

4408

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор -
проректор по образовательной
деятельности

В.А.Бородавкин

08 2020



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

(указывается индекс и наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)

Направление подготовки **24.05.01** Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Квалификация (степень) выпускника **Специалист**

(бакалавр/магистр/специалист)

Профиль подготовки: Моделирование и информационные технологии проектирования ракетно-космических систем

Форма обучения **Очная**

Факультет **А «РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»**

(указывается индекс и полное наименование факультета Университета, заказавшего программу)

Выпускающая кафедра **А1 «РАКЕТОСТРОЕНИЕ»**

(указывается индекс и полное наименование выпускающей кафедры)

Кафедра-разработчик рабочей программы **А9 «ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА»**

(указывается индекс и полное наименование кафедры, составившей и реализующей программу)

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) * | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) | | | | | | | | | | | | | Вид итогового контроля (ЭКЗАМЕН, ЗАЧЁТ, ДИФФ. ЗАЧЁТ) |
|-------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|------------------------|----------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------|----------------------------|---|
| | | | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ | | | | | | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА | | | | | | |
| | | | | ВСЕГО | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | | ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАНЯТИЙ | ВСЕГО | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | РАСЧЁТНО - ГРАФ. РАБОТА | РЕФЕРАТ | ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ | |
| | | | | | | | ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ | СЕМИНАРЫ | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 4 | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | - | - | 76 | - | - | - | - | 76 | Экз. |
| ИТОГО | | 4 | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | - | - | 76 | - | - | - | - | 76 | |

Начальник отдела основных образовательных программ

«31» 08 2020

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

(указывается индекс и наименование направления специальности)

Программу составили:

Кафедра А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника»

Шалимов В.П., доц., к.т.н.

Эксперт(ы): Капанов Илья Евгеньевич

вед. инженер ЦКБ МТ «Рубин», к.т.н.

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика рабочей программы

А9 «Плазмогазодинамика и теплотехника»

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

Заведующий кафедрой Емельянов В.Н., д.т.н., профессор

«31» 08 2020 г.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

А1 «Ракетостроение»

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А. д.т.н., профессор /

«31» 08 2020 г.

Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 24.00.00

(индекс)

Авиационная и ракетно-космическая техника

(полное наименование направления) (№ протокола)

«31» 08 2020 г. Председатель УМК по УГНиСП Сырцев А.Н., д.в.н., профессор /

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 08 2020 г.

Директор библиотеки БГТУ Сесина Н.В.

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)

Разделы рабочей программы

| | |
|--|----|
| 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 4 |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО..... | 5 |
| 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 6 |
| 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 11 |
| 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 12 |
| 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 14 |

Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Технологии и формы преподавания

Приложение 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Приложение 4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приложение 5. Фонды оценочных средств

Приложение 6. Справка о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова учебной литературы

Приложение 7. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций на уровнях:

Общекультурные:

| | |
|--|-------------------|
| ОК-2 – способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач | Пороговый уровень |
|--|-------------------|

Профессионально-специализированных:

| | |
|---|-------------------|
| ОПК-2 – пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей) | Пороговый уровень |
|---|-------------------|

Целью освоения дисциплины является достижение следующих результатов образования:

знания:

на уровне представлений: приобретение студентом знаний в области аэрогазодинамики (ОК-2, ОПК-2);

на уровне воспроизведения: описание моделей аэрогазодинамики, основные методы расчета задач аэрогазодинамики, методы теоретического и экспериментального исследования процесса до- и сверхзвукового течения газа (ОК-2);

на уровне понимания: изучить основные методы расчета аэрогазодинамики (ОК-2, ОПК-2),

умения:

теоретические: определять режим движения и виды сопротивлений русла потока в зависимости от режима движения; анализировать процесс течения до- и сверхзвукового газа (ОПК-2);

Практические: решать задачи аэрогазодинамики (ОК-2, ОПК-2),

навыки:

постановки и решения практических задач; использования расчетных зависимостей для определения параметров покоящейся и движущейся жидкости; определять скорость потока (ОК-2, ОПК-2).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Аэрогидрогазодинамика» является дисциплиной базовой части Блока 1 подготовки студентов по направлению подготовки 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» дисциплины ФГОСЗ+.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин:

- Введение в специальность;
 - Физика;
 - Математика 2, Математика 1, Математика 3, Математика 4, Математика 5;
 - Теоретическая механика,
- и служит основой для освоения дисциплин:
- Теплообменные аппараты;
 - Теория и техника гидроаэромеханического и теплофизического экспериментов;
 - Динамика вязких жидкости, газа и струй;
 - дипломное проектирование

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

ОК-1 способностью владеть культурой мышления, обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути их достижения.

ОК-7 способностью критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(с распределением общего бюджета времени в часах)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часов.

| КУРС | СЕМЕСТР | НОМЕРА РАЗДЕЛОВ | НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ | ВСЕГО | АУДИТОРНЫЕ | | | | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ | ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ | |
|------|---------|-----------------|---|-------|------------|--------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------|
| | | | | | ВСЕГО | ЛЕКЦИИ | АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (СЕМИНАР) | ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | | ОК-2, % | ОПК-2, % |
| 3 | 5 | 1 | Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики Аэрогидрогазодинамика как раздел механики. Задачи, решаемые аэрогидрогазодинамикой. Разделы аэрогидрогазодинамики. | 5 | 2 | 2 | | | 3 | 10 | 4 |
| 3 | 5 | 2 | Раздел 2. Основные понятия и определения Понятие сплошной среды. Понятие легкодеформируемой (текучей) среды. Сжимаемая и несжимаемая среда. Понятие жидкой частицы и скорости жидкой частицы. Термодинамические параметры газов и паров. Совершенные газы. Вязкость и теплопроводность газов. Невязкие и нетеплопроводные (изоэнтропические) течения. Внутренняя энергия и энтальпия газовых потоков. | 10 | 6 | 4 | 2 | | 4 | 12 | 8 |
| 3 | 5 | 3 | Раздел 3. Уравнение неразрывности Формулировка закона сохранения массы жидкой частицы. Дивергенция скорости – скорость объемной деформации жидкой частицы. Критерий сжимаемости и несжимаемости потока. | 12 | 3 | 2 | 1 | | 9 | 12 | 8 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----|----|---|---|---|----|----|----|
| 3 | 5 | 4 | <p>Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера)</p> <p>Силы вязкого трения. Гипотеза Ньютона о вязких напряжениях. Условие пренебрежения вязкими силами. Невязкий (идеальный) газ. Второй закон Ньютона для движения идеального газа в гравитационном поле – уравнения Эйлера. Начальные и граничные условия.</p> <p>Покоящаяся тяжелая жидкость – уравнение гидростатики (как решение уравнения Эйлера).</p> <p>Покоящийся сжимаемый газ в гравитационном поле – уравнение атмосферы (как решение уравнения Эйлера).</p> | 14 | 6 | 4 | 2 | | 8 | 10 | 15 |
| 3 | 5 | 5 | <p>Раздел 5. Уравнение энергии</p> <p>Понятие линии и струйки тока. Полная энергия движущегося газа. Закон энергии для струйки тока.</p> <p>Случай изэнтропического течения – уравнение Бернулли.</p> | 14 | 3 | 2 | 1 | - | 11 | 10 | 10 |
| 3 | 5 | 6 | <p>Раздел 6. Изэнтропические течения газа</p> <p>Система уравнений движения изэнтропического течения совершенного газа. Скорость звука. До- и сверхзвуковые течения. Число Маха.</p> <p>Газодинамические функции.</p> | 14 | 3 | 2 | 1 | | 11 | 10 | 12 |
| 3 | 5 | 7 | <p>Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа</p> <p>Измерения давлений в потоке с помощью приемников давления (Пито, Пито-Прандтля, Прандтля, Вентури).</p> <p>Обтекание потоком твердых тел. Аэродинамические силы и характеристики. Центр давления тела. Устойчивость летательного аппарата.</p> <p>Возникновение подъемной силы, силы лобового сопротивления и момента тангажа на примерах осесимметричного тела и профиля крыла.</p> | 25 | 15 | 6 | 3 | 6 | 10 | 12 | 15 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 3 | 5 | 8 | Раздел 8. Изотропические течения сжимаемого газа (течения в соплах) Течение в каналах переменного сечения. Сопла и диффузоры. Сопло Лавала. Режимы истечения из сопла. Критическое истечение из сопла. Критические параметры течения. Расходная функция сопла. Степень нерасчетности струи. Расчет параметров течения в сопле Лавала с помощью газодинамических функций: - случай одномерного течения, - случай двумерного течения (модель сферического источника) | 25 | 15 | 6 | 4 | 5 | 10 | 12 | 15 |
| 3 | 5 | 9 | Раздел 9. Неизотропические течения сжимаемого газа. Вязкие теплопроводные течения. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Понятие вязкого пограничного слоя. Течения со скачками уплотнения. Возникновение скачков. Прямой и косой скачки. Соотношение параметров на скачках. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Измерения давлений трубкой Пито-Прандтля в сверхзвуковом потоке. | 25 | 15 | 6 | 3 | 6 | 10 | 12 | 13 |
| ВСЕГО ЗА 5-й семестр | | | | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | 76 | 100% | 100% |
| ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ | | | | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | 76 | 100% | 100% |

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

3.2. Аудиторный практикум

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины | Тема практического занятия | Объем, ауд. часов |
|-------|---|--|-------------------|
| 1 | Раздел 2. Основные понятия и определения | Понятие «точки» пространства сплошной среды. Критерий сплошности – число Кнудсена (Kn). Количественные характеристики линейной и объемной деформации. Скорость линейной и объемной деформации. Зависимость скорости деформации от возникающих в среде напряжений. Совершенный газ. Уравнение Клапейрона. Коэффициент вязкости. Гипотеза Ньютона. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье. Теплоемкость газов C_p и C_v . Энтропия. Внутренняя энергия и энтальпия. Изотропическое течение. | 2 |
| 2 | Раздел 3. Уравнение неразрывности | Закон сохранения энергии для жидкой частицы. Источники и стоки массы. Дивергенция скорости. Физический смысл «прямых» производных скорости. | 1 |
| 3 | Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера) | Второй закон Ньютона для движущейся в гравитационном поле жидкой частицы в отсутствие вязкого трения. Градиент давления. Начальные и граничные условия. Случай покоящейся тяжелой жидкости. Уравнение гидростатики. | 2 |

| | | | |
|--------|---|---|----|
| | | Случай покоящегося газа. Уравнение атмосферы. | |
| 4 | Раздел 5. Уравнение энергии | Струйка тока. Полная энергия потока. Уравнение энергии. Изоэнтропическое стационарное течение. Уравнение Бернулли в общем виде и для несжимаемого и сжимаемого течений. Максимальная скорость потока. | 1 |
| 5 | Раздел 6. Изоэнтропические течения газа | Малые возмущения упругой среды (звук) и скорость звука. Звуковое давление. Логарифмическая шкала для измерения интенсивности (силы) звука (Дб и ДБа). Число Маха. Система уравнений для изоэнтропического сжимаемого стационарного течения совершенного газа. Газодинамические функции. Критическое течение и критические параметры течения. | 1 |
| 6 | Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа | Приемники (трубки) давления: Пито, Прандтля, Пито-Прандтля. Трубка Вентури. Расчет полного и статического давлений потока по измерениям приемников давления. Аэродинамические силы, моменты и коэффициенты. Устойчивость ЛА. | 3 |
| 7 | Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах) | Сопло Лавала. Режимы течения. Расчет параметров течения в сопле Лавала (одномерное течение). Расчет параметров течения в сопле Лавала (двумерное течение). Расход газа через сопло. Нерасчетность струи. Реактивная сила (тяга) сопла. | 4 |
| 8 | Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа | Вязкость. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Пограничный слой. Скачок уплотнения. Соотношение параметров на скачке. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Расчет полного и статического давлений сверхзвукового потока по измерениям трубкой Пито-Прандтля. Потеря полного давления на скачке | 3 |
| Итого: | | | 17 |

3.3. Лабораторный практикум

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины | Тема лабораторного занятия | Наименование лаборатории | Объем, ауд. часов |
|-------|---|--|------------------------------|-------------------|
| 1 | Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа | 1) Определение аэродинамических характеристик профиля по распределению давления. 2) Исследование аэродинамических характеристик оперенного тела на аэродинамических весах | Газодинамическая лаборатория | 6 |
| 2 | Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах) | Истечения газа из сосуда конечного объема. Течения газа по соплу Лавала | Газодинамическая лаборатория | 5 |
| 3 | Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа. | 1) Скачки уплотнения в сверхзвуковой перерасширенной струе. 2) Натекание сверхзвуковой струи на преграду конечных размеров | Газодинамическая лаборатория | 6 |

| | |
|---------------|-----------|
| Итого: | 17 |
|---------------|-----------|

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

| Номер и наименование раздела дисциплины | СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ | время (час) |
|--|---|-------------|
| | | СРС |
| Раздел 1. Предмет механики жидкости и газа | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 3 |
| Раздел 2. Основные понятия и определения | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 3 |
| | Подготовка к практическим занятиям | 1 |
| Раздел 3. Уравнение неразрывности | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 6 |
| | Подготовка к практическим занятиям | 3 |
| Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера) | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 6 |
| | Подготовка к практическим занятиям | 2 |
| Раздел 5. Уравнение энергии | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 9 |
| | Подготовка к практическим занятиям | 2 |
| Раздел 6. Изэнтропические течения газа | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 9 |
| | Подготовка к практическим занятиям | 2 |
| Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 8 |
| | Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. | 2 |
| Раздел 8. Изэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах) | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 6 |
| | Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. | 2 |
| | Оформление отчетов для защиты ЛР | 2 |
| Раздел 9. Неизэнтропические течения сжимаемого газа | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. | 6 |
| | Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. | 2 |
| | Оформление отчетов для защиты ЛР | 2 |
| ВСЕГО: | | 76 |

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ГРАФИК КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

| СЕ- МЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|------|----|----|------|----|----|----|------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 5 | | | | | | | | | ЛР-1 | | | ЛР-2 | | | | ЛР-2 | |

Условные обозначения:

- ЛР-1 – сдача одной лабораторных работ
- ЛР-2 – сдача двух лабораторных работ;
- КП – защита курсового проекта;

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- выполнение лабораторных работ;
- защита лабораторных работ;
- контрольная работа

Рубежная аттестация студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- защита лабораторных работ

Итоговый контроль по результатам семестра по дисциплине проходит в форме экзамена, который включает в себя ответы на теоретические вопросы.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература

1. Циркунов, Юрий Михайлович. Лекции по механике жидкости и газа [Электронный ресурс] : [учебное пособие для вузов] / Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - [\lib_server\elres\elr01960.pdf](#).
2. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 3. - 2014. - 75 с. : граф., схемы, табл., фото. - Библиогр.: с. 74. - Услов. обознач.: с. 3. - 62 экз.
3. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\lib_server\elres\elr02092.pdf](#). Ч. 3. - 2014. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл., фото. - Библиогр.: с. 74. - Услов. обознач.: с. 3.

5.2. Дополнительная литература

4. Моисеев, Марк Георгиевич. Основы аэрогазодинамики [Текст] : учебное пособие для вузов / М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2006. - 144 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 143. - ISBN 5-85546-229-3 - 175 экз.
5. Моисеев, Марк Георгиевич. Основы аэрогазодинамики [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2006. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\lib_server\elres\elr00768.pdf](#). - Библиогр.: с. 143. - ISBN 5-85546-229-3
6. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 1 : Основные понятия. Газодинамические таблицы. - 2007. - 271 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 270. - Осн. обознач.: с. 3-4. - Индексы: с. 5. - ISBN 978-5-85546-305-7 - 466 экз.
7. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 1 : Основные понятия. Газодинамические таблицы. - 2007. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 270. - Осн. обознач.: с. 3-4. - Индексы: с. 5. - ISBN 978-5-85546-305-7
8. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 2 : Описание лабораторных работ. - 2009. - 99 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 98. - 352 экз.
9. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Загл. с титул. экрана. - Электрон.

версия печ. публикации [\\lib_server\elres\elr01443.pdf](http://lib_server/elres/elr01443.pdf). Ч. 2 : Описание лабораторных работ. - 2009. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 98.

10. Лойцянский, Лев Герасимович. Механика жидкости и газа : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 840 с. : ил., граф., схем., табл. - Указатель имен : с. 831 - 834. - Предметный указ. : с. 835 - 840. - 27 экз.

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

- электронные ресурсы библиотеки института на сайте library.voenmeh.ru;
- электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com/>;
- электронно-библиотечная система Юрайт <https://biblio-online.ru/discipline-search>

5.4. Программное обеспечение.

Программное обеспечение: пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы, графические редакторы).

5.5. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты
- возможность консультирования обучающихся преподавателями в любое время и в любой точке пространства посредством сети Интернет;
- презентация

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционные занятия:

- 1) комплект электронных презентаций/слайдов,
- 2) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук),

2. Лабораторные работы

- 1) Газодинамическая лаборатория, оснащенная аэродинамической трубой малых скоростей (скорость потока до 50м/сек), аэродинамическими весами и барометрическим манометром для измерения сил, действующих на модель, и аэродинамическая труба больших скоростей (сверхзвуковая скорость потока), позволяющая изучать течения в соплах, струях и взаимодействие потока с телами.
- 2) шаблоны отчетов по лабораторным работам.

3. Практические занятия

- 1) специально оборудованный вычислительный класс, обеспечивающий работу в сетевом режиме. Студентам предоставляется для работы и хранения промежуточных и отчетных материалов индивидуальные директории на сетевом диске;
- 2) необходимые для работы операционные и инструментальные средства стандартного состава.

4. СРС:

Для самостоятельной работы представляются вычислительные мощности и операционные среды вычислительного класса кафедры.

Предоставляется возможность работы в среде пакетов CAE-технологии, имеющихся на кафедре в лицензионном пользовании (ANSYS).

5. Прочее:

- 1) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- 2) для самостоятельной работы студентам представляются вычислительные мощности и операционные среды вычислительного класса кафедры.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Аэрогазодинамика» является базовой частью Блока 1 дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 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 А9 Плазмогазодинамики и теплотехники.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций

ОК-2 – способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач

ОПК-2 – пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей)

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- выполнение лабораторных работ;
- защита лабораторных работ;
- контрольная работа,

рубежная аттестация студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- защита лабораторных работ;
- выполнение контрольных работ,

итоговый контроль по результатам семестра по дисциплине проходит в форме дифференциального зачёта, который включает в себя ответы на теоретические вопросы. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные – 34 часов, практические - 17 часов, лабораторные – 17 часов занятия и 76 часов самостоятельной работы студента.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

Рекомендации по организации и технологиям обучения для преподавателя

I. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Работа в команде: совместная работа студентов в группе при выполнении лабораторных работ по разделам: раздел 7 «Изоэнтропические течения несжимаемого газа», раздел 8 «Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах)» и раздел 9 «Неизоэнтропические течения сжимаемого газа»

II. Виды и содержание учебных занятий

Раздел 1. Предмет аэрогазодинамики

Теоретические занятия (лекции) – 2 час.

Информационная лекция: Аэрогазодинамика как раздел механики. Задачи, решаемые аэрогазодинамикой. Разделы аэрогазодинамики.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 2. Основные понятия и определения

Теоретические занятия (лекции) – 4 часа.

Информационная лекция: Понятие легкодеформируемой (текучей) среды. Сжимаемая и несжимаемая среда. Понятие жидкой частицы и скорости жидкой частицы. Термодинамические параметры газов и паров. Совершенные газы. Вязкость и теплопроводность газов. Невязкие и теплопроводные (изоэнтропические) течения. Внутренняя энергия и энтальпия газовых потоков.

Практические занятия – 2 часа.

Занятие 1. Параметры деформации для легкодеформируемой (текучей) среды. Скорость деформации. Сжимаемая среда. Параметры термодинамического состояния совершенного газа. Уравнение Клайперона. Вязкость, теплопроводность, внутренняя энергия, энтальпия и энтропия газов. Изоэнтропическое течение.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 3. Уравнение неразрывности.

Теоретические занятия (лекции) – 2 час.

Информационная лекция: Вывод уравнения сохранения массы для движущейся жидкой частицы.

Практические занятия – 1 час.

Занятие 2. Дивергенция скорости – скорость объемной деформации жидкой частицы. Критерий сжимаемости и несжимаемости потока.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).

Теоретические занятия (лекции) – 4 часа.

Информационная лекция: Силы вязкого трения. Гипотеза Ньютона о вязких напряжениях. Условие пренебрежения вязкими силами. Невязкий (идеальный) газ. Второй закон Ньютона для

движения идеального газа в гравитационном поле – уравнения Эйлера. Начальные и граничные условия.

Практические занятия – 2 часа.

Занятие 3. Аналитические решения уравнения Эйлера: случай покоящейся тяжелой жидкости. Уравнение гидростатики. Случай покоящего газа. Уравнение атмосферы.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 5. Уравнение энергии.

Теоретические занятия (лекции) – 2 часа.

Информационная лекция: Понятие линии и струйки тока. Полная энергия движущегося газа. Закон энергии для струйки тока. Случай изэнтропического течения – уравнение Бернулли.

Практические занятия – 1 час.

Занятие 4. Струйка тока. Полная энергия потока. Уравнение энергии. Изэнтропическое стационарное течение. Уравнение Бернулли в общем виде и для несжимаемого и сжимаемого течений. Максимальная скорость потока.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 6. Изэнтропические течения газа.

Теоретические занятия (лекции) – 2 часа.

Информационная лекция: Система уравнений движения изэнтропического течения совершенного газа. Скорость звука. До- и сверхзвуковые течения. Число Маха. Газодинамические функции.

Практические занятия – 1 час.

Занятие 5. Малые возмущения упругой среды (звук) и скорость звука. Звуковое давление. Логарифмическая шкала для измерения интенсивности (силы) звука (Дб и ДБа). Число Маха. Система уравнений для изэнтропического сжимаемого стационарного течения совершенного газа. Газодинамические функции. Критическое течение и критические параметры течения.

Управление самостоятельной работой студента – 0,3 ч. Консультации.

Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа.

Теоретические занятия (лекции) – 6 часа.

Информационная лекция: Измерения давлений в потоке с помощью приемников давления (Пито, Пито-Прандтля, Прандтля, Вентури). Обтекание потоком твердых тел. Аэродинамические силы и характеристики. Центр давления тела. Устойчивость летательного аппарата. Возникновение подъемной силы, силы лобового сопротивления и момента тангажа на примерах осесимметричного тела и профиля крыла.

Практические занятия – 3 часа.

Занятие 6. Расчет полного и статического давлений потока по измерениям приемников давления. Аэродинамические силы, моменты и коэффициенты. Устойчивость ЛА.

Лабораторный практикум – 6 часов, 2 работы.

Лабораторная работа 1. Исследование аэродинамических характеристик оперенного тела на аэродинамических весах. Цель работы – измерить значения аэродинамических сил на аэродинамических весах, используя эти опытные данные, найти аэродинамические коэффициенты: лобового сопротивления C_x , подъемной силы C_y , момента тангажа C_{mz} , а также определить местонахождение центра давления.

Лабораторная работа 2. Определение аэродинамических характеристик профиля по распределению давления. Цель работы – измерить распределение давления по поверхности крылового профиля и, используя эти опытные данные, найти аэродинамические коэффициенты:

лобового сопротивления C_x , подъемной силы C_y , момента тангажа C_{mz} , а также определить местонахождение центра давления.

Управление самостоятельной работой студента – 0,4 ч. Консультации.

Раздел 8. Изотропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).

Теоретические занятия (лекции) – 6 часа.

Информационная лекция: Течение в каналах переменного сечения. Сопла и диффузоры. Сопло Лаваля. Режимы истечения из сопла. Критическое истечение из сопла. Критические параметры течения. Расходная функция сопла. Степень перасчетности струи. Расчет параметров течения в сопле с помощью газодинамических функций.

Практические занятия – 4 часа.

Занятие 7. Сопло Лаваля. Режимы истечения. Расчет параметров течения в сопле Лаваля (одномерное течение). Расчет параметров течения в сопле Лаваля (двумерное течение).

Занятие 8. Расход газа через сопло. Нерасчетность струи. Реактивная сила (тяга) сопла.

Лабораторный практикум – 5 часа, 2 работы.

Лабораторная работа 3. Истечения газа из сосуда конечного объема. Цель работы – экспериментальное определение величины давления в баллоне как функции времени, расчет изменения основных параметров газа в сосуде и в отверстии, сравнение полученных экспериментальных данных с результатом теоретического расчета

Лабораторная работа 4. Течения газа по соплу Лаваля. Цель работы – изучение изменения параметров газового потока в сопле Лаваля, а именно: измерение распределения давления вдоль стенки сопла, расчет изменения основных параметров течения и сравнение полученных экспериментальных результатов с результатом теоретического расчета.

Управление самостоятельной работой студента – 0,4 ч. Консультации.

Раздел 9. Неизотропические течения сжимаемого газа.

Теоретические занятия (лекции) – 6 часа.

Информационная лекция: Вязкие теплопроводные течения. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Понятие вязкого пограничного слоя. Течения со скачками уплотнения. Возникновение скачков. Прямой и косой скачки. Соотношение параметров на скачках. Адиабата Рэнкина-Гюгонио.

Практические занятия – 3 часа.

Занятие 9. Скачок уплотнения. Соотношение параметров на скачке. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Расчет полного и статического давлений сверхзвукового потока по измерениям трубкой Пито-Прандтля. Потеря полного давления на скачке.

Лабораторный практикум – 4 часа, 2 работы.

Лабораторная работа 5. Скачки уплотнения в сверхзвуковой перерасширенной струе. Цель работы – определение изменения параметров газа при переходе через скачки уплотнения.

Лабораторная работа 6. Натекание сверхзвуковой струи на преграду конечных размеров. Цель работы – экспериментальное определение распределения давления по поверхности сферической преграды, обтекаемой сверхзвуковой струей, нахождение суммарной силы воздействия потока на преграду и сравнение полученного давления с теоретически найденным в отдельных характерных точках.

Управление самостоятельной работой студента – 0,4 ч. Консультации.

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часов, из них 68 часов аудиторных занятий и 76 часов, 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 порядке проведения промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова; Положением о текущем контроле успеваемости студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова. Формы контроля и критерии оценивания приведены в п.4 Рабочей программы и в Приложении 5 к Рабочей программе.

| Вид работы | Содержание (перечень вопросов) | Трудоемкость, час. | Рекомендации |
|---|---|--------------------|---|
| Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики. | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 1. | Повторение и осмысление сведений о методах разделения механики (как раздела физики) на подразделы, о предмете и задачах, решаемых аэрогидрогазодинамикой. | 3 | См. уч. пособие [4, 5] Введение и глава 1 из списка дополнительной литературы |
| Итого по разделу 1 | | 3 | |
| Раздел 2. Основные понятия и определения | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 2. | Повторение и осмысление сведений о понятиях сплошности, деформируемости сред, понятии жидкой частицы. Аэрогидрогазодинамика как наука о движении легкодеформируемых (текучих) сред. | 3 | См уч. пособие [4, 5] раздел 1.2, из списка дополнительной литературы |
| Подготовка к практическим занятиям. | Повторение материала лекции. Совершенный газ. Параметры газов и паров. Уравнение Клайперона. Внутренняя энергия и энтальпия газа. Изэнтропические течения. | 1 | См уч. пособие [4, 5] раздел 2.4 из списка дополнительной литературы |
| Итого по разделу 2 | | 4 | |
| Раздел 3. Уравнение неразрывности | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 3. | Повторение и осмысление сведений об законе сохранения массы движущейся жидкой частицы. Вывод уравнения неразрывности. | 5 | См уч. пособие [1] раздел 1 из списка основной литературы |
| Подготовка к практическому занятию. | Понимание дивергенции скорости течения как скорости объёмной деформации жидкой частицы | 4 | См. уч. пособие [1] раздел 1 из списка основной литературы |
| Итого по разделу 3 | | 9 | |
| Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера). | | | |

| | | | |
|---|---|----|--|
| Усвоение материала лекции раздела 4 | Понимание о модели вязкой ньютоновской жидкости, модель идеальной жидкости. Критерий пренебрежения силами вязкого трения в потоке. Вывод уравнения Эйлера. | 6 | См. уч. пособие [1] глава 3 раздел 3.2. из списка основной литературы. |
| Подготовка к практическому занятию. | Вывод и понимание уравнений гидростатики и атмосферы как решений уравнения Эйлера для покоящейся среды. | 2 | См. уч. пособие [1] глава 3 раздел 3.2. из списка основной литературы. |
| Итого по разделу 4 | | 8 | |
| Раздел 5. Уравнение энергии. | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 5. | Понимание понятий линии и струйки тока. Полная энергия движущегося газа. Закон энергии для струйки тока. | 6 | См. уч. пособие [1] раздел 3 глава из списка основной литературы |
| Подготовка к практическому занятию. | Вывод и понимание уравнения Бернулли для сжимаемого и несжимаемого течений. Физический смысл полного и статического давлений потока, скоростного напора. | 5 | См уч. пособие [1] раздел 3 из списка основной литературы |
| Итого по разделу 5 | | 11 | |
| Раздел 6. Изэнтропические течения газа | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 6. | Понимание об изэнтропическом стационарном течении совершенного газа. Система уравнений для описания такого течения. Вывод уравнений газодинамических функций. | 6 | См уч. пособие [1] раздел 3 из списка основной литературы |
| Подготовка к практическому занятию. | Понимание понятий скорости звука, числа Маха. | 5 | См уч. пособие [1] раздел 4 из списка основной литературы |
| Итого по разделу 6 | | 11 | |
| Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа. | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 7. | Повторение и осмысление понятий полного, статического давлений и скоростного напора потока;. Понимание принципа действия приёмников давления. Понимание об аэродинамических характеристиках ЛА; о возникновении аэродинамических сил. | 4 | См. уч. пособие [1] глава 4 из списка основной литературы. |
| Подготовка к практическому занятию. | Понимание уравнения Бернулли для несжимаемых потоков. Полное, статическое давления и скоростной напор потока. | 3 | См уч. пособие [1] раздел 2 из списка основной литературы |
| Подготовка к лабораторным занятиям, оформление отчетов. | Цель и порядок проведения лабораторных работы 1 и 2. Принцип действия аэродинамических весов, U-образного жидкостного манометра и приёмника Пито-Прандтля.. Измерение аэродинамических сил на аэродинамических весах. Вычисление аэродинамических сил по распределённому давлению по поверхности крыла. | 3 | См. уч. Пособие [6,7] из списка дополнительной литературы |
| Итого по разделу 7 | | 10 | |

| Раздел 8. Изозэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах). | | | |
|--|---|----|---|
| Усвоение материала лекции раздела 8 | Повторение и осмысление сведений о течениях газа в каналах переменного сечения. Понятия сопла и диффузора. Понимание назначения сопла Лаваля и режимов истечения из него. | 4 | См. уч. Пособие [6,7] из списка дополнительной литературы |
| Подготовка к практическому занятию. | Порядок расчета течений в соплах с помощью газодинамических функций. | 3 | См. уч. Пособие [6,7] из списка дополнительной литературы |
| Подготовка к лабораторным занятиям, оформление отчетов. | Цель и порядок проведения лабораторных работ 3 и 4. Знание и понимание основных допущений о потоке при пользовании газодинамическими функциями. Принцип действия механического манометра и правила работы с ним. | 3 | См. уч. Пособие [8,9] из списка дополнительной литературы |
| Итого по разделу 8 | | 10 | |
| Раздел 9. Неизозэнтропические течения сжимаемого газа. | | | |
| Усвоение материала лекции раздела 9 | Повторение и осмысление неизозэнтропичности течения: 1. наличие сил вязкого трения; 2. наличие сильных разрывов в течении Понимание понятия скачок уплотнения. Соотношение на скачке. Неизозэнтропичность течения на скачке – адиабата Р-Г. | 4 | См. уч. пособие [1] раздел 4 из списка дополнительной литературы. |
| Подготовка к практическому занятию. | Понимание и умение использовать формул соотношений параметров течения на скачке. Понимание потери полного давления на скачке – физический смысл данного эффекта | 3 | См. уч. пособие [1] раздел 4 из списка дополнительной литературы. |
| Подготовка к лабораторным занятиям, оформление отчетов. | Цель и порядок проведения лабораторных работ 5 и 6. Регулярная и нерегулярная ударно-волновая структура в сверхзвуковой струе. Расчетная и нерасчетная струи. Измерение полного давления трубкой П-П в сверхзвуковом потоке. Соотношение параметров на косом и прямом скачках уплотнения. | 3 | См. уч. Пособие [2,3] из списка основной литературы |
| Итого по разделу 9 | | 10 | |
| ИТОГО | | 76 | |

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

| Вид учебных занятий | Организация деятельности студента |
|-----------------------|---|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. |
| Практические занятия | Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. |
| Контрольная работа | Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект основных положений, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме. |
| Лабораторная работа | Методические указания по выполнению лабораторных работ находится в составе УМК. При написании отчётов о проделанной работе использовать ГОСТ. |
| Подготовка к экзамену | При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу. |

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Оценивание уровня учебных достижений студента осуществляется в виде текущего, рубежного и промежуточного контроля в соответствии с ПОЛОЖЕНИЕМ о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ».

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

- комплект вопросов по дисциплине
- варианты задач для выполнения контрольных работ.

Вопросы к экзамену по курсу (теоретические вопросы)

1. Предмет и задачи аэрогазодинамики. Газ с точки зрения молекулярных представлений (характерные размеры молекул, атомов, ядер и электронов, их масс, расстояний между молекулами, средней длины свободного пробега молекул). Гипотеза сплошности. Введение физически бесконечно малого объема в газе (его определение, понятие характерного линейного размера течения, число Кнудсена). Понятие жидкой частицы.
2. Понятие деформационного движения. Характеристики деформации. Классификация тел по способности к деформации (абсолютно твердое, деформируемое и легкодеформируемое (текучее)). Сжимаемые и несжимаемые среды.
3. Термодинамические параметры жидкостей, газов и паров. Совершенный газ. Уравнение Клайперона. Теплопроводность. Уравнение Фурье. Теплоемкость газов. Адиабатные течения. Внутренняя энергия и энтальпия (теплосодержание).
4. Вязкость. Молекулярная и турбулентная вязкость. Коэффициент вязкости. Зависимость вязкости от температуры. Связь вязких сил с градиентом скорости потока (гипотеза Ньютона). Понятие пограничного слоя. Число Рейнольдса. Ламинарный и турбулентный пограничный слой. Критерия пренебрежения силами вязкого трения.
5. Энтропия газового потока. Изэнтропические течения. Адиабатичность и изэнтропичность. Внутренняя энергия и энтальпия газового потока.
6. Закон сохранения массы (допущения, физическая формулировка, вывод уравнения закона в интегральной форме. Уравнение неразрывности (вывод, рассмотрение частных случаев).
7. Объемные и поверхностные силы в сплошной среде. Невязкий (идеальный) газ. Уравнение движения идеального газа - уравнение Эйлера (вывод). Начальные и граничные условия.
8. Частные решения уравнения Эйлера для покоящейся среды: уравнение гидростатики и уравнение атмосферы (вывод)
9. Линия, струйка и трубка тока. Стационарное течение. Полная энергия потока. Уравнение энергии для струйки тока.
10. Уравнение энергии для изэнтропического течения – интеграл Бернулли (вывод). Частные случаи интеграла Бернулли-сжимаемое и несжимаемое течения (вывод).
11. Полная система уравнений течения невязкого совершенного газа. Граничные и начальные

условия. Система уравнений для изэнтропического течения.

12. Приёмники давления (Пито, прандтля, Пито-Прандтля) и трубка Вентури – устройство, принцип действия и их использование в измерениях полного, статического давлений, скоростного напора и массового расхода потока.
13. Понятие аэродинамических сил и моментов. Аэродинамические характеристики тел. Качественное объяснение возникновения подъёмной силы и силы лобового сопротивления крыла с помощью уравнения Бернулли. Аэродинамическая устойчивость.
14. Малые возмущения. Распространение малых возмущений в упругой среде – звуковые (акустические) волны. Звуковое давление. Логарифмические шкалы измерения силы звука. Скорость звука. Вывод скорости звука из условия адиабатичности распространения акустической волны в среде. Скорость звука и сжимаемость среды. Число Маха. До- и сверхзвуковые течения.
15. Полная система уравнений для стационарного изэнтропического течения совершенного газа. Формулы изэнтропического течения - газодинамические функции (вывод). Критическое течение. Критические параметры.
16. Связь между скоростью звука и скоростью потока. Максимальная и приведённая скорость потока.
17. Одномерное стационарное течение газа по каналу переменного сечения. Сопла и диффузоры. Сопло Лавала. Режимы истечения газа из сопла Лавала. Изменение параметров течения по длине сопла.
18. Расходная функция сопла. Массовый расход газа через сопло Лавала на различных режимах. Реактивная сила (тяга) сопла (вывод). Степень нерасчётности струи. Условие максимума и минимума тяги сопла.
19. Понятие скачка уплотнения. Возникновение скачка уплотнения в потоке. Сильные и слабые разрывы. Виды скачков.
20. Адиабатичность и неизэнтропичность течения газа на скачке. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Теорема Цемплена
21. Изменение энтропии на скачке уплотнения и ее связь с коэффициентом потерь полного давления (вывод формулы).
22. Ударная адиабата – адиабата Рэнкина-Гюгонио (вывод уравнения адиабаты, сравнение с адиабатой Пуассона).
23. Соотношения на прямом и косом скачке уплотнения для давления, плотности и температуры (вывод соотношений, графики зависимостей, область физической реализуемости, пределы изменения, угол Маха).
24. Число Маха за косым скачком уплотнения (вывод зависимости M_2 от M_1 и σ).
25. Число Маха за прямым скачком уплотнения (вывод).
26. Изменение функции $q(M)$ на прямом скачке уплотнения.
27. Связь между углом наклона скачка уплотнения и отклонением вектора скорости газа (вывод зависимости $\beta(\sigma)$ и ее анализ, предельный угол разворота потока на скачке уплотнения).

Задачи для контрольной работы по дисциплине

1. Давление в камере, из которой воздух истекает в атмосферу через сопло Лавалья, равно 2 ата. Площадь минимального сечения сопла равна 0.1 кв м, площадь выходного сечения – 1 кв м. На какой высоте истечение станет расчетным, если считать, что плотность воздуха падает с высотой по экспоненциальному закону, а температура атмосферного воздуха постоянна.
2. Воздух вытекает из камеры через конфузторное сопло. Давление в камере 1.5 ата, давление во внешней среде 1 ата. Как изменится реактивная сила, испытываемая камерой, и расход газа через сопло, если его погрузить в воду на глубину 2 м, при сохранении прежнего давления в камере.
3. В бассейне площадью 200 кв м на глубине 0.5 м открывается сливное отверстие площадью 0.001 кв м. Определить сколько времени будет продолжаться истечение воды из бассейна и какова скорость вытекающей воды в начальный момент. Найти зависимость скорости истечения воды от времени.
4. Насколько изменится расход газа через сопло Лавалья, если вместо воздуха в качестве рабочего тела использовать фреон, показатель адиабаты которого 1.12, а плотность в 4.18 раза больше плотности воздуха при одинаковых давлениях и температурах. Известно, что в обоих случаях температура и давление торможения одинаковы, а в выходном сечении сопла реализуется сверхзвуковой поток.
5. Во сколько раз изменится расход газа через сопло Лавалья, если вместо воздуха в качестве рабочего тела использовать фреон, показатель адиабаты которого 1.12, а плотность в 4.18 раза больше плотности воздуха при одинаковых давлениях и температурах. Известно, что в обоих случаях температура и давление торможения одинаковы, а в выходном сечении сопла реализуется сверхзвуковой поток.
6. Имеются две установки. Первая представляет собой два расположенных параллельно друг другу одинаковых сопла Лавалья с площадями выходных сечений $F_{a1} = 0.05$ кв м. Вторая установка является одним соплом с площадью выходного сечения $F_{a2} = 2 F_{a1}$. Во сколько раз должны отличаться давления торможения воздуха, подаваемого в различные установки, для получения одинаковой реактивной силы на уровне Земли. Критические сечения сопел одинаковы и равны $F_{kr} = 0.015$ кв м. Одинаковы температуры торможения вытекающего воздуха. На выходе сопел во всех случаях реализуется сверхзвуковой поток.
7. В бассейне площадью 100 кв м на глубине 1 м открывается сливное отверстие площадью 0.01 кв м. Определить максимальную скорость истечения воды из бассейна и время процесса опорожнения. Найти зависимость расхода воды при истечении от времени.
8. Вычислить массовый секундный расход воздуха через сопло Лавалья, если площадь минимального сечения сопла 5 кв см, площадь выходного сечения сопла 10 кв см, давление торможения 1.3 ата, температура торможения 288 К, давление во внешней среде 1.03 ата. Как изменится расход, если газ в баллоне, откуда он подается в сопло, изохорически подогреть в два раза.
9. Сравнить секундные расходы и скорости истечения воздуха из баллона (в начальный момент), которые можно получить при расчетном расширении воздуха 1) в случае, когда в баллоне температура 15 С, давление 10 ата, 2) в случае изохорического подогрева воздуха до температуры 450 С от тех же начальных параметров. Критические сечения сопел и выходные сечения в обоих случаях одинаковые.
10. Два бассейна площадями 100 кв м и 50 кв м разделены шлюзом. Уровень воды в первом из них составляет 3 м, а в другом 1 м. Сколько времени понадобится для выравнивания уровней

воды в бассейнах через отверстие площадью 0.2 кв м , открытое на уровне дна (уровень дна общий).

11. Давление в камере, из которой воздух истекает в атмосферу через сопло Лавалья, равно 10 ата . Площадь минимального сечения сопла равна 0.25 кв м , площадь выходного сечения 1 кв м . На какой высоте истечение станет расчетным, если считать, что плотность воздуха падает с высотой по экспоненциальному закону, а температура атмосферного воздуха постоянна.

12. В бассейне площадью 10 кв м на глубине 2 м открывается сливное отверстие площадью 0.01 кв м . Определить, сколько времени будет продолжаться опорожнение бассейна, и какова скорость истечения в начальный момент. Найти зависимость уменьшения уровня воды в бассейне от времени.

13. На тележке установлены соосно конфузор и сопло Лавалья с одинаковыми площадями выходных сечений 1 кв см . Газ поступает в оба сопла из одного баллона, где он имеет давление 10 ата и температуру 20 С . Истекающие струи направлены в противоположные стороны. С каким ускорением и в какую сторону будет двигаться тележка, если ее масса 100 кг , а площадь минимального сечения сопла Лавалья равна 0.25 кв см .

14. Подобрать площадь критического сечения сверхзвукового сопла, обеспечивающую расход воздуха 1 кг/с , если истечение расчетное в нормальную атмосферу, давление торможения 5 ата , температура торможения 15 С .

15. Насколько нужно изменить площадь выходного сечения сопла Лавалья, рассчитанного на число Маха 2 , чтобы сохранить реактивную силу при использовании в качестве рабочего тела фреона вместо воздуха, если показатель адиабаты фреона 1.12 , а его плотность в 4.18 раза больше плотности воздуха при одинаковых давлениях и температурах. Известно, что в обоих случаях на выходе из сопла реализуется сверхзвуковой поток, температура и давление в камере (ресивере) воздуха и фреона одинаковы, одинаковы и критические сечения сопел.

16. Воздух вытекает из камеры через конфузорное сопло. Давление в камере 5 ата , давление во внешней среде 1 ата . Как изменится реактивная сила, испытываемая камерой, и расход газа через сопло, если его погрузить в воду на глубину 30 м , при сохранении прежнего давления в камере.

17. В бассейне площадью 100 кв м на глубине 1 м открывается сливное отверстие площадью 0.1 кв м . Определить максимальную скорость истечения воды и время опорожнения бассейна. Найти зависимость скорости истечения воды от времени.

18. Два баллона наполнены воздухом и фреоном (показатель адиабаты 1.12 , плотность в 4.18 раза больше плотности воздуха при одинаковых давлениях и температурах) при одинаковом давлении и температуре. Во сколько раз необходимо изменить температуру фреона, чтобы при опорожнении баллонов через одно и то же сопло Лавалья на сверхкритическом режиме расходы в обоих случаях были бы одинаковы.

19. Имеется две установки. Первая представляет собой два расположенных параллельно друг другу одинаковых сопла Лавалья с площадью выходных сечений $Fa1 = 0.1 \text{ кв м}$. Вторая установка является одним соплом с площадью выходного сечения $Fa2 = 2 Fa1$. Какая из установок обеспечит наибольшую реактивную силу на уровне земли, если критические сечения сопел одинаковы и равны $Fkr = 0.025 \text{ кв м}$. Одинаковы и параметры торможения, в частности давление торможения вытекающего воздуха равно 10 ата .

20. Бассейн разделен тонкой стенкой (толщиной можно пренебречь) на два. Слева от стенки уровень воды 2 м , а справа 3 м . Определить силу и момент относительно крепления стенки ко дну бассейна, действующие на стенку со стороны воды в двух частях бассейна.

21. Герметичный бак высотой 1 м и площадью 0.5 кв м полностью заполнен водой. В дне бака открывается отверстие диаметром 2 см , через которое вода может вытекать в атмосферу.

Определить время опорожнения бака, если сверху в бак подается воздух для наддува давлением 5 ата.

22. При каком показании разности высот столбов ртути, помещенной в U-образный манометр, присоединенный к трубке Пито, поток при расчетном истечении имеет число Маха 0.5 (плотность ртути 13600 кг/куб м).

23. К трубке Пито-Прандтля, помещенной в дозвуковой поток, присоединяют 2 U-образных манометра, заполненных ртутью (плотность ртути 13600 кг/куб м). Разности уровней ртути в манометрах составили 142 мм и 162 мм. Термометр показал температуру 20 С. Найти скорость потока.

24. Имеется две установки. Первая представляет собой два расположенных параллельно друг другу одинаковых сопла Лавала с площадью выходных сечений $Fa1 = 0.1$ кв м. Вторая установка является одним соплом с площадью выходного сечения $Fa2 = 3 Fa1$. Какая из установок обеспечит наибольшую реактивную силу если опыт проводится в барокамере при давлении 3 ата, если критические сечения сопел одинаковы и равны $Fkr = 0.03$ кв м. Одинаковы и параметры торможения, в частности давление торможения вытекающего воздуха равно 4 ата.

25. Определить скорость и число Маха полета самолета, если по наблюдениям диспетчерского пункта известна высота полета 2.5 км и время, между пролетом самолета над пунктом и моментом достижения звуком двигателей самолета диспетчерского пункта, 5 сек. Определить погрешность определения скорости, если считать скорость звука равной скорости звука на уровне моря.

26. Определить время, за которое звук от двигателей самолета достиг диспетчерского пункта от момента, когда самолет находился над пунктом. Высота полета 2.5 км. Число Маха полета составило 2.5. Сравнить результаты, если скорость звука считать по стандартной атмосфере и по скорости звука на уровне моря.

27. На какой высоте самолет, летящий со скоростью 302 м/с, достигнет числа Маха полета 1.0. Какая высота необходима для выполнения этого же условия при скорости полета 290 м/с? Использовать стандартную атмосферу.

28. Герметичный бак высотой 2 м и площадью 0.8 кв м полностью заполнен водой. Сверху в бак подается воздух для наддува давлением 5 ата. В дне бака открывается отверстие диаметром 1 см, через которое вода может вытекать в атмосферу. Определить время опорожнения бака и зависимость скорости опорожнения от времени.

29. Два бассейна площадями 70 кв м и 50 кв м разделены шлюзом. Уровень воды в первом из них составляет 2 м, а в другом 3 м. Сколько времени понадобится для выравнивания уровней воды в бассейнах через отверстие площадью 0.2 кв м, открытое на уровне дна (уровень дна общий).

30. На какое число Маха и параметры на срезе сопла рассчитано сопло Лавала с диаметром критического сечения 6 мм и диаметром среза 11 мм. Найти массовый расход и реактивную силу при давлении в ресивере 3 ата.

31. На какое число Маха и параметры на срезе сопла рассчитано сопло Лавала с диаметром критического сечения 4 мм и диаметром среза 10 мм. Найти массовый расход и реактивную силу при давлении в ресивере 3 ата и давлении в камере, куда производится истечение, 2 ата.

32. Как изменится реактивная сила сопла при изохорическом нагреве газа в ресивере от нормальной температуры и давления 4 ата до 100 С?

33. Воздух истекает в атмосферу через сопло с диаметрами критического сечения и среза 15 и 19 мм соответственно. Каково должно быть давление в ресивере, чтобы истечение было расчетным. Поток сверхзвуковой.

34. Какую максимальную скорость кислорода можно получить в сверхзвуковой трубе без подогрева, если учесть, что кислород сжижается при температуре 120 К?
35. Какой подогрев воздуха в ресивере при давлении 3 ата необходим для достижения потоком при расчетном истечении в атмосферу через сопло Лавалья скорости 800 м/с?
36. Подобрать диаметр среза сопла Лавалья (диаметр критического сечения 5 мм), чтобы скорость потока на срезе сопла равнялась половине максимальной теоретически возможной скорости.
37. Найти скорость звука, число Маха и коэффициент скорости для струи воздуха, истекающей из баллона со скоростью, равной трем четвертям максимальной теоретически возможной скорости. Температура в баллоне 77 С.
38. Сопло Лавалья с диаметрами критического сечения и среза 3 мм и 5 мм соответственно установлено перед клином с углом полураствора 5 градусов. Поток воздуха при расчетном истечении натекает на клин. Определить параметры скачка уплотнения и газодинамические параметры за скачком, который образуется при обтекании клина сверхзвуковым потоком.
39. На клин с углом полураствора 15 градусов натекает сверхзвуковой поток воздуха из сопла Лавалья с диаметрами среза и критического сечения 13 мм и 12 мм соответственно. Давление в ресивере 2 ата. Определить параметры скачка уплотнения и параметры за скачком (на оси), который образуется при обтекании сверхзвуковым потоком клина.
40. Самолет, форму которого можно описать при помощи клина с полураствором 7 градусов, летит в атмосфере на высоте 10 км со скоростью 400 м/с. Определить, воспользовавшись стандартной атмосферой, параметры воздуха за скачком уплотнения перед самолетом вблизи носа.

ПАСПОРТ ФОРДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

| КУРС | СЕМЕСТР | НОМЕРА РАЗДЕЛОВ | НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ | ВСЕГО | АУДИТОРНЫЕ | | | | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ | ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ | | НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА |
|------|---------|-----------------|--|-------|------------|--------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------|--|
| | | | | | ВСЕГО | ЛЕКЦИИ | АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (СЕМИНАР) | ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | | ОК-2, % | ОПК-2, % | |
| 3 | 5 | 1 | Раздел 1. Предмет аэрогазодинамики | 5 | 2 | 2 | | | 3 | 10 | 4 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 2 | Раздел 2. Основные понятия и определения | 10 | 6 | 4 | 2 | | 4 | 12 | 8 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 3 | Раздел 3. Уравнение неразрывности | 12 | 3 | 2 | 1 | | 9 | 12 | 8 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 4 | Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера) | 14 | 6 | 4 | 2 | | 8 | 10 | 15 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 5 | Раздел 5. Уравнение энергии | 14 | 3 | 2 | 1 | | 11 | 10 | 10 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 6 | Раздел 6. Изэнтропические течения газа | 14 | 3 | 2 | 1 | | 11 | 10 | 12 | Ответы на контрольные вопросы |
| 3 | 5 | 7 | Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа | 25 | 15 | 6 | 3 | 6 | 10 | 12 | 15 | Защита лабораторной работы |
| 3 | 5 | 8 | Раздел 8. Изэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах) | 25 | 15 | 6 | 4 | 5 | 10 | 12 | 15 | Защита лабораторной работы |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|-----|----|----|----|----|----|------|------|----------------------------|
| 3 | 5 | 9 | Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа. | 25 | 15 | 6 | 3 | 6 | 10 | 12 | 13 | Защита лабораторной работы |
| ВСЕГО ЗА 5-й семестр | | | | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | 76 | 100% | 100% | |
| ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ | | | | 144 | 68 | 34 | 17 | 17 | 76 | 100% | 100% | |

Критерии оценивания

Контрольные работы

Предусматривает решение одной задачи. По итогам контрольной работы студент получает зачтено/не зачтено. Если студент не сдал контрольную работу, то он не допускается до сдачи дифференциального зачёта.

Критерии оценивания ответов на контрольные вопросы

Ответы на контрольные вопросы по определенным разделам дисциплины осуществляются в устной форме. Студенту задаются 3 вопроса в рамках изучаемого раздела, для успешной аттестации необходимо правильно ответить не менее чем на 2 вопроса. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

Список контрольных вопросов представлен в УМК.

Лабораторные работы

Допуск к ЛР

Допуск к выполнению ЛР происходит при условии наличия у студента печатной версии отчета по предыдущей лабораторной работе, со всеми сделанными расчетами и выводами.

Отчет по ЛР

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Студенту задаются 3 вопроса в рамках работы, для успешной аттестации необходимо правильно ответить не менее, чем на 2 вопроса. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, преподаватель принимает лабораторную работу как сданную.

Основаниями для неприятия или не защиты лабораторной работы, является:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках, отсутствие названия графика).
- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов измерений.

Если у студента имеется хотя бы одна не сданная лабораторная работа, то не допускается к экзамену.

Допуск к экзамену

Допуск к экзамену ставится при сдаче всех лабораторных работ, рассмотренных в рамках данного семестра по данной дисциплине.

Экзамен. Экзамен включает в себя ответ на 2 теоретических вопроса, в устной форме. По итогам ответов на вопросы, преподаватель выставляет оценку. Для оценки знаний может быть задан дополнительный вопрос.

СПРАВКА

о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова учебной литературы

1. Наименование дисциплины: **Аэрогазодинамика**
2. Кафедра: **Плазмогазодинамика и теплотехника (А9)**
3. Перечень основной учебной литературы (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров):
 1. Циркунов, Юрий Михайлович. Лекции по механике жидкости и газа [Электронный ресурс] : [учебное пособие для вузов] / Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - [\lib_server\elres\elr01960.pdf](#).
 2. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 3. - 2014. - 75 с. : граф., схемы, табл., фото. - Библиогр.: с. 74. - Услов. обознач.: с. 3. - 62 экз.
 3. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\lib_server\elres\elr02092.pdf](#). Ч. 3. - 2014. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл., фото. - Библиогр.: с. 74. - Услов. обознач.: с. 3.
4. Перечень дополнительной литературы (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров):
 4. Моисеев, Марк Георгиевич. Основы аэрогазодинамики [Текст] : учебное пособие для вузов / М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2006. - 144 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 143. - ISBN 5-85546-229-3
 5. Моисеев, Марк Георгиевич. Основы аэрогазодинамики [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2006. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\lib_server\elres\elr00768.pdf](#). - Библиогр.: с. 143. - ISBN 5-85546-229-3
 6. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 1 : Основные понятия. Газодинамические таблицы. - 2007. - 271 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 270. - Осн. обознач.: с. 3-4. - Индексы: с. 5. - ISBN 978-5-85546-305-7 - 466 экз.
 7. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 1 : Основные понятия. Газодинамические таблицы. - 2007. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 270. - Осн. обознач.: с. 3-4. - Индексы: с. 5. - ISBN 978-5-85546-305-7

8. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007 - Ч. 2 : Описание лабораторных работ. - 2009. - 99 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 98. - 352 экз.
9. Акимов, Герман Александрович. Аэрогазодинамика [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007 - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\\lib_server\elres\elr01443.pdf](http://lib_server/elres/elr01443.pdf). Ч. 2 : Описание лабораторных работ. - 2009. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 98.
10. Лойцянский, Лев Герасимович. Механика жидкости и газа : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 840 с. : ил., граф., схем., табл. - Указатель имен : с. 831 - 834. - Предметный указ. : с. 835 - 840. - 27 экз.

Директор библиотеки _____



(Н.В. Сесина)

Дата «__» _____ 2020 г.

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ, ВНОСИМЫХ В РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ
«АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

направление 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

профиль подготовки специалиста (инженер): «Моделирование и информационные технологии проектирования ракетно-космических систем»

на 20__ / 20__ учебный год

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

Все изменения рабочей программы рассмотрены и одобрены на заседании кафедры А9
(кафедра-разработчик)

"__" ____ 20__ г.

Заведующий кафедрой А9 _____ / Емельянов В.П. /

Внесенные изменения согласованы:

"__" ____ 20__ г.

Заведующий кафедрой А1 _____ /Бородавкин В.А./
(выпускающей)