

**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.
04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«ОСНОВЫ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ КОМБИНИРОВАННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ»**

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Двигатели внутреннего сгорания»

Луганск 2023

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Основы газовой динамики комбинированных двигателей». – 37 с.

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Основы газовой динамики комбинированных двигателей» разработана с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденного 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» Брянцев М.А.,
старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ковтун А.С.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» 12.04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой  А.А.Данилейченко

Переутверждена: « » 202 г., протокол №

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики

«14» 04 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель преподавания дисциплины - обеспечить профессиональную подготовку специалистов, умеющих решать сложные вопросы математического моделирования, расчета и исследования газодинамических процессов в рабочих полостях комбинированных двигателей.

Предмет изучения дисциплины: процессы течения газовых сред в рабочих полостях комбинированных двигателей внутреннего сгорания, методика их математического моделирования и расчета, связь с особенностями конструкции и условиями эксплуатации.

Задачи изучения дисциплины: изучение основных теоретических положений газовой динамики, основных уравнений газовой динамики, а также получение комплекса знаний, позволяющих моделировать и рассчитывать течение газовых сред в рабочих полостях комбинированных двигателей внутреннего сгорания.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.

Дисциплина «Основы газовой динамики комбинированных двигателей» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, модуль профессиональных дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются:

знания разделов из цикла фундаментальных и профессионально-ориентированных дисциплин,

умения воспользоваться имеющейся информацией для дальнейшего проектирования и расчета рабочего процесса двигателя и его систем,

навыки работы на ЭВМ, полученные при изучении курсов Информатики и Инженерной графики.

Основывается на базе дисциплин: математика, физика, информатика, механика жидкости и газа, устройство и работа поршневых двигателей, теория рабочих процессов ДВС.

Является основой для изучения следующих дисциплин: волновые обменники давления, системы ДВС, энергетические машины и установки, специальные виды двигателей, испытания ДВС, двигатели летательных аппаратов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	ПК-3.2. Умеет проводить расчетно-экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты исследований.	знать особенности газовой динамики и методов расчета течений газа и основы газодинамического эксперимента комбинированных двигателей; уметь применять на практике численные методы решения уравнений газовой динамики для различных моделей течения газов; владеть навыками составления программ расчета газодинамических процессов в рабочих полостях комбинированных двигателей.
--	---	--

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)	144 (4зач. ед)	144 (4зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	51	12
Лекции	34	8

Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.)		
Самостоятельная работа студента (всего)	93	132
Форма аттестации	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Введение. Цель и задачи курса. Краткий обзор истории развития лопаточных машин и турбонаддува ДВС.

Введение. Цель и задачи курса. Краткий обзор истории развития лопаточных машин и турбонаддува ДВС. Роль отечественных ученых и инженеров в развитии турбостроения.

Тема 2. Схемы конструкций турбин, компрессоров.

Конструктивные особенности лопаточных машин. Схемы систем турбонаддува ДВС.

Тема 3. Основные понятия кинематики жидкости и уравнения газовой динамики.

Свойства рабочего тела. Параметры состояния. Скорость звука. Предельная скорость газа. Число Маха.

Тема 4. Уравнение линии тока.

Угловая деформация частиц жидкости. Вихревое и циркуляционное движение. Теорема Стокса. Теорема Томпсона. Постулат Жуковского-Чаплыгина.

Тема 5. Теорема Жуковского о подъемной силе.

Тема 6. Основные уравнения течения газа в лопаточных машинах.

Уравнение неразрывности для элементарной струйки и ступени лопаточной машины.

Тема 7. Уравнение сохранения энергии в лопаточных машинах.

Тема 8. Уравнение количества движения в лопаточных машинах.

Тема 9. Уравнение I закона термодинамики для лопаточных машин.

Обобщенное уравнение Бернулли.

Тема 10. Коэффициенты полезного действия.

Коэффициенты полезного действия процессов сжатия и расширения. Мощностной КПД процессов сжатия и расширения. Эффективный КПД процессов сжатия и расширения. Связь мощностного и эффективного КПД.

Тема 11. Адиабатический КПД.

Адиабатический КПД процессов сжатия и расширения. Адиабатический КПД по параметрам заторможенного потока.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Тема 1. Введение. Цель и задачи курса. Краткий обзор истории развития лопаточных машин.		2
2	Тема 2. Схемы конструкций турбин, компрессоров.	2	
3	Тема 3. Основные понятия кинематики жидкости и уравнения газовой динамики.	4	2
4	Тема 4. Уравнение линии тока.	4	
5	Тема 5. Теорема Жуковского о подъемной силе.	4	2
6	Тема 6. Основные уравнения течения газа в лопаточных машинах.	4	
7	Тема 7. Уравнение сохранения энергии в лопаточных	4	

	машинах.		
8	Тема 8. Уравнение количества движения в лопаточных машинах.	4	
9	Тема 9. Уравнение I закона термодинамики для лопаточных машин.	2	2
10	Тема 10. Коэффициенты полезного действия	2	
11	Тема 11. Адиабатический КПД	2	
	Итого:	34	8

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Ознакомление с численными методами решения уравнений газовой динамики	1	1
2	Начальные и граничные условия и их выбор	2	
3	Газодинамический расчет течений в каналах органов газораспределения ДВС	2	1
4	Применение газодинамических функций для расчета рабочего процесса эжектора	2	
5	Расчет проточной части компрессора	2	
6	Расчет проточной части турбины	2	1
7	Применение метода распад произвольного разрыва для расчета рабочего процесса волнового обменника давления	2	
8	Ознакомление с методами измерения параметров газового потока	2	1
9	Исследование течения газов в волновом обменнике давления	2	
	Итого:	17	4

4.5. Лабораторные работы

не запланировано учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
•	Краткий обзор истории развития лопаточных машин.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Схемы конструкций турбин, компрессоров.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Основные понятия кинематики жидкости и уравнения газовой динамики.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Уравнение линии тока.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Теорема Жуковского о подъемной силе.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Основные уравнения течения газа в лопаточных машинах.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Уравнение сохранения энергии в лопаточных машинах.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5

•	Уравнение количества движения в лопаточных машинах.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Уравнение I закона термодинамики для лопаточных машин.	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Коэффициенты полезного действия	работа с лекциями и учебной литературой	4	5
•	Адиабатический КПД	работа с лекциями и учебной литературой	4	6
•	Ознакомление с численными методами решения уравнений газовой динамики	выполнение и защита практических работ	4	6
•	Начальные и граничные условия и их выбор	выполнение и защита практических работ	4	6
•	Газодинамический расчет течений в каналах органов газораспределения ДВС	выполнение и защита практических работ	4	6
•	Применение газодинамических функций для расчета рабочего процесса эжектора	выполнение и защита практических работ	4	7
•	Расчет проточной части компрессора	выполнение и защита практических работ	4	7
•	Расчет проточной части турбины	выполнение и защита практических работ	4	7
•	Применение метода распад произвольного разрыва для расчета рабочего процесса волнового обменника давления	выполнение и защита практических работ	3	7
•	Ознакомление с методами измерения параметров газового потока	выполнение и защита практических работ	2	6
•	Исследование течения газов в волновом обменнике давления	выполнение и защита практических работ	2	6
•	Расчет термодинамического рабочего процесса эжектора	выполнение и защита практических работ	18	18
	Итого:		93	132

4.7. Курсовые работы/проекты не запланировано учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Компетентностная технология, направленная на формирование у студентов способностей практического применения знаний, умений и навыков в решении профессиональных задач.

Акмеологическая технология, определяющая стратегию организации образовательного процесса на достижение наивысших результатов в профессиональном становлении студентов.

Информационные технологии: использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект, размещенный во внутренней сети.) при подготовке к лекциям, лабораторным занятиям.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Строгалева В. П. Основы прикладной газовой динамики: учебное пособие / В. П. Строгалева, И. О. Толкачева, Н.В. Быков. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2014. - 174 с. - ISBN 978-5-7038-3980-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1953631>
2. Победря Б. Е. Основы механики сплошной среды. Курс лекций / Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 272 с.: ISBN 5-9221-0649-X. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/544635>
3. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика [Текст]: учебник / Г. Н. Абрамович. - 4-е изд., перераб. - Москва: Наука, 1976. - 888 с. - 1 р. 92 к.
4. Круглов М. Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебное пособие / М. Г. Круглов, А. А. Меднов. - Москва : Машиностроение, 1988. - 360 с. - ISBN 5-217-00082-1: 1 р. 20 к.

б) дополнительная литература:

5. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В. Системы газодинамического наддува. Луганск.: Изд-во ВУГУ, 2000. - 224 с. – Режим доступа https://yadi.sk/d/r1FXCnE_OhZrNQ
6. Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Антоненко Н.А., Ковтун А.С. Агрегаты наддува двигателей внутреннего сгорания: Учебное пособие/ [М.А.Брянцев, А.А.Данилейченко, Н.А.Антоненко, А.С.Ковтун]; - Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2018. - 188 с. – Режим доступа <https://yadi.sk/d/QoHseovc0szGiw>
7. Бондарчук, А. А. Течения жидкостей и газов. Теоретические основы и эксперимент : учебное пособие / А. А. Бондарчук ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. - 132 с. - ISBN 978-5-9275-3632-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1894459> (дата обращения: 26.01.2024).
8. Пивнев, П. П. Механика сплошных сред. Жидкости и газы : учебное пособие / П. П. Пивнев, С. П. Тарасов, А. П. Волощенко ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. - 137 с. - ISBN 978-5-9275-3096-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1088109> (дата обращения: 26.01.2024).
9. Агрегаты воздухообеспечения комбинированных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / под ред. М. Г. Круглова. - Москва : Машиностроение, 1973. - 296 с. - 1 р. 23 к.
10. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник / [А. Э. Симсон, А. З. Хомич, А. А. Куриц и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1987. - 536 с. - ISBN (в пер.) : 1 р. 60 к.
11. Двигатели внутреннего сгорания : тепловозные дизели. Газотурбинные установки [Текст] : учебник / А. Э. Симсон, А. З. Хомич, А. А. Куриц. - Москва : Транспорт, 1980. - 384 с. - Авт. указаны на обороте тит. л. - ISBN (в пер.) : 1 р. 70 к.
12. Турбокомпрессоры для наддува дизелей [Текст] : справочное пособие / [Б. П. Байков, В. Г. Бордуков, П. В. Иванов, Р. С. Дейч]. - Ленинград : Машиностроение, 1975. - 200 с. - 90 к.
13. Круглов М. Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания [Текст] : учебное пособие / М. Г. Круглов, А. А. Меднов. - Москва : Машиностроение, 1988. - 360 с. - ISBN 5-217-00082-1 : 1 р. 20 к.
14. Дейч М. Е. Техническая газодинамика : (основы газодинамики турбин) [Текст] : учебное пособие / М. Е. Дейч. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1953. - 544 с. + табл. - 9 грн.
15. Волновые обменники давления в системах наддува двигателей внутреннего сгорания [Текст]: монография / А. И. Крайнюк [и др.]; М-во образования и науки Украины, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск : Ноулидж, 2013. - 155 с. - 40 грн.– Режим доступа: https://yadi.sk/d/r1FXCnE_OhZrNQ

в) методические указания:

16. Методические указания к практическим занятиям и курсовой работе «Расчет системы газотурбинного наддува ДВС» по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» (для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль

«Двигатели внутреннего сгорания») [Электронный ресурс] / Сост.: Брянцев М.А. - Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018.- 338с.

17. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» (для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания») [Электронный ресурс] / Сост.: Брянцев М.А. - Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018.- 22с.

18. Методические указания к практическим занятиям «Расчет струйных аппаратов» по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» (для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания») [Электронный ресурс] / Сост.: Брянцев М.А. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2018.- 30с.

19. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Основы газовой динамики комбинированных двигателей»: для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания» [Электронный ресурс] / Сост. М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019.-41 с.

г) 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.

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

«Основы газовой динамики комбинированных двигателей»

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	ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	Базовый	знать особенности газовой динамики и методов расчета течений газа и основы газодинамического эксперимента комбинированных двигателей
Основной		Пороговый	уметь применять на практике численные методы решения уравнений газовой динамики для различных моделей течения газов
Заключительный		Высокий	владеть навыками составления программ расчета газодинамических процессов в рабочих полостях комбинированных двигателей.

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.	ПК-3	Способен участвовать в	ПК-3.2. Умеет проводить	Тема 1. Введение. Цель	5

		расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	расчетно-экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты исследований.	и задачи курса. Краткий обзор истории развития лопаточных машин.	
				Тема 2. Схемы конструкций турбин, компрессоров.	
				Тема 3. Основные понятия кинематики жидкости и уравнения газовой динамики.	
				Тема 4. Уравнение линии тока.	
				Тема 5. Теорема Жуковского о подъемной силе.	
				Тема 6. Основные уравнения течения газа в лопаточных машинах.	
				Тема 7. Уравнение сохранения энергии в лопаточных машинах.	
				Тема 8. Уравнение количества движения в лопаточных машинах.	
				Тема 9. Уравнение I закона термодинамики для лопаточных машин.	
				Тема 10. Коэффициенты полезного действия	
				Тема 11. Адиабатический	

				КПД	
--	--	--	--	-----	--

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.	ПК-3	ПК-3.2. Умеет проводить расчетно-экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты исследований.	знать особенности газовой динамики и методов расчета течений газа и основы газодинамического эксперимента комбинированных двигателей; уметь применять на практике численные методы решения уравнений газовой динамики для различных моделей течения газов; владеть навыками составления программ расчета газодинамических процессов в рабочих полостях комбинированных двигателей.	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11	Практическая работа, контрольная работа.

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов.	ПК-3.2. Умеет проводить расчетно-экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты исследований.
---	---

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Двигатели внутреннего сгорания» дисциплина «Основы газовой динамики комбинированных двигателей»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

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

Какие из указанных величин являются критериями подобия?

- 1) число Лошмидта.
- 2) число Рейнольдса.
- 3) число Грасгофа.
- 4) число Авогадро.

5) число Фруда.

Ответ: 235

Обоснование: числа Рейнольдса, Грасгофа и Фруда являются безразмерными комплексами динамического подобия для геометрически и кинематически подобных течений. Числа Лошмидта и Авогадро являются физическими константами.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

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

Эффект Ранка-Хильша характеризуется:

- 1) повышением энтропии потока.
- 2) образованием низкотемпературной плазмы.
- 3) разделением воздушного потока на горячий и холодный.
- 4) образованием ударных волн.
- 5) получением холода.

Ответ: 135

Обоснование: в вихревой трубке, реализующей эффект Ранка-Хильша, происходит разделение нагнетаемого воздушного потока на два: горячий и холодный. Т.к. один из потоков холодный, то имеет место получение холода. Термодинамически рабочий процесс вихревой трубки Ранка-Хильша является необратимым и, следовательно, сопровождается возрастанием энтропии потока газа.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

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

Давление изоэнтропно заторможенного потока газа не является:

- 1) статическим давлением потока.
- 2) динамическим давлением потока.
- 3) суммой статического и динамического давлений потока.
- 4) разностью статического и динамического давлений потока.
- 5) разностью динамического и статического давлений потока.

Ответ: 1245

Обоснование: пренебрегая весовым давлением газового потока, а также малой разностью потенциальных энергий потока в двух рассматриваемых сечениях, полным давлением потока в газовой динамике называется сумма статического и динамического давления.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

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

Дросселирование идеального газа сопровождается:

- 1) возрастанием энтропии и постоянством энтальпии.
- 2) возрастанием энтальпии и постоянством энтропии.
- 3) возрастанием энтальпии и энтропии.
- 4) постоянством энтальпии и энтропии.
- 5) постоянством температуры и возрастанием энтропии.

Ответ: 15

Обоснование: дросселирование – это необратимый термодинамический процесс, сопровождающийся внутренним трением и, следовательно, возрастанием энтропии; так как при дросселировании идеального газа скорость потока в равновеликих по площади сечениях, достаточно удаленных по обе стороны от дроссельного сопротивления, считается практически постоянной, то неизменной в этом случае является и кинетическая энергия потока. Тогда из первого закона термодинамики потока для адиабатного течения постоянной является и энтальпия потока, что соответствует п. 1. т.к. для идеального газа изменение энтальпии определяется изменением температуры, то температура идеального газа в предположении постоянства теплоемкости также не изменится, что соответствует п. 5.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

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

Уравнение неразрывности выражает закон сохранения:

- 1) импульса.
- 2) массы.
- 3) кинетической энергии потока.
- 4) момента импульса.
- 5) энтропии потока.

Ответ: 2

Обоснование: уравнение неразрывности потока выражает постоянство массы сплошной среды, протекающей в единицу времени через два рассматриваемых произвольных поперечных сечения, при установившемся течении (уравнение неразрывности в гидравлической форме). В случае неустановившегося течения разность входящей и выходящей массы обусловлено изменением плотности среды в рассматриваемом сечении по времени (уравнение неразрывности в дифференциальной форме).

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

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

Лопаточная машина, преобразующая энергию потока пара или газа в механическую работу на валу, называется:

- 1) компрессор.
- 2) тепловой насос.
- 3) парогенератор.
- 4) турбина.
- 5) конденсатор.

Ответ: 4

Обоснование: в турбине энергия потока рабочего тела преобразуется в механическую энергию вращения вала.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

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

Отношение располагаемого перепада энтальпии в каналах рабочего колеса турбины к располагаемому перепаду энтальпии в ступени называется:

- 1) скоростной коэффициент сопла.
- 2) парциальность ступени.
- 3) степень реактивности ступени.
- 4) адиабатный КПД ступени.
- 5) относительный лопаточный КПД.

Ответ: 3

Обоснование: степень реактивности ступени газовой турбины выражает долю перепада энтальпии потока, срабатывающего на рабочем колесе к общему адиабатическому перепаду энтальпии в ступени.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

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

Короткий канал, в котором уменьшается скорость потока и возрастает его статическое давление называется:

- 1) конфузор.
- 2) сопло Лаваля.
- 3) жиклер.
- 4) диффузор.
- 5) дроссель.

Ответ: 4

Обоснование: по определению диффузор – это короткий канал, в котором течение газа замедляется при соответствующем увеличении статического давления в потоке.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности происходит движение рабочего тела в турбине?

- 1) с рабочих лопаток ступени в атмосферу.
- 2) из кольцевой камеры на лопатки рабочего колеса.
- 3) с лопаток сопловой решетки на рабочие лопатки колеса.
- 4) от источника подвода тепла в кольцевую камеру.
- 5) с лопаток рабочего колеса на сопловой аппарат.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности проходит рабочее тело через лопаточный центробежный компрессор?

- 1) с лопаток рабочего колеса в лопаточный диффузор.
- 2) из щелевого диффузора в напорный патрубок.
- 3) из атмосферы во входной направляющий аппарат.
- 4) из лопаточного диффузора в щелевой диффузор.
- 5) из входного аппарата на лопатки рабочего колеса.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности изменяются термодинамические параметры потока газа, текущего через сопло Лаваля?

- 1) в потоке наступает кризис течения; поток движется со звуковой скоростью; давление становится критическим.
- 2) поток движется со сверхзвуковой скоростью; увеличивается толщина пограничного слоя.
- 3) увеличивается скорость от критического значения до сверхзвукового; давление падает.
- 4) поток входит во входной срез сопла с некоторой дозвуковой начальной скоростью и давлением.
- 5) давление падает, скорость потока возрастает от дозвуковой до критического значения.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности производится исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло на лабораторном стенде?

- 1) фиксация показаний барометра и термометра в помещении лаборатории перед каждым новым опытом.
- 2) запуск вакуумного насоса и установление постоянного значения вакуума по приборам в ресиверах на входе и выходе сопла.
- 3) регулировка байпасным краном величины вакуума в ресиверах перед и после сопла на новом установившемся режиме и выполнение соответствующих замеров.
- 4) пуск секундомера, отсчитывающего время истечения контрольного объема воздуха через сопло, определяемого по воздушному счетчику.
- 5) проведение серии испытаний при различных значениях вакуума в ресиверах; обработка полученных результатов и построение теоретического и экспериментального графиков расхода воздуха через суживающееся сопло.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными устройствами и их назначением

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Сопло Лаваля	1	Преобразование энергии потока горячего газа в механическую энергию вращения вала

Б	Диффузор	2	Преобразование механической энергии вращения вала в потенциальную энергию давления газа
В	Турбина	3	Повышение давления и снижение скорости потока
Г	Компрессор	4	Получение сверхзвукового потока
		5	Разделение потока на холодный и горячий

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	3	1	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между газодинамическими функциями и безразмерными параметрами потока, которые они выражают.

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	$\tau(\lambda)$	1	Плотность тока рабочего тела
Б	$\pi(\lambda)$	2	Плотность
В	$\varepsilon(\lambda)$	3	Скорость
Г	$q(\lambda)$	4	Давление
		5	Температура

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
5	4	2	1

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между понятиями физических величин и их определениями

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Показатель адиабаты	1	Отношение динамической вязкости к коэффициенту теплопроводности вещества
Б	Критическая скорость	2	Отношение изобарной к изохорной теплоёмкости
В	Кинематическая вязкость	3	Отношение действительного расхода сплошной среды к теоретическому
Г	Коэффициент расхода	4	Отношение динамической вязкости к плотности вещества
		5	Максимальная скорость истечения через суживающееся сопло

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	5	4	3

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

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

Определить массу метана, поступившего при заправке в автомобильный газовый баллон объемом 60 л, если конечное давление в баллоне составляет 200 ат по манометру. В процессе заправки температура газа в баллоне постоянна и равна 15 °С. Атмосферное давление составляет 100 кПа. Начальное давление метана в баллоне по манометру 0 ат.

Ответ (решение): При заданной температуре 15 °С и максимальном давлении, рассматриваемом в задаче 200 ат метан можно считать идеальным газом, т.к. указанные термодинамические параметры еще достаточно далеки от конденсации и влиянием сил Ван-дер-Ваальса, а также собственным объемом молекул можно пренебречь. Тогда по уравнению Клапейрона-Менделеева для начального 1 и конечного 2 состояния газа в баллоне запишем:

$$m_1 = \frac{p_1 V}{RT_1}, \quad m_2 = \frac{p_2 V}{RT_2}.$$

Поступившая в баллон масса газа Δm , равна разности конечной m_2 и начальной m_1 масс газа в баллоне:

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{p_2 V}{RT_2} - \frac{p_1 V}{RT_1}$$

p_1, p_2, T_1, T_2 – соответственно начальные и конечные абсолютные давления и температуры метана в баллоне объемом $V = 60$ л, R – характеристическая газовая постоянная, определяемая по формуле

$$R = \frac{R_\mu}{M} = \frac{8,3144}{16} = 0,52 \text{ кДж/кгК},$$

здесь $R_\mu = 8,3144$ кДж/кмольК – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса газа, для метана $M = 16$ кг/кмоль.

Абсолютное давление газа в баллоне: $p_{\text{абс}} = p_{\text{изб}} + p_{\text{атм}}$. Переводя размерность давления в систему СИ, получаем:

$$p_1 = p_{1(\text{маном})} \cdot 98,1 + p_{\text{атм}} = 0 \cdot 98,1 + 100 = 100 \text{ кПа},$$

$$p_2 = p_{2(\text{маном})} \cdot 98,1 + p_{\text{атм}} = 200 \cdot 98,1 + 100 = 19720 \text{ кПа}.$$

Так как по условию температура газа t (°С) в баллоне не меняется, то $T_1 = T_2 = T = t + 273,15$. Округленно можно записать $T = t + 273 = 15 + 273 = 288 \text{ К}$.

Искомая масса Δm будет равна

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{p_2 V}{RT} - \frac{p_1 V}{RT} = (p_2 - p_1) \frac{V}{RT} = (19720 - 100) \frac{60 \cdot 10^{-3}}{0,52 \cdot 288} = 7,86 \text{ кг}.$$

Масса метана, поступившего в баллон, составляет 7,86 кг.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

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

Поток воздуха движется со скоростью 100 м/с. Определить температуру изоэнтропного торможения если температура воздуха в потоке 27°С. Удельную изобарную теплоемкость воздуха принять постоянной и равной 1005 Дж/кгК.

Ответ (решение): Из уравнения первого закона термодинамики потока, в случае адиабатического течения выражение для полной энтальпии потока имеет вид

$$i^* = i + \frac{w^2}{2},$$

где i – энтальпия потока, w – скорость потока. Температура торможения потока связана с полной энтальпией потока выражением

$$T^* = \frac{i^*}{c_p} = \frac{i}{c_p} + \frac{w^2}{2c_p} = T + \frac{w^2}{2c_p}.$$

Абсолютная температура воздуха в потоке

$$T = t + 273 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

Температура заторможенного потока

$$T^* = T + \frac{w^2}{2c_p} = 300 + \frac{100^2}{2 \cdot 1005} = 305 \text{ K}$$

Температура заторможенного потока воздуха равна 305 K (32°C).

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

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

Во сколько раз изменится скорость звука в воздухе при повышении температуры от -20°C до 40°C. Теплоемкость воздуха считать постоянной в заданном интервале температур.

Ответ (решение): Скорость звука в газе определяется выражением

$$w_{зв} = \sqrt{kRT},$$

где k – показатель адиабаты, R – характеристическая газовая постоянная, T – абсолютная температура газа. Для воздуха $k = 1,4$, $R = 287$ Дж/кгК.

Показатель адиабаты газа равен отношению изобарной и изохорной теплоемкости. При условии постоянства теплоемкости неизменным будет и показатель адиабаты.

Скорость звука в воздухе при заданных температурах будет равна

$$w_{зв1} = \sqrt{kRT_1} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot (-20 + 273)} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 253} = 318,8 \text{ м/с},$$

$$w_{зв2} = \sqrt{kRT_2} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot (40 + 273)} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 313} = 354,6 \text{ м/с}.$$

Соотношение скоростей звука при этом составит

$$\frac{w_{зв2}}{w_{зв1}} = \frac{354,6}{318,8} = 1,11.$$

Скорость звука при повышении температуры в заданном интервале увеличится в 1,11 раза.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

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

По трубе круглого поперечного сечения движется поток метана при температуре 45°C. Определить число Маха в потоке, если внутренний диаметр трубы 100 мм, массовый расход газа 1,5 кг/с, абсолютное статическое давление газа составляет 340 кПа. По найденному числу Маха определить режим течения потока.

Ответ (решение): Число Маха M – это отношение скорости потока w_f к местной скорости звука $w_{зв}$

$$M = \frac{w_f}{w_{зв}}.$$

Скорость потока, принимая ее постоянной по сечению трубы и пренебрегая пограничным слоем, определим из уравнения неразрывности в гидравлической форме

$$G = F \cdot w_f \cdot \rho,$$

где F – площадь поперечного сечения потока, ρ – плотность газа в потоке.

Площадь сечения трубы диаметром $D = 100$ мм

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} = 7850 \text{ мм}^2.$$

Плотность газа в потоке из уравнения состояния идеального газа

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{340}{0,52 \cdot 318} = 2 \text{ кг/м}^3,$$

где $p = 340$ кПа – статическое давление газа, $R = 0,52$ кДж/кгК – газовая постоянная метана, T – абсолютная температура метана $T = t + 273 = 45^\circ\text{C} + 273 = 318$ К.

Скорость потока газа в трубе

$$w_f = \frac{G}{F\rho} = \frac{1,5}{7850 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 95,5 \text{ м/с}.$$

Скорость звука в потоке определяется по формуле

$$w_{3B} = \sqrt{kRT} = \sqrt{1,29 \cdot 520 \cdot 318} = 462 \text{ м/с},$$

где $k = 1,29$ – показатель адиабаты трех- и более атомных газов.

Число Маха потока метана

$$M = \frac{w_f}{w_{3B}} = \frac{95,5}{462} = 0,2.$$

Т.к. число Маха $M = 0,2 < 1$ – течение газа является дозвуковым.

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 20.

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

Из суживающегося сопла вытекает хлор в среду с абсолютным давлением 4,2 МПа. Давление и температура хлора на входе в сопло постоянны и равны, соответственно, $p_0 = 7$ МПа, $t_0 = 120^\circ\text{C}$. Определить режим и скорость истечения газа через сопло. Скоростью во входном сечении сопла пренебречь, хлор считать идеальным газом с постоянной теплоемкостью. Течение через сопло является изэнтропным.

Ответ (решение): Для определения скорости истечения газа через сопло необходимо изначально определить режим истечения газа. Для этого найдем отношение давлений в среде на выходе из сопла и на входе в сопло

$$\beta = \frac{p_{cp}}{p_0} = \frac{4,2}{7} = 0,6.$$

Критическое отношение давлений

$$\beta_{кр} = \frac{p_{кр}}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,528,$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для двухатомных газов; хлор Cl_2 – двухатомный газ.

Для докритического (дозвукового) истечения справедливо неравенство $\beta > \beta_{кр}$. В случае если $\beta \leq \beta_{кр}$, то истечение является критическим и происходит со звуковой скоростью.

Т.к. в данном случае $\beta = 0,6 > \beta_{кр} = 0,528$, то в выходном сечении сопла давление устанавливается равным давлению среды и течение потока является дозвуковым. Для дозвукового истечения скорость определяется по формуле

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = \sqrt{2 \cdot \frac{1,4}{1,4-1} 237 \cdot 393 \left[1 - \left(\frac{4,2}{7} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]} = 297,6 \text{ м/с},$$

где $R = 237$ Дж/(кгК) – газовая постоянная хлора, $T_0 = t_0 + 273 = 120 + 273 = 393$ К.

Истечение хлора является дозвуковым со скоростью 297,6 м/с.

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	235	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	135	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	1245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	15	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	42531	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	35142	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	45132	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	21435	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A4B3B1Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A5B4B2Г1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A2B5B4Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	Масса метана, поступившего в баллон, равна 7,86 кг.	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.	Температура заторможенного потока воздуха равна 305 К (32°C).	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.	Скорость звука в воздухе увеличится в 1,11 раза.	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.	Число Маха $M = 0,2$. Т.к. $M < 1$, то течение газа является дозвуковым.	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.	Скорость потока хлора равна 297,6 м/с.	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
базовый уровень

Задание 1.

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

Каким выражением определяется скорость звука в газе?

- 1) $\frac{c_p}{c_v}$.
- 2) $\sqrt{kRT}$.
- 3) $\int \frac{dp}{\rho}$.
- 4) $\sqrt{k\rho v}$.
- 5) $\sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$.

Ответ: 245

Обоснование: выражение 1) представляет показатель адиабаты, выражение 3) потенциальную энергию давления сжатого газа. Остальные выражения представляют скорость распространения звуковых волн в газе. Получить из 2) выражение 4) можно с помощью уравнения состояния идеального газа, записанного для 1 кг, т.е. через удельный объем. Выражение 5) можно получить из уравнения скорости волны сжатия для случая слабой волны, т.е. акустической или звуковой. Т.о. выражение 5) также есть выражение скорости звука.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

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

В каком устройстве течение газового потока сопровождается механическим движением рабочего колеса?

- 1) активная турбина.
- 2) центробежный компрессор.
- 3) эжектор.
- 4) реактивная турбина.
- 5) осевой компрессор.

Ответ: 1245

Обоснование: все перечисленные устройства кроме эжектора 3) являются лопаточными машинами и, соответственно, в их конструкции имеется рабочее колесо с лопатками. В конструкции эжектора нет рабочего колеса или каких-либо иных подвижных элементов; эжектор является статическим аппаратом.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

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

Какие типы сопел применяются для получения сверхзвукового потока газа?

- 1) геометрическое.
- 2) суживающееся.
- 3) механическое.
- 4) расходное.
- 5) тепловое.

Ответ: 1345

Обоснование: в суживающемся сопле 2) поток можно разогнать только до местной скорости звука; получить сверхзвуковое истечение в суживающемся сопле невозможно. Остальные варианты 1) 3) 4) 5) представляют собой типы сопел для получения сверхзвукового потока.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

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

Какие элементы входят в конструкцию эжектора?

- 1) активное сопло.
- 2) диффузор.
- 3) камера смешения.
- 4) пассивное сопло.
- 5) обратный клапан.

Ответ: 1234

Обоснование: все перечисленные элементы 1) 2) 3) 4) входят в конструкцию эжектора. Обратный клапан 5) в эжекторе отсутствует.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

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

Отношение действительной к теоретической скорости истечения газа из сопла называется:

- 1) скоростной коэффициент.
- 2) приведенная скорость.
- 3) коэффициент расхода.
- 4) коэффициент потерь энергии в соплах.
- 5) число Фруда.

Ответ: 1

Обоснование: по определению скоростной коэффициент – это величина, показывающая, во сколько раз действительная скорость истечения рабочего тела из сопла меньше теоретической.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

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

Отношение скорости потока рабочего тела к местной скорости звука называется:

- 1) число Струхала.

- 2) число Нуссельта.
- 3) число Эйлера.
- 4) число Рейнольдса.
- 5) число Маха.

Ответ: 5

Обоснование: по определению число Маха – это критерий подобия, равный отношению скорости потока к местной скорости звука.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

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

Число Рейнольдса выражает собой отношение:

- 1) объемного веса к силе инерции потока.
- 2) локальной силы от неустановившегося движения к силе инерции потока.
- 3) силы вязкости к силе инерции потока.
- 4) силы гидродинамического давления к силе инерции потока.
- 5) силы Архимеда к силе вязкости в потоке.

Ответ: 3

Обоснование: по определению число Рейнольдса выражает отношение силы вязкого трения, действующей на рассматриваемый выделенный элемент объема сплошной среды со стороны остального потока к силе инерции рассматриваемого элемента объема.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

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

Числом Пуассона называется физическая величина, известная также как:

- 1) показатель политропы.
- 2) показатель адиабаты.
- 3) кинематическая вязкость.
- 4) динамическая вязкость.
- 5) коэффициент сжимаемости.

Ответ: 2

Обоснование: показатель адиабаты изредка в научной литературе называют числом Пуассона, например, Г.Н. Абрамович Прикладная газовая динамика М.: Наука, 1969. - 824 с.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности рабочее тело проходит тракт турбореактивного двигателя?

- 1) выходное сопло.
- 2) газовая турбина.
- 3) осевой компрессор.
- 4) камера сгорания.
- 5) диффузор.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности поток газа проходит сопло Лавалья?

- 1) входной срез суживающейся части.
- 2) минимальное сечение сопла.
- 3) выходное сечение расширяющейся части.
- 4) расширяющаяся часть.
- 5) суживающаяся часть.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности осуществляется рабочий процесс газотурбинной установки разомкнутого цикла?

- 1) всасывание атмосферного воздуха лопаточным компрессором.
- 2) подача горячего газа в турбину, его расширение и совершение механической работы.
- 3) поступление сжатого воздуха в камеру сгорания.
- 4) выхлоп расширившегося отработавшего газа в атмосферу.
- 5) подача топлива в камеру сгорания, образование горячих продуктов сгорания.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности происходит изменение термодинамических параметров потока идеального газа при дросселировании?

- 1) увеличение давления, энтальпии и снижение скорости потока.
- 2) течение газа с начальной скоростью и давлением.
- 3) достижение минимального давления, энтальпии и максимальное увеличение скорости потока при прохождении минимального сечения.
- 4) восстановление энтальпии потока и его скорости практически до первоначальных значений, восстановление давления до величины меньше первоначального значения.
- 5) уменьшение давления и энтальпии потока и возрастание его скорости.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

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

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными процессами и характерными для них явлениями

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Адиабатическое торможение потока газа	1	Возрастание энтропии
Б	Дросселирование потока реального газа	2	Образование ударной волны
В	Истечение из суживающегося сопла при критических параметрах на выходном срезе	3	Повышение температуры газа
Г	Дросселирование потока идеального газа	4	Постоянство температуры газа
		5	Движение потока со скоростью звука

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
3	1	5	4

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными параметрами и их значениями или диапазонами их возможного изменения

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Показатель политропы	1	1,29...1,67
Б	Число Маха	2	$\pm \infty$
В	Показатель адиабаты	3	0... ∞
Г	Максимальная плотность двухатомного газа при сжатии по ударной адиабате	4	8
		5	6

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	3	1	5

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными параметрами их единицами измерения

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

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Градиент давления	1	Вт/(м·К)
Б	Число Прандтля	2	Дж/(кг·К)

В	Удельная теплоемкость	3	Дж/К
Г	Энтропия	4	Па/м
		5	Безразмерная величина

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	5	2	3

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 16.

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

Определить скорость звука в кислороде, если абсолютное давление газа 2 МПа, а плотность 20 кг/м³.

Ответ (решение): Уравнение скорости звука, записанное через плотность и давление газа, имеет вид

$$w_{зв} = \sqrt{k \frac{p}{\rho}} = \sqrt{1,4 \cdot \frac{3 \cdot 10^6}{20}} = 458 \text{ м/с},$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для кислорода (двухатомный газ).

Скорость звука в кислороде 458 м/с.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 17.

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

Во сколько раз увеличится плотность воздуха при скачке уплотнения, если отношение давлений во фронте ударной волны к давлению невозмущенного газа составляет 25.

Ответ (решение): Отношение плотностей в скачке уплотнения и невозмущенном газе при прохождении ударной волны связаны с соответствующим отношением давлений уравнением ударной адиабаты (уравнение Гюгонио)

$$\frac{\rho_s}{\rho_H} = \frac{\frac{k+1}{k-1} \frac{p_H}{p_s}}{1 + \frac{k+1}{k-1} \frac{p_H}{p_s}} = \frac{\frac{1,4+1}{1,4-1} \frac{1}{25}}{1 + \frac{1,4+1}{1,4-1} \frac{1}{25}} = 4,87,$$

где ρ_s , p_s и ρ_H , p_H – плотность и давление, соответственно, в скачке уплотнения и в невозмущенной воздушной среде; по условию $p_s / p_H = 25$, тогда $p_H / p_s = 1/25$, $k = 1,4$ – показатель адиабаты воздуха.

Плотность воздуха в скачке уплотнения увеличится в 4,87 раза.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

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

Вычислить время заправки баллона объемом 60 л газом от начального давления 0 ат по манометру до давления 200 ат по манометру при условии, что барометрическое давление в процессе заправки постоянно и равно 100 кПа, температура газа в процессе заправки постоянна, а скорость потока газа в наполняющем трубопроводе с внутренним диаметром 10 мм постоянна и равна 1,5 м/с. Газ считать идеальным.

Ответ (решение): Из определения массового расхода G можно записать

$$dm = G \cdot dt, \quad (1)$$

где dm – элементарная масса газа поступающего в баллон за время dt . По уравнению неразрывности потока в гидравлической форме массовый расход G равен

$$G = F \cdot w \cdot \rho, \quad (2)$$

где F w ρ – соответственно площадь поперечного сечения потока, скорость потока и плотность рабочего тела в потоке.

Т.к. по условию задачи газ принимается идеальным, то его плотность определяется из уравнения состояния идеального газа

$$\rho = \frac{p}{RT}, \quad (3)$$

где p и T – соответственно абсолютные давление и температура газа, R – характеристическая газовая постоянная.

Текущая масса газа в баллоне определяется по уравнению Клапейрона-Менделеева

$$m = \frac{pV}{RT}. \quad (4)$$

Т.к. по условию $T = \text{const}$ и объем баллона очевидно неизменный $V = \text{const}$, то дифференцируя (4), получим

$$dm = \frac{V}{RT} dp. \quad (5)$$

С учетом (1) и (2) получим

$$dm = F \cdot w \cdot \rho \cdot dt, \quad (6)$$

с учетом (3) уравнение (6) примет вид

$$dm = Fw \frac{p}{RT} dt \quad (7)$$

Приравнявая (5) и (7), получаем дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными

$$Fw \frac{p}{RT} dt = \frac{V}{RT} dp,$$

после сокращения обеих частей на RT и разделения переменных окончательно получаем дифференциальное уравнение с разделенными переменными

$$\frac{dp}{p} = \frac{Fw}{V} dt. \quad (8)$$

Интегрируя (8) в пределах интегрирования по давления от p_1 до p_2 и по времени от t_1 до t_2 , получаем

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{Fw}{V} dt,$$

где $t_1 = 0$ – начальный момент времени, t_2 – момент окончания заправки баллона, т.е. t_2 – искомое время заправки баллона. Выполнив интегрирование, получим

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{Fw}{V} t_2,$$

отсюда время t_2 будет равно

$$t_2 = \frac{V}{Fw} \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (9)$$

Произведение Fw представляет собой объемный расход газа в произвольном сечении системы. Т.к. по условию задачи скорость потока постоянна, то и объемный расход в этом случае постоянный в любом сечении. Вычислим площадь F сечения наполняющего трубопровода, по условию, внутренний диаметр которого $D = 10$ мм

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ мм}^2.$$

Абсолютные начальное и конечное давление в баллоне определяются как сумма манометрического и барометрического давления

$$p_1 = p_{1(\text{маном})} \cdot 98,1 + p_{\text{атм}} = 0,98,1 + 100 = 100 \text{ кПа},$$

$$p_2 = p_{2(\text{монот})} \cdot 98,1 + p_{\text{атм}} = 200 \cdot 98,1 + 100 = 19720 \text{ кПа.}$$

Подставляя полученные значения параметров в (9), вычисляем искомое время заправки

$$t_2 = \frac{V}{F_w} \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{78,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5} \ln \frac{19720}{100} = 2693 \text{ с.}$$

Время заправки баллона составляет 2693 с (44,8 мин).

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

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

Через суживающееся сопло проходит поток азота. Истечение происходит в среду с абсолютным давлением 3,5 МПа. Давление и температура газа на входе в сопло постоянны и равны, соответственно, $p_0 = 8$ МПа, $t_0 = 30^\circ\text{C}$. Определить режим истечения, скорость потока и объёмный расход в выходном срезе сопла, а также массовый расход газа, если диаметр выходного сечения равен 6 мм. Скоростью во входном сечении сопла пренебречь, азот считать идеальным газом с постоянной теплоемкостью. Течение через сопло является изэнтропным.

Ответ (решение): Для определения скорости истечения азота в выходном сечении сопла предварительно требуется определить режим истечения. Для этого найдем отношение давлений в среде на выходе из сопла и на входе в сопло

$$\beta = \frac{p_{\text{ср}}}{p_0} = \frac{3,5}{8} = 0,4375 .$$

Критическое отношение давлений

$$\beta_{\text{кр}} = \frac{p_{\text{кр}}}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,528 .$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты для двухатомных газов; азот N_2 – двухатомный газ.

Для докритического (дозвукового) истечения справедливо неравенство $\beta > \beta_{\text{кр}}$. В случае если $\beta \leq \beta_{\text{кр}}$, то истечение является критическим и происходит со звуковой скоростью.

Т.к. в данном случае $\beta = 0,4375 < \beta_{\text{кр}} = 0,528$, то в выходном сечении сопла устанавливается критическое давление, и истечение азота в среду является критическим и происходит со звуковой скоростью. Скорость потока определяется по формуле критического истечения

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} R T_0} = \sqrt{2 \cdot \frac{1,4}{1,4+1} 297 \cdot 303} = 324 \text{ м/с,}$$

где $R = 297 \text{ Дж/(кгК)}$ – газовая постоянная азота, $T_0 = t_0 + 273 = 30 + 273 = 303 \text{ К}$.

Объёмный расход в выходном сечении сопла

$$W_2 = F_2 w_2 = \pi \frac{d_2^2}{4} w_2 = 3,14 \cdot \frac{(6 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 324 = 0,00916 \text{ м}^3/\text{с,}$$

Массовый расход через сопло можно определить по формуле

$$G = W_2 \cdot \rho_2 ,$$

где ρ_2 – плотность газа в выходном сечении. Или воспользоваться формулой, полученной после алгебраических преобразований, которая имеет вид

$$G = F_2 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \frac{p_0}{v_0}} ,$$

где v_0 – удельный объём газа во входном сечении сопла. Т.к. по условию азот принимается идеальным газом, то v_0 определяется из уравнения состояния идеального газа

$$v_0 = \frac{R T_0}{p_0} = \frac{297 \cdot 303}{8 \cdot 10^6} = 0,0112 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Тогда массовый расход азота через сопло будет равен

$$G = F_2 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \frac{p_0}{\rho_0}} = 3,14 \cdot \frac{(6 \cdot 10^{-3})^2}{4} \left(\frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} \sqrt{2 \cdot \frac{1,4}{1,4+1} \frac{8 \cdot 10^6}{0,0112}} = 0,517 \text{ кг/с.}$$

Режим истечения является критическим. Истечение происходит со скоростью звука, равной 324 м/с. Объёмный расход в выходном сечении сопла равен 0,00916 м³/с (9,16 л/с). Массовый расход азота через сопло 0,517 кг/с.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 20.

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

Труба круглого сечения диаметром 70 мм плавно переходит в эллипс. Выходное эллиптическое сечение имеет большую ось 150 мм и малую ось 40 мм. По трубе стационарно движется газ со скоростью во входном круговом сечении 14 м/с. Определить объёмный расход и скорость газа в выходном сечении, если плотность газа на выходе на 20% ниже плотности газа на входе в трубу.

Ответ (решение): Т.к. по условию движение потока газа стационарное, то для потока применимо уравнение неразрывности в гидравлической форме, выражающее постоянство массового расхода газа, текущего по трубе, для любого сечения

$$G_1 = G_2.$$

В развернутом виде уравнение неразрывности имеет вид

$$F_1 w_1 \rho_1 = F_2 w_2 \rho_2.$$

Также можно записать

$$\frac{F_1 w_1}{F_2 w_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

где произведение площади произвольного сечения F и скорости потока w в этом же сечении является объёмным расходом W сплошной среды.

Площадь входного сечения F_1

$$F_1 = \pi \frac{d_1^2}{4} = 3,14 \frac{70^2}{4} = 3846 \text{ мм}^2,$$

где $d_1 = 70$ мм – диаметр входного круглого сечения.

Площадь F_2 выходного эллиптического сечения трубы

$$F_2 = \pi \frac{ab}{4} = 3,14 \frac{150 \cdot 40}{4} = 4710 \text{ мм}^2,$$

где $a = 150$ мм и $b = 40$ мм – соответственно большая и малая оси эллипса.

Объёмный расход в выходном сечении

$$W_2 = F_2 w_2 = \frac{F_1 w_1}{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = F_1 w_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{3846 \cdot 10^{-6} \cdot 14}{0,8} = 0,0673 \text{ м}^3/\text{с},$$

где отношение плотностей $\rho_2 / \rho_1 = 0,8$ – т.к. по условию ρ_2 на 20% меньше ρ_1 .

Скорость газа в выходном сечении трубы

$$w_2 = \frac{W_2}{F_2} = \frac{0,0673}{4710 \cdot 10^{-6}} = 14,3 \text{ м/с.}$$

Объёмный расход газа в эллиптическом сечении трубы равен 0,0673 м³/с (67,3 л/с). Скорость потока газа составляет 14,3 м/с.

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 2

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	1245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи

3.	1345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	1234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	53421	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	15243	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	13524	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	25314	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A3B1B5Г4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2B3B1Г5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A4B5B2Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	Скорость звука в кислороде 458 м/с.	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.	Плотность воздуха в скачке уплотнения увеличится в 4,87 раза.	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.	Время заправки баллона составляет 2693 с (44,8 мин).	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.	Режим истечения является критическим. Истечение происходит со скоростью звука, равной 324 м/с. Объёмный расход в выходном сечении сопла равен 0,00916 м ³ /с (9,16 л/с). Массовый расход азота через сопло 0,517 кг/с.	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.	Объёмный расход газа в эллиптическом сечении трубы равен 0,0673 м ³ /с (67,3 л/с). Скорость потока газа составляет 14,3 м/с.	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

Оценочные средства по дисциплине
«Основы газовой динамики комбинированных ДВС»

Вопросы при защите практической работы (высокий уровень):
Варианты для расчета тем 5 и 6 (Расчет проточной части компрессора и турбины ТК).

№ п/ п	Обозначение двигателя	Марка двигателя	n, мин ⁻¹	Ne, кВт	g _e , кг/кВт·ч
1	6ЧКРН 45/66	MAN K6V	250	2060	0.197
2	12ДКРН 85/170	Stork SW1285/170	115	23540	0.200
3	16ЧН 26/26	5Д49	1000	2940	0.204
4	16ЧН 24/27	2Д70	1000	2200	0.204
5	12ДКРН 105/180	MAN KZ-105/180	106	30900	0.208
6	12ДКРН 106/180	FIAT 10612S	108	29420	0.210
7	6ДКРН 84/180	B&W 664VT2BP180	110	12800	0.210
8	18ЧРН 40/46	SEMT-Pielstick PS2	465	5880	0.211
9	6ЧН 15/18	B2-800-ATK-C2	2000	588	0.211
10	6ДКРН 75/160	ДБ-10	115	6620	0.215
11	12ДН 23/30	14Д40	750	1470	0.218
12	6ЧН 36/45	Г70	375	885	0.218
13	6ЧН 21/21	211Д-1	1400	550	0.218
14	12ДН 30/38	Sultzer 12ZV30/38	590	3310	0.220
15	6ЧН 31/36	K6S310DR	750	995	0.220
16	12ЧН 18/20	M756Б	1500	736	0.220
17	12ЧСПН18/20	M401	1550	736	0.224
18	6ЧН 23/30	MS-301SK	900	660	0.224
19	6ЧН 31.8/33	ПД1М	750	880	0.225
20	6ЧН 13/11.5	СМД-62	2100	135	0.226
21	42ЧСПН16/17	M503	2200	2940	0.227
22	12ЧН 15/18	1Д12	1500	368	0.230

23	16ДН 23/30	11Д45	750	2200	0.231
24	4ЧН 12/14	СМД-23	2050	110	0.234
25	6ЧСН 12/14	К-164	1500	110	0.245

Вопросы при защите практической работы (базовый уровень):

1. Газодинамика в лопастных машинах. Исторический обзор достижений. Течение газа во впускном и выпускном трубопроводах двигателя внутреннего сгорания.
2. Особенности течения газа в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания.
3. Что такое струйный аппарат?
4. Смешиваемые потоки могут находиться в газовой (паровой) или жидкой фазе или представляют собой смесь газа (пара), жидкости и твердых тел?
5. При протекании по струйному аппарату происходит выравнивание скоростей смешиваемых потоков и обратное преобразование кинетической энергии смешанного потока в потенциальную или тепловую энергию?
6. Какие основные элементы струйного аппарата?
7. Где происходит выравнивание скоростей, сопровождающееся, как правило, повышением давления?
8. Потоки рабочей и эжектируемой сред поступают в камеру смешения?
9. Из камеры смешения поток поступает в диффузор, где происходит дальнейший рост давления?
10. Давление смешанного потока на выходе из диффузора выше давления эжектируемого потока, поступающего в приемную камеру?
11. Повышение давления эжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии является основным, принципиальным качеством струйных аппаратов?
12. Благодаря какому качеству использование струйных аппаратов во многих отраслях техники позволяет получать более простые и надежные технические решения по сравнению с применением механических нагнетателей (компрессоры, насосы, газодувки, вентиляторы и др.)?
13. Области использования струйных аппаратов?
14. Основы теории струйных аппаратов были заложены в работах Цейнера и Ренкина?
15. Теория Цейнера-Ренкина основывается на применении уравнения импульсов к смешивающимся потокам?
16. Выбор рационального профиля и определение осевых размеров аппарата, не могут быть решены на основе теории Цейнера-Ренкина?
17. Охарактеризуйте первое направление развития расчета струйных аппаратов? Охарактеризуйте второе направление развития расчета струйных аппаратов?
18. Охарактеризуйте третье направление развития расчета струйных аппаратов?
19. Третье направление развития методов расчета струйных аппаратов связано с отказом от детальной оценки процессов в отдельных частях проточной части эжектора и применением газодинамических функций, связывающих приведенную изоэнтропную (адиабатную) скорость потока газа или пара с его термодинамическими параметрами?
20. Под приведенной изоэнтропной скоростью понимается отношение скорости газа при его изоэнтропном течении к критической скорости?
21. Критическая скорость газа представляет собой действительную скорость газа равную местной скорости звука?
22. Как называется отношение статического давления изоэнтропно движущегося газа в данном сечении к давлению торможения?
23. Как называется отношение абсолютной температуры T изоэнтропно движущегося газа в данном сечении к температуре торможения T_0 ?

24. Как называется отношение плотности ρ изоэнтропно движущегося потока в данном сечении к плотности ρ_0 заторможенного потока?
25. Как называется отношение массовой скорости $\omega\rho(\text{кг/м}^2\text{с})$ изоэнтропно движущегося потока в данном сечении к массовой скорости этого потока $a\rho(\text{кг/м}^2\text{с})$, в критическом сечении?
26. Как называется удвоенное отношение полного импульса изоэнтропного потока в произвольном сечении к его значению в критическом сечении?
27. При определении оптимальных параметров эжектора системы наддува двигателя приходится выбирать его геометрию по заданным значениям торможения смеси на выходе из диффузора и расходу эжектируемого воздуха?
28. Предварительный расчет эжектора включает определение параметров эжектора, обеспечивающих требуемые расход и разрежение в вакуумной камере при минимально необходимом для этого давлении эжектирующего газа?
29. Выравнивание поля скоростей по сечениям камеры смешения сопровождается повышением статического давления до значения p_{03} ?
30. В диффузоре происходит дальнейшее повышение статического давления до p_{04} , полное давление ввиду потерь преобразования кинетической энергии в потенциальную снижается с p_{04} до p_4 ?
31. При подкритическом отношении давлений активная струя истекает из сопла с дозвуковой скоростью, статические давления рабочих сред на срезе сопла p_{01} и p_{02} одинаковы?
32. При надкритическом отношении давлений активная струя истекает из нерасширяющегося сопла со скоростью звука, статическое давление активной струи на срезе сопла превосходит статическое давление пассивной среды ($p_{01} > p_{02}$)?
33. Что такое сечение запираания? Для сечения запираания характерны наибольшее разрежение и максимальные скорости потоков активной и пассивной сред?
34. Расчетная модель рабочего процесса эжектора основана на использовании уравнений сохранения массы, импульса и энергии?
35. Что такое коэффициент эжекции?
36. Как определяется геометрический параметр эжектора?
37. Методика расчета проточной части компрессора.
38. Методика расчета проточной части турбины.
39. Основы метода распад произвольного разрыва для расчета рабочего процесса волнового обменника давления.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к практическим занятиям:

- «Расчет струйных аппаратов» по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» (для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост.: Брянцев М.А. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2018.- 30с.;

- «Расчет системы газотурбинного наддува ДВС» по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания» / Сост. М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018.- 39с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству практическая работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен):

1. Геометрические параметры профиля и решетки профилей.
2. Течение газа через осевой компрессор.
3. Течение газа через центробежный компрессор.
4. Основные параметры ступени компрессора.
5. Турбина активного типа.
6. Осевая турбина реактивного типа.
7. Радиальная турбина.
8. Основные параметры турбины.
9. Гидравлические потери в решетках турбомашин. Классификация потерь.
10. Профильные потери в решетках.
11. Концевые и дополнительные потери в решетках.
12. Характеристика компрессора.
13. Расчет параметров колеса компрессора.
14. Расчет течения газа в безлопаточном диффузоре компрессора.
15. Расчет течения газа в лопаточном диффузоре и воздушной улитке компрессора.
16. Профилирование колеса компрессора.
17. Профилирование лопаток диффузора компрессора.
18. Характеристика турбины.
19. Расчет турбины.
20. Расчет импульсной турбины.
21. Располагаемая работа выпускных газов.
22. Показатели эффективности использования энергии выпускных газов.
23. Согласование работы компрессора и турбины.
24. Графический способ построения характеристики турбокомпрессора.
25. Как определяется область влияния в разностной и дифференциальной задачах?
26. Какие преимущества имеют неявные и консервативные разностные схемы?
27. Почему метод характеристик является наиболее точным численным методом?
28. Как используется положение характеристик для определения количества граничных условий?
29. Каковы особенности задания условий на непроницаемой и открытой границах?
30. В чем сущность теории трех моделей и ее отличие от компетенции пограничного слоя?
31. Какой физический смысл имеют отдельные компоненты уравнения энергии турбулентных пульсаций?
32. В чем заключается прямая осесимметричная задача теории турбомашин?
33. Как формулируются граничные условия при расчете невязкого дозвукового течения и вязкого пристенного течения в решетке профилей?
34. Линии тока, линии отмеченных частиц и траектории.

35. Система уравнений Эйлера.
36. Система уравнений Навье-Стокса.
37. Турбулентность. Модели турбулентности.
38. Пограничный слой. Отрыв пограничного слоя.
39. Укороченные уравнения Навье-Стокса.
40. Газовые струи.
41. Двухфазные течения.
42. Дискретизация уравнений в частных производных. Явная и неявная схемы.
43. Методы и приборы измерения давления.
44. Измерение скорости потока и расхода газа.
45. Измерение температуры движущегося газа.
46. Аэродинамические и ударные трубы.
47. Течение газа во впускном и выпускном трубопроводах двигателя внутреннего сгорания.
48. Особенности течения газа в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания.
49. Обтекание решетки профилей.
50. Экспериментальные установки и особенности проведения газодинамического эксперимента в тепловых двигателях.
51. Уравнение сохранения массы. Интегральная и дифференциальные формы записи (дивергентная, развернутая, тензорная).
52. Уравнения сохранения количества движения. Интегральная и дифференциальные формы записи (дивергентная, развернутая, тензорная).
53. Исходные уравнения модели неустановившегося течения по трубопроводу (в одномерном приближении).
54. Уравнения гидростатики (в общем и в частном виде).
55. Начальные и граничные условия в задачах нестационарной газовой динамики.
56. Параметры и газодинамические функции нестационарного торможения.
57. Метод «распада разрыва» С. К. Годунова.
58. Метод «распада разрыва» для пространственных задач МЖГ по уравнениям Эйлера.
59. Обобщения метода «распада разрыва» повышенной точности для одномерных и пространственных задач.
60. Газодинамика в лопастных машинах. Исторический обзор достижений.
61. Газ как сжимаемая жидкость.
62. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой и несжимаемой жидкостей.
63. Общий характер движения жидких частиц по данным наблюдений. Местная скорость.
64. Установившееся и неустановившееся движение. Ламинарный и турбулентный режимы течения.
65. Пульсация скорости в турбулентном потоке. Осреднение скорости по времени и по пространству.
66. Методы Эйлера и Лагранжа описания движения жидкости. Поле скоростей, линии и трубки тока.
67. Вихревое движение и основные характеристики поля вихрей. Вихревая линия и вихревая трубка. Свойства вихревых трубок.
68. Понятие о циркуляции. Потенциальное течение жидкостей и газов. Понятие о потенциале скорости и его свойства. Суперпозиция потенциальных течений.
69. Динамика сплошной среды. Уравнение неразрывности. Распределение сил в сплошной среде. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений.
70. Закон изменения количества движения и уравнение динамики сплошной среды в напряжениях.
71. Распространение малых возмущений в движущемся потоке газа. Понятие скачка уплотнения. Основные закономерности для расчёта прямого скачка уплотнения.
72. Связь между скоростями до и после прямого скачка с критической скоростью. Формула Прандтля.

73. Сравнение сжатия в прямом скачке уплотнения с изоэнтропическим сжатием. Давление в критической точке за прямым скачком уплотнения.
74. Математические модели вязких жидкостей и газов.
75. Пограничный слой, вихревой след. Модели, учитывающие вязкость жидкостей.
76. Полная модель движения вязкой, сжимаемой жидкости. Уравнение баланса энергии.
77. Крыловой профиль и его геометрические характеристики. Силы, действующие на профиль при его обтекании потоком воздуха.

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

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме 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.
хорошо (4)	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.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие 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.
неудовлетворительно (2)	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	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)