

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«Механика жидкости и газа»

Дисциплина «Механика жидкости и газа» является частью программы специалитета «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок (СУОС)» по направлению «24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

Цели и задачи дисциплины

Целью учебной дисциплины является формирование комплекса знаний об основных законах движения жидкости и газа при различных скоростях течения и внешних воздействиях, общетеоретического кругозора, необходимых для приобретения умений и навыков анализа гидрогазодинамических явлений, их моделирования и расчёта. К задачам учебной дисциплины относятся:

- формирование знаний – основных законов сохранения и закономерностей, описывающих до- и сверхзвуковые течения с учётом вязкости и сжимаемости; – видов математических моделей; – физических и математических моделей течений невязких и вязких течений несжимаемых и сжимаемых сред; – правил постановки, решения и оформления результатов, как основных этапов решения задач о течениях жидкости и газа; – основных методов и средств измерения локальных и интегральных параметров потоков на разных скоростях течения; – характеристик измерительных устройств и датчиков и способов их теоретического и экспериментального определения;
- формирование умений – пользоваться приёмами постановки и решения частных задач механики жидкости и газа с помощью аналитических методов и современных вычислительных пакетов; – выявлять и анализировать физическую сущность процессов и явлений в течениях жидкости и газа; – формулировать, обосновывать и описывать физические и математические модели течений жидкости и газа; – выполнять гидрогазодинамические расчёты элементов двигателей и газодинамических явлений по моделям несжимаемых и сжимаемых течений; – анализировать результаты решений гидрогазодинамических задач и оценивать методы их решения; – разрабатывать и описывать схемы препарирования объектов газодинамического экспериментального исследования; – применять методы регистрации и обработки результатов научно-технических экспериментов и испытаний для разработки методик первичной и вторичной обработки результатов измерений;
- формирование навыков – построения физических и математических моделей стационарных и не-стационарных течений жидкости и газа в расчётно-теоретических задачах в области авиадвигателестроения, анализа и обобщения результатов моделирования; – применения приёмов и опыта постановки и решения прикладных инженерных задач в области механики жидкости и газа; – решения общих гидрогазодинамических задач с применением современных прикладных программных средств; – анализа и оценки физических и математических моделей, применённых для решений гидрогазодинамических задач, результатов их решения; – планирования и проведения газодинамических экспериментальных исследований; – обработки и анализа результатов экспериментальных исследований.

Изучаемые объекты дисциплины

– общие сведения о жидкостях и газах, базовый понятийный аппарат;
– математический аппарат при изучении гидрогазодинамических процессов в элементах реактивных авиационных двигателей и силовых энергоустановок; – базовые законы сохранения при движении сплошных несжимаемых и сжимаемых сред; – физические и математические модели течений невязких и вязких течений несжимаемых и сжимаемых сред..

Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах			
		Номер семестра			
		5	6		
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	138	54	84		
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:					
- лекции (Л)				32	48
- лабораторные работы (ЛР)					16
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)				34	16
- контроль самостоятельной работы (КСР)				8	4
- контрольная работа					
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	150	54	96		
2. Промежуточная аттестация					
Экзамен	72	36	36		
Дифференцированный зачет					
Зачет					
Курсовой проект (КП)					
Курсовая работа (КР)					
Общая трудоемкость дисциплины	360	144	216		

Краткое содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Введение в механику жидкости и газа	8	0	4	13
<p>Тема 3. Основы механики сплошных и разреженных сред Линия тока, трубка тока, струйка тока, поток. Вихревые трубка, шнур и поток. Потенциальное и вихревое течения. Стационарные и нестационарные течения, пространственные, плоские и одномерные течения. Упрощающие предположения механики жидкостей и газов. Расход и плотность тока, средняя скорость. Контрольные поверхность и объем; жидкие частица (моль), объем, кон-тур. Понятие сплошности в аэрогидромеханике, критерий Кнудсена. Сплошные течения, гипотеза Прандтля о налипании и пограничный слой. Течения со скольжением и разреженные течения. Межмолекулярные силы и их влияние на характер течения жидкостей и газов при ускорении. Кавитация и меры борьбы с ней. Общее и различия в течениях жидкости и газа. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое давление и его свойства. Внутреннее трение и вязкость в жидкостях и газах. Зависимость вязкости от параметров потока. Молекулярно-кинетическая природа вязкости. Понятие о турбулентной вязкости. Законы переноса. Виды пограничного слоя. Понятие о режимах течения. Напряженное состояние жидкой частицы. Равнодействующая напряжений. Работа сил трения и ускорение от сил трения, диссипация кинетической энергии. Понятие о вихревом эффекте Ранка.</p> <p>Тема 4. Элементы газовой динамики в одномерном течении Механизмы перехода кинетической энергии в потенциальную. Параметры торможения. Скорость сжимаемого и несжимаемого потоков. Характерные скорости – местная скорость звука, критическая скорость звука (потока), максимальная скорость потока. Реальный предел скорости. Эквивалентность скорости и работы расширения–сжатия. Безразмерные скорости. Связь между характерными скоростями. Связь критических и полных параметров</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
состояния, критический перепад давлений для сжимаемых потоков. Газодинамические функции (ГДФ) параметров торможения.				
Основные понятия, определения, математический аппарат	8	0	4	13
Введение Предмет и прикладное значение курса. Общее и различия механики жидкости и газа, гидродинамики, газодинамики и аэродинамики как частей механики сплошной среды. Виды течений. Газодинамическая система и ее поведение. Принятые обозначения и определение основных понятий. Обоснование математических моделей. Упрощающие допущения. Виды жидкостей. Обратимость движения. Подходы Эйлера и Лагранжа к решению задач механики жидкости и газа. Тема 1. Основные сведения из математики Векторное поле. Векторная линия, линия тока, вихревая линия. Скалярное и векторное произведение. Операторы Гамильтона и Лапласа. Поток вектора. Исток и сток, диполь. Формула Остроградского-Гаусса. Формула Стокса и её следствия. Градиент скалярной величины. Дивергенция вектора. Ротор вектора и циркуляция вектора, оценка интенсивности вращательного движения, вихрь скорости. Теоремы о градиенте, дивергенции, роторе. Полная производная и её составные части. Правила действия с оператором Гамильтона. Тема 2. Основные понятия термодинамики Рабочее тело. Термодинамические характеристики рабочего тела – давление, температура, плотность. Газовая постоянная, теплоемкость. Энтальпия, 1-й закон термодинамики. Энтропия, 2-й закон термодинамики. Изэнтропический процесс и закон сохранения энтропии. Градиент энтальпии в изэнтропическом процессе. Понятие о полных параметрах. Показатели политропы и адиабаты, как характеристики термодинамического процесса и качественные характеристики сжимаемости среды в этом процессе. Модуль упругости среды, сравнение сжимаемости жидкостей и				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
газов.				
Законы сохранения в механике жидкости и газа	16	0	10	28
<p>Тема 5. Законы сохранения в механике жидкости и газа</p> <p>Консервативность законов сохранения. Уравнение неразрывности в дифференциальной и интегральной формах. Нестационарное одномерное уравнение неразрывности в полных и в статических параметрах. Примеры проявления нестационарности (гидроудар, помпаж и пр.). Газодинамические функции расхода, газодинамическая форма уравнения неразрывности.</p> <p>Анализ газодинамической формулы расхода. Предельный расход для внутренних течений. Явление запираания по расходу и предельные скорости на входе в каналы. Параметр расхода и расходные характеристики.</p> <p>Силы, действующие в жидкости. Уравнения движения в форме Эйлера и Навье – Стокса. Анализ и применение уравнений Эйлера – радиальное равновесие, универсальный закон изменения окружной составляющей скорости. Уравнение движения в форме Громеки–Лемба и интеграл Коши–Лагранжа. Интеграл Бернулли, условия постоянства полной механической энергии. Анализ уравнения Бернулли для различных термодинамических процессов. Пьезометрические, геометрические, гидростатические, скоростные напоры (высоты).</p> <p>Энергетическая форма Крокко. Условия постоянства полной энтальпии.</p> <p>Уравнение количеств движения (1-е уравнение Эйлера). Полный импульс, ГДФ полного импульса. Сила взаимодействия потока с каналом переменного сечения. Нестационарное уравнение количеств движения в параметрах торможения. Уравнение количеств движения для одномерного движения и элементарной струйки. Реактивная сила.</p> <p>Изменение полного давления в потоках. Условия постоянства параметров торможения. Коэффициенты полезного действия в процессах сжатия-расширения.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Влияние на коэффициенты полезного действия степени повышения/понижения давления в процессах сжатия/ускорения (торможения/ускорения потоков).</p> <p>Уравнение моментов количеств движения (2-е уравнение Эйлера). Крутящий момент, мощность и работа одной ступени лопаточной машины; связь работы с силами, действующими на лопатки. Энергетическая форма уравнения моментов количества движения, коэффициенты нагрузки (закрутки, напора), напорность ступени. Понятие о принципе работы турбомашин.</p> <p>Нестационарное уравнение энергии в общем виде. Общая форма одномерного стационарного уравнения энергии в тепловой и механической форме (обобщенное уравнение Бернулли).</p> <p>Уравнение энергии для идеального и реального энергоизолированного течения, политропический интеграл, характеристики потерь и их взаимосвязь. Особенности гидродинамической трактовки коэффициента потерь кинетической энергии.</p> <p>Политропический интеграл в процессах сжатия-расширения, изображение этих процессов в T-S и p-v координатах.</p> <p>Коэффициент теплового сопротивления, коэффициент возврата тепла.</p> <p>Изэнтропный и адиабатный потоки. Формулы работ сжатия и расширения в лопаточных машинах, адиабатный и политропный КПД. T-S диаграммы процессов подвода работы к потоку и совершения механической работы потоком.</p> <p>Газодинамическая форма математической модели элементарной струйки в стационарных и нестационарных течениях.</p> <p>Связь сжимаемости со скоростью потока, вывод и анализ.</p> <p>Обобщающее уравнение обращения воздействий. Общие условия изменения скорости сжимаемого потока. Особенности ускорения и торможения сверхзвуковых газовых потоков, понятие о характеристиках, волнах разрежения и скачках уплотнения.</p>				
ИТОГО по 5-му семестру	32	0	18	54
6-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Гидростатика и кинематика движения жидкой частицы	10	0	6	18
<p>Тема 6. Уравнение Эйлера в аэрогидростатике</p> <p>Основные понятия – абсолютное и относительное равновесие, поверхность уровня, свободная поверхность, общее условие равновесия. Уравнение движения Эйлера как основное дифференциальное уравнение гидростатики. Условия существования равновесия.</p> <p>Характер массовых сил в основном уравнении гидростатики. Закон Паскаля. Давление жидкости на стенки. Равновесие жидкости при наличии негравитационных массовых сил. Закон Архимеда, плавание тел.</p> <p>Равновесие газов, международная стандартная атмосфера.</p> <p>Тема 7. Общая теория потенциального и вихревого движения</p> <p>Движение жидкой частицы. Потенциальное и вихревое движение, потенциал скорости и функция тока. Физический смысл и ортогональность изолиний потенциала скорости и функции тока. Простейшие виды потенциальных течений, метод суперпозиций. Интенсивность вихревого движения, условия завихренности, циркуляция скорости. Связь циркуляции с интенсивностью вихря, теорема Стокса. Теорема Гельмгольца, формы вихрей. Условия изменения интенсивности вихря, теорема Томпсона.</p> <p>Проявления действия основных теорем кинематики жидкой частицы и нарушения их условий (свободные тороидальные вихри; тороидальные вихри, порожденные осевыми вихрями; разгонные вихри; вихревые следы, разрывы и пр.)</p> <p>Тема 8. Потенциальный вихрь</p> <p>Структура потенциального вихря. Возможные причины и механизм развития потенциального вихря в природе. Радиальное распределение параметров потока при условии радиального равновесия в потенциальной циркуляционной зоне потенциального вихря. Распределение параметров потока по радиусу центрального</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
вихревого ядра потенциального вихря при радиальном равновесии. Использование свойств потенциального вихря для построения профилей лопаточных машин.				
Частные случаи уравнения обращения воздействий	6	2	0	9
<p>Тема 15. Механическое и тепловое воздействия</p> <p>Механическое воздействие. Уравнение обращения механического воздействия и его анализ. Формы проточной части компрессора и турбины (компенсация механического воздействия геометрическим). Факторы, влияющие на степень изменения полного давления и работу лопаточных машин. Механическая работа и ее кинетический эквивалент, этапы взаимопреобразования энергии газа или жидкости и механической работы в лопаточных машинах.</p> <p>Тепловое воздействие. Уравнение обращения для теплового воздействия и его анализ. Природа и расчет теплового сопротивления в потоках. Тепловой кризис. Влияние теплового кризиса на регулирование и устойчивость работы ВРД. Особенности включения и выключения форсажной камеры сгорания.</p> <p>Тема 16. Расходное воздействие и турбулентные струи</p> <p>Расходное воздействие. Уравнение обращения расходного воздействия и его анализ. Расходное сопло.</p> <p>Турбулентные струи и задачи теории струй. Общие свойства, структура и расчет турбулентных струй. Изменение параметров потока по сечению турбулентных струй, взаимодействие с внешней средой. Изменение параметров по длине турбулентной струи.</p> <p>Рабочий процесс эжектора. Потери смешения потоков. Эжекторный увеличитель тяги.</p>				
Течения в диффузорах, соплах и лопаточных решетках	10	6	4	26
Тема 17. Течения в диффузорах Дозвуковые входные устройства ВРД, течение в диффузорах. Организация скачков уплотнения и регулирование сверхзвуковых входных устройств (СВУ). Помпаж и зуд				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>СВУ. Характеристики СВУ.</p> <p>Тема 18. Течения в соплах</p> <p>Уравнение обращения геометрического воздействия и его анализ.</p> <p>Связь ГДФ "пи"(...) и степени понижения полного давления в соплах "пи"с*, критический и располагаемый перепады давлений.</p> <p>Истечение из дозвуковых сопел и сверхзвуковых сопел на режимах полного расширения и недорасширения. Истечение из сверхзвуковых сопел на режимах перерасширения. Диаграмма режимов истечения. Сопла с косым срезом, девиация реактивной тяги.</p> <p>Характеристики и расчет сопел.</p> <p>Профилирование дозвуковой и сверхзвуковой частей сопла Лавала. Учет вязкости при профилировании сопел.</p> <p>Тема 19. Основы аэродинамики профилей и решеток профилей</p> <p>Теория крылового профиля и решетки профилей: потенциальное циркуляционное течение на аэродинамическом профиле, метод суперпозиций, подъемная сила, теорема Жуковского. Образование разгонного вихря, спутный след.</p> <p>Истечение из косоугольного среза межлопаточного канала, кромочный след с возвратным течением, локальный отрыв пограничного слоя, отставание потока. Работа косоугольного среза конфузорных решеток, предел расширительной способности косоугольного среза.</p> <p>Характеристики потерь при обтекании профилей и решеток профилей. Поляра крыла.</p> <p>Расчет силового взаимодействия решетки профилей с потоком.</p> <p>Основные виды потерь в решетках профилей.</p> <p>Атакоустойчивость решеток. Влияние чисел М и Re на потери в конфузорных и диффузорных решетках. Влияние параметров турбулентности на аэродинамические характеристики решеток.</p>				
Сверхзвуковые течения газа	12	0	2	11
<p>Тема 11. Общие сведения о распространении возмущений</p> <p>Распространение слабых возмущений в потоках. Свойства и виды характеристик. Формы характеристик. Общие сведения о</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>влиянии разрывов на поведение потока. Механизм отклонения потока и изменения скорости при пересечении линий слабых возмущений и скачков уплотнения.</p> <p>Тема 12. Теория скачков уплотнения</p> <p>Образование скачков уплотнения, переход скачков уплотнения в слабое возмущение. Относительность понятий точечного и конечного источников возмущений.</p> <p>Преобразование волн сжатия в скачки, примеры (включая пограничный слой и скачки на отрывном следе за телами). Классификация скачков уплотнения.</p> <p>Законы сохранения для скачков уплотнения и ударных волн.</p> <p>Кинематическое и динамическое соотношения для прямых и косых скачков уплотнения, их вывод. Причины деления скачков уплотнения на сильные и слабые. Анализ динамического соотношения. Ударная адиабата и потери в скачках уплотнения. Волны сжатия.</p> <p>Отклонение потока в косых скачках уплотнения. Переход слабых скачков в сильные. Предельный угол поворота.</p> <p>Соотношения Ренкина–Гюгонио. Расчет прямых и косых скачков уплотнения и ударных волн. Системы скачков уплотнения, минимизация потерь.</p> <p>Тема 13. Теория простых волн</p> <p>Простая волна Римана для нестационарного одномерного течения. Простая волна Прандтля–Майера в стационарных сверхзвуковых потоках. Основные параметры течения Прандтля–Майера. Расчет параметров потока в волне разрежения.</p> <p>Расчет угла отклонения потока в волне разрежения. Предельные угол поворота потока и угол раскрытия волны.</p> <p>Тема 14. Взаимодействие и отражение скачков уплотнения и волн</p> <p>Пересечение характеристик и волн разрежения, отражение волн от твердой стенки и границы свободной струи. Взаимодействие волн разрежения и скачков уплотнения.</p> <p>Отсоединенный криволинейный скачок уплотнения при обтекании затупленных тел.</p> <p>Взаимодействие характеристик и скачков</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
уплотнения. Отражение скачков уплотнения от твердой стенки. Предел правильного отражения и пересечения скачков уплотнения, Y-образный и мостообразный скачки уплотнения. Отражение от границы свободной струи. Взаимодействие скачков уплотнения с ламинарным и турбулентным пограничными слоями.				
Течения вязких сред	10	8	4	32
Тема 9. Теория пограничного слоя и режимы течения Основные типы пограничных слоев. Физическая и условные толщины пограничного слоя. Характер и режимы течения вязкой жидкости. Потеря устойчивости ламинарного течения, переход ламинарного режима в турбулентный. Пульсационное и осредненное движение. Дополнительные (кажущиеся) турбулентные напряжения и их физический смысл. Аэродинамический шум. Полуэмпирическая теория пути перемешивания. Основные расчетные уравнения пограничного слоя. Управление степенью турбулентности в потоках. Отрыв пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя к отрыву, управление пограничным слоем. Перетекания в пограничном слое, индуктивный вихрь на крыле конечного размаха и парный вихрь в решетках профилей лопаточных машин. Вырождение турбулентности и локализация отрывов в конфузурных течениях. Тема 10. Внутренние течения Сопротивление тел при ламинарном и турбулентном режимах течения. Законы сопротивления для гладких труб при ламинарном и турбулентном режимах. Применение уравнения Бернулли к анализу течений в трубах, коэффициент Кориолиса. Разгонный участок и изменение коэффициента Кориолиса Геометрическая, пьезометрическая и гидростатическая высоты (напоры). Расчет трубопроводов. Расчет коэффициента Дарси для ламинарного режима, турбулентного режима с различной степенью проявления				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>шероховатости (неравенства Сабанеева). Гидросопротивления, потери на трение и местные сопротивления, формулы Вейсбаха и Вейсбаха-Дарси. Основные виды местных сопротивлений – конфузор и внезапное сжатие, диффузор и внезапное расширение. Истечение через отверстия. Изменение энергии в канале постоянного сечения (трубе) для капельных и сжимаемых жидкостей. Потери при повороте потока, вторичные течения. Суммирование и взаимовлияние потерь. Характеристика сети. Уравнение обращения воздействия трения. Газодинамический расчет течения с трением, ГДФ трения. Запирание труб по расходу.</p>				
ИТОГО по 6-му семестру	48	16	16	96
ИТОГО по дисциплине	80	16	34	150