


**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  
«Прикладная 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 гидрогазодинамических процессов применительно к двигательным и энергетическим установкам, а также методами теоретического и экспериментального анализа этих процессов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

усвоение физической сущности гидрогазодинамических процессов, основных положений и принципов решения задач; изучение основных и специальных уравнений механики жидкости и газа путем распространения фундаментальных законов механики (законы сохранения вещества, принципа сохранения механической энергии и первого начала термодинамики второго закона Ньютона) на движущуюся жидкость; освоение фундаментальных понятий и определений механики жидкости: классификация течений жидкости; пограничный слой; турбулентные течения; развитие способности обучаемых к физическому и математическому моделированию процессов переноса массы, протекающих в реальных физических объектах, в частности – двигательных и энергетических установках.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Прикладная гидрогазодинамика» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Прикладная гидрогазодинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

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-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 «Прикладная гидрогазодинамика» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

### очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	90	90
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
<b>Курсовая работа</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

## 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 гидрогазодинамики	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 капельных жидкостей и газов. Жидкости однородные и неоднородные. Вязкость жидкостей и газов. Молекулярная природа вязкости. Закон вязкого трения Ньютона. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления.	2	2	2	6	12
2	Динамика вязкой жидкости	Вязкая жидкость. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформации. Уравнения Навье-Стокса. Граничные условия. Турбулентные движения и общие уравнения усредненно-установившегося турбулентного потока (уравнение Рейнольдса).	4	6	8	12	24

		Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Устойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Основные статические характеристики турбулентных течений.					
3	Теория подобия	Понятие о подобии гидромеханических процессов. Общие теоремы подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений гидрогазодинамики. Критерии подобия определяющие и определяемые. Критериальное уравнение. Законы подобия при движении газа с большими скоростями. Понятие об анализе размерностей. Понятие об автомодельности.	6	6		8	20
4	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	6	4		8	20
5	Основные задачи расчета трубопроводных систем	Типы трубопроводов. Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ. Построение пьезометрических графиков. Всасывающие трубопроводы.	6	8	10	8	28
6	Течения газа в соплах, диффузорах и эжекторах	Сопло Лавалья и режимы его работы. Газодинамический расчет сопла. Профилирование сопла. Диффузоры. Потери энергии в дозвуковых диффузорах. Сверхзвуковые диффузоры. Эжекторы. Рабочий процесс эжектора.	6	6	10	10	20

7	Моделирование рабочих процессов в элементах двигательных и парогазотурбинных энергоустановок Основы теории пограничного слоя	Общие подходы к моделированию. Модели турбулентности. Течение газа и жидкости в каналах сопла-распылителя и форсунках камер сгорания. Гидрогазодинамика высокоскоростного потока в камере испарения парогенератора. Взаимодействие фаз. Определение зоны дробления и критического диаметра капли. Течение парагаза в турбоприводе.  Элементы компьютерного моделирования гидрогазодинамических процессов.	6	6	6	10	20
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>144</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Определение вязкости жидкости (визкозиметр Энглера)

Устойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности.

Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ.

Рабочий процесс эжектора.

Элементы компьютерного моделирования гидрогазодинамических процессов

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 6 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Гидрогазодинамические расчеты»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- определение газодинамических функций сопла Лавалья
- определение геометрических характеристик сопла Лавалья
- расчет разветвленного трубопровода

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 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-5	знать основные физические свойства	Опрос на практических занятиях (ОПЗ)	Выполнение работ в срок, преду-	Невыполнение работ в срок,

	жидкостей и газов	Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	смотренный в рабочих программах	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 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
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, 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  $\infty$ .
  2. От нуля до  $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$ .
  3. От нуля до 1.
  
2. Укажите пределы изменения скорости  $\lambda$  (коэффициента скорости).
  1. От нуля до  $\infty$ .
  2. От нуля до  $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$ .
  3. От нуля до 1.
  
3. Укажите пределы изменения безразмерной скорости  $\Lambda$ .
  1. От нуля до  $\infty$ .
  2. От нуля до  $\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$ .
  3. От нуля до 1.
  
4. Как изменяется плотность газа  $\rho$  при его изоэнтропическом ускорении?
  1. Возрастает.
  2. Остается неизменной.
  3. Уменьшается.
  4. Сначала уменьшается, а затем возрастает.
  
5. Как изменяется давление газа  $P$  при его изоэнтропическом 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 изоэнтропическом 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 Лавалья.
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 Лавалья.
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 Лавалья.
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 заглубление  $h$  точки под уровнем воды в водоеме, если избыточное давление в этой точке равно  $p_{изб} = 100$  кПа.

---

#### Задача № 2

Определить абсолютное  $p_a$  и избыточное  $p_{изб}$  давления в точке дна открытого сосуда, наполненного водой; глубина воды в сосуде  $h = 2$  м.

---

#### Задача № 3

Определить значение внешнего поверхностного давления  $p_0$  в закрытом сосуде, если горизонт воды в открытом пьезометре, подключенном к сосуду, возвышается над горизонтом воды в сосуде на высоту  $h = 3$  м.

---

#### Задача № 4

Определить высоту вакуума  $h_{вак}$ , если абсолютное гидростатическое давление в точке подключения

---

вакуумметра равно  $p_a = 30$  кПа, а атмосферное давление  $p_A = 100$  кПа.

### Задача № 5

. В U – образную трубку залито 2 жидкости плотностью  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Над поверхностями жидкостей давления соответственно равны  $P_1$  и  $P_2$ . Определить разность высот столбов жидкостей, если высота жидкости в первом колене  $H_1$ .

### Задача № 6

Определить силу  $P_a$  абсолютного гидростатического давления, действующего на дно сосуда площадью  $F = 0,15$  м<sup>2</sup>, сосуд закрыт крышкой, а внешнее поверхностное давление равно  $p_0 = 300$  кПа, глубина воды в сосуде  $h = 3,5$  м. Показания барометра – 740 мм. рт. ст.

### Задача № 7

Определить силу  $P_a$  абсолютного гидростатического давления, действующего на дно сосуда площадью  $F = 0,2$  м<sup>2</sup>, закрытого герметичной крышкой, если высота вакуума  $h_{\text{вак}} = 7$  м, а дно находится ниже точки подключения вакуумметра на 3 м. Показание барометра 760 мм. рт. ст.

### Задача № 8

силу  $P_a$  абсолютного гидростатического давления, действующего на дно сосуда площадью  $F = 0,1$  м<sup>2</sup>, закрытого герметичной крышкой, если горизонт масла в открытом пьезометре, подключенный к сосуду, возвышается над горизонтом масла в сосуде на высоту  $h_n = 8$  м, высота столба масла  $h_m = 4$  м. Показание барометра 730 мм. рт. ст.

### Задача № 9

Определить значение внешнего поверхностного давления  $P_0$  в закрытом сосуде, если горизонт воды в открытом пьезометре, подключенном к сосуду, возвышается над горизонтом воды в сосуде на высоту  $h = 3$  м.

### Задача № 10

Вода вытекает из открытого бака большого объема в атмосферу через короткое сопло. Уровень вода в баке над соплом  $h = 3$  м поддерживается постоянным.

Найти массовый расход  $m$  воды через сопло, если выходная площадь сопла  $F = 10$  см<sup>2</sup>.

### Задача № 11

Вода вытекает из большого закрытого бака в атмосферу (давление  $p_a = 10^5$  Па) через сопло с выходной площадью  $F = 10$  см<sup>2</sup>. Высота воды в баке над соплом  $h = 12$  м. Над уровнем воды находится воздух с давлением  $5 \cdot 10^5$  Па.

Определить скорость  $\omega$  истечения воды из бака.

### Задача № 12

Несжимаемая жидкость плотностью  $\rho$  течет по горизонтальной трубе переменной площади поперечного сечения. Разность давлений  $p_1 - p_2$  жидкости между сечениями площадями  $F_1$  и  $F_2$  измеряется

с помощью дифференциального манометра.

Найти массовый расход  $m$  жидкости. Трением пренебречь, течение считать одномерным.

### Задача № 13

Уровень воды в водонапорном баке превышает уровень вода в горизонтальном трубопроводе на величину  $h = 2$  м. Вода течет по трубопроводу диаметром  $d_1 = 50$  мм. На трубопроводе имеется местное сужение диаметром  $d_2 = 40$  мм, к которому подсоединена трубка диаметром  $d_3$  опущенная в резервуар с водой, расположенный ниже уровня воды в трубопроводе на величину  $h = 2$  м.

Определить направление движения вода по трубке. Трением пренебречь, течение считать одномерным.

### Задача № 14

Цистерна объемом  $V = 20 \text{ м}^3$  находится на глубине  $h = 12$  м пресного водоема. Вода из цистерны вытесняется сжатым воздухом с давлением  $p = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$  через насадок площадью сечения  $F = 0,02 \text{ м}^2$ . Сколько времени  $\tau$  потребуется, чтобы вытеснить из цистерны всю воду?

### Задача № 15

Вода вытекает из закрытого бака в атмосферу ( $p_a = 10^5 \text{ Па}$ ) через короткий насадок с выходной площадью поперечного сечения  $F = 100 \text{ см}^2$ . Высота от уровня воды в баке до центра насадки  $h = 5,5$  м. Давление воздуха над уровнем воде  $p_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить реактивную силу струи  $L$ , действующую на бак.

### Задача № 16

По круглой горизонтальной трубе диаметром  $d_1$  течет ламинарный поток несжимаемой жидкости с перепадом давления  $\Delta p$  на мерном участке.

Будет ли течение ламинарным, если жидкость с этим же расходом течет по трубе диаметром  $d_2 = 2d_1$ ? Если ответ утвердительный, то какой будет перепад давлений на мерном участке?

### Задача № 17

В круглой горизонтальной трубе диаметром  $d_1$  при некотором расходе жидкости течение турбулентное. Перепад давлений, измеренный на мерном участке, равен  $\Delta p$ . Прежний расход той же жидкости течет по трубе диаметром  $d_2 = 0,5d_1$ .

Можно ли утверждать, что в этом случае перепад давлений на мерном участке той же длины  $\Delta p_2 < 32\Delta p_1$ ?

### Задача № 18

Вода течет по круглой горизонтальной трубе диаметром  $d = 25$  мм. Измеренный перепад статических давлений между двумя сечениями, на участке длиной  $l = 3$  м составляет  $\Delta p = 11 \cdot 10^3 \text{ Па}$ . Температура воды  $T = 293 \text{ К}$ . Определить массовый расход жидкости.

### Задача № 19

По горизонтальной круглой трубе диаметром  $d = 50$  мм течет вода температурой  $T = 313 \text{ К}$  и

расходом  $m = 37 \cdot 10^3$  кг/ч.

Определить падение давления на единицу длины трубы, если она гидравлически гладкая. Каким будет падение давления, если на стенках трубы появятся отложения песочного типа с высотой выступов 0,2 мм.

### Задача № 20

Вода с расходом  $m = 35 \cdot 10^3$  кг/ч течет по трубе диаметром  $d_1 = 50$  мм, соединенной без перехода с трубой диаметром  $d_2 = 80$  мм.

Определить потери давления вследствие внезапного расширения трубы.

### Задача № 21

Жидкость динамической вязкостью  $\mu = 30 \cdot 10^{-3}$  Па·с и плотностью  $900$  кг/м<sup>3</sup> течет по горизонтальной круглой стальной трубе диаметром  $d = 50$  мм.

Перепад давлений, вызванный силами сопротивления на участке длиной  $l = 4$  м,  $\Delta p = 3000$  Па.

Определить среднерасходную скорость  $w_{cp}$  в трубе и массовый расход жидкости  $m$ .

### Задача № 22

Для получения сверхзвукового потока воздух с коэффициентом скорости  $\lambda = 1,65$  на выходе применяют сопло Лавала. Площадь критического сечения сопла  $20$  см<sup>2</sup>. Воздух вытекает в свободную атмосферу с давлением  $0,1$  МПа. Какой должно быть расчетное давление в ресивере, откуда происходит истечение. Температура в ресивере  $T_0 = 300$  °К.

### Задача № 23

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

### Задача № 24

Поток воздуха при давлении  $P = 1$  МПа и температуре  $t = -8$  °С течет со скоростью  $V = 100$  м/с. Определить температуру  $T_0$ , давление  $P_0$  и плотность  $\rho_0$  этого потока при адиабатическом торможении до состояния покоя, а также найти скорость звука в потоке.

### Задача № 25

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

### Задача № 26

Сопло Лавала, имеющее диаметр критического сечения  $50$  мм и диаметр выходного сечения  $75$

мм, подсоединено к баллону, в котором температура  $T_0 = 400^\circ\text{K}$  и абсолютное давление  $P_0 = 1,2$  МПа. Работает ли сопло в расчетном режиме, если наружное давление равно 0.1 МПа? Какова скорость истечения из сопла и каков секундный расход воздуха?

### Задача № 27

Определить скорость потока после прямого скачка уплотнения при течении воздуха по трубе со скоростью до скачка  $V_I = 600$  м/с при давлении  $P_I = 3$  МПа и температуре  $t_I = 27^\circ\text{C}$ , а также определить параметры заторможенного потока.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Какое принято представление о физической среде (жидкости или газе) при выводе уравнения гидромеханики?
2. Какие силы, действующие в жидкости, являются массовыми?
3. Какие силы, действующие в жидкости, являются поверхностными?
4. Приведите зависимость, связывающую плотность  $\rho$  и удельный вес  $\gamma$ ?
5. Как связаны между собой динамический  $\mu$  и кинематический  $\nu$  коэффициенты вязкости?
6. Как изменяется динамический коэффициент вязкости газа с ростом температуры при неизменном давлении?
7. Как изменяется динамический коэффициент вязкости жидкости с ростом температуры при неизменном давлении?
8. Что такое идеальная жидкость?
9. Чему пропорциональны касательные напряжения в жидкости?
10. При каких условиях в жидкости действуют нормальные напряжения?
11. При каких условиях в жидкости действуют касательные напряжения?
12. При каких условиях в жидкости возникают дополнительные нормальные напряжения?
13. Чем объясняется вязкость жидкости при ламинарном режиме течения?
14. Чем объясняется вязкость жидкости при турбулентном режиме течения?
15. Чем определяется режим течения жидкости в трубе?
16. Как влияет температура  $T$  капельной жидкости на число Рейнольдса  $Re$  при неизменной скорости течения в трубе постоянного диаметра?
17. Приведите выражение для определения скорости звука  $a$ .
18. В каком газе (воздухе или гелии) скорость звука больше при одинаковых давлении и температуре.
19. При каком значении краевого угла  $\theta$  происходит полное смачивание твердой поверхности вязкой жидкости?
20. Как влияет температура  $T$  на величину давления насыщения паров?

#### 7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент на-

брал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Физико-механические основы гидрогазодинамики	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
2	Динамика вязкой жидкости	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
3	Теория подобия	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
4	Основы теории пограничного слоя	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
5	Основные задачи расчета трубопроводных систем	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
6	Течения газа в соплах, диффузорах и эжекторах	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
7	Моделирование рабочих процессов в элементах двигательных и парогазотурбинных энергоустановок Основы теории пограничного слоя	ОПК-5	Тест, опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе

### 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 компь-

ютерной 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.

Защита курсовой работы, отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **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
<b>8.1.1. Основная литература</b>				
7.1.1.1	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. 1. 223 с.	2012  печат.	1,0
7.1.1.2	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
<b>8.1.2. Дополнительная литература</b>				
7.1.2.1	Фалеев В.В.  Дроздов И.Г.	Фалеев В.В. Гидравлические расчеты в теплоэнергетических системах: учеб. пособие / Фалеев В.В., Дроздов И.Г., Фалеев С.В. – Воронеж: Изд-во	2000  печат.	1,0
7.1.2.2	Дроздов И.Г.  Мозговой Н.В.	Дроздов И.Г., Мозговой Н.В. Гидрогазодинамика [Электрон. ресурс]: Учебное пособие. / Воронеж: Воро-	2005  печат.	1,0
7.1.2.3	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

7.1.2.4	Лойцянский Л.Г.	Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.	2003 печат.	1,0
<b>8.1.3 Методические разработки</b>				
7.1.3.1	Дроздов И.Г. Шматов Д.П. Кружаев К.В. Винокуров И.В.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Прикладная гидрогазодинамика» 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, И.В. Винокуров Воронеж, 2015. 43 с. (417-2015).	2015 электр. ред..	1,0
7.1.3.2	Дроздов И.Г. Шматов Д.П. Винокуров И.В.	Методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ по курсу «Прикладная гидрогазодинамика» для студентов 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, И.В. Винокуров. Воронеж, 2015. 52 с. (416-2015).	2015 электр. ред..	1,0
7.1.3.3	Дроздов И.Г. Шматов Д.П. Винокуров И.В.	Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплинам «Гидравлика» и «Прикладная гидрогазодинамика» для студентов 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, И.В. Винокуров. Воронеж, 2015. 66 с. (381-2015)	2015 электр. ред..	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. OppenOffice
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](http://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.

Специализированная лаборатория гидрогазодинамики, оснащенная стендами для лабораторных работ:

- стенд для определения вязкости жидкости (визкозиметр Энглера);
- стенд для определения гидростатического давления;
- стенд Бернулли;
- стенд Рейнольдса.

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

По дисциплине «Прикладная гидрогазодинамика» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

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 удается 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: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов;

	<ul style="list-style-type: none"><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.