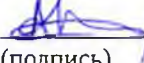


УТВЕРЖДАЮ  
Дека́н факультета

  
Юнаков Л. П.  
(подпись) ФИО  
« 21 » 05 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

Направление/специальность подготовки	24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов
Уровень высшего образования	Бакалавриат
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	3	108	39	0	13	26	69	0	0	69	зач.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

### 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

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-3.1 — Способность проводить эксплуатацию комплексов и систем заправки ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов компонентами ракетного топлива

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПСК-3.1**

*знания:*

- на уровне представлений - знать о типах струйных течений, структуре сверхзвукового течения, газодинамических элементах (изоэнтропическая зона, падающие и отраженные скачки уплотнения, нерегулярное отражение, слой смещения, 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 24.03.01 *Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА, МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА, ПРОГРАММИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB, ПАКЕТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ТЕРМОДИНАМИКА, ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ, 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 в профессиональной деятельности
- ОПК-2 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств и использовать их при решении задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники, включая управление проектами создания новых образцов техники и утилизации устаревших
- ПСК-3.1 — Способность проводить эксплуатацию комплексов и систем заправки ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов компонентами ракетного топлива
- ПСК-3.5 — Способность проводить проектирование гидравлических и пневматических приводов
- УК-1 — Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-3.1
4	8	<b>Раздел 1. Введение.</b> 1.1. Классификация струйных течений. 1.2. Элементы струйных течений и их свойства. 1.3. Проблемы исследования струйных течений.	2	2	0	2	0	5
4	8	<b>Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.</b> 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 Лавала (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.	33	9	3	6	24	17
4	8	<b>Раздел 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.</b> 3.1. Турбулентность. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о Колмогоровском масштабе. 3.2. Турбулентная диффузия в слое смешения. Процессы догорания. 3.3. Эжекционные течения воздуха. 3.4. Закон изменения скоростного напора, концентрации продуктов сгорания и энтальпии по длине струи. Дальность струй.	23	8	5	3	15	18
4	8	<b>Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.</b> 4.1. Причины радиальных колебаний газа в сверхзвуковых струях. 4.2. Структурные элементы поля течения. Общая характеристика газодинамических процессов. 4.3. Изэнтропическая зона. Истечение газа в вакуум. 4.4. Особенности течения в районе среза сопла для недорасширенных и перерасширенных струй. Висячий скачок уплотнения. 4.5. Диск Маха и отраженный скачок уплотнения. Первая разгонная зона. 4.6. Общая характеристика течения в «бочках» 4.7. Струйное течение в режиме сильного перерасширения. Истечение в вакуум 4.8. Акустическое поле свободной струи. Источники излучения и оценка параметров.	19	9	5	4	10	20
4	8	<b>Раздел 5. Особенности блочных струй. Влияние ветра и поворота сопел на струйные течения.</b> 5.1. Блочные струи плотной и разреженной компоновки. Особенности течения в межструйной области 5.2. Понятие об эквивалентной струе.	2	2	0	2	0	8
4	8	<b>Раздел 6. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).</b> 6.1. Процессы при запуске ракетного двигателя. Пусковые волны 6.2. Переход от докритического режима истечения к критическому 6.3. Формирование сверхзвуковой струи. 6.4. Реализация отрывного и безотрывного режима течения в сопле. 6.5. Пульсационные режимы. Эффект Пауэлла.	12	4	0	4	8	17
4	8	<b>Раздел 7. Методы экспериментального исследования струй.</b> 7.1. Стендовое оборудование для моделирования воздушных струй и струй горячего газа. 7.2. Измерение статического давления. 7.3. Измерение полного давления. 7.4. Измерения числа Маха и скорости потока. 7.5. Измерение температуры и теплопередачи. 7.6. Измерение плотности потока. 7.7. Оптические методы изучения потока.	17	5	0	5	12	15
<b>Всего за 8 семестр</b>			108	39	13	26	69	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	39	13	26	69	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение.	Элементы струйных течений и их свойства.	2
2	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.	Соотношения для изэнтропических течений. Установившееся истечение газа из сосуда через малое отверстие.	3
3		Течения разрежения и скачки уплотнения	3
4	Раздел 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	Процессы турбулентного смешения и догорания.	3
5	Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.	Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных стационарных струях.	4
6	Раздел 5. Особенности блочных струй. Влияние	Блочные струи	2

	ветра и поворота сопел на струйные течения.		
7	Раздел 6. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).	Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей	4
8	Раздел 7. Методы экспериментального исследования струй.	Экспериментальное исследование струй.	5
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>26</b>

### 3.3. 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 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	Расчет изменения напора и температуры торможения по длине струи	5
3	Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.	Расчет осесимметричной свободной стационарной сверхзвуковой неизобарической струи структурноэлементным методом	5
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>13</b>

### 3.4. 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.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 2.9-2.10 по учебной литературе	10
2		Подготовка к лабораторной работе	2
3		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	2
4		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"	10
5	Раздел 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	Подготовка к лабораторной работе	4
6		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	11
7	Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.	Подготовка к лабораторной работе	3
8		Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	7
9	Раздел 6. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).	Самостоятельное изучение дидактических единиц 6.2-6.3 по учебной литературе	8
10	Раздел 7. Методы экспериментального исследования струй.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 7.2-7.4 по учебной литературе	12

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Условные обозначения:

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

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

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

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- 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. 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.
5. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 30 экз.
6. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
7. 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:

не требуется.

### 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.

### 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](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. Практические 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 *24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. 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-3.1 Способность проводить эксплуатацию комплексов и систем заправки ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов компонентами ракетного топлива.

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 зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**26 ч.**), лабораторный практикум (**13 ч.**), самостоятельная работа студента (**69 ч**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 39 ч. аудиторных занятий, и 69 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.
<b>Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.</b>		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 2.9-2.10 по учебной литературе	А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа: Москва: Юрайт, 2020 (2-5)	10
Подготовка к лабораторной работе	А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа: Москва: Юрайт, 2020 (2-5)	2
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	Н. В. Быков. . Газовая динамика. Одномерные течения совершенного газа: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (2-3)	2
Повторение тем "изоэнтропические течения", "истечение через малое отверстие", "одномерное течение в сопле Лавала", "акустические волны и характеристики", "течение Прандтля-Майера", "прямой скачок уплотнения", "косой скачок уплотнения" из курса "Механика жидкости и газа"	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)	10
Итого по разделу 2		24
<b>Раздел 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.</b>		
Подготовка к лабораторной работе	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
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (3)	11
Итого по разделу 3		15
<b>Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.</b>		
Подготовка к лабораторной работе	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 (4)	3
Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и	7

	моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (4)	
Итого по разделу 4		10
<b>Раздел 6. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).</b>		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 6.2-6.3 по учебной литературе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (4) 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) . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2005 (3)	8
Итого по разделу 6		8
<b>Раздел 7. Методы экспериментального исследования струй.</b>		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 7.2-7.4 по учебной литературе	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 (6)	12
Итого по разделу 7		12

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к зачету;
- отчет по ЛР;
- 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 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. Турбулентность в струях. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о Колмогоровском масштабе. Турбулентная диффузия в слое смешения.
8. Процессы догорания. Эжекционные течения воздуха. Законы изменения скоростного напора, концентрации продуктов сгорания и энтальпии по длине струи.
9. Ударноволновая структура недорасширенной струи.
10. Ударноволновая структура перерасширенной струи.
11. Струйное течение в режиме сильного перерасширения. Истечение в вакуум. Акустическое поле свободной струи.
12. Особенности блочных струй.
13. Процессы при запуске ракетного двигателя. Пусковые волны. Переход к критическому режиму
14. Процессы при запуске ракетного двигателя. Формирование сверхзвуковой струи. Отрывные течения в сопле. Пульсационные режимы.
15. Схемы стендов для исследования струйных течений
16. Методы экспериментального исследования струй.
17. 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.

#### 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. Студент допускается к зачету при условии защищенных лабораторных работ. Зачет проходит в форме собеседования с преподавателем по одному из вопросов из перечня вопросов к зачету. Оценка "зачтено" проставляется, если вопрос полностью раскрыт и в собеседовании студент продемонстрировал удовлетворительное владение материалом.



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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-3.1	
4	8	Раздел 1. Введение.	2	2	0	2	0	5	Вопросы к зачету
4	8	Раздел 2. Основные типы газодинамических течений и газодинамические соотношения для них.	33	9	3	6	24	17	Отчет по ЛР, Вопросы к зачету
4	8	Раздел 3. Сверхзвуковые неизобарические осесимметричные стационарные струи. Процессы турбулентного смешения и догорания.	23	8	5	3	15	18	Отчет по ЛР, Вопросы к зачету
4	8	Раздел 4. Ударноволновые процессы в сверхзвуковых осесимметричных неизобарических стационарных струях.	19	9	5	4	10	20	Отчет по ЛР, Вопросы к зачету
4	8	Раздел 5. Особенности блочных струй. Влияние ветра и поворота сопел на струйные течения.	2	2	0	2	0	8	Вопросы к зачету
4	8	Раздел 6. Нестационарные струйные течения при запуске ракетных двигателей и выходе на установившийся режим (главную ступень тяги).	12	4	0	4	8	17	Вопросы к зачету
4	8	Раздел 7. Методы экспериментального исследования струй.	17	5	0	5	12	15	Вопросы к зачету
Всего за 8 семестр			108	39	13	26	69	100	
Всего по дисциплине			108	39	13	26	69	100	