

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт политехнический

---

Кафедра промышленной энергетики

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИПТ



А.Н. Чадин

2017 г.

## ГИДРАВЛИКА И ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Учебный модуль по направлению подготовки  
13.03.01 - Теплоэнергетика и теплотехника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела

  
О.Б. Широколобова

" 02 " 03 2017 г.

Разработал

Доцент кафедры ПРЭН

  
В.Г. Сансиев

" 01 " 03 2017 г.

Принято на заседании кафедры  
Протокол № 7 от 01.03.2017 г.  
Заведующий кафедрой ПРЭН

  
И.В. Швецов

" 01 " 03 2017 г.

### 1 Цели и задачи учебного модуля

Цели учебного модуля (УМ) "Гидравлика и гидрогазодинамика":

формирование у будущих бакалавров компетенций, необходимых для овладения базовыми теоретическими знаниями и практическими навыками работы в направлении успешной деятельности в области инжиниринга теплотехнологических объектов, расчета, проектирования и эксплуатации котельного оборудования, газогенераторных установок, паровых турбин и теплофикационных гидромеханических систем.

Задачи УМ "Гидравлика и гидрогазодинамика":

изучение теоретических методов расчета движения жидкости в элементах энергетического и теплотехнологического оборудования, процессов преобразования энергии в гидромашинах; приобретение навыков использования основных уравнений для расчета течений, выработка умений экспериментального исследования и анализа гидравлических характеристик теплоэнергетического оборудования и гидромашин.

### 2 Место учебного модуля в структуре ООП направления подготовки 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника"

Учебный модуль "Гидравлика и гидрогазодинамика" относится к базовой части профессионального цикла дисциплин.

Для изучения данного УМ студент должен знать теоретические сведения в объеме курсов математики, физики и теоретической механики.

В свою очередь он является основной для овладения студентами модулей "Техническая термодинамика", "Тепломассообменное оборудование предприятий", "Энергосбережение в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологии", "Котельные установки и парогенераторы", "Трансформация теплоты и теория горения", "Источники и системы теплоснабжения", "Тепломассообменное оборудование предприятий", "Теплогенерирующие установки и системы теплоснабжения".

### 3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:

– ПК -10 – готовностью к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов

– ОПК-2 – способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:

Ур ов ни	Показатели	Оценочная шкала		
		3	4	5
Базовый уровень	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Не имеет достаточных навыков владения методами математического анализа, физического и математического моделирования объектов и процессов	Демонстрирует способности владения методами математического анализа, физического и математического моделирования	Демонстрирует владение методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования

В приложении В приведен паспорт компетенции ОПК-2

### 4 Структура и содержание учебного модуля

#### 4.1 Трудоемкость учебного модуля

В структуре УМ выделены учебные элементы модуля (УЭМ) в качестве самостоятельных разделов:

- УЭМ 1 Прикладная механика жидкости;
- УЭМ 2 Гидрогазодинамика

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		4	
<b>Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)</b>	6	6	
<b>Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):</b>	216	216	
<b>1) УЭМ 1 Прикладная механика жидкости</b>	90	90	
- лекции	18	18	ОПК-2, ПК-10
- практические занятия	18	18	
- лабораторные работы	9	9	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	45	45	
<b>2) УЭМ 2 Гидрогазодинамика</b>	90	90	
- лекции	18	18	ОПК-2, ПК-10
- практические занятия	18	18	
- лабораторные работы	9	9	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	45	45	
<b>Аттестация:</b>			
- зачеты*	-	-	
- экзамены	36	36	

\*) зачеты принимаются в часы аудиторной СРС.

## 4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

### УЭМ 1 Прикладная механика жидкости

- 1.1 Основные физические свойства жидкостей и газов
- 1.2 Гидростатика
- 1.3 Основы кинематики жидкости
- 1.4 Гидродинамика
- 1.5 Гидравлические сопротивления
- 1.6 Гидравлический расчет трубопроводов
- 1.7 Истечение жидкостей из отверстий и насадков

### УЭМ 2 Гидрогазодинамика

- 2.1 Кинематика жидкости.
- 2.2 Уравнения динамики сплошной среды.
- 2.3 Подобие течений вязкой несжимаемой жидкости.
- 2.4 Основы теории пограничного слоя
- 2.5 Неустановившееся движение жидкости
- 2.6 Одномерные течения идеального газа

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

### **4.3 Организация изучения учебного модуля**

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в Приложении А.

### **5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля**

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра, рубежный (после освоения каждого УЭМ) и семестровый (экзамен) – по окончании изучения УМ.

Рубежная аттестация на 9 неделе проводится по результатам рубежного контроля по УЭМ1. Пороговому уровню соответствует 63 балла, максимальное количество баллов – 125.

Рубежная аттестация предполагает использование педагогических тестовых материалов для аудиторного контроля теоретических знаний (пример заданий в тестовой форме даны в приложении А); учет суммарных результатов по итогам текущего контроля за соответствующий период, включая баллы за выполнение лабораторных и контрольных работ, опрос, систематичность работы и творческий рейтинг (участие в конференции, публикации, творческие идеи).

Рубежный контроль по УЭМ2 проходит на 18 неделе. Пороговому уровню соответствует 63 балла, максимальное количество баллов – 125.

Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене, – 50. Максимальное количество баллов по модулю – 300.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования».

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: контрольные работы, опрос, лабораторные работы, доклад и экзамен.

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение Б).

**6 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля** представлено **Картой учебно-методического обеспечения** (Приложение В)

### **7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля**

Для осуществления образовательного процесса по модулю используются лекционные аудитории, оборудованные мультимедийными средствами, компьютерный класс для проведения виртуальных лабораторных работ по Прикладной механике жидкости, лаборатория, оборудованная лабораторным стендом Гидрогазодинамика.

#### **Приложения (обязательные):**

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорт компетенции ОПК-2

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Д – Перечень тем, предлагаемых для докладов-презентаций в рамках УЭМ2

Е – Полный перечень возможных вопросов по темам разделов УЭМ1 и УЭМ2

## **Приложение А (обязательное)**

### **Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Гидравлика и гидрогазодинамика»**

Учебный модуль «Гидравлика и гидрогазодинамика» разделен на два учебных элемента модуля (УЭМ): «Прикладная механика жидкости» и «Гидрогазодинамика». Каждый из УЭМ состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия, а также лабораторные работы. Первый учебный элемент основан на изучении законов равновесия и движения жидкостей и способах приложения этих законов к решению задач теплоэнергетики, характеризуется установлением приближённых зависимостей, основанных на экспериментальных результатах.

Второй УЭМ включает изучение движения идеальных и реальных жидкости и газа. Изучение основано на законах механики сплошных сред, опирающихся на переход от реальной среды, состоящей из большого числа отдельных атомов или молекул, к абстрактной сплошной среде, для которой и записываются уравнения движения. Освоение теоретических основ и расчетных методик направлено на решение задач исследования равновесия и движения жидкостей и газов в различных элементах энергетических установок: резервуарах, трубопроводах, арматуре, проточных частях лопаточных машин и т.д.

В таблице А.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студента и ссылки на необходимую литературу.

#### **А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля**

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний о физических явлениях в равновесной и движущейся жидкости и законах, определяющих состояние жидкой и газообразной сред и их взаимодействия с твёрдыми телами

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1.

#### **А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям**

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам учебного модуля.

Практические занятия в рамках УЭМ1 строятся следующим образом:

- 50% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовых задач у доски;
- 40% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Контрольные работы проводятся после освоения студентами теоретического материала и тренинга по решению задач по следующим разделам УЭМ1:

- основные физические свойства жидкостей и газов;
- гидростатика;
- основы кинематики жидкости;
- гидродинамика;
- гидравлический расчет трубопроводов.

На практических занятиях в рамках УЭМ2 проходит обсуждение докладов студентов. Примерные темы докладов:

- Компонентный состав дымовых газов;

- Принцип действия дымовой трубы котельного агрегата;
- Эффект Магнуса;
- Обзор программных комплексов для моделирования газовых потоков;
- Программные комплексы для моделирования неустановившихся течений;
- Специализированные программные продукты для моделирования гидродинамических процессов в теплоэнергетике.

Конкретная форма проведения практических занятий указана в таблице А.1.

Полный перечень предлагаемых тем докладов приведен в приложении Д.

### А.3 Методические рекомендации по проведению лабораторных работ

При проведении лабораторного практикума студенты самостоятельно выполняют лабораторные работы, получая необходимые консультации у преподавателя. Занятия строятся следующим образом.

Первое занятие:

- проводится инструктаж по технике безопасности;
- студенты разбиваются на группы для выполнения ЛР;
- студенты знакомятся с порядком выполнения, защиты ЛР, правилами оформления отчета (в соответствии с СТО 1.701-2010. Текстовые документы. Общие требования к построению и оформлению);
- студентам указывается число баллов, которое можно набрать при выполнении лабораторного практикума;
- выдаются задания по лабораторным работам.
- студенты выполняют лабораторную работу.

На каждом последующем занятии:

- проводится защита выполненной лабораторной работы;
- выполняются последующие работы.

Без защиты лабораторных работ допускается выполнить только две работы.

По результатам защит студентам начисляются баллы. Максимальное количество баллов за выполнение и защиту одной лабораторной работы – 20 баллов.

Лабораторный практикум считается выполненным, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы, набрав при этом минимально необходимую сумму баллов (40 баллов). Перечень ЛР указан в таблице А.2.

Таблица А.2 – Перечень лабораторных работ учебного модуля "Гидравлика и гидрогазодинамика"

№ раздела УМ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ак.час
1.2	Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля	4
1.5	Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода с определением коэффициентов гидравлического трения и местных сопротивлений	4
2.2	Исследование эпюр распределения скоростей по величине динамического давления при течении воздуха по трубопроводу круглого сечения с помощью трубки Пито	4
2.6	Истечение воздуха из ресивера: докритический, критический режим течения	6

Для выполнения лабораторного практикума по УМ студенты должны пользоваться методическими указаниями: 1). Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике /Сост.

Е.Н. Коноплев, М.А. Скоробогатов, А.А. Шейпак: .-Тверь,2007.-74 с.[электронный ресурс];  
2). Стенд учебный ОГД-10-11ЛР-01 «Основы газовой динамики». ОГД-10-11ЛР-01.000.000  
ПЗ. Описание лабораторных работ.-63 с.

Методические указания содержат описания объекта исследования, используемого лабораторного оборудования, методику и порядок проведения лабораторных работ, методы измерений и расчетов, указания по выполнению отчета о работе, контрольные вопросы.

#### **А.4 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов включает работу с интернет-источниками, предоставляющими свободный доступ к демо-версиям программных продуктов для моделирования течений жидкостей и газов, программ для расчета свойств воды, водяного пара, газов и смесей газов (например, <http://www.wsp.ru/ru/>, <http://www.thesis.com.ru/>); проработку полученных на занятиях теоретических знаний с использованием дополнительной литературы и специализированных интернет-сайтов (например, <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>), анализ литературных и интернет-источников для выполнения контрольных работ, ознакомление с программными продуктами для моделирования течений жидкостей и газов и их освоение.

Примеры разноуровневых задач с решением представлены в учебных пособиях:

– Сансиев В.Г. Основные физические свойства жидкостей: методические указания / Новгород.гос.ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2011. – 24 с.;

– Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.

УЭМ1 содержит теоретическую часть (разделы 1.1-1.7), практические и лабораторные работы.

**Раздел 1.1 Основные физические свойства жидкостей и газов.** Темы этого раздела следующие: плотность и удельный объем, сжимаемость жидкостей, температурное расширение жидкостей, вязкость жидкостей и газов и ее зависимость от температуры, поверхностное натяжение.

Как правило, в начале лекции проводится опрос для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Опрос по разделу 1.1 состоит из следующих вопросов, например:

- 1 Дайте определение жидкости.
- 2 Что называют плотностью жидкости?
- 3 Что называют удельным объемом?
- 4 Что называют удельным весом?
- 5 Чем характеризуется сопротивление жидкости изменению ее объема?

Перечень всех возможных вопросов по темам приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

1 Плотность и объем первой жидкости равны  $1000 \text{ кг/м}^3$  и  $5 \text{ см}^3$ . Плотность второй жидкости  $700 \text{ кг/м}^3$ . Какой объем второй жидкости необходимо взять, чтобы плотность смеси была равна  $750 \text{ кг/м}^3$ .

2 При истечении воздуха из бака абсолютная температура уменьшилось в 2 раза. Во сколько раз уменьшилось плотность воздуха, если процесс истечения адиабатический ( $k = 1,5$ )?

3 Определить модуль упругости жидкости, если при увеличении давления на 15 МПа её объём изменился с  $400 \text{ см}^3$  до  $398 \text{ см}^3$ .

4 Определить коэффициент температурного расширения воздуха, если при увеличении температуры с 20 до 50 С плотность воздуха изменилась с  $1,20$  до  $1,14 \text{ кг/м}^3$ .

5 Определить повышение давления в водопроводе длиной 4 км и диаметром 720 мм, если в него дополнительно закачать 20 л воды. Коэффициенты объёмного сжатия и температурного расширения принять равными:  $5 \cdot 10^{-10} \text{ 1/Па}$  и  $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ 1/С}$ .

Внеаудиторная СРС заключается в решении задач по теме и подготовке к выполнению контрольной работы. Для внеаудиторной СРС по разделу 1.1 рекомендуется следующая литература:

- 1 Сансиев В.Г. Основные физические свойства жидкостей: методические указания / Новгород.гос.ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2011. – 24 с.
- 2 Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей: Учеб. Пособие/СПбГУАП. СПб., 2001.-73 с. – Единое окно доступа к образовательным ресурсам <http://window.edu.ru/resource/664/44664>
- 3 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### Раздел 1.2 Гидростатика

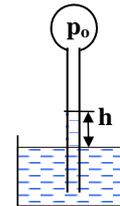
Темы раздела: силы, действующие в жидкости; модельные жидкости; гидростатическое давление; приборы для измерения давления; основное уравнение гидростатики; сила давления жидкости на плоские и криволинейные стенки.

Опрос по разделу 1.2 содержит следующие вопросы, например:

- 1 Объясните физический смысл абсолютного гидростатического давления в жидкости.
- 2 Объясните физический смысл весового давления в жидкости.
- 3 Объясните физический смысл манометрического давления.
- 4 Объясните физический смысл вакуумметрического давления.
- 5 Объясните физический смысл давления насыщенного пара жидкости.

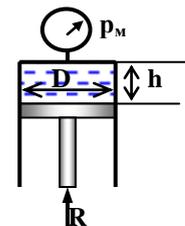
Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

- 1 Абсолютное давление в баке  $p_0$  равно 76 КПа. Определить высоту, на которую в трубке поднялась ртуть.

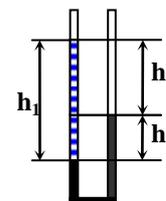


- 2 Определить абсолютное давление, если показание вакуумметра равно 250 мм. рт. столба.

- 3 Определить показание манометра, если диаметр поршня 200 мм, сила, действующая на поршень 314 Н, уровень жидкости  $h = 1$  м и плотность жидкости  $800 \text{ кг/м}^3$ .



- 4 Определить плотность жидкости в левом колене U образной трубке, если плотность ртути в правом колене  $13600 \text{ кг/м}^3$ .  $h_1 = 1,5$  м;  $h_2 = 0,1$  м



- 5 Определить показание манометра  $p_m$ , если уровни керосина, воды и ртути соответственно равны 2, 1 и 0,1 м, а плотности этих жидкостей 800, 1000 и  $13600 \text{ кг/м}^3$ .



В рамках раздела 1.2 выполняется лабораторная работа "Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля" (Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике /Сост. Е.Н. Коноплев, М. А. Скоробогатов, А.А. Шейпак: .-Тверь,2007.-74 с.).

Литература к разделу 1.2:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. – 671 с.
- 3 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. – 200 с.
- 4 Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.
- 6 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### Раздел 1.3 Основы кинематики жидкости

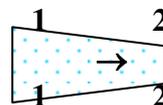
Содержание раздела: струйчатая модель движения жидкости, элементарная струйка и трубка тока, траектория и линия тока жидкой частицы, местная и средняя скорости, расход и средняя скорость потока.

Вопросы к разделу 1.3:

- 1 Какой физический смысл имеет понятие "местная скорость"?
- 2 Что называют средней скоростью потока?
- 3 Что называют объемным расходом жидкости?
- 4 Что называют массовым расходом жидкости?
- 5 Какое различие между траекторией и линией тока жидкой частицы?

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

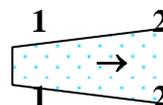
1 Идеальный газ движется в сужающейся трубе. Во сколько раз скорость газа в узком сечении больше, чем в широком, если:  $D_1 = 1,5 D_2$ ,  $p_1 = 1,2 p_2$ .  
Движение газа изотермическое.



1 Вода из трубы диаметром 200 мм вытекает в лоток шириной 100 мм и глубиной жидкости в нем 150 мм. Определить скорости в трубе и лотке, если массовый расход воды равен 60 кг/с.

2 Определить скорость воздуха и эквивалентный диаметр, если за 1 час по вентиляционному каналу размером 200 x 400 мм прокачано 3600 м<sup>3</sup> воздуха.

3 Идеальный газ движется в расширяющейся трубе. Во сколько раз давление газа в узком сечении больше, чем в широком, если:  $D_1 = 0,25 D_2$ ,  $U_1 = 0,2 U_2$ .  
Движение газа адиабатическое, коэффициент адиабаты  $k = 1,33$ .



Литература к разделу 1.3:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 4 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.- 840 с.
- 5 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

#### Раздел 1.4 Гидродинамика

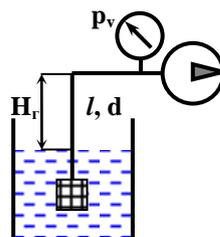
Содержание раздела: методы исследования движения жидкости, дифференциальные уравнения движения жидкости, уравнение неразрывности и расхода, уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости.

Вопросы к разделу 1.4:

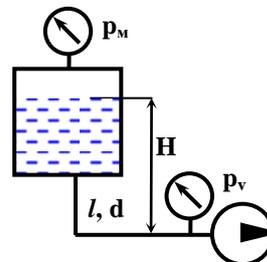
- 1 Что выражает уравнение Бернулли для потока жидкости?
- 2 Какой физический смысл имеет коэффициент Кориолиса в уравнении Бернулли?
- 3 В чем заключается энергетическая интерпретация уравнения Бернулли?
- 4 В чем заключается геометрическая интерпретация уравнения Бернулли?
- 5 Что называют полным напором в сечении?

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

1 Насос за 10 минут перекачивает  $6 \text{ м}^3$  воды. Рассчитать показание вакуумметра, если длина трубы 10 метров, диаметр 100 мм, высота подъема жидкости  $H_T = 4$  метра. Потери напора  $h_{1-2} = 3 V^2/2g$ .

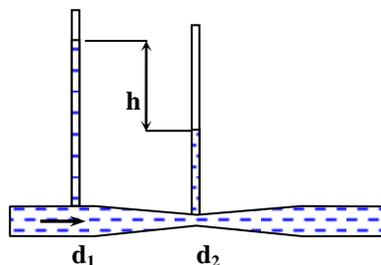


2 Вода из бака перекачивается насосом с расходом 2 л/с по трубопроводу длиной 250 м, диаметром 30 мм. Высота уровня воды в баке  $H = 10$  м. Давление вакуума на входе в насос  $p_v = 0,03$  МПа. Рассчитать давление в баке  $p_m$ .

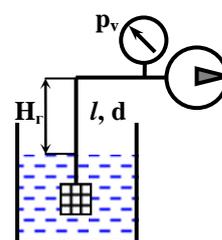


Потери напора  $h_{1-2} = 7 V^2/2g$ .

3 В водомере Вентури разность уровней равна  $h = 0,5$  м. Определить расход, если диаметры равны  $d_1 = 0,3$  м.  $d_2 = 0,2$  м. Потери напора считать равными  $h_{1-2} = 0,06 V_2^2/2g$ .



4 Рассчитать скорость движения жидкости в трубе, если показание вакуумметра  $p_v = 0,06$  МПа, длина трубы 10 метров, диаметр 100 мм, эквивалентная шероховатость поверхности трубы  $k = 0,1$  мм, высота подъема жидкости  $H_T = 3$  м.

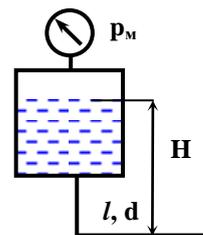


Потери напора  $h_{1-2} = 5 V^2/2g$ .

5 Вода по самотечному трубопроводу длиной 500 м, диаметром 20 мм, вытекает из бака в атмосферу с расходом 0,6 л/с.

Давление в баке  $p_m = 0,2$  МПа. Потери напора  $h_{1-2} = 5 V^2/2g$ .

Рассчитать  $H$ .



Литература к разделу 1.4:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 200
- 4 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 5 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 6 Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.
- 7 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### Раздел 1.5 Гидравлические сопротивления

Раздел содержит: общие сведения о гидравлических потерях, потери напора в трубах, режимы движения жидкости, число Рейнольдса, формула Дарси, шероховатость стенок, местные гидравлические сопротивления, основные виды местных сопротивлений, коэффициент местных потерь.

Вопросы к разделу 1.5:

- 1 Какие типы гидравлических сопротивлений вы знаете?
- 2 По какой причине появляются сопротивления по длине потока?
- 3 На что затрачивается энергия при прохождении жидкости через местные гидравлические сопротивления?
- 4 Как определить режим движения ньютоновской жидкости?
- 5 Какой физический смысл числа  $Re$ ?

В рамках раздела 1.5 выполняется лабораторная работа "Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода с определением коэффициентов гидравлического трения и местных сопротивлений" (Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике /Сост. Е.Н. Коноплев, М. А. Скоробогатов, А.А. Шейпак: .-Тверь,2007.-74 с.).

Литература к разделу 1.5:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 200
- 4 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 5 Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.

6 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### Раздел 1.6 Гидравлический расчет трубопроводов

Содержание раздела: основные расчетные уравнения простого трубопровода, короткие и длинные трубопроводы, расчет коротких трубопроводов, последовательное и параллельное соединение трубопроводов, трубопровод с насосной подачей, гидравлический расчет теплообменного оборудования.

Вопросы к разделу 1.6:

1 По какой формуле можно рассчитать коэффициент гидравлического трения для всего диапазона турбулентного режима?

2 Почему при увеличении температуры жидкости число  $Re$  тоже увеличивается?

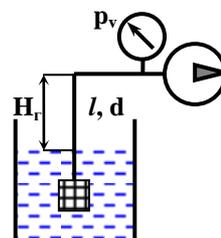
3 Почему при движении жидкости в любом сечении потока объёмный расход остается постоянным, а при движении газа он изменяется?

4 Три основные задачи расчета трубопроводов и пути их решения.

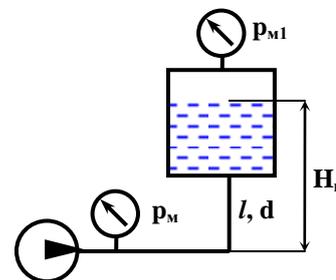
5 Методы решения трансцендентных уравнений (графический и численные).

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

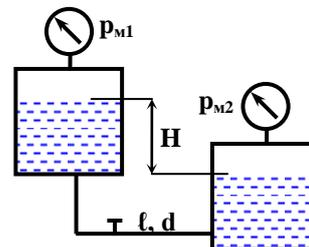
1 Насос за 10 минут перекачивает  $6 \text{ м}^3$  воды вязкостью которой  $0,8 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Рассчитать показание вакуумметра, если длина трубы 10 метров, диаметр 100 мм, эквивалентная шероховатость поверхности трубы  $k = 0,1 \text{ мм}$ , высота подъёма жидкости  $H_r = 4 \text{ метра}$ . Коэффициент местных сопротивлений принять равным  $\xi_m = 3$ .



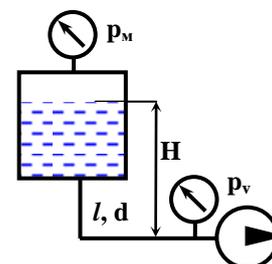
2 Насос перекачивает за час 36 т мазута плотностью  $\rho_m$  вязкостью  $\mu_m$ .  $H_r = 25$  метров высота подъёма жидкости, коэффициент местных сопротивлений  $\xi_m = 10$ , длина трубы 500 м, эквивалентная шероховатость поверхности трубы  $k = 1,4 \text{ мм}$ , диаметр трубы 100 мм, показание манометра  $p_{m1} = 0,2 \text{ МПа}$ , Определить давление на выходе из насоса  $p_m$ .



3 Мазут плотностью  $\rho_m$  вязкостью  $\mu_m$  по самотечному трубопроводу длиной 50 м, диаметром 20 мм и эквивалентной шероховатостью поверхности трубы 0,08 мм, перетекает из правого бака в левый. Давления в баках  $p_{m1} = 0, \text{ МПа}$ ,  $p_{m2} = 0,5 \text{ МПа}$ , разность уровней в баках  $H = 15 \text{ м}$ . Коэффициент местных сопротивлений  $\xi_m = 15$ . Рассчитать расход.

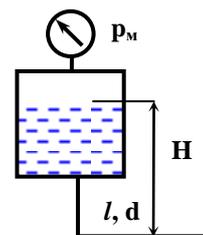


4 Мазут плотностью  $\rho_m$  вязкостью  $\mu_m$  из бака перекачивается насосом с расходом  $20 \text{ л/с}$  по трубопроводу длиной 500 м и эквивалентной шероховатостью поверхности трубы 0,35 мм. Высота уровня в баке  $H = 15 \text{ м}$ . Давление вакуума на входе в насос и в баке  $p_v = 0,04 \text{ МПа}$ ,  $p_m = 0,2 \text{ МПа}$ . Коэффициент местных сопротивлений  $\xi_m = 30$ . Рассчитать диаметр



трубопровода.

5 Вода, вязкость которой  $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  по самотечному трубопроводу длиной 50 м, диаметром 20 мм и эквивалентной шероховатостью поверхности трубы 0,04 мм, вытекает из бака в атмосферу с расходом 0,6 л/с. Давление в баке  $p_m = 0,2 \text{ МПа}$ , коэффициент местных сопротивлений  $\xi_m = 15$ . Рассчитать  $H$ .



Литература к разделу 1.6:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика: учеб. для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика, гидромашин и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 200
- 4 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 5 Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.
- 6 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### Раздел 1.7 Истечение жидкостей из отверстий и насадков

Содержание раздела: истечение в атмосферу при постоянном напоре через малое отверстие в тонкой стенке, истечение через затопленное отверстие, истечение через насадку.

Вопросы к разделу 1.7:

- 1 Какое отверстие в тонкой стенке называют малым?
- 2 Какой физический смысл коэффициента скорости при истечении?
- 3 Какой физический смысл коэффициента расхода при истечении?
- 4 Сравнение истечения через отверстия и насадки различных типов.
- 5 Кавитация в насадке.

Литература к разделу 1.7:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика: учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 4 Раинкина Л.Н. Гидромеханика [электронный ресурс]: учебное пособие по решению задач (2-ое издание). - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. - 119 с.
- 5 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

Рубежный контроль по УЭМ1 осуществляется с помощью тестового задания (закрытого), содержащего 39 вопросов, например,

Жидкости и газы проявляют упругие свойства при деформации...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 сдвига</li> <li>2 растяжения</li> <li>3 одноосного сжатия</li> <li>4 всестороннего сжатия</li> </ol>
Для адиабатного процесса в идеальном газе справедливо соотношение:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 <math>\frac{p}{V} = RT</math></li> </ol>

	2	$\frac{p}{\rho} = const$
	3	$\frac{p}{\rho^k} = const$
	4	$\frac{p}{\rho} = RT$
Если манометр показал давление $p_m$ , то абсолютное давление $p$ равно...	1	$p = p_{атм} + p_m$
	2	$p = p_m$
	3	$p = p_m - p_{атм}$
	4	$p = p_{атм} - p_m$
Кривая, в каждой точке которой вектор скорости направлен по касательной к ней, называется...	1	траекторией
	2	элементарной стружкой
	3	линией отмеченных точек
	4	линией тока
Рейнольдс установил, что существует _____ режим(а) движения жидкости	1	
	2	
	3	
	4	

**УЭМ2 Гидрогазодинамика** содержит теоретическую часть (разделы 2.1-2.6), практические и лабораторные работы. Темы докладов-презентаций по разделам УЭМ2 предоставляются студентам по их выбору и представлены в приложении Д.

### Раздел 2.1 Кинематика жидкости.

Содержание раздела: понятие сплошности среды; поступательное, вращательное и деформационное движение жидкой частицы; кинематика вихревого и безвихревого течений; потенциал скорости и функция тока; локальная, конвективные и субстанциональная производные.

Примеры вопросов к разделу 2.1:

- 1 Что называют циркуляцией вектора скорости?
- 2 Какое движение называют безвихревым?
- 3 Потенциал скорости.
- 4 Функция тока.
- 5 Гидродинамическая сетка.

Литература к разделу 2.1:

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. – 188.

### Раздел 2.2 Уравнения динамики сплошной среды.

Содержание раздела: уравнение неразрывности, уравнения движения Эйлера идеальной жидкости, тензор напряжений поверхностных сил, уравнения движения Навье-Стокса вязкой жидкости, интегрирование уравнений Навье-Стокса для простых течений, уравнения количества движения и момента количества движения.

Примеры вопросов к разделу 2.2:

- 1 Какие силы действуют в жидкости?
- 2 К каким силам относятся сила тяжести и силы инерции?
- 3 К каким силам относятся силы вязкого трения?
- 4 Какой физический смысл уравнения движения идеальной жидкости Эйлера ?

5 Какой физический смысл уравнения движения вязкой жидкости Навье-Стокса?  
 В рамках раздела 2.2 выполняется лабораторная работа "Исследование эпюр распределения скоростей по величине динамического давления при течении воздуха по трубопроводу круглого сечения с помощью трубки Пито" (Стенд учебный ОГД-10-11ЛР-01 «Основы газовой динамики». ОГД-10-11ЛР-01.000.000 ПЗ. Описание лабораторных работ.- 63 с.).

Литература к разделу 2.2:

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. – 188.

### **Раздел 2.3 Подобие течений вязкой несжимаемой жидкости.**

Содержание раздела: сущность теории подобия, геометрическое, кинематическое и динамическое подобие, критерии подобия, метод размерностей.

Примеры вопросов к разделу 2.3:

- 1 Какие критерии подобия Вам известны?
- 2 Какие процессы течения жидкости называют подобными?
- 3 Сформулируйте условия подобия.
- 4 Какой физический смысл числа Рейнольдса?
- 5 Какой физический смысл числа Эйлера?

Литература к разделу 2.3:

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 2 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. – 188.

### **Раздел 2.4 Основы теории пограничного слоя**

Содержание раздела: дифференциальное уравнение пограничного слоя, интегральные соотношения и расчет пограничного слоя, отрыв пограничного слоя и сопротивление при отрывном обтекании.

Примеры вопросов к разделу 2.4:

- 1 Дайте определение пограничного слоя.
- 2 Что называют внешним потоком?
- 3 Сформулируйте закон нарастания толщины ламинарного пограничного слоя.
- 4 В чем состоит отличие уравнений пограничного слоя от уравнений Навье-Стокса?

Литература к разделу 2.4:

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. – 188.

### **Раздел 2.5 Неустановившееся движение жидкости**

Содержание раздела: гидравлический удар в трубах, прямой гидравлический удар, формула Н. Е. Жуковского, непрямой гидравлический удар.

Примеры вопросов к разделу 2.5:

- 1 Какое явление называют гидравлическим ударом?
- 2 Перечислите меры борьбы с гидроударом.
- 3 В чем отличие прямого гидроудара от прямого?
- 4 Как влияют упругие свойства жидкости и материала трубы на ударное давление?

Литература к разделу 2.4:

- 1 Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.

- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 200
- 4 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188
- 5 Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.

### **Раздел 2.5 Одномерные течения идеального газа**

Содержание раздела: основные термодинамические соотношения, скорость распространения малых возмущений в газе, параметры торможения и критическая скорость, изменение параметров газа при течении по трубе переменного сечения, сопло Лавалья, истечение газа из резервуара через сужающееся сопло, формула Сен-Венана – Ванцеля, прямой скачок уплотнения, косые скачки уплотнения, ускорение и торможение газовых потоков.

Примеры вопросов к разделу 2.6:

- 1 Какие формулы Вам известны для расчета скорости звука в покоящемся газе?
- 2 Что характеризует число Маха?
- 3 Как связана скорость движения газа с сечением потока?
- 4 Что представляет собой сопло Лавалья?
- 5 Какую структуру имеет уравнение постоянства массового расхода при установившемся течении газа?

В рамках раздела 2.6 выполняется лабораторная работа " Истечение воздуха из ресивера: докритический, критический режим течения" (Стенд учебный ОГД-10-11ЛР-01 «Основы газовой динамики». ОГД-10-11ЛР-01.000.000 ПЗ. Описание лабораторных работ.- 63 с.).

Литература к разделу 2.6:

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб. Для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.
- 2 Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671
- 3 Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. – 188.

**Приложение Б  
(обязательное)**

**Технологическая карта  
учебного модуля «Гидравлика и гидрогазодинамика»  
семестр 4, ЗЕТ 6, вид аттестации - экзамен, акад.часов - 216, баллов рейтинга 300**

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ неде- ли сем.	Трудоемкость, ак. час					СРС	Форма текущего контроля успев. (в соотв. с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия							
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС				
<b>УЭМ 1 Прикладная механика жидкости:</b>	1-9							<b>125</b>	
1.1 Основные физические свойства жидкостей и газов	1	2	2	-	2	6	Контрольная работа 1 Опрос	10 2	
1.2 Гидростатика	2	2	4	4	-	6	Контрольная работа 2 Лабораторная работа 1 Опрос	10 15 2	
1.3 Основы кинематики жидкости	3	2	2	-	-	6	Контрольная работа 3 Опрос	10 2	
1.4 Гидродинамика	4	2	2	-	2	6	Контрольная работа 4 Опрос	10 2	
1.5 Гидравлические сопротивления	5-6	4	2	5	2	6	Лабораторная работа 2 Опрос	15 2	
1.6 Гидравлический расчет трубопроводов	7-8	4	4	-	3	9	Контрольная работа 5 Опрос	10 2	
1.7 Истечение жидкостей из отверстий и насадков	9	2	2	-	-	6	Опрос	3	
Рубежный контроль по УЭМ1	9	18	18	9	9	45	Тестовое задание	30	
Рубежная аттестация – не менее 62 балла из 125									
<b>УЭМ 2 Гидрогазодинамика:</b>								<b>125</b>	
2.1 Кинематика жидкости	10	2	2	-	-	6	Опрос	5	
2.2 Уравнения динамики сплошной среды	11-12	2	4	4	2	9	Опрос	5	

							Доклад-презентация	10	
							Лабораторная работа	20	
2.3	Подобие течений вязкой несжимаемой жидкости	13	2	2	-	-	6	Опрос	5
2.4	Основы теории пограничного слоя	14	2	2	-	2	6	Опрос	5
								Доклад-презентация	10
2.5	Неустановившееся движение жидкости	15	2	4	-	2	8	Опрос	5
								Доклад-презентация	10
								Контрольная работа	15
2.6	Одномерные течения идеального газа	16-18	2	4	5	3	10	Опрос	5
								Доклад-презентация	10
								Лабораторная работа	20
Рубежный контроль по УЭМ2		18	18	18	9	9	45		
Экзамен							36		50
<b>Итого:</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>126</b>		<b>300</b>

Критерии оценки качества освоения студентами дисциплины

(в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования»):

- оценка «удовлетворительно» – от 150 до 207 баллов;
- оценка «хорошо» – от 208 до 267 баллов;
- оценка «отлично» – от 268 до 300 баллов.

**Приложение В  
(обязательное)**

**Паспорт компетенций ОПК-2, ПК-10**

– ПК -10 – готовностью к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов

ОПК-2 – Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

Ур ов ни	Показатели	Оценочная шкала		
		3	4	5
<b>Пороговый уровень</b>	Знаком с основными законами естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности	Испытывает затруднения в формулировках основных законах естественных наук	Демонстрирует способности в познании и формулировках основных законов естественных наук, применяемых в профессиональной деятельности	Показывает четкое понимание и знание основных законов естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности
<b>Базовый уровень</b>	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Не имеет достаточных навыков владения методами математического анализа, физического и математического моделирования объектов и процессов	Демонстрирует способности владения методами математического анализа, физического и математического моделирования	Демонстрирует владение методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования
<b>Продвинутый уровень</b>	Способен применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	Показывает неуверенность в применении основных законов естественнонаучных дисциплин, методов математического анализа и моделирования	Демонстрирует способности в применении основных законов естественнонаучных дисциплин, методов математического анализа и моделирования	Готов к применению основных законов естественнонаучных дисциплин, методов математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

**Приложение Г  
(обязательное)**

**Карта учебно-методического обеспечения**

**Модуля: Гидравлика и гидрогазодинамика**

Направление (специальность) 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Формы обучения очная

Курс 2 Семестр 4

Часов: всего 216, лекций 36, практ. зан. 36, лаб. раб. 18, СРС и виды индивидуальной работы (курсовая работа, КП) 108

Обеспечивающая кафедра ПРЭН

Таблица 1- Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библиот. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1.Лапшев Н.Н. Гидравлика:учеб. Для вузов. – М.: Академия, 2007.–268 с.	25	
2.Чугаев Р. Р. Гидравлика : (техническая механика жидкости) : учеб. для гидротехн. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - М. : БАСТЕТ, 2013. - 671	25	
3.Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач : учеб. пособие для вузов / авт.: Т. В. Артемьева [и др.] ; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2013. - 200	12	
4.Гидравлика : учебник : для вузов : в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. - М. : Академия, 2012. - 188	5	
5.Кудинов А.А. Гидрогазодинамика: учеб.пособие для вузов – М.: Инфра-М, 2013.-334с.	15	
Учебно-методические издания		
1.Рабочая программа модуля «Гидравлика и гидрогазодинамика»		
2.Сансиев В.Г. Гидравлика: учеб. пособие для студентов технических специальностей / В. Г. Сансиев, И. В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого.- Великий Новгород, 2011.- 73 с.	10	
3.Сансиев В.Г. Основные физические свойства жидкостей: методические указания / Новгород.гос.ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2011. – 24 с.	10	

Таблица2 – Информационное обеспечение модуля

Название программного продукта, интернет - ресурса	Электронный адрес	Примечание

Таблица 3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол.стр.)	Кол.экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учеб.для вузов – М.: Дрофа, 2003.-840 с.	12	
2 Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) : учеб. для вузов - СПб. : Издательство Политехн.ун-та, 2007. - 544с. [2015]	3	
3		
4		

Действительно для учебного года 2017 / 2018

Зав. кафедрой ПРЭН \_\_\_\_\_ И.В. Швецов

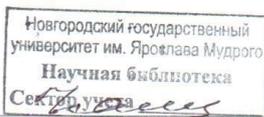
подпись

И.О.Фамилия

“01” марта 2017 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ: И. В. Швецов



должность  
расшифровка

Калинина И.А.

подпись

Примечания:

- 1 Карта учебно-методического обеспечения (УМО) составляется совместно для модуля всех форм обучения;
  - 2 Название модуля берется из рабочего учебного плана текущего учебного года;
  - 3 В таблицу 1 входят не более пяти изданий основной литературы:
    - учебники и учебные пособия с грифом Минобразования или других органов исполнительной власти РФ;
    - учебные издания НовГУ, допущенные к использованию Учёным советом, конспект лекций;
    - не старше сколько лет должны быть издания, определяется конкретным ФГОС (если там это прописано)
  - 4 В раздел «Учебно-методические издания» входят:
    - рабочая программа модуля с обязательными приложениями;
    - учебно-методические издания НовГУ и/или других вузов, если они разрешены Ученым советом института к использованию в учебном процессе в НовГУ;
  - 5 В таблицу 2 входят:
    - необходимые комплекты лицензионного программного обеспечения;
    - рекомендуемые интернет-ресурсы.
  - 6 В таблицу 3 входит дополнительная литература, которая присутствует в ЭБС и библиотеке НовГУ
- Таблица 3 добавлена в соответствии с ФГОС и приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 06.07.2015г. № 667 «Об утверждении форм сведений о реализации ОП, заявленных для государственной аккредитации образовательной деятельности» (Раздел 4. Сведения о библиотечном и информационном обеспечении основной образовательной программы)

## Приложение Д

### Перечень предлагаемых тем для докладов-презентаций

#### Темы для докладов-презентаций по разделу 2.2:

- 1 Программные продукты для моделирования движения жидкости в трубопроводах.
- 2 Программные продукты для моделирования движения жидкости в каналах сложной формы.
- 3 Специализированные программные продукты для моделирования течений жидкости и газа в теплоэнергетике.
- 4 Нормативный метод аэродинамического расчета котельных установок.
- 5 Нормативный метод гидравлического расчета котельных установок.
- 6 Принцип действия, схемы и расчет устройств для смешения потоков.
- 7 Вихревое движение жидкости в цилиндрической камере.
- 8 Гидродинамические процессы в компрессоре.
- 9 Гидродинамические процессы в турбине.
- 10 Гидродинамические процессы в эжекторе.

#### Темы докладов-презентаций по разделу 2.4

- 1 Обзор проектов моделирования течений жидкости и газа с использованием ПК FlowVision.
- 2 Эффект Магнуса.
- 3 Анализ движения газа в топочной камере котельного агрегата.
- 4 Способы визуализации потока для исследования пограничного слоя.
- 5 Обтекание пластины.
- 6 Обтекание цилиндра.
- 7 Обтекание крылового профиля.
- 8 Возникновение кавитации при обтекании твердых тел.
- 9 Виды кавитации при обтекании твердых тел.
- 10 Влияние кавитации на гидродинамические параметры потока и ограничивающие поверхности.
- 11 Разрушающее действие кавитации на материал поверхности.
- 12 Влияние шероховатости поверхности на параметры пограничного слоя.
- 13 Пограничный слой с продольным градиентом давления.
- 14 О переходе ламинарного пограничного слоя в турбулентный.
- 15 Автомодельные решения уравнения пограничного слоя.

#### Темы докладов-презентаций по разделу 2.5

- 1 Программные продукты для моделирования неустановившихся течений жидкости.
- 2 Н.Е. Жуковский и создание теории гидроудара.
- 3 Расчет характеристик дымовых газов за энергетической газотурбинной установкой.
- 4 Схемы и принцип действия шумопоглотителей ТЭС.
- 5 Устройства управления потоком, используемые для борьбы с гидроударом.
- 6 Дифференциальные уравнения одномерного неустановившегося движения жидкости в трубе.
- 7 Способы линеаризации одномерного неустановившегося движения жидкости в трубе.
- 8 Оценка повышения ударного давления в зависимости от времени закрытия задвижки.
- 9 Оценка повышения ударного давления в зависимости от плотности жидкости.
- 10 Оценка повышения ударного давления в зависимости от длины трубопровода.
- 11 Процессы в ударной трубе.

#### Темы докладов-презентаций по разделу 2.6

- 1 Программные продукты для моделирования движения газа в трубопроводах.
- 2 Компонентный состав дымовых газов.
- 3 Свойства газовых смесей.
- 4 Физические свойства водяного пара.
- 5 Физико-химические коксового газа.

- 6 Физико-химические мазутного газа.
- 7 Физико-химические генераторного газа.
- 8 Физико-химические доменного газа.
- 9 Физико-химические свойства природного газа.
- 10 Программные продукты для расчета свойств газов.
- 11 Разреженные газы.
- 11 Принцип действия дымовой трубы с естественной тягой.
- 13 Определение тяги в топке котла.
- 14 Уравнение Д.Бернулли для газового потока.
- 15 Роль газоходов в технологических схемах ТЭС.
- 16 Расчет аэродинамического сопротивления газового тракта.
- 17 Течения газов в турбомашинах.
- 18 О потере кинетической энергии газов при смешении.
- 19 Обтекание газом неподвижной решетки.
- 20 Примеры компьютерного моделирования газовых потоков.

**Приложение Е**  
**Перечень вопросов по темам разделов УЭМ1 и УЭМ2**

**Вопросы по разделу 1.1**

- 1 Дайте определение жидкости.
- 2 Что называют плотностью жидкости?
- 3 Что называют удельным объемом?
- 4 Что называют удельным весом?
- 5 Чем характеризуется сопротивление жидкости изменению ее объема?
- 6 Что представляет объемный модуль упругости жидкости?
- 7 Что называют относительным изменением объема жидкости?
- 8 Что называют вязкостью жидкости?
- 9 Какое отличие между динамической и кинематической вязкостью?
- 10 Чем определяется относительное изменение объема жидкости при изменении температуры?
- 11 Вязкость капальной жидкости с ростом температуры увеличивается или уменьшается?
- 12 Вязкость газа с ростом температуры увеличивается или уменьшается?
- 13 Какими приборами измеряют вязкость жидкости?
- 14 В каких единицах измерения выражается динамическая вязкость?
- 15 В каких единицах измерения выражается кинематическая вязкость?
- 16 Что называют поверхностным натяжением жидкости?
- 17 Каким уравнением описывается состояние идеального газа?
- 18 Какой процесс в газе называют изотермическим?
- 19 Каким соотношением характеризуется адиабатный процесс в газах?
- 20 Какой процесс в газе называют политропным?

**Вопросы по разделу 1.2**

- 1 Объясните физический смысл абсолютного гидростатического давления в жидкости.
- 2 Объясните физический смысл весового давления в жидкости.
- 3 Объясните физический смысл манометрического давления.
- 4 Объясните физический смысл вакуумметрического давления.
- 5 Объясните физический смысл давления насыщенного пара жидкости.
- 6 Сформулируйте закон Паскаля.
- 7 Сформулируйте закон Архимеда.
- 8 Что выражает основное уравнение гидростатики?
- 9 На чем основан принцип действия жидкостных приборов для измерения давления?
- 10 На чем основан принцип действия механических приборов для измерения давления?
- 11 Как связаны показания приборов с абсолютным давлением?
- 12 Как определить силу давления жидкости на плоскую поверхность твердого тела?
- 13 Как определить точку приложения силы давления жидкости на плоскую поверхность твердого тела?
- 14 С помощью каких приборов измеряют давление, превышающее атмосферное?
- 15 С помощью каких приборов измеряют вакуумметрическое давление?
- 16 Какую поверхность называют поверхностью уровня?
- 17 Что такое дифференциальный манометр?
- 18 Перечислите единицы измерения давления.
- 19 Как определить силу давления газа на плоскую поверхность твердого тела?
- 20 Какие типы механических манометров Вы знаете?

**4.4 Вопросы по разделам 1.3 и 1.4**

- 6 Какой физический смысл имеет понятие "местная скорость"?
- 7 Что называют средней скоростью потока?
- 8 Что называют объемным расходом жидкости?
- 9 Что называют массовым расходом жидкости?

- 10 Что называют смоченным периметром?
- 11 Что называют живым сечением потока?
- 12 Что называют гидравлическим радиусом?
- 13 Что называют эквивалентным диаметром?
- 14 Объясните физический смысл понятия "удельная кинетическая энергия"?
- 15 Объясните физический смысл понятия "удельная потенциальная энергия положения"?
- 16 Объясните физический смысл понятия "удельная потенциальная энергия давления"?
- 17 Дайте определение мощности потока.
- 18 Сформулируйте закон сохранения массы для потока жидкости или газа.
- 19 В каком случае закон сохранения массы эквивалентен закону сохранения объемного расхода?
- 20 Что выражает уравнение неразрывности для потока?
- 21 Что выражает уравнение Бернулли для потока жидкости?
- 22 Какой физический смысл имеет коэффициент Кориолиса в уравнении Бернулли?
- 23 В чем заключается энергетическая интерпретация уравнения Бернулли?
- 24 В чем заключается геометрическая интерпретация уравнения Бернулли?
- 25 Что называют полным напором в сечении?

### **Вопросы по разделам 1.5–1.7**

- 1 Какие типы гидравлических сопротивлений вы знаете?
- 2 По какой причине появляются сопротивления по длине потока?
- 3 На что затрачивается энергия при прохождении жидкости через местные гидравлические сопротивления?
- 4 Как определить режим движения ньютоновской жидкости?
- 5 Какой физический смысл числа  $Re$ ?
- 6 От каких факторов зависит коэффициент гидравлического трения при ламинарном режиме?
- 7 От каких факторов зависит коэффициент гидравлического трения при турбулентном режиме?
- 8 Что такое гидравлически гладкая труба?
- 9 Что такое гидравлически шероховатая труба?
- 10 Каким образом можно превратить гидравлически гладкую трубу в гидравлически шероховатую?
- 11 Методика применения уравнения Бернулли для решения практических задач.
- 12 Принцип выбора сечений и плоскости сравнения.
- 13 В каких случаях можно пренебрегать скоростью движения жидкости в сечениях потока?
- 14 По какой формуле рассчитываются линейные потери напора?
- 15 По какой формуле рассчитываются потери напора в местных сопротивлениях?
- 16 Что называют абсолютной эквивалентной шероховатостью?
- 17 Сколько областей для коэффициента гидравлического трения Вы знаете?
- 18 По какой формуле можно рассчитать коэффициент гидравлического трения для всего диапазона турбулентного режима?
- 19 Почему при увеличении температуры жидкости число  $Re$  тоже увеличивается?
- 20 Почему при движении жидкости в любом сечении потока объёмный расход остается постоянным, а при движении газа он изменяется?
- 26 Три основные задачи расчета трубопроводов и пути их решения.
- 27 Методы решения трансцендентных уравнений (графический и численные).
- 28 Кавитационный расчет всасывающего трубопровода насоса.
- 29 Определение расхода и скорости при истечении жидкости.
- 30 Какое отверстие в тонкой стенке называют малым?
- 31 Какой физический смысл коэффициента скорости при истечении?

- 32 Какой физический смысл коэффициента расхода при истечении?
- 33 Сравнение истечения через отверстия и насадки различных типов.
- 34 Всасывающий эффект насадка.
- 35 Кавитация в насадке.

### Вопросы по разделу 2.1

- 1 Дайте определение элементарной струйке жидкости.
- 2 Дайте определение трубке тока.
- 3 Дайте определение линии тока.
- 4 Дайте определение траектории жидкой частицы.
- 5 Поясните понятие сплошности среды.
- 6 Какие виды движения жидких частиц Вы знаете?
- 7 Что называют тензором напряжений поверхностных сил?
- 8 Дайте определение вихревой линии.
- 9 Дайте определение вихревой поверхности.
- 10 Дайте определение вихревой трубки.
- 11 Что называют интенсивностью вихревой трубки?
- 12 Что называют циркуляцией скорости?
- 13 Какое движение называют безвихревым?
- 14 Потенциал скорости.
- 15 Функция тока.
- 16 Гидродинамическая сетка.
- 17 Сформулируйте условие безвихревого движения.
- 18 Какой физический смысл имеет субстанциональная производная в уравнении движения?
- 19 Какой физический смысл имеет локальная производная?
- 20 Какой физический смысл имеют конвективные производные?

### Вопросы по разделам 2.2-2.5

- 1 Какие силы действуют в жидкости?
- 2 К каким силам относятся сила тяжести и силы инерции?
- 3 К каким силам относятся силы вязкого трения?
- 4 Какой физический смысл уравнения движения идеальной жидкости Эйлера ?
- 5 Какой физический смысл уравнения движения вязкой жидкости Навье-Стокса?
- 6 В чем заключается процедура приведения уравнений гидродинамики к безразмерному виду?
- 7 Какие критерии подобия Вам известны?
- 8 Какие процессы течения жидкости называют подобными?
- 9 Сформулируйте условия подобия.
- 10 Какой физический смысл числа Рейнольдса?
- 11 Какой физический смысл числа Эйлера?
- 12 Какой физический смысл числа Фруда?
- 13 Какой физический смысл числа Ньютона?
- 14 Дайте определение пограничного слоя.
- 15 Что называют внешним потоком?
- 16 Сформулируйте закон нарастания толщины ламинарного пограничного слоя.
- 17 В чем состоит отличие уравнений пограничного слоя от уравнений Навье-Стокса?
- 18 Какое явление называют гидравлическим ударом?
- 19 Перечислите меры борьбы с гидроударом.
- 20 В чем отличие непрямого гидроудара от прямого?

### Вопросы по разделу 2.6

- 1 Какие формулы Вам известны для расчета скорости звука в покоящемся газе?
- 2 Что характеризует число Маха?
- 3 Как связана скорость движения газа с сечением потока?

- 4 Что представляет собой сопло Лавалья?
- 5 Какую структуру имеет уравнение постоянства массового расхода при установившемся течении газа?
- 6 Если в конфузальной части сопла Лавалья поток газа дозвуковой, то скорость газа увеличивается или уменьшается?
- 7 Если скорость газа в наименьшем сечении сопла Лавалья равна скорости звука, то в диффузорной части поток газа дозвуковой или сверхзвуковой?
- 8 Что такое параметры торможения газа?
- 9 Какие скорости называют максимальной и критической скоростью газа ?
- 10 Что такое газодинамические функции?
- 11 Что называют характеристиками сверхзвукового потока?
- 12 Какие параметры газа меняются в прямом скачке уплотнения?
- 13 Чем определена связь между давлением и плотностью газа в скачке уплотнения?
- 14 Как возникают косые скачки уплотнения?
- 15 Что называется ударной поларой?
- 16 Какие силы действуют на обтекаемое тело со стороны сверхзвукового потока?
- 17 Что называют волновым сопротивлением?
- 18 Что называют углом атаки при сверхзвуковом обтекании тонкой пластинки?
- 19 Какую силу называют подъемной?
- 20 Какую силу называют силой лобового сопротивления?