

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Гидрогазодинамика»

Специальность 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 м.

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы



/ В.А.Митрофанов /

Заведующий кафедрой
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Ознакомление студентов с основными законами протекания газодинамических процессов, а также методами теоретического и экспериментального анализа этих процессов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Усвоение физической сущности газодинамических процессов, основных положений и принципов решения задач; изучение основных законов равновесия, движения газа в неограниченном объеме и взаимодействии с твердыми телами; изучение газовых течений при движении с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Гидрогазодинамика» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Гидрогазодинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общеинженерные и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности;

ОПК-5 - Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач;

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	Знать общие законы и уравнения равновесия и движения жидкостей и газов
	Уметь рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов
	Владеть основами расчета гидрогазодинамических процессов в элементах двигательных установок
ОПК-5	Знать основные физические свойства жидкостей и газов
	Уметь применить на практике методы математического анализа и моделирования течения жидкостей и газов
	Владеть основами теоретического и экспериментального исследования

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Гидрогазодинамика» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
Аудиторные занятия (всего)	144	72	72
В том числе:			
Лекции	36	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	72	36	36
Самостоятельная работа	144	36	108
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	зачет	экзамен
Общая трудоемкость: академические часы	324	108	216
зач.ед.	9	3	6

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Физико-механические основы газодинамики.	Предмет науки. Некоторые сведения из истории развития. Содержание курса и роль в подготовке специалистов по проектированию авиационных и ракетных двигателей. Гидромеханическое представление о жидкости как сплошной и легкоподвижной среде. Газ как сжимаемая жидкость. Плотность и удельный объем; их зависимость от температуры и давления для газов. Вязкость газов. Молекулярная природа вязкости. Закон вязкого трения Ньютона. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления.	9	9	18	36	72
2	Движение газа без скачков уплотнения	Одномерные течения идеального газа. Различные формы уравнения Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Энтальпия газового потока. Скорость распространения звука и число Маха. Закономерность изменения параметров газа вдоль струйки. Уравнение Гюгоню. Условие непрерывного перехода через звуковое значение скорости. Критическая, максимальная скорости и параметры торможения. Безразмерные скорости газа. Основные газодинамические функции, их графическое представление и использование в таблицах. Истечение газа через су-	9	9	18	36	72

		жающее сопло. Формула Сан-Венана-Венцеля. Закономерность изменения весового расхода газа. Критическое отношение давлений. Сопло Лавалья и режимы его работы. Одномерное течение газа с трением. Распространение малых возмущений; линии и углы Маха. Обтекание малого угла. Обтекание конечного угла. Ударные волны и скачки уплотнения в потоке сжимаемого газа. Основные уравнения теории скачков. Уравнение ударной адиабаты, сравнение с адиабатой Пуассона. Степень сжатия газа в скачке. Рост энтропии в скачке и невозможность скачка разрежения. Изменение параметров газа при переходе через скачок. Самостоятельное изучение. Подготовка по теме лекции.					
3	Основы теории пограничного слоя	Пограничный слой. Основные физические представления о пограничном слое. Толщина пограничного слоя, условные толщины пограничного слоя. Интегральное соотношение (уравнение количества движения) для пограничного слоя. Расчет ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью интегрального соотношения. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Критическое число Рейнольдса и положение точки перехода на пластине. Влияние степени турбулентности внешнего потока на критическое число Рейнольдса. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя. Определение точки отрыва. Самостоятельное изучение. Методы управления пограничным слоем.	9	9	18	36	72
4	Основы газодинамических расчетов элементов ракетных двигателей. Элементы компьютерного моделирования газодинамических процессов.	Основные задачи расчета трубопроводных систем. Типы трубопроводов. Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ. Построение пьезометрических графиков. Всасывающие трубопроводы. Определение реакций фасонных частей трубопроводов. Течения газа в диффузорах и эжекторах Диффузоры. Потери энергии в дозвуковых диффузорах. Сверхзвуковые диффузоры. Эжекторы. Рабочий процесс эжектора. Расчет эжектора. Характеристики эжектора Моделирование рабочих процессов в элементах ракетных двигателей. Общие подходы к моделированию. Модели турбулентности. Течение газа и жидкости в каналах сопла-распылителя камеры сгорания. Гидрогазодинамика высокоскоростного потока в камере испарения парогенератора. Определение зоны дробления и критического диаметра капли. Течение парагаза в турбоприводе энергоустановки. Самостоятельное изучение. Подготовка по теме лекции.	9	9	18	36	72
Итого			36	36	72	144	288

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Изучение приборов и методов определения давления.
2. Изучение метода определения расхода воздуха по расходомеру.

3. Исследование эпюр распределения скоростей (по величине динамического давления) при течении воздуха по трубопроводу круглого сечения с помощью трубки Пито.

4. Исследование потерь на местном сопротивлении – диафрагме. Определение коэффициента сопротивления диафрагмы, коэффициента расхода.

5. Исследование течения в сопле Лаваля.

6. Исследование потерь на местном сопротивлении – регулируемой задвижке (дросселе). Определение коэффициента сопротивления задвижки, коэффициента расхода.

7. Истечение воздуха из ресивера: докритический, критический режим течения.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать общие законы и уравнения равновесия и движения жидкостей и газов	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть основами расчета гидрогазодинамических процессов в элементах двигательных установок	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-5	знать основные физические свойства жидкостей и	Опрос на практических занятиях (ОПЗ)	Выполнение работ в срок, предусмотрен-	Невыполнение работ

	газов	Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	ный в рабочих программах	в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применить на практике методы математического анализа и моделирования течения жидкостей и газов	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть основами теоретического и экспериментального исследования	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4, 5 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	знать общие законы и уравнения равновесия и движения жидкостей и газов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами расчета гидрогазодинамических процессов в элементах двигательных установок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать основные физические свойства жидкостей и газов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применить на практике методы математического анализа и моделирования течения жидкостей и газов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами теоретического и экспериментального исследования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать общие законы и уравнения равновесия и движения жидкостей и газов	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами расчета гидрогазодинамических процессов в элементах двигательных установок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать основные физические свойства жидкостей и газов	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применить на практике методы математического анализа и моделирования течения жидкостей и газов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами теоретического и экспериментального исследования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Укажите пределы изменения числа M .

1. От нуля до ∞ .

2. От нуля до $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$.

3. От нуля до 1.
2. Укажите пределы изменения скорости λ (коэффициента скорости).
 1. От нуля до ∞ .
 2. От нуля до $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$.
 3. От нуля до 1.
3. Укажите пределы изменения безразмерной скорости Λ .
 1. От нуля до ∞ .
 2. От нуля до $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$.
 3. От нуля до 1.
4. Как изменяется плотность газа ρ при его изэнтропическом ускорении?
 1. Возрастает.
 2. Остается неизменной.
 3. Уменьшается.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
5. Как изменяется давление газа P при его изэнтропическом ускорении?
 1. Остается неизменным.
 2. Уменьшается.
 3. Возрастает.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
6. Как изменяется полное давление газа $P_0(P^*)$ при его изэнтропическом ускорении?
 1. Остается неизменным.
 2. Уменьшается.
 3. Возрастает.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
7. Как изменяется температура газа T энергетически изолированного потока при его ускорении?
 1. Остается неизменным.
 2. Уменьшается.
 3. Возрастает.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
8. Как изменяется температура торможения газа $T_0(T^*)$ энергетически изолированного потока при его ускорении?
 1. Возрастает.
 2. Сначала возрастает, а затем уменьшается.

3. Уменьшается.
 4. Остается неизменной.
9. Как изменяется местная скорость звука a при ускорении энергетически изолированного потока?
1. Остается неизменной.
 2. Возрастает.
 3. Уменьшается.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
10. Как изменяется критическая скорость звука $a_{кр}$ при ускорении энергетически изолированного потока?
1. Остается неизменной.
 2. Возрастает.
 3. Уменьшается.
 4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Что такое максимальная скорость потока v_{max} ?
 1. Скорость, равна местной скорости звука.
 2. Скорость в точке с максимальной плотностью.
 3. Скорость в точке с максимальным давлением.
 4. Наибольшая скорость истечения газа в пустоту.
 5. Скорость в критическом сечении сопла Лаваля.
2. От чего зависит максимальная скорость потока v_{max} ?
 1. От скорости потока.
 2. От давления и температуры газа.
 3. От температуры торможения.
 4. От плотности и давления газа.
 5. От параметров на срезе сопла Лаваля.
3. Что такое критическая скорость звука $a_{кр}$?
 1. Скорость, равна местной скорости звука.
 2. Скорость в точке с максимальной плотностью.
 3. Скорость в точке с максимальным давлением.
 4. Наибольшая скорость истечения газа в пустоту.
 5. Скорость в критическом сечении сопла Лаваля.
4. От чего зависит критическая скорость звука $a_{кр}$?
 1. От скорости потока.
 2. От температуры газа.
 3. От скорости звука.

4. От температуры торможения.
 5. От параметров на срезе сопла Лавалья.
5. Какие из указанных видов воздействий ускоряют до звуковой поток вдоль оси ox ?
1. $dF/dx > 0$.
 2. $dG/dx > 0$.
 3. $dF/dx < 0$.
 4. $dQ/dx < 0$.
 5. $dG/dx < 0$.
 6. $dQ/dx > 0$.
- (F – площадь поперечного сечения; G – расход газа; Q – количество тепла)
6. Какие из указанных видов воздействий ускоряют сверхзвуковой поток вдоль оси ox ?
1. $dF/dx > 0$.
 2. $dG/dx > 0$.
 3. $dF/dx < 0$.
 4. $dQ/dx < 0$.
 5. $dG/dx < 0$.
 6. $dQ/dx > 0$.
7. При каком виде воздействий ускорение до звукового потока сопровождается ростом температуры торможения T_0 и падением полного давления P_0 ?
1. $dF/dx > 0$.
 2. $dG/dx > 0$.
 3. $dF/dx < 0$.
 4. $dQ/dx < 0$.
 5. $dG/dx < 0$.
 6. $dQ/dx > 0$.
8. При каком виде воздействий ускорение дозвукового потока сопровождается неизменностью параметров торможения?
1. $dF/dx > 0$.
 2. $dG/dx > 0$.
 3. $dF/dx < 0$.
 4. $dQ/dx < 0$.
 5. $dG/dx < 0$.
 6. $dQ/dx > 0$.
9. При каком виде воздействий торможение дозвукового потока сопровождается ростом полного давления P_0 и падением температуры торможения T_0 ?
1. $dF/dx > 0$.

2. $dG/dx > 0$.
3. $dF/dx < 0$.
4. $dQ/dx < 0$.
5. $dG/dx < 0$.
6. $dQ/dx > 0$.

10. При каком виде воздействий ускорение сверхзвукового потока сопровождается ростом полного давления и падением температуры торможения?

1. $dF/dx > 0$.
2. $dG/dx > 0$.
3. $dF/dx < 0$.
4. $dQ/dx < 0$.
5. $dG/dx < 0$.
6. $dQ/dx > 0$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача № 1

Определить высоту вакуума $h_{\text{вак}}$, если абсолютное гидростатическое давление в точке подключения вакуумметра равно $p_a = 30$ кПа, а атмосферное давление $p_A = 100$ кПа.

Задача № 2

Определить массовый расход газа сопла Лаваля с диаметром критической части 16 мм, давление 15 Мпа, коэффициент расхода 0,98, величина давления за соплом 0,5 Мпа.

Задача № 3

Определить массовый расход газа сопла Лаваля с диаметром критической части 50 мм, величина давления на входе в сопло 25 Мпа, коэффициент расхода 0,98, величина давления за соплом 24 Мпа.

Задача № 4

Определить массовый расход газа через диафрагму с диаметром 25 мм, величина давления на входе в диафрагму 20 Мпа, коэффициент расхода 0,81, величина давления после диафрагмы 1,5 Мпа.

Задача № 5

Определить массовый расход газа через диафрагму с диаметром 78 мм, величина давления на входе в диафрагму 32 Мпа, коэффициент расхода 0,81, ве-

личина давления после диафрагмы 30 МПа.

Задача № 6

Для получения сверхзвукового потока воздух с коэффициентом скорости $\lambda = 1,65$ на выходе применяют сопло Лавалья. Площадь критического сечения сопла 20 см^2 . Воздух вытекает в свободную атмосферу с давлением $0,1 \text{ МПа}$. Какой должно быть расчетное давление в ресивере, откуда происходит истечение. Температура в ресивере $T_o = 300 \text{ }^\circ\text{К}$.

Задача № 7

Тело движется в стратосфере на высоте 20 км со скоростью $V = 1000 \text{ км/ч}$. Определить значение критерия Маха и коэффициента λ , если давление воздуха $P = 54,4 \text{ мбар}$, плотность $\rho = 90 \text{ г/м}^3$.

Задача № 8

Поток воздуха при давлении $P = 1 \text{ МПа}$ и температуре $t = -8 \text{ }^\circ\text{С}$ течет со скоростью $V = 100 \text{ м/с}$. Определить температуру T_o , давление P_o и плотность ρ_o этого потока при адиабатическом торможении до состояния покоя, а также найти скорость звука в потоке.

Задача № 9

Трубка Пито-Прандтля вмонтирована в крыло самолета, летящего на высоте 3000 м . На этой высоте атмосферное давление составляет $0,07 \text{ МПа}$ и скорость звука 329 м/с . Давление торможения на носике трубки оказалось равным $0,11 \text{ МПа}$. Какова скорость полета самолета?

Задача № 10

Сопло Лавалья, имеющее диаметр критического сечения 50 мм и диаметр выходного сечения 75 мм , подсоединено к баллону, в котором температура $T_o = 400^\circ\text{К}$ и абсолютное давление $P_o = 1,2 \text{ МПа}$. Работает ли сопло в расчетном режиме, если наружное давление равно $0,1 \text{ МПа}$? Какова скорость истечения из сопла и каков секундный расход воздуха?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Как изменяется давление газа P при его изоэнтропическом ускорении?
2. Как изменяется температура газа T энергетически изолированного потока при его ускорении?
3. Как изменяется местная скорость звука при ускорении энергетически изолированного потока?
4. Как изменяется критическая скорость звука при ускорении энергетически

изолированного потока?

5. Как изменяется динамический коэффициент вязкости газа с ростом температуры при неизменном давлении?
6. Что такое максимальная скорость потока?
7. Что такое идеальный газ?
8. Что такое критическая скорость звука и отчего она зависит?
9. При каком виде воздействий ускорение до звукового потока сопровождается ростом температуры торможения T_0 и падением полного давления P_0 ?
10. При каком виде воздействий ускорение дозвукового потока сопровождается неизменностью параметров торможения?
11. При каком виде воздействий торможение дозвукового потока сопровождается ростом полного давления P_0 и падением температуры торможения T_0 ?
12. При каком виде воздействий ускорение сверхзвукового потока сопровождается ростом полного давления и падением температуры торможения?
13. При каком виде воздействий ускорение сверхзвукового потока сопровождается неизменностью параметров торможения?
14. Чем определяется режим течения жидкости в трубе?
15. Как влияет температура T капельной жидкости на число Рейнольдса Re при неизменной скорости течения в трубе постоянного диаметра?
16. Приведите выражение для определения скорости звука a ?
17. В каком газе (воздухе или гелии) скорость звука больше при одинаковых давлении и температуре.
18. При каком виде воздействий ускорение сверхзвукового потока сопровождается ростом температуры торможения T_0 и падением полного давления P_0 ?
19. Как влияет температура T на величину давления насыщения паров?

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Газ как сжимаемая жидкость.
2. Плотность и удельный объем; их зависимость от температуры и давления газов.
3. Вязкость газов. Молекулярная природа вязкости. Закон вязкого трения Ньютона. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления.
4. Дифференциальные уравнения Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой жидкостей.
5. Местная скорость. Установившееся движение.
6. Два режима движения. Распределение скорости по сечению.
7. Число Рейнольдса и его критические значения.
8. Дифференциальные уравнения движения идеального газа (Эйлера). Интегралы уравнений Эйлера.
9. Обобщение уравнения Бернулли на поток конечных размеров. Геометрическая и энергетическая интерпретация уравнения Бернулли.
10. Истечения газа через отверстия и насадки.
11. Уравнение моментов количества движения.
12. Средняя скорость и расход.
13. Коэффициенты расхода для различных сопротивлений.
14. Распределение скоростей и закон сопротивления.

15. Квадратичный закон сопротивления.
16. Начальный участок при турбулентном течении.
17. Потери на внезапное расширение и вход в трубу.
18. Взаимное влияние местных сопротивлений.
19. Течения в диффузорах. Способы улучшения работы диффузоров.
20. Одномерные течения идеального газа.
21. Различные формы уравнения Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Энтальпия газового потока.
22. Скорость распространения звука и число Маха.
23. Закономерность изменения параметров газа вдоль струйки. Уравнение Гюгонио. Условие непрерывного перехода через звуковое значение скорости.
24. Критическая, максимальная скорости и параметры торможения.
25. Безразмерные скорости газа. Основные газодинамические функции, их графическое представление и использование в таблицах.
26. Истечение газа через сужающее сопло. Формула Сан-Венана-Венцеля. Закономерность изменения весового расхода газа. Критическое отношение давлений.
27. Сопло Лавалля и режимы его работы.
28. Одномерное течение газа с трением.
29. Распространение малых возмущений; линии и углы Маха.
30. Обтекание малого угла. Обтекание конечного угла.
31. Ударные волны и скачки уплотнения в потоке сжимаемого газа.
32. Основные уравнения теории скачков.
33. Уравнение ударной адиабаты, сравнение с адиабатой Пуассона. Степень сжатия газа в скачке.
34. Рост энтропии в скачке и невозможность скачка разрежения.
35. Изменение параметров газа при переходе через скачок.
36. Турбулентные движения и общие уравнения усредненного установившегося турбулентного потока (уравнение Рейнольдса).
37. Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Современное представление о структуре турбулентного потока.
38. Устойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Основные статические характеристики турбулентных течений.
39. Законы подобия при движении газа с большими скоростями.
40. Понятие об анализе размерностей. Понятие об автомодельности.
41. Пограничный слой. Основные физические представления о пограничном слое. Толщина пограничного слоя, условные толщины пограничного слоя.
42. Интегральное соотношение (уравнение количества движения) для пограничного слоя. Расчет ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью интегрального соотношения.
43. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Критическое число Рейнольдса и положение точки перехода на пластине. Влияние степени турбулентности внешнего потока на критическое число Рейнольдса.
44. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях.

45. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя. Определение точки отрыва.
46. Основные задачи расчета трубопроводных систем Типы трубопроводов. Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ.
47. Построение пьезометрических графиков.
48. Всасывающие трубопроводы. Определение реакций фасонных частей трубопроводов.
49. Течения газа в диффузорах и эжекторах
50. Диффузоры. Потери энергии в дозвуковых диффузорах. Сверхзвуковые диффузоры.
51. Эжекторы. Рабочий процесс эжектора. Расчет эжектора. Характеристики эжектора
52. Моделирование рабочих процессов в элементах паротурбинных энергоустановок
53. Общие подходы к моделированию. Модели турбулентности.
54. Течение газа и жидкости в каналах сопла-распылителя камеры сгорания.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 21 баллов.
2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 30 баллов.

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Критерии оценивания ответа студента на промежуточной аттестации по дисциплине:

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится, если: теоретический вопрос не раскрыт; отсутствует порядок решения практического задания или он содержит грубые ошибки. Несоответствие требуемым в ходе освоения дисциплины «знаниям», «умениям», «владениям».
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится, если: теоретический вопрос раскрыт не полностью; наводящие вопросы не исправляют положение; порядок решения практического задания содержит ошибки. Частичное соответствие требуемым в ходе освоения дисциплины «знаниям», «умениям», «владениям».
3. Оценка «Хорошо» ставится, если: теоретический вопрос раскрыт не полностью, а наводящие вопросы исправляют положение; порядок решения практического задания содержит отдельные погрешности. Не полное соответствие требуемым в ходе освоения дисциплины «знаниям», «умениям», «владениям».
4. Оценка «Отлично» ставится, если: теоретический вопрос раскрыт пол-

ностью; порядок решения практического задания верен. Полное соответствие требуемым в ходе освоения дисциплины «знаниям», «умениям», «владениям».

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Физико-механические основы газодинамики	ОПК-1, ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ
2	Движение газа без скачков уплотнения	ОПК-1, ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ
3	Основы теории пограничного слоя	ОПК-1, ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ
4	Основы газодинамических расчётов элементов ракетных двигателей Элементы компьютерного моделирования газодинамических процессов	ОПК-1, ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
8.1.1. Основная литература				
8.1.1.1	Дроздов И.Г.	Дроздов И.Г. Газодинамика	2012	1,0

	Муравьев А.В. Кожухов Н.Н.	(практические применения): учеб. пособие / И.Г. Дроздов, А.В. Муравьев, Н.Н. Кожухов. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. Ч. 1. 223 с.	печат.	
8.1.1.2	Дроздов И.Г. Муравьев А.В. Кожухов Н.Н.	Дроздов И.Г. Гидрогазодинамика (практические применения): учеб. пособие / И.Г. Дроздов, А.В. Муравьев, Н.Н. Кожухов. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. Ч. 2. 213 с.	2012 печат.	1,0
8.1.2. Дополнительная литература				
8.1.2.1	Дроздов И.Г. Мозговой Н.В.	Дроздов И.Г., Мозговой Н.В. Гидрогазодинамика [Электрон. ресурс]: Учебное пособие. / Воронеж: Воронеж. гос.	2005 печат.	1,0
8.1.2.2	Дейч М.Е. Зарянкин А.Е.	Дейч М.Е., Зарянкин А.Е. Гидрогазодинамика: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.	1984 печат.	0,5
8.1.2.2	Лойцянский Л.Г.	Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.	2003 печат.	1,0
7.1.3 Методические разработки				
8.1.3.1	Дроздов И.Г. Шматов Д.П. Кружаев К.В. Любинецкий М.А. Винокуров И.В.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Газовая динамика» по специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; Сост. И.Г. Дроздов, Д.П. Шматов, К.В. Кружаев, М.А. Любинецкий, И.В. Винокуров Воронеж, 2015. 28 с. (382-2015)	2015 электр. изд.	1,0

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
3. 7 zip
4. Google Chrome

5. LibreOffice
6. Mozilla Firefox
7. OpenOffice
8. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал ВГТУ
9. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
10. elibrary.ru
11. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
12. www.iprbookshop.ru – электронная библиотека
13. <http://www.knigafund.ru> - Электронно-библиотечная система «Книга-Фонд» - учебная и научная литература.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Аудитория № 153 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованная специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя, оборудованная мультимедиа-проектором и экраном, для проведения лекционных и практических занятий.

Аудитории № 154, № 149 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованные специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя для проведения лекционных и практических занятий.

Специализированная аудитория, оснащенная персональными компьютерами и специальным программным обеспечением для лабораторных работ - учебная аудитория № 134 (ул. Ворошилова, 20, 7 эт.), укомплектованная специализированной мебелью и оборудованная техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Специализированный лабораторный стенд: «Основы газовой динамики» ЭЛБ-ОГД-1.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Гидрогазодинамика» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета газодинамических процессов в элементах двигательных установок. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.