

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Авиационной теплотехники и теплоэнергетики»

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Механика жидкости и газа»

Направление подготовки (специальность)
24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Специализация №1
Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок

Квалификация выпускника
Инженер

Форма обучения
Очная

УФА 2017

Исполнители: _____ доц. Клеванский В. М. 
_____ доц. Кишалов А. Е. 

Заведующий кафедрой: _____ Бакиров Ф. Г. 

Дисциплина «Механика жидкости и газа» является дисциплиной базовой части учебного цикла Б1.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности) 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «16» февраля 2017 г. № 141.

Целью освоения дисциплины является:

- формирование у студентов знаний, умений и навыков, необходимых для решения задач, связанных с расчётами течений жидкостей и газов и их взаимодействием с твёрдыми телами в статических и динамических условиях и между собой с учётом процессов тепломассообмена в авиационных двигателях и энергетических установках, а также в различных технических устройствах;
- формирование способностей к организации работы коллектива исполнителей;
- формирование способностей к созданию физических и математических моделей, позволяющих анализировать совокупность процессов в двигателях и энергетических установках ЛА, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в процессе своей профессиональной деятельности.

Задачи:

- учебные;
- воспитательные;
- развивающие.

Учебными задачами дисциплины являются:

- формирование у студентов системы знаний по основным законам механики жидкости и газа;
- формирование у студентов знаний и умений по формулированию и постановке задач дисциплины, выбору и использованию соответствующих законов и формул, способностей принимать участие в инженерных разработках в составе коллектива, способности к организации работы коллектива исполнителей;
- формирование у студентов навыков проведения расчетов, анализа и интерпретации результатов расчета, навыков проведения экспериментов и

анализа их результатов с привлечением соответствующего математического аппарата.

Воспитательными задачами дисциплины являются:

- формирование у студентов убежденности в необходимости непрерывного обучения при работе по специальности, уверенности в своих силах и возможностях.

Развивающей задачей дисциплины является развитие у студента системного логического мышления.

Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	творческое применение основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОК-10	-основные физические свойства жидкостей и газов; -общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов, основные формулы и методы решения задач, необходимых при проектировании летательных аппаратов	-проводить расчеты одномерных течений жидкостей и газов в элементах двигателей летательных аппаратов с учетом гидравлических и местных сопротивлений и различных видов физических воздействий	-методами теоретического исследования в гидрогазодинамике с использованием основных понятий механики жидкости и газа, моделей и формул; -методами проведения расчетов одномерных течений жидкостей и газов в элементах двигателей летательных аппаратов с учетом гидравлических и местных сопротивлений и различных видов физических воздействий
2	способность разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и	ПК-24	-условия подобия гидрогазодинамических	- использовать основные понятия механи-	-методами экспериментального исследо-

	испытаний, проводить обработку и анализ результатов		процессов; -основы теории пограничного слоя	ки жидкости и газа, модели и формулы при проведении расчётов гидрогазодинамических процессов в двигателях летательных аппаратов, а также анализировать и интерпретировать полученные результаты; - проводить измерения гидрогазодинамических параметров в потоках жидкостей и газов	вания и моделирования гидрогазодинамических процессов и явлений в двигателях летательных аппаратов; - методами проведения измерений гидрогазодинамических параметров потоков жидкостей и газов и приобрести соответствующий опыт и навыки в ходе проведения лабораторных работ
3	способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности	ПК-26	-широко распространённые модели жидкой среды и особенности физического и математического моделирования одномерных и трехмерных, дозвуковых и сверхзвуковых, ламинарных и турбулентных течений идеальной и реальной несжимаемой и сжимаемой жидкостей; -уравнения одномерных потоков жидкостей и газов, основные формулы и методы решения	-применять физико-математические методы моделирования и расчёта при разработке двигателей летательных аппаратов; -осуществлять математическую постановку задач и их решение; - использовать справочный материал по физическим свойствам жидких и газообразных сред	- навыками проведения газодинамических расчетов рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках; - навыками использования справочных материалов по физическим свойствам жидких и газообразных сред, в том числе с использованием интернет-ресурсов.

		задач.		
--	--	--------	--	--

Содержание разделов дисциплины

№	Наименование и содержание разделов
1	<p>Жидкости и газы как сплошные деформируемые среды и объекты изучения в механике жидкости и газа</p> <p>Определение целей и задач дисциплины, объекта и базы для её изучения. Общая постановка задач механики жидкости и газа (МЖГ), система уравнений МЖГ, выделение конкретной задачи (граничные и начальные условия). Методы упрощений. Внешняя и внутренняя, прямая и обратная задачи. Методы решения задач МЖГ. Отличительные свойства жидкостей и газов. Гипотеза сплошности жидкости (постулат Даламбера-Эйлера). Основные понятия жидкого континуума. Силы, действующие в жидкости. Напряжения.</p>
2	<p>Основы кинематики жидкости</p> <p>Методы изучения движения жидкости. Трубка тока. Живое сечение. Расход жидкости. Расхождение вектора скорости и его гидродинамический смысл. Векторная формула Остроградского-Гаусса. Закон сохранения массы и уравнение неразрывности. Скорость движения жидкой частицы и ее полная (индивидуальная или субстанциональная), конвективная и локальная (местная) производные. Первая теорема Гельмгольца (Коши-Гельмгольца). Физический смысл ротора (вихря) скорости, вихревое и безвихревое течения. Дивергенция скорости как скорость относительной объемной деформации частицы. Краткие сведения о вихревых движениях. Вторая теорема Гельмгольца (без доказательства). Следствие из теоремы Гельмгольца (без доказательства) о невозможности окончания вихревой трубки внутри жидкости. Циркуляция скорости и теорема Стокса (без доказательства). Следствие из теоремы Стокса (без доказательства) о равенстве нулю циркуляции скорости по любому замкнутому контуру внутри области безвихревого течения жидкости. Теорема Томсона (Кельвина) или закон сохранения циркуляции. Следствие (теорема Лагранжа) о невозможности появления или исчезновения вихрей. Безвихревое течение жидкости. Потенциал скорости. Безвихревое течение - потенциальное течение. Уравнение Лапласа для потенциала скорости.</p>
3	<p>Основные уравнения гидрогазодинамики</p> <p>Свойства напряжений поверхностных сил. Давление и его свойства. Уравнение движения (количества движения или импульса) жидкости в напряжениях. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформаций (закон Стокса). Уравнения движения Навье-Стокса для вязкой сжимаемой жидкости. Уравнения движения идеальной жидкости в форме Эйлера и Громеки-Лэмба. Интегралы уравнений движения идеальной жидкости. Интеграл Бернулли. Частые случаи интеграла Бернулли, уравнение Бернулли. Интегральная форма закона сохранения количества движения (импульса) для жидкого объёма в Эйлеровом представлении</p>

	<p>(первое уравнение Эйлера). Определение сил, действующих на тело, по состоянию потока на границах. Вывод формулы тяги воздушно-реактивного двигателя. Интегральная форма закона сохранения момента количества движения (момента импульса). Второе уравнение Эйлера (для турбомашин). Закон сохранения энергии. Уравнение энергии для жидкой среды: анализ уравнения энергии; частные формы уравнения энергии. Система уравнений газовой динамики для идеального сжимаемого газа в дивергентной форме. /У.Г.Пирумов, Г.С.Росляков. Численные методы газовой динамики. М.: Высшая школа, 1987, с.39-41/.</p>
4	<p>Теория подобия и анализ размерностей Понятие о подобии физических явлений и моделировании. Метод подобия: получение чисел подобия методом теории подобия на примере уравнения Навье-Стокса. Критерии (числа) гидрогазодинамического подобия Рейнольдса, Эйлера, Фруда, Струхалея и их физический смысл. Критерий Эйлера для газа. Определяющие и определяемые критерии подобия. Полное и частичное (приближенное) подобия. Неопределяющие критерии. Автомодельность. Тепловое подобие. Критерии теплового подобия Прандтля и Нуссельта, критерий Пекле. Анализ размерностей. Получение чисел подобия методом анализа размерностей: π - теорема (без доказательства).</p>
5	<p>Режимы течения вязкой жидкости Ламинарное и турбулентное течения вязкой жидкости: опыт Рейнольдса; критическое число Рейнольдса как граница перехода от ламинарного режима течения к турбулентному. Особенности турбулентного режима движения жидкости: хаотическое пульсационное движения жидких (вихревых) молей, пульсации скорости и других параметров потока. Пристенная турбулентность. Мгновенная (истинная) местная скорость, осредненная скорость, пульсационная составляющая (добавка) скорости. Среднеквадратичные значения пульсаций скорости. Изотропная турбулентность. Степень или интенсивность турбулентности. Дифференциальные уравнения Рейнольдса для турбулентных течений. Уравнения осредненного турбулентного движения для несжимаемой жидкости: принцип вывода и отличие от уравнений движения в напряжениях. Дополнительная (кажущаяся) вязкость, дополнительные (кажущиеся) турбулентные напряжения в системе уравнений Рейнольдса. Модели турбулентной вязкости или некоторые гипотезы о турбулентных напряжениях: гипотеза Буссинеска о связи турбулентного напряжения с осредненной скоростью; двухслойная модель турбулентного потока; схема Прандтля пульсационного движения в турбулентном потоке. Формула Прандтля для дополнительного касательного турбулентного напряжения; длина пути смешения как характеристика внутреннего механизма турбулентного движения и ее физический смысл. Гипотезы Тейлора и Кармана о турбулентных напряжениях. Методы «$k-\varepsilon$» и «$\overline{u'v'}-k-\varepsilon$» расчета турбулентных течений. Метод прямого численного моделирования турбулентных течений. Сопоставление турбулентного и молекулярного</p>

	переносов, диссипация энергии в турбулентных течениях; значение турбулентных режимов течения для интенсификации процессов переноса.
6	<p>Одномерные течения. Установившиеся течения несжимаемой жидкости в трубах</p> <p>Основные понятия. Уравнение неразрывности (расхода). Уравнение количества движения. Постоянство полного импульса для цилиндрической струйки идеальной жидкости. Уравнение Бернулли как механическая форма уравнения энергии. Геометрическое толкование уравнения Бернулли. Гидростатический напор и гидростатический закон распределения давления в поперечном сечении одномерного потока. Связь между единицами напора и давления. Полное давление (полный напор). Обобщенное уравнение Бернулли и его частные случаи. Коэффициент Кориолиса для учёта неравномерности поля скоростей. Способ экспериментального определения гидравлических потерь. Рекомендации по применению уравнения Бернулли для решения задач. Гидравлические потери и принципы их расчета. Формула Вейсбаха для расчета гидравлических потерь. Формула Дарси-Вейсбаха для определения потерь на трение. Местные потери и коэффициенты местного сопротивления. Ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе. Формулы для расчета коэффициента сопротивления трения для ламинарного режима течения. Турбулентное течение вязкой несжимаемой жидкости в трубе. Профили скоростей при турбулентном движении. Формулы для расчета коэффициента сопротивления трения для турбулентного режима течения. Понятие о гидравлически гладких и шероховатых трубах. Закон сопротивления гладких труб. Опытные данные Никурадзе о коэффициенте гидравлического сопротивления трения в трубах с равномернозернистой шероховатостью. Расчет сопротивления для труб с технической шероховатостью: эквивалентная шероховатость, принцип расчета эквивалентной шероховатости. Формула А.Д.Альтшуля для турбулентных режимов течения. Особенности расчета гидравлических потерь в трубах с некруглым поперечным сечением. Учет влияния сжимаемости на коэффициент трения при больших скоростях течения газа. Местные гидравлические сопротивления: потери при внезапном расширении и при внезапном сужении трубы; потери в коленах и отводах; потери при слиянии и разделении потоков (потери в тройниках). Истечение жидкости через отверстия и насадки. Дроссельные расходомеры: трубка Вентури, мерные сопла и диафрагмы. Кавитация. Гидравлический расчет трубопроводов. Простой трубопровод постоянного сечения. Порядок расчета простого трубопровода постоянного сечения. Соединение простых трубопроводов: последовательное, параллельное; разветвленный трубопровод. Трубопровод с насосной подачей жидкости (насосная установка). Замкнутый (кольцевой) трубопровод с насосной подачей.</p>
7	<p>Одномерный поток газа</p> <p>Скорость звука. Уравнение энергии в форме энтальпии. Преобразование полной энтальпии в кинетическую энергию потока. Газодинамические</p>

	<p>функции: газодинамические функции параметров торможения; газодинамические функции, характеризующие поток массы; газодинамическая форма уравнения расхода; газодинамические функции, характеризующие полный импульс потока; газодинамическая форма для полного импульса; формулы для определения сил, действующих на твердое тело; газодинамическая форма формул тяги; течение газа по каналу с внезапным расширением. Уравнение обращения воздействий. Геометрическое воздействие на газовый поток (уравнение Гюгонио): конфузорный и диффузорный каналы; сужающе-расширяющийся канал: изменение знака геометрического воздействия при переходе течения через скорость звука (обращение геометрического воздействия); идеальное сопло Лавая; критическое течение в горле идеального сопла Лавая; максимальная скорость истечения из идеального сужающегося сопла (конфузора); понятие о сверхзвуковом диффузоре; истечение газа из сосуда неограниченной емкости через сужающееся сопло; критерии, определяющие режим истечения газа в среду с заданным противодействием; особенности истечения при изменении располагаемого отношения давлений путем изменения давления в сосуде или противодействия окружающей среды. Методика расчёта идеального сужающегося сопла. Режимы течения газа в идеальном канале с горлом. Расчёт идеального сопла Лавая на расчётном режиме работы. Тепловое воздействие: движение подогреваемого газа по каналу постоянного сечения; тепловое сопло; тепловой кризис; тепловое сопротивление; невозможность перевода потока из дозвуковой области течения в сверхзвуковую подводом теплоты; особенности расчета течения при дозвуковой скорости течения на входе в канал: при заданном располагаемом перепаде давлений по входу и изменении степени подогрева. Комбинированные сопла. Полутепловое сопло. Воздействие трением: адиабатическое течение газа с трением по каналу постоянного сечения; кризис течения в выходном сечении канала. Особенности расчета течения при дозвуковой скорости течения на входе в канал: при заданном располагаемом перепаде давлений по входу и изменении длины канала, при заданной длине канала и изменении располагаемого перепада давлений. Об универсальности критериев, определяющих режим истечения газа из канала в среду с заданным противодействием. Расходное и механическое воздействия. Некоторые методы контактных измерений параметров потоков жидкостей и газов при дозвуковых скоростях течения.</p>
8	<p>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии Распространение слабых возмущений в движущемся газе: линии слабых возмущений, характеристики; свойства характеристик. Плоское потенциальное установившееся течение идеального газа: основное дифференциальное уравнение газовой динамики для плоского потенциального установившегося течения идеального газа (дифференциальное уравнение потенциала скорости) и его частные случаи. Понятие о методе характеристик для расчёта сверхзвуковых течений.</p>

	<p>Обтекание сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла (течение Прандтля-Майера или сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости). Физическая картина течения. Пересечение и отражение слабых волн: взаимодействие волн разрежения и искривление характеристик; отражение слабых возмущений (линий разрежения и линий сжатия) от твёрдой стенки. Принцип профилирования сверхзвуковой части сопла Лавалья. Отражение слабых возмущений от границы свободной струи. Сопло с косым срезом. Сопло с центральным телом.</p>
9	<p>Скачки уплотнения</p> <p>Понятие о сильных разрывах: скачки уплотнения или ударные волны. Основные соотношения для прямого скачка уплотнения: постоянство полной энергии при переходе газа через прямой скачок уплотнения, уменьшение скорости на прямом скачке до дозвуковой; увеличение плотности, температуры и давления, падение полного давления и возрастание энтропии. Невозможность образования адиабатных скачков разрежения. Ударная адиабата Гюгонио, отличие ударного сжатия от изоэнтропного. Динамическое соотношение на прямом скачке уплотнения. Скорость распространения ударной волны в неподвижном газе. Косые скачки уплотнения: образование плоского косого скачка уплотнения; треугольники скоростей на фронте скачка (неизменность тангенциальной составляющей и падение нормальной составляющей скорости потока за косым скачком уплотнения); неизменность температуры торможения на косом скачке уплотнения; температура частичного торможения и условная критическая скорость звука. Связь между уравнениями для расчёта параметров газового потока после прямых и косых скачков уплотнения. Некоторые формулы для расчёта косых скачков уплотнения. Отклонение потока в косом скачке: связь между углами, определяющими положение вектора скорости потока до и за скачком, диаграмма α-ω и её анализ. Сильные и слабые косые скачки уплотнения, отсоединённые криволинейные скачки уплотнения. Применение пневмометрического насадка (трубки Пито-Прандтля) в сверхзвуковом потоке. Формула Релея. Система скачков уплотнения: ступенчатое торможение сверхзвукового потока. Понятие о сверхзвуковом диффузоре-воздухозаборнике. Условие оптимальности системы из нескольких косых скачков уплотнения и замыкающего прямого скачка. Взаимодействие и отражение скачков уплотнения: пересечение скачков; взаимодействие скачка с волной разрежения; понятие о волновом сопротивлении; отражение скачка от твердой стенки (правильное и неправильное) и от оси сопла; отражение косого скачка от границы свободной струи. Работа идеального сопла Лавалья на: расчетном режиме, режимах с недорасширением и с перерасширением. Связь режима истечения из идеального сопла Лавалья с тягой реактивного двигателя для геометрически неизменного сопла. Сравнение тяг реактивного двигателя с нерасчетным (с недорасширением или с перерасширением) и расчетным соплом.</p>
10	<p>Основы теории пограничного слоя. Реальные течения в соплах и</p>

дозвуковых диффузорах

Основные понятия пограничного слоя: толщина пограничного слоя, асимптотический характер толщины пограничного слоя, постоянство статического давления поперек пограничного слоя, динамический и тепловой (температурный) пограничные слои. Интегральные характеристики пограничного слоя. Принципы расчета пограничного слоя: дифференциальные уравнения Прандтля для ламинарного пограничного слоя; интегральное соотношение для пограничного слоя (уравнение Кармана); расчёт толщины пограничного слоя и сопротивления трения при внешнем продольном безградиентном обтекании плоской стенки ламинарным потоком несжимаемой жидкости. Сравнение характеристик ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Пограничный слой в сжимаемом газе на плоской стенке: определяющая температура; выражения для толщины пограничного слоя и интегральных коэффициентов сопротивления через определяющую температуру и число Маха потока около плоской адиабатной стенки. Отрыв пограничного слоя: необходимые условия отрыва; критерии отрыва ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Управление пограничным слоем. Взаимодействие пограничного слоя со скачками уплотнения: взаимодействие косого скачка уплотнения с ламинарным пограничным слоем, критическое отношение давлений и критерии отрыва ламинарного пограничного слоя. Особенности взаимодействия скачка уплотнения с турбулентным пограничным слоем. Критическое отношение давлений и критерии отрыва турбулентного пограничного слоя. Работа реального сопла Лавалья на режимах с перерасширением: отрыв пограничного слоя и его влияние на тягу, образование псевдоскачка на режиме с отрывом потока от стенок сопла Лавалья. Реальные течения в соплах в одномерной постановке. Понятие об идеальном, теоретическом и реальном одномерных соплах. Внутренний скоростной коэффициент, коэффициент полного давления сопла. Максимальная тяга для реального сопла. Особенности одномерного расчета потерь в дозвуковых диффузорах. Опытные данные по коэффициенту полного давления в диффузорах.

11 **Общие сведения о свободных струях**

Примеры струйных течений: спутные и встречные струи, затопленные струи, течение в следе. Свободная (струйная) турбулентность. Наличие тангенциального разрыва параметров на поверхности раздела двух сред в струйных течениях. Свойства и структура турбулентных струй: свободная затопленная изобарная струя, потенциальное ядро, струйный пограничный слой (слой смешения), внешняя граница пограничного слоя, начальный и переходный участки струи, основной участок. Универсальность профиля скорости, энтальпии и концентрации примеси на основном участке свободных турбулентных струй: профиль Шлихтинга.

12 **Взаимодействие профиля с плоским потенциальным потоком**

Плоское установившееся потенциальное течение несжимаемой жидкости.

	<p>Функция тока и уравнение линии тока. Уравнение Лапласа для функции тока. Связь между потенциалом скорости и функцией тока. Метод наложения или суперпозиции полей течений. Простейшие потенциальные потоки: плоскопараллельный поток, плоский точечный источник и сток, потенциальный вихрь (безвихревое циркуляционное движение). Синтезирование сложных течений из простейших: синтезирование диполя, поперечного обтекания идеальной жидкостью бесконечно длинного кругового цилиндра с циркуляцией. Теорема Н.Е.Жуковского о подъемной силе (1906г.). Постулат Жуковского-Чаплыгина и его роль в определении циркуляции по профилю.</p>
13	<p>Заключение Место и значение механики жидкости и газа в современной науке и технике. Роль российских учёных в развитии МЖГ /Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970, с.17-44/. Краткая характеристика гидрогазодинамических задач, возникающих при расчёте газоздушного тракта ГТД с форсажной камерой, систем топливопитания, смазки и регулирования.</p>

Подробное содержание дисциплины, структура учебных занятий, трудоемкость изучения дисциплины, входные и исходящие компетенции, уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенций, учебно-методическое, информационное, материально-техническое обеспечение учебного процесса изложены в рабочей программе дисциплины.