

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе

Лейфа А.В. Лейфа

19 апреля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ГИДРОГАЗОАЭРОДИНАМИКА»

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

Специализация образовательной программы – Пилотируемые и автоматические космические аппараты и системы

Квалификация выпускника – Инженер

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 3 Семестр 5,6

Экзамен 5,6 сем

Общая трудоемкость дисциплины 288.0 (академ. час), 8.00 (з.е)

Составитель И.В. Верхотурова, доцент, канд. физ.-мат. наук

Институт компьютерных и инженерных наук

Кафедра физики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.08.20 № 964

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

01.02.2024 г. , протокол № 6

Заведующий кафедрой Стукова Е.В. Стукова

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

19 апреля 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

19 апреля 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Соловьев В.В. Соловьев

19 апреля 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

19 апреля 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

Формирование у студентов: систематизированных знаний в области явлений связанных с закономерностями движения жидкости и газа, их взаимодействием с обтекаемыми твердыми телами, ограничивающими поверхностями или между самими жидкостями и газами; способности самостоятельно производить гидрогазодинамические расчеты различных инженерных систем и расчет гидроаэродинамических характеристик объектов.

Задачи дисциплины:

- изучить основные законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов, понятия и основы аэродинамики;
- изучить напряжения и силы, действующие в жидкостях и газах;
- овладеть основными гидрогазодинамическими уравнениями для расчета различных инженерных систем;
- овладеть основами физического и математического моделирования исследованных явлений и процессов.
- изучить основные аэродинамические характеристики летательных аппаратов при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.
- овладеть методами расчета полей скоростей и давлений, методиками определения аэродинамических коэффициентов и расчета аэродинамических сил.

2. МЕСТО УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Гидрогазоаэродинамика» относится к дисциплинам обязательной части учебного плана образовательной программы.

Дисциплина базируется на знаниях полученных входе изучения таких дисциплин как «Математический анализ», «Обыкновенные дифференциальные уравнения», «Физика» и др.

Знания, полученные входе изучения дисциплины «Гидрогазоаэродинамика» могут использоваться при изучении дисциплины «Гидравлическое оборудование стартовых систем», «Ракетные двигатели» и др., при прохождении различных видов производственных практик.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины, позволят выпускникам успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанной с проектированием и функционированием космических летательных аппаратов.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и	ИД – 1 ОПК-1 Знать: - теорию и основные законы в области естественнонаучных и общепрофессиональных

<p>общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности</p>	<p>дисциплин. ИД – 2 ОПК-1 Уметь: - применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности; - применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности</p>
--	---

4. СТРУКТУРА УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Общая трудоемкость учебного предмета составляет 8.00 зачетных единицы, 288.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) учебного предмета, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Модуль 1. Гидромеханика Тема 1. Основные физические свойства жидкостей и газов.	5	2										1	
2	Тема 2. Основы гидростатики и кинематики.	5	6		4		4						2	Лабораторные работы, Индивидуальная работа
3	Тема 3. Динамика вязкой и невязкой жидкости.	5	6		4		4						2	Лабораторные работы, Индивидуальная работа
4	Тема 4.	5	6		6		12						6	Лабораторные

	кие характеристики летательного аппарата при продольном движении												модулю 3
15	Курсовая работа	6						2				32	Защита курсовой работы
16	Экзамен	6								0.3	35.7		Экзамен
	Итого		52.0	16.0	50.0	2.0	0.0	0.6	71.4	96.0			

5. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Модуль 1. Гидромеханика Тема 1. Основные физические свойства жидкостей и газов.	Предмет гидрогазодинамики и его место в подготовке бакалавров. Краткая история развития науки. Основные понятия и определения гидрогазодинамики. Жидкость. Модель сплошной среды. Основные физические величины и физические свойства жидкостей. Обозначение и единицы измерения
2	Тема 2. Основы гидростатики и кинематики.	Гидростатическое давление и его свойства. Давление в покоящейся жидкости. Абсолютное и избыточное давление, манометрическое давление, вакуум. Приборы для измерения давления и вакуума. Силы, действующие в жидкостях (массовые и поверхностные). Абсолютный и относительный покой жидкости. Дифференциальные уравнения жидкости. Поверхности равного давления. Основное уравнение гидростатики. Законы Паскаля и Архимеда. Эпюры давления. Давление жидкости на плоскую и криволинейную поверхности. Способы описания движения жидкости. Уравнения баланса массы: Уравнение непрерывности. Движение жидкой частицы. Вихревое движение жидкости. Безвихревое течение жидкости (потенциальное течение).
3	Тема 3. Динамика вязкой и невязкой жидкости.	Уравнение движения жидкости. Уравнение моментов количества движения. Дифференциальное уравнение движения жидкости в напряжениях. Уравнение Навье-Стокса. Динамика невязкой жидкости: дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости (уравнения Эйлера). Уравнение Бернулли для установившегося движения несжимаемой жидкости, энергетическая интерпретация уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для реальной вязкой жидкости. Практическое

		<p>применение уравнения Бернулли. Трубка Прандтля, Вентури, сопло. Диафрагма. Уравнение Бернулли для реальных газов. Интегральное и дифференциальное уравнения энергии. Моделирование гидродинамических явлений. Теория подобия. Критерии гидродинамического подобия</p>
4	<p>Тема 4. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкостей из отверстий и насадков.</p>	<p>Виды сопротивлений. Основное уравнение равномерного движения. Классификация потерь напора, равномерное и неравномерное движение. Потери напора при равномерном движении жидкости: ламинарный режим, турбулентный режим движения жидкости. Потери напора при неравномерном движении жидкости (местные потери). Классификация гидравлических систем по сопротивлениям.</p> <p>Истечение через малое незатопленное отверстие, коэффициент сжатия струи, скорости и расхода. Истечение под уровень. Истечение из больших отверстий. Истечение при переменном напоре. Истечение через насадки. Затопленные свободные турбулентные струи. Истечение газов из отверстий. Гидравлический расчет трубопроводов. Простые трубопроводы, сложные трубопроводы, трубопроводы с переменным расходом по пути. Расчет простых трубопроводов. Гидравлический расчет длинного трубопровода постоянного диаметра. Расчет трубопровода с последовательным соединением, параллельным, разветвленным, с непрерывной раздачей жидкости. Гидравлические характеристики трубопроводов. Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского. Виды гидравлического удара. Явление кавитации</p>
5	<p>Тема 5. Гидравлические машины и гидропривод.</p>	<p>Основные сведения о гидравлических машинах и гидроприводе. Насосы и гидропередачи (лопастные, вихревые и струйчатые, гидродинамические передачи). Поршневые насосы, роторные гидромашины, роторно-поршневые, пластинчатые, шестеренчатые и винтовые, гидроцилиндры и гидродвигатели. Гидроаппаратура. Гидропривод, регулирование</p>
6	<p>Модуль 2. Газодинамика Тема 1. Законы движения газа</p>	<p>Исходные соотношения. Уравнение энергии. Критическая и максимальная скорости газа. Связь скорости газа с сечением потока. Закон Обращения воздействия. Виды сопел реализующих сверхзвуковое течение газа. Сопло Лавалья. Режимы его работы. Параметры изоэнтропического торможения газа. Газодинамические функции. Истечение газа. Одномерное течение газа с трением и энергообменом. Диффузоры. Конфузоры. Эжекторы</p>

7	Тема 2. Волны давления в газовом потоке	<p>Волны разрежения.</p> <p>Основные представления о скачках уплотнения.</p> <p>Основные соотношения для прямого скачка уплотнения. Давление торможения за прямым скачком уплотнения. Основные соотношения для косоугольного скачка уплотнения. Зависимость наклона косоугольного скачка от угла поворота потока. Ударная поляра.</p>
8	Тема 3. Теория пограничного слоя	<p>Понятие о пограничном слое. Интегральные характеристики пограничного слоя. Ламинарный, переходный и турбулентный режимы течения в пограничном слое.</p> <p>Дифференциальные уравнения пограничного слоя в несжимаемой и сжимаемой среде. Интегральное соотношение пограничного слоя. Расчет пограничного слоя.</p> <p>Пограничный слой при наличии продольного градиента давления. Отрыв потока. Взаимодействие пограничного слоя со скачками уплотнения. Управление пограничным слоем.</p>
9	<p>Модуль 3.</p> <p>Аэродинамика</p> <p>Тема 1. Общие сведения о летательных аппаратах и их аэродинамических характеристиках</p>	<p>Классификация воздушных судов.</p> <p>Аэродинамические силы и моменты. Системы координатных осей.</p> <p>Геометрические характеристики крыла и профиля.</p> <p>Аэродинамические характеристики профиля и сечения крыла.</p>
10	Тема 2. Профиль и крыло конечного размаха в несжимаемом потоке	<p>Формула Жуковского. Формула Чаплыгина о результирующей силе давления.</p> <p>Тонкий профиль крыла в несжимаемом потоке. Теория тонкого профиля.</p> <p>Особенности обтекания крыла конечного размаха. Вихревые системы крыла.</p> <p>Основы теории несущей линии. Понятия о скосе потока и индуктивном сопротивлении крыла.</p> <p>Определение коэффициентов подъемной силы и индуктивного сопротивления крыла на основе теории несущей линии.</p> <p>Теория несущей поверхности. Метод дискретных вихрей.</p> <p>Подъемная сила и индуктивное сопротивление крыла малого удлинения при малых углах атаки.</p> <p>Аэродинамические характеристики крыла большого удлинения при больших углах атаки. Обтекание крыльев малого удлинения и их аэродинамические характеристики при больших углах атаки.</p>
11	Тема 3. Профиль и крыло конечного размаха в дозвуковом и сверхзвуковом потоке	<p>Понятие о критическом числе M.</p> <p>Влияние сжимаемости на аэродинамические характеристики профиля и крыла при $M \leq M_{кр}$</p> <p>Обтекание профиля сверхзвуковым потоком. Волновое сопротивление.</p> <p>Аэродинамические характеристики стреловидного крыла.</p>

		<p>Плоская пластинка в сверхзвуковом потоке.</p> <p>Обтекание тонкого профиля сверхзвуковым потоком.</p> <p>Особенности обтекания крыла конечного размаха сверхзвуковым потоком</p> <p>Аэродинамические характеристики треугольных крыльев. Аэродинамические характеристики стреловидных крыльев в сверхзвуковом потоке.</p>
12	Тема 4. Аэродинамические характеристики корпусов летательных аппаратов	<p>Расчет силы сопротивления тела вращения при $\alpha = 0$.</p> <p>Нормальная сила и момент тангажа тела вращения при малых углах атаки.</p> <p>Нормальная сила корпуса, вызванная отрывом потока.</p>
13	Тема 5. Аэродинамические характеристики летательного аппарата при продольном движении	<p>Аэродинамические характеристики комбинации корпуса с крылом в среднем положении.</p> <p>Скос потока от крыла и его влияние на аэродинамику оперения. Коэффициент торможения потока у оперения. Подъемная сила оперения с рулями, расположенными вдоль задней кромки.</p> <p>Сопротивление летательного аппарата. Момент тангажа летательного аппарата.</p> <p>Влияние формы крыла и корпуса на аэродинамическое качество летательного аппарата.</p> <p>Понятие о балансировке. Влияние балансировки на подъемную силу летательного аппарата.</p>

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Основы гидростатики и кинематики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Гидростатическое давление в жидкости 2. Сила давления жидкости на плоские поверхности 3. Сила давления жидкости на криволинейные поверхности
Динамика вязкой и невязкой жидкости	<ol style="list-style-type: none"> 1. Режимы течения жидкости. Уравнение неразрывности. 2. Уравнение Бернулли.
Гидравлические сопротивления. Истечение жидкостей из отверстий и насадков	<ol style="list-style-type: none"> 1. Истечение жидкости через отверстия и насадки. 2. Расчет простых трубопроводных систем. 3. Расчет сложных трубопроводных систем.
Законы движения газа.	Процессы течения газа по трубопроводам

5.3. Лабораторные занятия

Наименование темы	Содержание темы
Исследование относительного покоя жидкости во вращающемся сосуде	<p>Экспериментальное определение формы свободной поверхности жидкости во вращающемся сосуде.</p> <p>Построение эпюры избыточного давления жидкости на стенке дно сосуда.</p>
Определение критического значения числа Рейнольдса при	Наблюдение за различными режимами движения жидкости в трубе и определение числа Рейнольдса.

течении жидкости в трубе круглого поперечного сечения.	
Изучение закона сохранения энергии при течении жидкости по трубопроводу переменного сечения.	Установление актов превращения энергий в трубе переменного сечения. Построение пьезометрической и напорной линии.
Определение потерь напора при внезапном расширении.	Определение экспериментального и теоретического значения коэффициента гидравлического трения.
Определение коэффициента гидравлического трения.	Ознакомление с видами потерь энергии из-за деформации потока, получение навыков определения потерь напора в местных гидравлических сопротивлениях и экспериментальное определение коэффициента местного сопротивления.
Задача реконструктивного уровня: Гидравлический расчёт разветвлённого трубопровода.	Провести расчет трубопровода и подобрать характеристики труб магистрали и ответвления, рассчитать потери на трение в основной магистрали и в ответвлениях, подобрать марку насоса.
Задача реконструктивного уровня: Гидравлический расчет короткого трубопровода	Провести расчет трубопровода и определить тип трубопровода (гидравлически короткий или длинный) путем проведения гидравлического расчёта трубопровода.
Задача реконструктивного уровня: Определение рабочего режима лопастного насоса.	Определить параметры рабочего режима лопастного насоса. Определить, как изменится рабочий режим насоса: если изменить скорость вращения рабочего колеса насоса; если произвести одновременное параллельное или последовательное включение двух одинаковых насосов.
Изучение приборов и методов определения давления.	Изучение приборов и методов измерения давления. Научиться определять вид измеряемого давления по показаниям датчика малого давления в зависимости от способа его подключения к напорной трубке Пито.
Изучение метода определения расхода воздуха по изменению давления в отсеченном объеме.	Изучение метода определения расхода воздуха при его истечении из резервуара известного объема.
Изучение закона сохранения энергии при течении воздуха по трубопроводу переменного сечения.	Изучение закона сохранения энергии при течении воздуха по пневмосистеме или трубопроводу, изучение уравнения Бернулли и построение напорной и пьезометрической линий при течении воздуха по трубопроводу переменного сечения.
Исследование потерь напора на местном сопротивлении – регулируемой задвижке (дросселе).	Определение потерь напора на местном сопротивлении – дресселе.
Задача реконструктивного уровня: Газодинамический расчёт сопла Лавалья.	Проведение газодинамического расчёта сопла Лавалья, обеспечивающего на расчётном режиме заданный расход газа, определение профиля сопла и обобщить полученные результаты.

Исследование эпор распределения скоростей (по величине динамического давления) при течении воздуха по трубопроводу круглого сечения с помощью трубки Пито.	Экспериментальное изучение распределения поля скоростей по сечению трубы.
Исследование истечения воздуха из ресивера: до- критический, критический режимы течения.	Изучение возможности экспериментального исследования процесса истечения воздуха из емкости высокого давления через малое отверстие при докритическом и критическом режимах адиабатического течения.
Моделирование процесса обтекания неудобообтекаемых тел ламинарным потоком жидкости	Провести моделирование с помощью среды COMSOL Multiphysics процесса обтекания ламинарным потоком вязкой несжимаемой жидкости неудобообтекаемых тел для наглядной визуализации пограничного слоя и его отрыва от поверхности обтекаемого тела.
Моделирование процесса обтекания аэродинамических профилей ламинарным потоком жидкости	Провести моделирование с помощью среды COMSOL Multiphysics процесса обтекания ламинарным потоком вязкой несжимаемой жидкости аэродинамических профилей для наглядной визуализации пограничного слоя и его отрыва от поверхности обтекаемого тела.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Модуль 1. Гидромеханика Тема 1. Основные физические свойства жидкостей и газов.	Подготовка к итоговому тесту.	1
2	Тема 2. Основы гидростатики и кинематики.	Подготовка к практическому занятию. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ. Подготовка к индивидуальной работе. Подготовка к итоговому тесту.	2
3	Тема 3. Динамика вязкой и невязкой жидкости.	Подготовка к практическому занятию. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ. Подготовка к индивидуальной работе. Подготовка к итоговому тесту.	2
4	Тема 4. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкостей из отверстий и насадков.	Подготовка к практическому занятию. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ. Подготовка к индивидуальной работе. Выполнение задачи реконструктивного уровня. Подготовка к итоговому тесту.	6
5	Тема 5.	Выполнение задачи реконструктивного	5

	Гидравлические машины и гидропривод.	уровня. Подготовка к итоговому тесту.	
6	Модуль 2. Газодинамика Тема 1. Законы движения газа	Подготовка к практическому занятию. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ. Выполнение задачи реконструктивного уровня. Подготовка к итоговому тесту.	5
7	Тема 2. Волны давления в газовом потоке	Подготовка к итоговому тесту.	1
8	Тема 3. Теория пограничного слоя	Подготовка к итоговому тесту.	2
9	Модуль 3. Аэродинамика Тема 1. Общие сведения о летательных аппаратах и их аэродинамических характеристиках	Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ. Подготовка к итоговому тесту.	20
10	Тема 2. Профиль и крыло конечного размаха в несжимаемом потоке	Подготовка к итоговому тесту.	5
11	Тема 3. Профиль и крыло конечного размаха в дозвуковом и сверхзвуковом потоке	Подготовка к итоговому тесту.	5
12	Тема 4. Аэродинамические характеристики корпусов летательных аппаратов	Подготовка к итоговому тесту.	5
13	Тема 5. Аэродинамические характеристики летательного аппарата при продольном движении	Подготовка к итоговому тесту.	5
14	Курсовая работа	Выполнение и подготовка к защите курсовой работе.	32

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий.

При реализации дисциплины «Гидрогазоаэродинамика», используются традиционные и современные образовательные технологии.

При чтении лекций по данной дисциплине используются активные методы обучения: проблемная лекция, лекция презентация. Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал данного раздела. При чтении лекций используются мультимедийные презентации, видеодемонстрации.

На практических и лабораторных занятиях используется метод группового решения творческих задач, метод дебатов.

При проведении лабораторных занятий студентам выдается задание для подготовки к выполнению лабораторной работы. Перед выполнением работы с преподавателем обсуждается цель работы и ход ее выполнения. На этапе защиты работы студент самостоятельно анализирует достигнутые результаты с разных точек зрения, выдвигает гипотезы и делает выводы, исходя из цели работы.

Из современных образовательных технологий применяются информационные компьютерные технологии с привлечением к преподаванию мультимедийной техники.

Методы контроля: итоговое тестирование. Итоговые тесты по модулям размещены в электронном курсе «Гидрогазодинамика» размещенном в модульной объектно-ориентированной динамической учебной среде Moodle на сайте АмГУ <http://moodle.amursu.ru/> [<http://moodle.amursu.ru/>]

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а также методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Гидрогазоаэродинамика».

Примерные вопросы к экзамену

5 семестр

1. Модель сплошной среды. Модель несжимаемой среды. Общая постановка задачи.
2. Основные физические величины и физические свойства жидкостей. Обозначение и единицы измерения. Макроскопические параметры и функции состояния среды.
3. Давление жидкости. Равновесие жидкости. Абсолютное и избыточное давление, манометрическое давление, вакуум. Приборы для измерения давления и вакуума.
4. Абсолютный и относительный покой жидкости. Силы, действующие на жидкий объем. Дифференциальные уравнения жидкости. Поверхности равного давления. Основное уравнение гидростатики. Дифференциальное уравнение равновесия (уравнение Эйлера).
5. Закон Паскаля. Эпюры давления. Давление жидкости на плоскую и криволинейную поверхность.
6. Относительное равновесие жидкости при поступательном равноускоренном движении сосуда и во вращающемся сосуде.
7. Основы кинематики жидкости и газа. Методы кинематического исследования сплошной среды. Классификация движения жидкостей. Расход жидкости.
8. Уравнение неразрывности (уравнение баланса массы). Линии тока. Трубка тока. Струйная модель потока.
9. Движение жидкой частицы.
10. Вихревое движение жидкости. Вихрь поля. Вихревая линия. Вихревой шнур. Вихревая трубка. Теоремы о вихревом движении и следствия из них.
11. Безвихревое течение жидкости (потенциальное течение). Потенциал скорости. Уравнение Лапласа. Функция тока.
12. Уравнение движения жидкости. Первая теорема Эйлера. Уравнение моментов количества движения (второе уравнение Эйлера).

13. Дифференциальное уравнение движения в напряжениях.
14. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса и их решения (уравнение Эйлера, уравнение Громеки-Лемба, интеграл Коши-Лагранжа).
15. Уравнение Бернулли для установившегося движения несжимаемой жидкости и его анализ.
16. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Уравнение Бернулли для реальных газов.
17. Практическое применение уравнения Бернулли (трубка Пито, трубка Прандля, трубка Вентури, сопло, диафрагма).
18. Интегральное и дифференциальное уравнения энергии.
19. Моделирование гидродинамических явлений.
20. Теория подобия. Критерии гидродинамического подобия
21. Виды сопротивлений. Основное уравнение равномерного движения.
22. Классификация потерь напора, равномерное и неравномерное движение.
23. Потери напора при равномерном движении жидкости: ламинарный режим, турбулентный режим движения жидкости.
24. Потери напора при неравномерном движении жидкости (местные потери).
25. Классификация гидравлических систем по сопротивлениям.
26. Истечение через малое незатопленное отверстие, коэффициент сжатия струи, скорости и расхода.
27. Истечение под уровень. Истечение из больших отверстий. Истечение из сосуда при переменном напоре.
28. Истечение жидкости через насадки.
29. Назначение и классификация трубопроводов и расходов. Гидравлический расчет простого трубопровода.
30. Гидравлический расчет длинного трубопровода постоянного диаметра.
31. Расчет трубопровода с последовательным соединением, параллельным, разветвленным, с непрерывной раздачей жидкости.
32. Гидравлические характеристики трубопроводов.
33. Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского. Виды гидравлического удара. Явление кавитации.
34. Основные сведения о гидравлических машинах и гидроприводе. Насосы и гидропередачи (лопастные, вихревые и струйчатые, гидродинамические передачи).
35. Поршневые насосы, роторные гидромашин, роторно-поршневые, пластинчатые, шестеренчатые и винтовые, гидроцилиндры и гидродвигатели.
36. Гидроаппаратура. Гидропривод, регулирование
37. Газодинамика. Исходные соотношения. Уравнение энергии. Критическая и максимальная скорость газа. Параметры изоэнтропического торможения газа. Газодинамические функции λ (λ^*), (λ^*), (λ).
38. Связь скорости газа с сечением потока. Закон обращения воздействия. Истечение газа. Геометрическое воздействие на газовый поток. Виды сопел реализующих сверхзвуковое течение газа.
39. Одномерное течение газа с трением и энергообменом. Диффузоры. Эжекторы
40. Волны разрежения.
41. Основные представления о скачках уплотнения.
41. Основные соотношения для прямого скачка уплотнения. Давление торможения за прямым скачком уплотнения.
42. Основные соотношения для косоугольного скачка уплотнения. Зависимость наклона косоугольного скачка от угла поворота потока. Ударная поляра.
43. Понятие о пограничном слое. Интегральные характеристики пограничного слоя. Ламинарный, переходной и турбулентный режимы течения в пограничном слое.
44. Дифференциальные уравнения пограничного слоя в несжимаемой и сжимаемой среде.
45. Интегральное соотношение пограничного слоя. Расчет пограничного слоя.
46. Пограничный слой при наличии продольного градиента давления. Отрыв потока.

47. Взаимодействие пограничного слоя со скачками уплотнения. Управление пограничным слоем.

Примерные вопросы к экзамену

6 семестр

1. Классификация воздушных судов. Аэродинамические силы и моменты. Системы координатных осей.
2. Геометрические характеристики крыла и профиля. Аэродинамические характеристики профиля и сечения крыла
3. Формула Жуковского. Формула Чаплыгина о результирующей силе давления.
4. Тонкий профиль крыла в несжимаемом потоке. Теория тонкого профиля.
5. Особенности обтекания крыла конечного размаха. Вихревые системы крыла.
6. Основы теории несущей линии. Понятия о скосе потока и индуктивном сопротивлении крыла.
7. Определение коэффициентов подъемной силы и индуктивного сопротивления крыла на основе теории несущей линии.
8. Теория несущей поверхности. Метод дискретных вихрей.
9. Подъемная сила и индуктивное сопротивление крыла малого удлинения при малых углах атаки.
10. Аэродинамические характеристики крыла большого удлинения при больших углах атаки.
11. Обтекание крыльев малого удлинения и их аэродинамические характеристики при больших углах атаки. Понятие о критическом числе M .
12. Влияние сжимаемости на аэродинамические характеристики профиля и крыла при $M_{\infty} < M_{кр}$
13. Обтекание профиля закритическим дозвуковым потоком. Волновое сопротивление.
14. Аэродинамические характеристики стреловидного крыла. Плоская пластинка в сверхзвуковом потоке.
15. Обтекание тонкого профиля сверхзвуковым потоком. Особенности обтекания крыла конечного размаха сверхзвуковым потоком.
16. Аэродинамические характеристики треугольных крыльев. Аэродинамические характеристики стреловидных крыльев в сверхзвуковом потоке.
17. Расчет силы сопротивления тела вращения при $\alpha = 0$.
18. Нормальная сила и момент тангажа тела вращения при малых углах атаки.
19. Нормальная сила корпуса, вызванная отрывом потока.
20. Аэродинамические характеристики комбинации корпуса с крылом в среднем положении.
21. Скос потока от крыла и его влияние на аэродинамику оперения. Коэффициент торможения потока у оперения. Подъемная сила оперения с рулями, расположенными вдоль задней кромки.
22. Сопротивление летательного аппарата. Момент тангажа летательного аппарата.
23. Влияние формы крыла и корпуса на аэродинамическое качество летательного аппарата.
24. Понятие о балансировке. Влияние балансировки на подъемную силу летательного аппарата.

Тема курсовой работы

«Расчет аэродинамических характеристик маневренного летательного аппарата» (данные согласно номеру варианта).

Критерии оценивания выполнения и защиты курсовой работы.

Способность использовать основные законы аэродинамики для определения и расчета основных размеров частей маневренного летательного аппарата; расчета коэффициентов нормальной силы, осевой силы и момента тангажа маневренного

летательного аппарата. Способность при выполнении курсовой работы довести все ее части до расчетных соотношений (но содержащих некоторые ошибки); предоставить полученные количественные показатели в виде графиков (но содержащих некоторые ошибки); привести схему летательного аппарата в масштабе, но не предоставить развернутых выводов по работе и при защите курсовой работы не на все задаваемые вопросы дать правильные ответы соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования и оценивается на «удовлетворительно».

Способность при выполнении курсовой работы довести все ее части до расчетных соотношений; предоставить полученные количественные показатели в виде графиков (но содержащих некоторые ошибки); привести схему летательного аппарата в масштабе; умение формулировать частично обоснованные выводы по полученным графическим зависимостям при защите курсовой работы не на все задаваемые вопросы дать правильные ответы соответствует повышенному уровню сформированности компетенции и оценивается на «хорошо».

Способность при выполнении курсовой работы довести все ее части до расчетных соотношений; предоставить полученные количественные показатели в виде графиков; привести схему летательного аппарата в масштабе; умение формулировать обоснованные выводы по полученным графическим зависимостям, при защите курсовой работы на все задаваемые вопросы дать правильные ответы соответствует высокому уровню сформированности компетенции и оценивается «отлично».

Способность при выполнении курсовой работы довести все ее части до расчетных соотношений (но содержащих значительные ошибки); предоставить полученные количественные показатели в виде графиков (содержащих значительные ошибки); привести схему летательного аппарата в масштабе; представлены выводы по работе со значительными ошибками или не представлены выводы; при защите курсовой работы на большую часть задаваемых вопросов даны неправильные ответы соответствует несформированности компетенции и оценивается на «неудовлетворительно».

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

а) литература

1. Андрижиевский, А. А. Механика жидкости и газа : учебное пособие / А. А. Андрижиевский. — Минск : Вышэйшая школа, 2014. — 207 с. — ISBN 978-985-06-2509-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/35498.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник / Д. В. Штеренлихт. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 656 с. — ISBN 978-5-8114-1892-3. — Текст : электронный // Лань : электронно- библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212051> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Ильина, Т. Н. Гидравлика. Примеры расчетов элементов инженерных сетей : учебное пособие / Т. Н. Ильина. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. — 150 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/28343.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

4. Зауэр, Р. Введение в газовую динамику / Р. Зауэр ; перевод Г. А. Вольперт. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных

исследований, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-4344-0767-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/92110.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

5. Людвиг, Прандтль Гидроаэромеханика / Прандтль Людвиг; перевод Г. А. Вольперт. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 572 с. — ISBN 978-5-4344-0787-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/92037.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

6. Подружин, Е. Г. Конструкция и проектирование летательных аппаратов. Крыло : учебно-методическое пособие / Е. Г. Подружин, П. Е. Рябчиков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 116 с. — ISBN 978-5-7782-1427-9. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/44945.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7. Игнатъева, А. В. Расчет аэродинамических характеристик самолета с механизацией крыла : учебное пособие / А. В. Игнатъева, В. Л. Чемезов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 46 с. — ISBN 978-5-7782-1391-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45003.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

8. Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие по выполнению лаб. работ. Ч. 1. Гидромеханика / АмГУ, ИФФ; сост.: И. В. Верхотурова, О. А. Агапьятова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 82 с. - Б. ц.

Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7766.pdf

9. Гидрогазодинамика. Ч.1 «Гидромеханика» : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / составители И. В. Верхотурова, О. А. Агапьятова. — Благовещенск : Амурский государственный университет, 2017. — 82 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/103852.html> (дата обращения: 05.04.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

10. Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие по выполнению лаб. работ. Ч. 2. Газовая динамика / АмГУ, ИФФ; сост.: И. В. Верхотурова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2019. - 73 с. - Б. ц.

Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/11526.pdf

11. Гидрогазоаэродинамика [Электронный ресурс]: сб. учеб.-метод. материалов для направления подготовки 24.03.01 "Ракетные комплексы и космонавтика" / АмГУ, ИФФ; сост. И. В. Верхотурова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 119 с. - Б. ц.

Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7777.pdf

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	Comsol Multiphysics	Лицензия на учебный класс по сублицензионному договору №20/15/230 т 16.12.2015.
2	Google Chrome	Бесплатное распространение по лицензии google chromium http://code.google.com/intl/ru/chromium/terms.html на условиях https://www.google.com/chrome/browser/privacy/eula_text.html .
3	LibreOffice	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL https://ru.libreoffice.org/about-us/license/
4	http://e.lanbook.com	Представленная электронно-библиотечная система —

		это ресурс, включающий в себя как электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы, так и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам.
5	http://www.iprbookshop.ru/	Электронно- библиотечная система IPRbooks — научно- образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования.
6	http://elibrary.ru	Научная электронная библиотека журналов

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http://window.edu.ru	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
2	https://ecoruspace.me/	Космонавтика и авиация. Новости космонавтики. Запуски ракет. Характеристики спутников. Отказы ракетно- космической техники. Авиация. Промышленное производство. Рыночные исследования.
3	https://elibrary.ru/defaultx.asp	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно- аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования

10. МАТЕРИАЛЬНО- ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Занятия по дисциплине «Гидрогазоаэродинамика» проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, лабораторных работ с лабораторным оборудованием, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно- библиотечным системам и к электронной информационно- образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета