Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 22.05.2024 17:05:43
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735a18bc34



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ /К.И. Лушин/
«15» ___февраля____ 2024г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# «Гидрогазодинамика»

Направление подготовки
**13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль
**Интеллектуальные тепловые энергосистемы**

Квалификация
**Бакалавр**

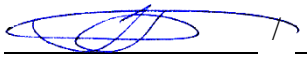
Формы обучения
**Очная и заочная**

Москва, 2024 г.

**Разработчик(и):**

Ст. преподаватель  / А.И. Гришин /
И.О. Фамилия

**Согласовано:**

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент  / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

# Содержание


1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ... 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ... 4
3. Структура и содержание дисциплины ... 4
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость ... 5
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины ... 6
   - 3.3. Содержание дисциплины ... 7
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий ... 9
   - 3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) ... 10
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение ... 10
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы ... 10
   - 4.2. Основная литература ... 10
   - 4.3. Дополнительная литература ... 11
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы ... 11
   - 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение ... 11
   - 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы ... 12
5. Материально-техническое обеспечение ... 12
6. Методические рекомендации ... 12
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения ... 12
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины ... 13
7. Фонд оценочных средств ... 14
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения ... 14
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения ... 14
   - 7.3. Оценочные средства ... 15

## 1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К **основным целям** освоения дисциплины «Гидрогазодинамика» следует отнести:

– формирование знаний о законах движения жидкости и газов в теплоэнергетических установках, системах отопления и вентиляции;

– формирование практических навыков расчета движения жидкости и газа в элементах интеллектуальных теплоэнергетических установках, системах и комплексах

К **основным задачам** освоения дисциплины «Гидрогазодинамика» следует отнести:

– изучение физической сущности явлений, возникающих в покоящихся и движущихся средах, уравнениях, описывающих эти явления;

– выработка у студентов умения выполнять основные газодинамические расчёты в элементах теплоэнергетических установках, системах и комплексах;

– приобретение студентами навыков выполнения экспериментальных исследований течения жидкостей и газов.

Обучение по дисциплине «Гидрогазодинамика» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| Код и наименование компетенций | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| **ОПК-3.** Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач | **ИОПК-3.1.** Применяет математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов |
| **ОПК-4.** Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах | **ИОПК-4.1.** Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)». Дисциплина логически взаимосвязана со следующими дисциплинами и практиками ООП:

– Математический анализ;
– Линейная алгебра
– Физика;
– Теоретическая механика;
– Техническая термодинамика;
– Тепломассообмен;
– Водоснабжение и водоотведение
– Котельные установки и парогенераторы;
– Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
– Тепломассообменное оборудование предприятий;
– Энергетический комплекс промышленных предприятий.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетных(е) единиц(ы) (**108** часов).

Дисциплина изучается на 3 семестре обучения. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестр |
|---|---|---|---|
| | | | 3 |
| **1** | **Аудиторные занятия** | **54** | **54** |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | 18 | 18 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | 36 | 36 |
| 1.3 | Лабораторные занятия | - | - |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **54** | **54** |
| | В том числе: | | |
| 2.1 | Выполнение заданий для самостоятельной работы | 27 | 27 |
| 2.2 | Самостоятельное обучение | 27 | 27 |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | **экзамен** | **экзамен** |
| | **Итого** | **108** | **108** |

3.1.2. Заочная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестр |
|---|---|---|---|
| | | | 4 |
| **1** | **Аудиторные занятия** | **12** | **12** |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | 4 | 4 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | 8 | 8 |
| 1.3 | Лабораторные занятия | - | - |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **96** | **96** |
| | В том числе: | | |
| 2.1 | Выполнение заданий для самостоятельной работы | 48 | 48 |
| 2.2 | Самостоятельное изучение | 48 | 48 |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | **экзамен** | **экзамен** |
| | **Итого** | **108** | **108** |

## 3.2. Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная форма обучения

| № п/п | Разделы/темы дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| **1** | **Раздел 1. Покоящаяся жидкость** | | **4** | **4** | | | **15** |
| 1.1 | Тема 1. Основные свойства жидкостей и газов | | 1 | | | | 1 |
| 1.2 | Тема 2. Напряженное состояние жидкой среды | | 1 | | | | 1 |
| 1.3 | Тема 3. Гидростатика | | 1 | 2 | | | 3 |
| 1.4 | Тема 4. Относительный покой жидкости | | 1 | 2 | | | 3 |
| **2** | **Раздел 2. Движение жидкости** | | **5** | **8** | | | **24** |
| 2.1 | Тема 5. Кинематика жидкости | | 1 | | | | 1 |
| 2.2 | Тема 6. Основные уравнения движения жидкости | | 1 | 4 | | | 5 |
| 2.3 | Тема 7. Основы гидродинамического подобия | | 1 | 2 | | | 3 |
| 2.4 | Тема 8. Ламинарный режим течения | | 1 | 1 | | | 2 |
| 2.5 | Тема 9. Турбулентный режим течения | | 1 | 1 | | | 2 |
| **3** | **Раздел 3. Местные гидравлические сопротивления и расчет трубопроводов** | | **5** | **18** | | | **26** |
| 3.1 | Тема 10. Местные гидравлические сопротивления | | 1 | 4 | | | 5 |
| 3.2 | Тема 11. Истечение жидкостей через отверстия и насадки | | 1 | 6 | | | 7 |
| 3.3 | Тема 12. Гидравлический расчет трубопроводов | | 2 | 4 | | | 6 |
| 3.4 | Тема 13. Гидравлический удар | | 1 | 4 | | | 5 |
| **4** | **Раздел 4. Особенности течения газа** | | **4** | **6** | | | **15** |
| 4.1 | Тема 14. Равновесие и движение газа | | 2 | 2 | | | 4 |
| 4.2 | Тема 15. Сверхзвуковое течение газа | | 1 | 2 | | | 3 |
| 4.3 | Тема 16. Скачки уплотнения | | 1 | 2 | | | 3 |
| | **Итого** | **108** | **18** | **36** | | | **54** |

3.2.2. Заочная форма обучения

| № п/п | Разделы/темы дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| **1** | **Раздел 1. Покоящаяся жидкость** | | **1** | **1** | | | **10** |
| 1.1 | Тема 1. Основные свойства жидкостей и газов | | 0,25 | | | | 2 |
| 1.2 | Тема 2. Напряженное состояние жидкой среды | | 0,25 | | | | 2 |
| 1.3 | Тема 3. Гидростатика | | 0,25 | 0,5 | | | 4 |
| 1.4 | Тема 4. Относительный покой жидкости | | 0,25 | 0,5 | | | 2 |
| **2** | **Раздел 2. Движение жидкости** | | **1** | **3** | | | **24** |
| 2.1 | Тема 5. Кинематика жидкости | | 0,2 | | | | 4 |
| 2.2 | Тема 6. Основные уравнения движения жидкости | | 0,2 | 1,5 | | | 4 |
| 2.3 | Тема 7. Основы гидродинамического подобия | | 0,2 | 0,5 | | | 4 |
| 2.4 | Тема 8. Ламинарный режим течения | | 0,2 | 0,5 | | | 6 |
| 2.5 | Тема 9. Турбулентный режим течения | | 0,2 | 0,5 | | | 6 |
| **3** | **Раздел 3. Местные гидравлические сопротивления и расчет трубопроводов** | | **1** | **2** | | | **40** |
| 3.1 | Тема 10. Местные гидравлические сопротивления | | 0,25 | 0,5 | | | 10 |
| 3.2 | Тема 11. Истечение жидкостей через отверстия и насадки | | 0,25 | 0,5 | | | 8 |
| 3.3 | Тема 12. Гидравлический расчет трубопроводов | | 0,25 | 0,5 | | | 10 |
| 3.4 | Тема 13. Гидравлический удар | | 0,25 | 0,5 | | | 12 |
| **4** | **Раздел 4. Особенности течения газа** | | **1** | **2** | | | **22** |
| 4.1 | Тема 14. Равновесие и движение газа | | 0,3 | 0,6 | | | 7 |
| 4.2 | Тема 15. Сверхзвуковое течение газа | | 0,4 | 0,8 | | | 8 |
| 4.3 | Тема 16. Скачки уплотнения | | 0,3 | 0,6 | | | 7 |
| | **Итого** | **108** | **4** | **8** | | | **96** |

## 3.3. Содержание дисциплины

**Раздел 1. Покоящаяся жидкость**

**Тема 1. Основные свойства жидкостей и газов**

Понятие жидкости в гидрогазодинамике. Капельные и газообразные жидкости. Гипотеза сплошности. Основные свойства жидкостей: плотность, сжимаемость, испаряемость,

вязкость, температурное расширение. Давление насыщенных паров. Капиллярный эффект. Растворимость газов в капельных жидкостях.

**Тема 2. Напряженное состояние жидкой среды**

Силы, действующие в жидкости. Массовые и поверхностные силы. Касательные напряжения. Нормальные напряжения сжатия. Гидростатическое давление. Абсолютное, вакуумметрическое, избыточное давления. Дифференциальное уравнение покоящейся жидкости в форме Эйлера.

**Тема 3. Гидростатика**

Понятие абсолютного покоя жидкости. Основное уравнение гидростатики. Поверхность уровня и её свойства. Жидкостные приборы для измерения давления. Устройство манометра. Силы давления на твердые плоские и криволинейные поверхности. Сила Архимеда.

**Тема 4. Относительный покой жидкости**

Понятие относительного покоя жидкости. Равноускоренное движение сосуда с жидкостью. Вращение сосуда с жидкостью с постоянной угловой скоростью вращения.

**Раздел 2. Движение жидкости**

**Тема 5. Кинематика жидкости**

Методы описания движения жидкости (метод Эйлера и метод Лагранжа). Стационарное и нестационарное течения. Ускорение жидкой частицы. Кинематические характеристики потока: линии тока, трубки тока, элементарная струйка, расход жидкости, уравнение неразрывности для трубки тока. Потенциальные и вихревые течения. Вихревые линии и трубки. Безвихревое движение, потенциал скорости. Плоское течение идеальной жидкости, функция тока, её физический смысл.

**Тема 6. Основные уравнения движения жидкости**

Уравнение Эйлера движения идеальной несжимаемой жидкости. Уравнение неразрывности в дифференциальной форме для стационарного и нестационарного течений. Уравнение Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для вязкой несжимаемой жидкости. Графическая интерпретация уравнения Бернулли. Гидравлическое сопротивление: формула Дарси – Вейсбаха.

**Тема 7. Основы гидродинамического подобия**

Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков жидкости и газа. Критерии и числа подобия, их роль и физический смысл. Метод теории размерности ($\pi$ теорема). Понятие режимов течения. Критическое число Рейнольдса. Кавитация. Кавитационная эрозия.

**Тема 8. Ламинарный режим течения**

Слоистые течения: в круглой трубе (течение Пуазейля) и в плоской трубе с подвижной стенкой (течение Куэтта). Особые случаи ламинарного течения: начальный участок трубы, течение под действием больших перепадов давления, течение с облитерацией.

**Тема 9. Турбулентный режим течения**

Особенности турбулентного потока жидкости: мгновенная, средняя и пульсационная скорости. Уравнения Рейнольдса. Двухслойная модель турбулентности Прандтля. Распределение скорости при турбулентном режиме течения в трубах с гладкой и шероховатой поверхностью. Расчет гидравлического сопротивления, формулы: Блазиуса, Шифринсона, Прандтля, Колбрука – Уайта.

**Раздел 3. Местные гидравлические сопротивления и расчет трубопроводов**

**Тема 10. Местные гидравлические сопротивления**

Формула Вейсбаха. Потери при внезапном расширении круглой трубы, при внезапном сужении, при входе и выходе из резервуара, потери в диффузоре и конфузоре. Потери при внезапном повороте трубы. Потери при плавном повороте трубы.

**Тема 11. Истечение жидкостей через отверстия и насадки**

Коэффициет расхода. Истечение в атмосферу. Истечение под уровень. Истечение при несовершенном сжатии. Опорожнение сосуда. Значения коэффициента расхода для дросселирующих отверстий, наиболее часто встречающихся в гидросистемах.

**Тема 12. Гидравлический расчет трубопроводов**

Расчет простых трубопроводов. Расчет высоты всасывания насоса. Сифонный трубопровод. Расчет сложных трубопроводов. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов. Разветвленный трубопровод. Трубопровод, содержащий насос. Трубопровод, содержащий гидромотор. Основные сведения о гидравлических машинах.

**Тема 13. Гидравлический удар**

Гидравлический удар в трубопроводах. Непрямой гидравлический удар. Формула Жуковского. Основные сведения о расчете гидравлического удара методом характеристик.

**Раздел 4. Особенности течения газа**

**Тема 14. Равновесие и движение газа**

Основные термодинамические соотношения. Барометрическая формула. Закон сохранения массы для течения сжимаемого газа. Уравнение количества движения для одномерного течения идеального газа. Уравнение Бернулли для идеального газа при: изотермическом и адиабатическом процессах. Установившееся движение вязкого газа в трубе постоянного сечения.

**Тема 15. Сверхзвуковое течение газа**

Скорость распространения бесконечно малых возмущений (скорость звука). Число Маха. Дозвуковой, критический и сверхзвуковой режимы течения. Коэффициент скорости. Особенности течения газа в трубах переменного сечения. Сопло Лаваля. Истечение газа из резервуара. Газодинамические функции.

**Тема 16. Скачки уплотнения**

Прямой скачок уплотнения. Связь между параметрами газа до и после скачка уплотнения. Формула Прандтля. Ударная адиабата и ее сравнение с адиабатой Пуассона. Непрямой (косой) скачок уплотнения.

## 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практическое занятие 1. Гидростатика, задачи.

Практическое занятие 2. Равновесие поршня гидроцилиндра, относительный покой жидкости, задачи.

Практическое занятие 3. Демонстрация уравнения Бернулли (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 4. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости, задачи.

Практическое занятие 5. Уравнение Бернулли для течения жидкости с местными гидравлическими сопротивлениями, задачи.

Практическое занятие 6. Режимы течения жидкости (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 7. Определение потерь напора (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 8. Расчет простого трубопровода, задачи.

Практическое занятие 9. Определение коэффициента истечения через насадки (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 10. Истечение жидкости через отверстия и насадки, задачи.

Практическое занятие 11. Истечение жидкости через дроссели, последовательно или параллельно подключенных к гидроцилиндру, задачи.

Практическое занятие 12. Расчет сложных трубопроводов, задачи.

Практическое занятие 13. Коэффициент местного сопротивления и кавитационное течение (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 14. Гидравлический удар в трубопроводе (виртуальная лабораторная работа).

Практическое занятие 15. Расчет прямого гидроудара, задачи.

Практическое занятие 16. Одномерное течение газа, задачи.

Практическое занятие 17. Сверхзвуковое течение газа, задачи.

Практическое занятие 18. Защита виртуальных лабораторных работ (тестирование).

### 3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовые работы/проекты не предусмотрены.

## 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению;
2. ГОСТ 2.781-96 ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные;
3. ГОСТ 2.782-96 «ЕСКД. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические;
4. ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин;

### 4.2. Основная литература

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Учеб для вузов. – 7-е изд., испр. – М. Дрофа, 2003. – 840 с.

2. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. Учеб для вузов. – М.: Машиност, 1987. – 440 с.

3. Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа. Учебник – М.: ИНФРА-М, 2024. – 270 с.

4. Беленков Ю.А., Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Суздальцев В.Е. Лабораторные работы по курсу «Объемные гидравлические приводы», выполняемые на ПЭВМ. Методическое пособие для студентов высших учебных заведений машиностроительных специальностей. Под редакцией профессора А.В. Лепешкина. – М.: Московский Политех, 2017. – 59 с.

5. Михайлин А.А., Пхакадзе С.Д., Курмаев Р.Х., Строков П.И. Расчет элементов автомобильных гидросистем. Учебное пособие для студентов вузов. Под редакцией проф. Лепешкина А.В. – М., изд. МАМИ, 2012 – 86 с.

### 4.3. Дополнительная литература

1. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Учебник для машиностроительных вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

2. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

3. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу. Под ред Б.В. Некрасова. – М.: Высшая школа, 1989. – 192 с.

4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Том 1. Учеб. руководство: Для втузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1991 г. – 600 с.

### 4.4. Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

| Название ЭОР | |
|---|---|
| Гидрогазодинамика | https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=8199 |

Разработанный ЭОР включает в себя: лекционный и практический материал; самостоятельную работу (в виде реферата, РГР, курсовой работы или проекта); видеоматериалы; промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета (http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog).

Ссылка на электронную библиотеку:
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=7621&section=1

### 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/
2. LibreOffice — кроссплатформенный, свободно распространяемый офисный пакет с открытым исходным кодом (Альтернатива MS Office) https://ru.libreoffice.org/
3. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Лабораторные работы по курсу. Часть 1. Гидравлика. Разработка кафедры «Гидравлика, гидромашины и гидропривод» МГТУ «МАМИ» 2011 г. – виртуальные лабораторные работы.
4. FreeCAD – параметрическая САПР общего назначения с открытым исходным кодом https://www.freecad.org/index.php?lang=ru
5. OpenFOAM – открытое программное обеспечение для численного моделирования задач механики сплошных сред методом контрольного объема https://www.openfoam.com/, https://openfoam.org/.
6. ParaView – открытый графический кросс-платформенный пакет для интерактивной визуализации в исследовательских целях https://www.paraview.org/

### 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/
7. НП «АВОК» – помощник инженера по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике https://www.abok.ru/
8. Е-ДОСЬЕ – Электронный эколог. Независимая информация о российских организациях, база нормативных документов и законодательных актов https://e-ecolog.ru/
9. Инженерная сантехника VALTEC (каталог продукции и нормативная документация) https://valtec.ru/

## 5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами, интерактивными досками, мультимедийными проекторами и экранами: АВ1406, АВ2404, АВ2415 и аудитории общего фонда. Для проведения семинарских и лабораторных работ используются аудитории: АВ1101, АВ1406, АВ1407 и аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательном комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

## 6. Методические рекомендации

### 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1. Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2. На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4. Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5. Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу с самого начала занятий. Рекомендуется в начале семестра выслать студентам в электронном виде всю основную литературу посредством личного кабинета или электронной почты.

6.1.6. Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом) список вопросов для подготовки.

6.1.7. Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8. При подготовке к семинарскому занятию по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, согласно РПД, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Использовать фронтальный опрос давая возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

6.1.9. Целесообразно в ходе защиты заданий для самостоятельной работы задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

6.1.10. Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

### 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

6.2.1. Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2. При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3. К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

# 7. Фонд оценочных средств

## 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения

Контроль успеваемости и качества подготовки проводится в соответствие с требованиями "Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете".

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

– контроль текущей успеваемости (текущий контроль);

– промежуточная аттестация.

В процессе обучения используются следующие оценочные средства текущего контроля успеваемости:

– выполнение и сдача типовых разноуровневых задач, выданных по вариантам для самостоятельного решения;

– выполнение виртуальных лабораторных работ, обработка результатов виртуального эксперимента и оформления отчета по лабораторной работе;

– защита лабораторных работ в форме тестирования.

## 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительо». На дату проведения промежуточной аттестации студенты должны выполнить все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Гидрогазодинамика», а именно: выполнить типовые разноуровневые задачи для самостоятельной работы – 8 задач; оформить протоколы по 6 виртуальным лабораторным работам; пройти тестирование по лабораторным работам.

Шкала оценивания результатов экзамена:

| ***Шкала оценивания*** | ***Описание*** |
|---|---|
| *Отлично* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом может быть допущена незначительная ошибка, неточность, затруднение при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.* |
| *Хорошо* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.* |

| | |
|---|---|
| *Удовлетворительно* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.* |
| *Неудовлетворительно* | *Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.* |

## 7.3. Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Для проведения текущего контроля применяются следующие формы: самостоятельное решение разноуровневых типовых задач по вариантам, самостоятельное оформление протоколов виртуальных лабораторных работ, тесты.

Разноуровневые типовые задачи для самостоятельного выполнения представлены в учебном пособии [5] из списка основной литературы. При изучении дисциплины «Гидрогазодинамика» предусмотрено выполнение 8 задач из вышеуказанного источника:

– 2 задачи из раздела «Гидростатика»;

– 2 задачи из раздела «Применение уравнения Бернулли»;

– 2 задачи из раздела «Истечение жидкости через дросселирующие устройства»;

– 2 задачи из раздела «Гидравлический расчет трубопроводов».

Задачи выдаются по вариантам, причем задачи, выданные из одного и того же раздела пособия, должны быть разной сложности. Решенные задачи оформляются на листах формата А4 с указанием группы, ФИО студента, варианта. Обязательно наличие условия задачи (включая рисунок), хода решения, расчетов и ответа. Защита решенных задач осуществляется в виде устного опроса.

Виртуальные лабораторные работы выполняются на персональных компьютерах согласно указаниям из методического пособия [4] из списка основной литературы. В вышеуказанном пособии также приводится форма протоколов по лабораторным работам. Предусмотрено выполнение 6 лабораторных работ:

Г-1. Демонстрация уравнения Бернулли.

Г-2. Режимы течения жидкости.

Г-3. Определение потерь напора.

Г-4. Коэффициент местного сопротивления и кавитационное течение.

Г-5. Определение коэффициента истечения через насадки.

Г-6. Гидравлический удар в трубопроводе.

В случае пропуска студентом семинарских занятий, на которых выполнялись виртуальные лабораторные работы, преподавателем назначается дата отработки пропущенных лабораторных работ.

Защита виртуальных лабораторных работ осуществляется в форме тестирования. Тестирование считается засчитанным, если студент ответил правильно на более чем 55% вопросов.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится на 3 семестре обучения в форме экзамена.

Экзамен проводится по билетам, ответы формируются письменно с последующим собеседованием. Билеты формируются из вопросов представленного ниже перечня.

**Регламент проведения экзамена:**

1. В билет включается 3 вопроса из разных разделов дисциплины и одно практическое задание (задача).

2. Перечень вопросов соответствует темам, изученным на лекционных и семинарских занятиях.

3. Время на подготовку письменных ответов – до 40 мин, устное собеседование – до 10 минут.

4. Проведение экзамена с использованием средств электронного обучения и дистанционных образовательных технологий выполняется в соответствии с утверждённым в университете "Порядком проведения промежуточной аттестации с использованием средств электронного обучения и дистанционных образовательных технологий".

До даты проведения промежуточной аттестации студент должен выполнить все задания для самостоятельной работы, предусмотренные настоящей рабочей программой дисциплины. Перечень обязательных работ и форма отчетности по ним представлены в таблице:

| Вид работы | Форма отчетности и текущего контроля |
|---|---|
| Решение типовых задач | Оформленные решенные задачи на листах формата А4. |
| Виртуальные лабораторные работы | Оформленные протоколы лабораторных работ |
| Защита лабораторных работ | Заполненный бланк тестирования по лабораторным работам |

Если не выполнен один или более видов учебной работы, указанных в таблице, преподаватель имеет право выставить неудовлетворительную оценку по итогам промежуточной аттестации.

7.3.3. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Определение жидкости. Плотность, удельный вес, вязкость жидкостей и газов.
2. Сжатие и расширение жидкостей и газов.
3. Силы, действующие в жидкостях: внешние и внутренние, массовые и поверхностные. Гидростатическое давление и касательное трение.
4. Давления в неподвижной жидкости. Закон Паскаля.
5. Вакуумметрическое и манометрическое давление.
6. Приборы для измерения давления.
7. Условие равновесия жидкости. Гидростатического давления в неподвижной жидкости.
8. Дифференциальное уравнение гидростатики Эйлера.
9. Свойства давления в неподвижной жидкости. Поверхности равного давления. Свободная поверхность жидкости.
10. Относительный покой жидкости при прямолинейном ускорении
11. Относительный покой жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде.
12. Определение силы, действующей на плоскую стенку в покоящейся жидкости.
13. Сила воздействия жидкости на криволинейную поверхность.
14. Закон Архимеда. Условия плавания и остойчивость тел. Метацентр, метацентрическая высота, метацентрический радиус, метацентрический радиус, эксцентриситет, метацентрический момент.
15. Виды движения жидкостей. Два способа описания движения жидкости: Лагранжа и Эйлера.

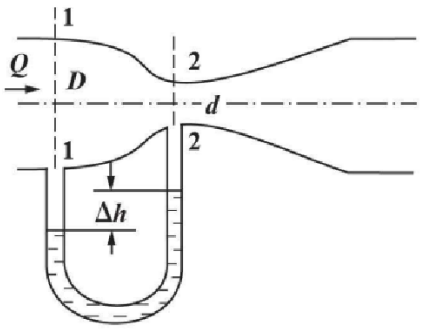
16. Основные понятия кинематики жидкости: скорость, ускорение, линии тока, живое сечение, расход, завихренность, циркуляция скорости, потенциал скорости, функция тока.
17. Модель невязкой (идеальной) жидкости. Дифференциальные уравнения Эйлера движения невязкой жидкости.
18. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
19. Уравнения Бернулли для невязкой тяжелой жидкости и его интерпретации.
20. Графические интерпретации уравнения Бернулли для невязкой жидкости.
21. Использование уравнения Бернулли для расчета параметров измерения скорости потока (трубка Пито) и объемного расхода жидкости (расходомер Вентури).
22. Уравнение Бернулли для установившегося течения вязкой, тяжелой жидкости.
23. Графическая интерпретация уравнения Бернулли для потока реально жидкости.
24. Учет потерь энергии. Общие сведения о гидравлических потерях. Виды гидравлических потерь.
25. Модель вязкой жидкости. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса движения вязкой жидкости.
26. Ламинарный и турбулентный режимы течения вязкой жидкости.
27. Уравнение Бернулли для плавно изменяющегося течения вязкой жидкости. Физический смысл коэффициента Кориолиса для коррекции скоростного напора. Потери напора на трение.
28. Потери напора при ламинарном режиме течения течении вязкой жидкости. Формула Пуазейля.
29. Турбулентный режим течения жидкости.
30. Полуэмпирические теории турбулентности. Потери напора на трение.
31. Режимы течения жидкости с учетом шероховатости стенок трубы. Три области сопротивления.
32. Местные гидравлические сопротивления.
33. Потери напора при внезапном расширении потока, формула Борда-Карно.
34. Потери напора при внезапном сужении потока.
35. Потери напора при постепенном расширении и сужении потока.
36. Истечение жидкостей из отверстий. Классификация отверстий и условий истечений. Формула Торичелли для расчета скорости истечения невязкой жидкости из малого отверстия в тонкой стенке.
37. Определение фактических параметров истечения через отверстия при постоянном напоре. Коэффициенты скорости, сжатия и расхода.
38. Истечение жидкости через отверстия при переменном напоре (опорожнение сосуда). Дифференциальное уравнение истечения.
39. Определение времени истечения жидкости из отверстия при переменном напоре.
40. Истечение из отверстий в затопленное пространство (под уровень).
41. Истечения через насадки. Типы насадок.
42. Напорно-расходная характеристика трубопровода при ламинарном режиме течения жидкости в круглой трубе.
43. Переход ламинарного режима течения жидкости в турбулентный. Критическое число Рейнольдса. Коэффициент гидравлического сопротивления в переходной зоне.
44. Какие трубопроводы называются короткими и длинными, простыми и сложными?
45. Каковы особенности расчета трубопроводов с последовательным соединением трубопроводов?
46. Каковы особенности расчета трубопроводов при параллельном соединением трубопроводах?
47. Что такое сифон и каковы особенности его гидравлического расчета?

48. Каковы особенности течения газов в трубопроводах?
49. Гидравлический удар в трубопроводах/ Формула Жуковского для расчета импульса давления при гидравлическом ударе. Способы уменьшения гидравлического удара.
50. Моделирование гидравлических потоков. Условия геометрического, кинематического и динамического подобия.
51. Критерии гидродинамического подобия, числа подобия: Рейнольдса, Фруда, Эйлера, Струхаля и их физический смысл.
52. Использование методов теории размерностей при обработке опытных данных.
53. Термодинамические процессы сжимаемой жидкости (газа).
54. Скорость распространения малых возмущений в неподвижном газе.
55. Основные законы движения газа (массы, количества движения, полной энергии).
56. Скорость звука. Число Маха.
57. Характеристики одномерного потока газа. Газодинамические функции.
58. Движение идеального газа в канале переменного сечения.
59. Движение газа в сопле Лаваля.
60. Скачки уплотнения. Физическая природа.
61. Расчет прямого скачка уплотнения.
62. Расчет косого скачка уплотнения.

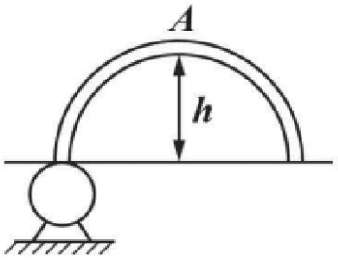
Примеры практического задания (задачи) к экзамену:

1. Жидкость с плотностью $\rho = 850$ кг/м$^3$ и вязкостью $\nu = 2$ Ст подается на расстояние $l = 20$ м по горизонтальной трубе диаметром $d = 20$ мм в количестве $Q = 1{,}57$ л/с. Определить давление, которое требуется для данной подачи. Местные гидравлические сопротивления отсутствуют.

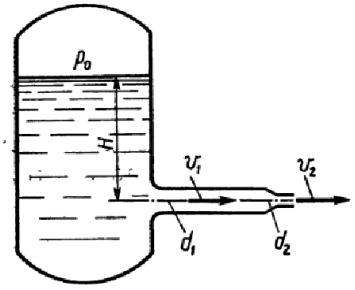
2. Манометрическое давление в сечении 1-1 трубопровода (см. рис.) $p_1 = 40$ кПа. Диаметры трубопровода $D = 0{,}2$ м; $d = 0{,}1$ м. Расход и плотность нефти соответственно $Q = 0{,}1$ м$^3$/с и $\rho = 920$ кг/м3. Определить, пренебрегая потерями напора, давление $p_2$.



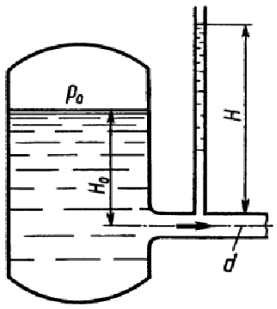

3. Нагнетательная линия трубопровода (рис.) состоит из одинаковых по длине и диаметру входящей и нисходящей ветвей. Давление в точке А $p_A = 1{,}5 \cdot 10^5$ Па; h = 8 м. Длина трубопровода $l = 100$ м, диаметр $d = 0{,}1$ м. Расход нефти $Q = 0{,}01$ м$^3$/с; плотность $\rho = 910$ кг/м$^3$. Давление на выходе из трубы равно $10^5$ Па. Определить давление у насоса.



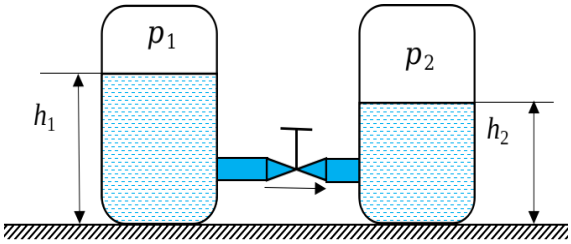
4. Из напорного бака вода течет по трубе диаметром $d_1 = 20$ мм и затем вытекает в атмосферу через насадок (брандспойт) с диаметром выходного отверстия $d_2 = 10$ мм. Избыточное давление воздуха в баке $p_0 = 0{,}18$ МПа; высота $H = 1{,}6$ м. Пренебрегая потерями энергии, определить скорости течения воды в трубе $V_1$ и на выходе из насадка $V_2$.



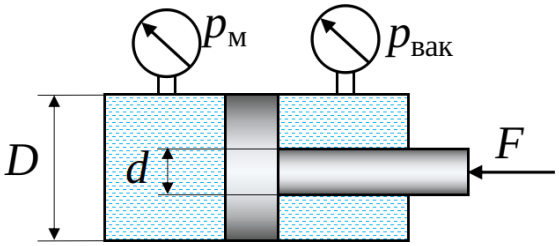

5. Определить расход керосина, вытекающего из бака по трубопроводу диаметром $d = 50$ мм, если избыточное давление воздуха в баке $p_0 = 16$ кПа; высота уровня $H_0 = 1$ м, высота подъема керосина в пьезометре, открытом в атмосферу, $H = 1{,}75$ м. Потерями энергии пренебречь. Плотность керосина $\rho = 800$ кг/м³.



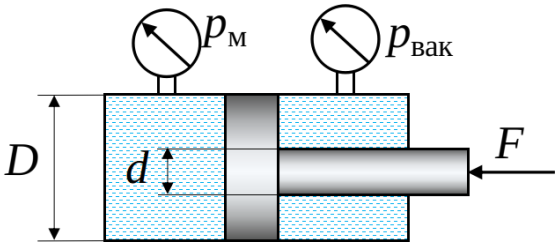

6. Вода перетекает из левого бака в правый. Определить скорость течения жидкости в трубе, если $p_1 = 0{,}3$ МПа, $p_2 = 0{,}2$ МПа, $h_1 = 3$ м, $h_2 = 0{,}5$ м, коэффициент сопротивления крана $\zeta = 8{,}5$. Учесть также потери на вход в трубу и на выходе из трубы, остальными потерями энергии пренебречь.



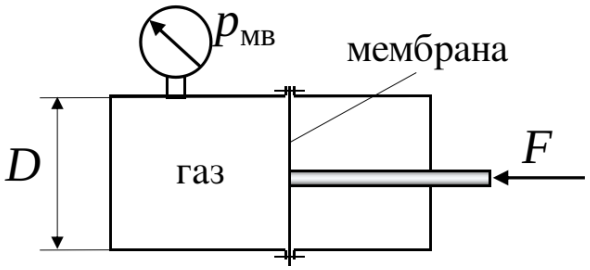

7. К левой полости гидроцилиндра подключен манометр, а к правой – вакуумметр. Каково значение приложенной силы $F$, если манометр показывает давление 0,2 МПа, вакуумметр – разряжение 40 кПа, диаметр поршня $D = 20$ мм, а диаметр штока – $d = 10$ мм?



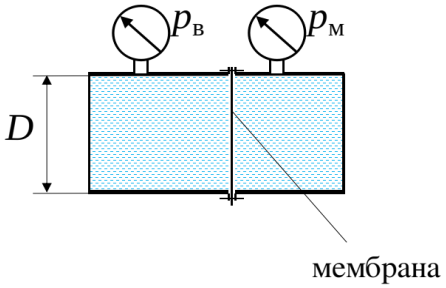

8. К левой полости гидроцилиндра подключен манометр, а к правой – вакуумметр. Каковопоказание манометра, если сила $F = 314$ Н, вакуумметр показывает разряжение 40 кПа, диаметр поршня $D = 20$ мм, а диаметр штока – $d = 10$ мм?



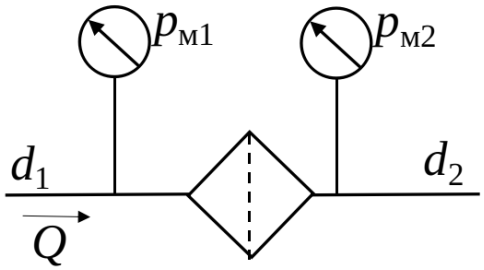
9. При каком показании мановакуумметра сумма сил, действующих на мембрану, равна нулю. $F = 314$ Н, $D = 100$ мм. Площадью штока пренебречь.




10. Определить усилие на перегородку бака с водой, если показание вакуумметра $p_в = 0{,}08$ МПа, а манометра $p_м = 0{,}1$ МПа; $D = 0{,}5$ м.




11. К фильтру подается вода с расходом $Q = 1$ л/с по трубе с внутренним диаметром $d_1 = 10$ мм, а отводится по трубе с $d_2 = 20$ мм. Определить потери давления на фильтре, если показания манометров $p_{м1} = 0{,}1$ МПа, $p_{м2} = 0{,}12$ МПа. Потерями в трубах пренебречь.




12. Керосин (плотностью $\rho = 800$ кг/м$^3$ и вязкостью $\nu = 0{,}025$ Ст) перекачивается по горизонтальной трубе длиной $l = 50$ м и диеметром $d = 50$ мм в количестве $Q = 9{,}8$ л/с. Определить потребное давление, если труба гидравлически гладкая. Местными гидравлическими сопротивлениями пренебречь.