий охлаждается от 730 до 440 С и нагревается воздух от 390 до 670 С .

БИЛЕТ № 12

Теоретическая часть:

1. Цикл Карно. Его значение. Термический к.п.д. цикла Карно.
2. Теплопроводность плоской стенки. Коэффициент теплопроводности.

Практическая часть:

Каково значение коэффициента теплопроводности материала стенки, если при $d = 30 \text{ мм}$ и $t = 30 \text{ С}$. Количество теплоты, проходящее через стенку 100 Вт/м^2

БИЛЕТ № 13

Теоретическая часть.

1. Общие свойства обратимых и необратимых циклов. Энтропия. Принцип возрастания энтропии.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.

Практическая часть.

Определить работу цикла Карно, если при адиабатном сжатии абсолютная температура рабочего тела повысилась в 2 раза, в цикле проводится 180 кДж тепла.

БИЛЕТ № 14

Теоретическая часть:

1. Содержание II закона термодинамики и его формулировки.
2. Теплопроводность плоской стенки.

Практическая часть:

Определить подведенное тепло q в цикле газотурбинной установки со сгоранием при $p = \text{const}$, если степень повышения в компрессоре λ_0 , а показатель адиабаты $K=1,4$. Тепло, отданное холодному источнику, $q_c = 25 \text{ кДж/кг}$.

БИЛЕТ № 15

Теоретическая часть.

1. Особенности и схемы энергобаланса характерных групп политропных процессов.
2. Теплопередача при омывании плиты.

Практическая часть.

Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным паропроводом диаметром 15 мм и высотой 2 м, если температура наружной стенки 160 С, а температура окружающего воздуха 30 С.

БИЛЕТ № 16

Теоретическая часть:

1. Диаграммы состояния воды и водяного пара $p-v$, $T-S$, $h-S$.
2. Основы теории подобия. Критерий подобия. Критериальные зависимости.

Практическая часть:

Манометр, установленный на сосуде с кислородом, показывает давление 820 мм.рт.ст., а барометрическое давление равно 740 мм.рт.ст. Определить плотность кислорода при температуре 20 С.

БИЛЕТ № 17

Теоретическая часть.

1. Графический метод расчета паровых процессов.
2. Общий вид критериального уравнения теплоотдачи. Определяющие и определяемые критерии.

Теоретическая часть.

Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным паропроводом диаметром 15 мм и высотой 2 м, если температура наружной стенки 160 С, а температура окружающего воздуха 30 С.

БИЛЕТ № 18

Теоретическая часть:

1. Географический метод расчета паровых процессов.
2. Общий вид критериального уравнения теплоотдачи. Определяющие и определяемые критерии.

Практическая часть:

Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным паропроводом диаметром $d=15$ мм и высотой $h=2$ м, если температура наружной стенки $t_1=160$ С, а температура окружающего воздуха $t_2=30$ С

БИЛЕТ № 19

Теоретическая часть.

1. Работа идеального поршневого компрессора. Влияние вредного объема.
2. Лучистый теплообмен. Закон Стефана-Больцмана. Учет лучистого теплообмена в расчетах.

Практическая часть.

При расширении азота совершается работа 150 кДж. Определить конечное давление газа, если его начальное давление равно 650 кПа, а температура газа в процессе расширения не изменяется 0,5м.

БИЛЕТ № 20

Теоретическая часть:

1. Цикл компрессорной холодильной машины.

2. T- S диаграмма водяного пара.

Практическая часть:

Температура воздуха 10 С. Определить относительную влажность воздуха при нагреве его до температуры 40 С, если влагосодержание воздуха при 10 С, равно 2 г/кг.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
зачтено	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
не зачтено	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;

– применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;

– применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;

– применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;

– увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:

– продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;

– продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений с указанием страниц	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)
1.			
2.			
3.			
4.			