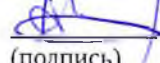


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета


 Юнаков Л. П.
 (подпись) ФИО
 « 21 » 05 20 21

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пусковые устройства, транспортно-установочное оборудование и средства обслуживания стартовых комплексов
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	4	144	51	34	17	0	93	0	0	93	диф. зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Синильщиков Валерий Борисович, к.т.н., доцент

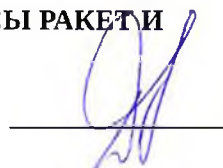


Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс

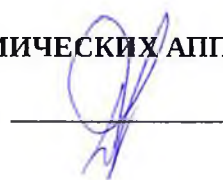


Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-09 — способность разрабатывать газоотводящие системы пусковых устройств и устройства для снижения воздействия потоков газа ракетных двигателей при старте ракет

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-09

знания:

- на уровне представлений - знать о типах струйных течений, структуре сверхзвукового течения, газодинамических элементах (изоэнтропическая зона, падающие и отраженные скачки уплотнения, нерегулярное отражение, слой смешения, разгонная зона, изобарическая зона и др.), составляющих струйное течение и физических процессах, протекающих в них;
- на уровне воспроизведения знать структуру струйного течения, а также существующие методы расчетного и экспериментального определения газодинамических параметров струйных течений, их преимущества, недостатки и условия применения;
- на уровне понимания знать физические процессы, обуславливающие формирование струйного течения, особенности распределения газодинамических параметров в продольном и поперечном направлении и способы экспериментального определения газодинамических параметров.;

умения:

- теоретические: усвоение физических основ процессов, протекающих при формировании стационарного и нестационарного сверхзвукового струйного течения и знание достоинств и недостатков расчетных методов, а также экспериментальных способов определения газодинамических параметров в сверхзвуковых струйных течениях;
- практические: использование изученных методов расчета струйных течений для решения прикладных задач, возникающих при проектировании стартовых комплексов и технических средств.;

навыки:

- знание расчетных методов и экспериментальных способов определения газодинамических параметров;
- определение параметров струйных течений для различных условий истечения с помощью прикладного программного обеспечения;
- умение анализировать и правильно интерпретировать полученные результаты..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению 24.05.01 *Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА, ПАКЕТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В SIMULINK, ТЕРМОДИНАМИКА, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ГАЗОВЫЕ ПРИВОДЫ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИ СТАРТЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПУСКА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач
- ПСК-01 — способность с использованием CALS-технологий определять внешний облик изделий, разрабатывать состав и объемно-массовые характеристики систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс
- ПСК-02 — способность проводить техническое проектирование изделий ракетной и ракетно-космической техники с использованием твердотельного компьютерного моделирования в соответствии с единой системой конструкторской документации и на базе современных программных комплексов
- ПСК-04 — способность проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем для прогнозирования функционирования, оптимизации, ожидаемых рисков и возможных отказов
- ПСК-09 — способность разрабатывать газоотводящие системы пусковых устройств и устройства для снижения воздействия потоков газа ракетных двигателей при старте ракет

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-09
4	8	Раздел 1. Введение. 1.1. Классификация струйных течений. 1.2. Элементы струйных течений и их свойства. 1.3. Проблемы исследования струйных течений.	2	2	2	0	0	5
4	8	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них. 2.1. Основные допущения для изэнтропических течений и анализ области их применимости 2.2. Соотношения для изэнтропических течений. 2.3. Установившееся истечение газа из сосуда через малое отверстие. 2.4. Одномерное стационарное изэнтропическое сверхзвуковое течение газа в сопле Лаваля (сопле РД). 2.5. Акустические волны и характеристики. Конус Маха 2.6. Течение Прандтля-Майера. 2.7. Прямой скачок уплотнения. Давление Пито. 2.8. Косой скачок уплотнения. 2.9. Схема сверхзвукового обтекания конус-цилиндрического тела 2.10. Ударные волны.	40	5	2	3	35	20
4	8	Раздел 3. Термодинамика струйных течений. 3.1. Термодинамическая система. 3.2. Параметры состояния. 3.3. Первое начало термодинамики. 3.4. Необратимые и обратимые процессы. 3.5. Совершенные газы. 3.6. Применение первого начала к обратимым процессам. 3.7. Каноническое уравнение состояния. Свободная энергия и свободная энтальпия. Соотношения взаимности. 3.8. Энтропия и процессы переноса. 3.9. Смеси совершенных газов. 3.10. Закон действующих масс и примеры его применения. 3.11. Реальные газы в газовой динамике. Диссоциация. Конденсация.	25	3	3	0	22	5
4	8	Раздел 4. Дозвуковые и сверхзвуковые осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания. 4.1. Турбулентность. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о Колмогоровском масштабе. 4.2. Турбулентная диффузия в слое смешения. Процессы догорания. 4.3. Эжекционные течения воздуха. 4.4. Закон изменения скоростного напора, концентрации продуктов сгорания и энтальпии по длине струи. Дальнобойность струй.	14	8	4	4	6	10
4	8	Раздел 5. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях. 5.1. Причины радиальных колебаний газа в сверхзвуковых струях. 5.2. Структурные элементы поля течения. Общая характеристика газодинамических процессов. 5.3. Изэнтропическая зона. Истечение газа в вакуум. 5.4. Особенности течения в районе среза сопла для недорасширенных и перерасширенных струй. Висячий скачок уплотнения. 5.5. Диск Маха и отраженный скачок уплотнения. Первая разгонная зона. 5.6. Общая характеристика течения в «бочках» 5.7. Струйное течение в режиме сильного перерасширения. Истечение в вакуум 5.8. Акустическое поле свободной струи. Источники излучения и оценка параметров.	19	11	6	5	8	15
4	8	Раздел 6. Особенности блочных струй. Влияние ветра и поворота сопел на струйные течения. 6.1. Блочные струи плотной и разреженной компоновки. Особенности течения в межструйной области 6.2. Понятие об эквивалентной струе 6.3. Влияние ветра на распространение струй 6.4 Влияние поворота сопел на распространение струй.	2	2	2	0	0	10
4	8	Раздел 7. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги). 7.1. Процессы при запуске ракетного двигателя. Пусковые волны 7.2. Переход от докритического режима истечения к критическому 7.2. Формирование сверхзвуковой струи. 7.3. Реализация отрывного и безотрывного режима течения в сопле. 7.4. Пульсационные режимы. Эффект Пауэлла.	6	6	6	0	0	15
4	8	Раздел 8. Понятие о численных методах расчета сверхзвуковых струй. 8.1. Основные проблемы расчет сверхзвуковых струй 8.2. Требования к расчетной сетке 8.3. Требования к методу 8.4. Особенности моделирования турбулентности в сверхзвуковых струях Методология LES 8.5. Маршевый метод 8.6. Структурно-элементный метод.	33	11	6	5	22	10
4	8	Раздел 9. Методы экспериментального исследования струй. 9.1. Стендовое оборудование для моделирования воздушных струй и струй горячего газа. 9.2. Измерение статического давления. 9.3. Измерение полного давления. 9.4. Измерения числа Маха и скорости потока. 9.5. Измерение температуры и теплопередачи. 9.6. Измерение плотности потока. 9.7. Оптические методы изучения потока.	3	3	3	0	0	10
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100

3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.	Расчет одномерного течения газа в сопле Лаваля	3
2	Раздел 4. Дозвуковые и сверхзвуковые осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	Расчет изменения напора и температуры торможения по длине струи	4
3	Раздел 5. Ударноволновые процессы в	Расчет осесимметричной свободной	5

	сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях.	стационарной сверхзвуковой неизобарической струи структурноэлементным методом	
4	Раздел 8. Понятие о численных методах расчета сверхзвуковых струй.	Расчет осесимметричной свободной стационарной сверхзвуковой неизобарической струи в пакете Ansys Fluent	5
Всего за 8 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.	Повторение тем "изоэнтропические течения", "истечение через малое отверстие", "одномерное течение в сопле Лаваля", "акустические волны и характеристики", "течение Прандтля-Майера", "прямой скачок уплотнения", "косой скачок уплотнения" из курса "Механика жидкости и газа"	20
2		Самостоятельное изучение дидактических единиц 2.9-2.10 по учебной литературе	10
3		Подготовка к лабораторной работе	2
4		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	3
5	Раздел 3. Термодинамика струйных течений.	Повторение дидактических единиц 3.1-3.4, 3.8 (курс "Термодинамика")	10
6		Самостоятельное изучение дидактических единиц 3.5-3.7, 3.9-3.11 по учебной литературе	12
7	Раздел 4. Дозвуковые и сверхзвуковые осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	Подготовка к лабораторной работе	2
8		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	4
9	Раздел 5. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях.	Подготовка к лабораторной работе	3
10		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	5
11	Раздел 8. Понятие о численных методах расчета сверхзвуковых струй.	Изучение основ работы в пакете Ansys Fluent по учебной литературе	17
12		Подготовка к лабораторной работе	2
13		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	3
Всего за 8 семестр			93

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8			Отч. по ЛР			ДР			Отч. по ЛР	ДР				Отч. по ЛР		ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;

- отчет по ЛР;
- вопросы к дифференцированному зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. М.: Полиграфикс РПК, 2005, эл. рес.
2. А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
3. В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 148 экз.
4. Г. В. Белов. . Термодинамика. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
5. Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 175 экз.
6. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, эл. рес.
7. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
8. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 30 экз.
9. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
10. К. Н. Волков, Ю. Н. Дерюгин, В. Н. Емельянов. . Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014, 10 экз.
11. Н. В. Быков. . Газовая динамика. Одномерные течения совершенного газа. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. . Гидрогазодинамика и теплообмен. Термодинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://ura.it.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. ANSYS 2020 R2;
2. Matlab 2015a SP1.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Лабораторные занятия:

1. ANSYS 2020 R2;
2. Matlab 2015a SP1.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-09 способность разрабатывать газоотводящие системы пусковых устройств и устройства для снижения воздействия потоков газа ракетных двигателей при старте ракет.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с образованием струйных течений, физическими процессами, сопровождающими их формирование и распространение: переход от дозвуковых скоростей течения газа к сверхзвуковым, образование газодинамических разрывов, зон смешения потока, турбулентность струйных течений, акустические и эжекционные процессы.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;
- вопросы к дифференцированному зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.		
Повторение тем "изоэнтропические течения", "истечение через малое отверстие", "одномерное течение в сопле Лаваля", "акустические волны и характеристики", "течение Прандтля-Майера", "прямой скачок уплотнения", "косой скачок уплотнения" из курса "Механика жидкости и газа"	А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа: Москва: Юрайт, 2020 (2-5) А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа: Москва: Юрайт, 2020 (2-5) Н. В. Быков. . Газовая динамика. Одномерные течения совершенного газа: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (2-3)	20
Самостоятельное изучение дидактических единиц 2.9-2.10 по учебной литературе	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)	10
Подготовка к лабораторной работе		2
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы		3
Итого по разделу 2		35
Раздел 3. Термодинамика струйных течений.		
Повторение дидактических единиц 3.1-3.4, 3.8 (курс "Термодинамика")	Г. В. Белов. . Термодинамика: Москва: Юрайт, 2020 (3-4) . Газодинамика и теплообмен. Термодинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (5)	10
Самостоятельное изучение дидактических единиц 3.5-3.7, 3.9-3.11 по учебной литературе		12
Итого по разделу 3		22
Раздел 4. Дозвуковые и сверхзвуковые осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.		
Подготовка к лабораторной работе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (3)	2
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (5)	4
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях.		
Подготовка к лабораторной работе	Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование	3
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы		5

	газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (4) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (4)	
Итого по разделу 5		8
Раздел 8. Понятие о численных методах расчета сверхзвуковых струй.		
Изучение основ работы в пакете Ansys Fluent по учебной литературе	К. Н. Волков, Ю. Н. Дерюгин, В. Н. Емельянов. . Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014 (3)	17
Подготовка к лабораторной работе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (4)	2
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (3)	3
Итого по разделу 8		22

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к дифференцированному зачету;
- отчет по ЛР;
- дифференцированный зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы к дифференцированному зачету

1. Основные допущения и соотношения для изоэнтропических течений и анализ области их применимости
2. Установившееся истечение газа из сосуда через малое отверстие.
3. Одномерное стационарное изоэнтропическое сверхзвуковое течение газа в сопле Лаваля (сопле РД).
4. Акустические волны и характеристики. Конус Маха. Течение Прандтля-Майера.
5. Прямой скачок уплотнения. Давление Пито. Ударные волны
6. Косой скачок уплотнения.
7. Термодинамическая система. Параметры состояния. Первое начало термодинамики. Необратимые и обратимые процессы. Применение первого начала к обратимым процессам
8. Каноническое уравнение состояния. Свободная энергия и свободная энтальпия. Соотношения взаимности.
9. Энтропия и процессы переноса. Смеси совершенных газов. Закон действующих. Диссоциация. Конденсация.
10. Турбулентность в струях. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о Колмогоровском масштабе. Турбулентная диффузия в слое смешения.
11. Процессы догорания. Эжекционные течения воздуха. Законы изменения скоростного напора, концентрации продуктов сгорания и энтальпии по длине струи.
12. Ударноволновая структура недорасширенной струи.
13. Ударноволновая структура перерасширенной струи.
14. Струйное течение в режиме сильного перерасширения. Истечение в вакуум. Акустическое поле свободной струи.
15. Особенности блочных струй.
16. Влияние ветра и поворота сопел на струйные течения
17. Процессы при запуске ракетного двигателя. Пусковые волны. Переход к критическому режиму
18. Процессы при запуске ракетного двигателя. Формирование сверхзвуковой струи. Отрывные течения в сопле. Пульсационные режимы.
19. Численные методы расчета. Требования к расчетной сетке и к методу. Методы сквозного счета и маршевые методы
20. Особенности моделирования турбулентности в сверхзвуковых струях Методология LES
21. Схемы стендов для исследования струйных течений
22. Методы экспериментального исследования струй.
23. Измерение основных параметров струйных течений в экспериментах

Отчет по ЛР

По результатам каждой лабораторной работы студенты оформляют отчеты в бумажном виде, включающие цели работы, основные формулы и результаты в форме таблиц, графиков и полей течения. Студент допускается к защите, если основные искомые величины определены правильно с погрешностью не более 1% и при наличии правильно оформленного отчета. Защита проходит в форме ответов на вопросы преподавателя (3 вопроса). Лабораторная работа считается защищенной при правильных ответах не менее, чем на 2 вопроса.

Дифференцированный зачет

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Дифференцированный зачет по дисциплине проходит по вопросам из списка, приведенного в пункте "Вопросы к дифференцированному зачету". Студент допускается к дифференцированному зачету при условии защищенных лабораторных работ.

Оценка выставляется после собеседования со студентом по билету в соответствии со следующими критериями:

- оценка ОТЛИЧНО – полное раскрытие теоретического вопроса при высоком уровне владения материалом;
- оценка ХОРОШО – полное раскрытие теоретического вопроса при среднем уровне владения материалом;
- оценка УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО – полное раскрытие теоретического вопроса при слабом уровне владения материалом, либо недостаточно полное раскрытие теоретического вопроса при среднем уровне владения материалом;
- оценка НЕ ЗАЧТЕНО – в иных случаях.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-09	
4	8	Раздел 1. Введение.	2	2	2	0	0	5	Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.	40	5	2	3	35	20	Вопросы к дифференцированному зачету, Отчет по ЛР
4	8	Раздел 3. Термодинамика струйных течений.	25	3	3	0	22	5	Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 4. Дозвуковые и сверхзвуковые осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	14	8	4	4	6	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Отчет по ЛР
4	8	Раздел 5. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях.	19	11	6	5	8	15	Вопросы к дифференцированному зачету, Отчет по ЛР
4	8	Раздел 6. Особенности блочных струй. Влияние ветра и поворота сопел на струйные течения.	2	2	2	0	0	10	Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 7. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).	6	6	6	0	0	15	Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 8. Понятие о численных методах расчета сверхзвуковых струй.	33	11	6	5	22	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Отчет по ЛР
4	8	Раздел 9. Методы экспериментального исследования струй.	3	3	3	0	0	10	Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	