

Минобрнауки России

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электро- и теплоэнергетики

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### ДИСЦИПЛИНЫ

«Б.1.Б.19 Гидрогазодинамика»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергообеспечение предприятий

(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Тип образовательной программы

Программа академического бакалавриата

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Заочная

Год набора 2017

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

Кафедра электро- и теплоэнергетики

наименование кафедры

протокол № 4 от "14" сент 2017 г.

Заведующий кафедрой

Кафедра электро- и теплоэнергетики

наименование кафедры

подпись

С.В. Митрофанов

расшифровка подписи

Исполнители:

Доцент кафедры ЭТЭ

должность

подпись

В.Ю. Соколов

расшифровка подписи

должность

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методической комиссии по направлению подготовки

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

код наименование

личная подпись

расшифровка подписи

Заведующий отделом комплектования научной библиотеки

личная подпись

Н.Н. Грицай

расшифровка подписи

Уполномоченный по качеству факультета

личная подпись

расшифровка подписи

№ регистрации \_\_\_\_\_

© Соколов В.Ю., 2017

© ОГУ, 2017

## 1 Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель** освоения дисциплины: сформировать умения и навыки в области теории движения потоков жидкостей и газов, основных законов материального мира в применении к проектированию машин и механизмов, вырабатывающих или поглощающих энергию потока, методам пневмо- и гидротехнических расчетов систем трубопроводов. Привить навыки решения практических задач, связанных с покоем и движением жидкостей и газов в напорных и безнапорных потоках.

**Задачи:** овладение студентами основными понятиями о свойствах жидкостей и газов, законами, рассмотрение основных законов гидростатики, умение определять гидростатическое давление в жидкостях и давление газов, силы гидростатического давления, действующие на плоские и криволинейные поверхности, давления и скорости в потоках жидкостей и газов, делать типовые гидравлические расчеты. Уметь определять гидродинамическое давление в жидкостях. Определять степень сжимаемости газов и изменение свойств их при этом.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к базовой части блока 1 «Дисциплины (модули)»

Пререквизиты дисциплины: *Б.1.Б.10 Математика, Б.1.Б.11 Физика*

Постреквизиты дисциплины: *Б.1.В.ОД.4 Малоотходные технологии в энергетике, Б.1.В.ОД.7 Тепловые двигатели и нагнетатели, Б.1.В.ОД.11 Котельные установки и парогенераторы*

## 3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

| Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Формируемые компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Знать:</b> основные законы движения жидкостей и газов, явление гидростатического парадокса, закон Паскаля для проектирования простейших гидравлических машин, уравнение Д.Бернулли для составления расчетных уравнений движения рабочей среды, методы расчета кольцевых и тупиковых систем жизнеобеспечения, уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса, типы и виды местных сопротивлений и особенности систем трубопроводов из различных материалов с разными сроками эксплуатации</p> <p><b>Уметь:</b> определять потери напора в потоках; делать типовые гидравлические расчеты; определять характеристики потока при истечении его через отверстия и насадки, уметь монтировать короткие трубопроводы и проводить каптажи родников, уметь определять на местности эффективную точку расположения питьевого колодца, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием</p> <p><b>Владеть:</b> основами гидравлического расчета и анализа рабочих процессов в тепловых машинах, котельных установках; методами получения, преобразования, передачи и использования энергии при движении потока жидкости, а также основными принципами расчета по гидростатике и гидродинамике; теоретическими и практическими навыками расчета и проектирования промышленных теплоэнергетических систем и теплообменных аппаратов, в которых</p> | ОПК-2 способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью 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 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Формируемые компетенции                                                                                                                                                                 |
| процессы переноса энергии и вещества осуществляются потоками жидкости и газа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Знать:</b> правила экологической безопасности при выполнении работ. Учитывать, что в долговременной перспективе объекты виде дамб и плотин могут утрачивать прочностные характеристики. При возведении водохранилищ и каптаже родников планировать экозащитные мероприятия</p> <p><b>Уметь:</b> обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве, проводить предупреждающие работы для уменьшения вероятностных разрушений трубопроводов и объектов-накопителей</p> <p><b>Владеть:</b> понятиями коли-индекса (коли –титра) и способами их определения, способами определения утечек в системах жизнеобеспечения, особое внимание при этом уделить разделу хладотехники, владеть перечнем мало и среднетратных мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на производстве</p> | ПК-9 способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве |

## 4 Структура и содержание дисциплины

### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц (252 академических часа).

| Вид работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Трудоемкость, академических часов |                        |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4 семестр                         | 5 семестр              | всего         |
| <b>Общая трудоёмкость</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>108</b>                        | <b>144</b>             | <b>252</b>    |
| <b>Контактная работа:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>17,5</b>                       | <b>20,75</b>           | <b>38,25</b>  |
| Лекции (Л)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6                                 | 6                      | 12            |
| Практические занятия (ПЗ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 4                                 | 6                      | 10            |
| Лабораторные работы (ЛР)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6                                 | 6                      | 12            |
| Консультации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1                                 | 1                      | 2             |
| Индивидуальная работа и инновационные формы учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                   | 1                      | 1             |
| Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,5                               | 0,75                   | 1,25          |
| <b>Самостоятельная работа:</b><br>- выполнение курсовой работы (КР);<br>- выполнение контрольной работы (КонтрР);<br>- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;<br>- подготовка к лабораторным занятиям;<br>- подготовка к практическим занятиям;<br>- подготовка к рубежному контролю и т.п.) | <b>90,5</b><br><br>+              | <b>123,25</b><br><br>+ | <b>213,75</b> |
| <b>Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>экзамен</b>                    | <b>экзамен</b>         |               |

Разделы дисциплины, изучаемые в 4 семестре

| № раздела | Наименование разделов | Количество часов |                   |                |
|-----------|-----------------------|------------------|-------------------|----------------|
|           |                       | всего            | аудиторная работа | внеауд. работа |

|      |                                                                                                                                                             |     | Л   | ПЗ  | ЛР |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|
| 1.1  | Основные физические свойства жидкостей и газов.                                                                                                             | 10  | 1   |     | 2  | 7  |
| 1.2  | Гидростатическое давление и его свойства.                                                                                                                   | 10  | 0,5 | 0,5 |    | 9  |
| 1.3  | Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Применение уравнения Эйлера.                                                                                | 10  | 0,5 | 0,5 |    | 9  |
| 1.4  | Основное уравнение гидростатики.                                                                                                                            | 10  | 0,5 | 0,5 |    | 9  |
| 1.5  | Виды давлений и способы измерения давлений                                                                                                                  | 10  | 0,5 | 0,5 |    | 9  |
| 1.6  | Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности.                                                                                     | 10  | 0,5 | 0,5 |    | 9  |
| 1.7  | Закон Архимеда. Воздухоплавание.                                                                                                                            | 5   | 0,5 | 0,5 |    | 4  |
| 1.8  | Основы плавания тел в жидкости.                                                                                                                             | 5   |     |     |    | 5  |
| 1.9  | Закон Паскаля. Применение закона Паскаля для расчета простейших гидравлических машин.                                                                       | 5   |     |     |    | 5  |
| 1.10 | Основные понятия, определения и уравнения гидрогазодинамики                                                                                                 | 5   |     |     |    | 5  |
| 1.11 | Кинематические параметры течения. Равномерное и неравномерное движение потоков.                                                                             | 5   |     |     |    | 5  |
| 1.12 | Уравнение неразрывности потока. Одномерное движение жидкости.                                                                                               | 5   | 0,5 | 0,5 | 1  | 3  |
| 1.13 | Уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для газов. Различные формы уравнения энергии                                                | 5   |     |     | 1  | 4  |
| 1.14 | Расчет газовых течений с помощью газодинамических функций.                                                                                                  | 5   | 0,5 | 0,5 |    | 4  |
| 1.15 | Теория пограничного слоя. Основные понятия и уравнения пограничного слоя. Ламинарный пограничный слой. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный | 2   | 1   |     | 1  |    |
| 1.16 | Уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса                                                                                                                         | 2   |     |     |    | 2  |
| 1.17 | Потери напора при равномерном течении жидкости. Потери напора по длине. Коэффициент гидравлического трения                                                  | 2   |     |     |    | 2  |
| 1.18 | Местные потери напора. Виды местных сопротивлений. Значения коэффициентов местных сопротивлений.                                                            | 2   |     |     | 1  | 1  |
|      | Итого:                                                                                                                                                      | 108 | 6   | 4   | 6  | 92 |

Разделы дисциплины, изучаемые в 5 семестре

| № раздела | Наименование разделов                                      | Количество часов |                   |    |    |                |
|-----------|------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|----------------|
|           |                                                            | всего            | аудиторная работа |    |    | внеауд. работа |
|           |                                                            |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                |
| 2.1       | Гидравлический расчет напорных трубопроводов               | 10               | 1                 |    |    | 9              |
| 2.2       | Неустановившееся напорное движение жидкости в трубопроводе | 10               | 1                 |    |    | 9              |
| 2.3       | Гидравлический удар                                        | 10               | 1                 |    | 1  | 8              |
| 2.4       | Истечение жидкости через отверстия и насадки               | 10               |                   |    | 1  | 9              |
| 2.5       | Водосливы Кригера - Офицерова                              | 10               |                   |    |    | 10             |

| № раздела | Наименование разделов                                    | Количество часов |                   |    |    |                |
|-----------|----------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|----------------|
|           |                                                          | всего            | аудиторная работа |    |    | внеауд. работа |
|           |                                                          |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                |
| 2.6       | Инжекторы                                                | 10               |                   |    |    | 10             |
| 2.7       | Классификация трубопроводов.                             | 10               |                   | 1  |    | 9              |
| 2.8       | Основные расчетные зависимости трубопроводов             | 10               |                   | 1  |    | 9              |
| 2.9       | Последовательное и параллельное соединение трубопроводов | 10               |                   | 1  | 1  | 9              |
| 2.10      | Расчет тупиковых и кольцевых сетей.                      | 10               |                   | 1  | 1  | 8              |
| 2.11      | Движение жидкости в пористой среде. Инфильтрация         | 7                |                   | 2  |    | 5              |
| 2.12      | Гидродинамическая теория смазки.                         | 7                | 1                 |    |    | 6              |
| 2.13      | Обтекание тел несжимаемой жидкостью                      | 7                | 1                 |    |    | 6              |
| 2.14      | Моделирование гидромеханических явлений                  | 7                |                   |    | 1  | 6              |
| 2.15      | Гидравлические машины (динамические и объемные)          | 10               | 1                 |    | 1  | 8              |
| 2.16      | Гидравлика природоохранных проектов                      | 4                |                   |    |    | 4              |
| 2.17      | Гидравлика энергетических объектов                       | 2                |                   |    |    | 2              |
|           | Итого:                                                   | 144              | 6                 | 6  | 6  | 126            |
|           | Всего:                                                   | 252              | 12                | 10 | 12 | 218            |

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

### 1.1 Основные физические свойства жидкостей и газов.

Общие сведения о предмете, его назначение в народном хозяйстве и значение в интенсификации и энергосбережении производства. Состав и задачи дисциплины. Краткая история развития дисциплины. Понятие «жидкость» и «газ». Основные физические свойства жидкости. Модели жидкой среды: идеальная, ньютоновская и неньютоновские жидкости. Силы и напряжения, действующие в жидкости. Вязкость жидкостей и газов. Реальная и идеальная (невязкая) жидкости. Поверхностные и массовые силы. Тензор напряжений для вязкой и идеальной жидкости. Барометрическая формула. Бароклинная и баротропная жидкость. Парообразование и конденсация. Парциальное давление. Давление насыщенного пара. Тепловое расширение жидкостей и газов. Коэффициент теплового расширения.

### 1.2 Гидростатическое давление и его свойства.

Состояние покоя жидкости. Абсолютное, избыточное, вакуумметрическое давление. Гидростатический (потенциальный) напор, его физический и геометрический смысл. Расчетная модель, показывающая взаимосвязь между удельным весом жидкости и вытесненным объемом жидкости. Гидростатическое давление и его свойства (1,2 и 3). Жидкость и газ с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Принципиальные (основные) в аэрогидромеханике параметры состояния жидкости и газа. Плотность жидкости. Силы и напряжения, действующие в жидкости. Вязкость. Сдвиговая вязкость с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Свойство прилипания (адгезия) жидкости. Закон вязкого трения Ньютона. Зависимость вязкости от температуры и давления. Ньютоновские и неньютоновские жидкости и их законы вязкого трения. Изолированная и замкнутая система. Химическое, динамическое, тепловое и термодинамическое равновесие изолированной системы. Время релаксации. Равновесный процесс. Абсолютный ноль температуры.

### 1.3 Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Применение уравнения Эйлера.

Общие уравнения равновесия жидкости (уравнения Эйлера). Теорема Коши-Гельмгольца. Интегрирование уравнений равновесия для вязкой несжимаемой жидкости, находящейся под

действием только сил тяжести. Поверхности равного давления (поверхности уровня). Жидкость в поле силы тяжести. Равновесие вращающейся жидкости. Равновесие сжимаемой жидкости. Атмосфера в поле силы тяжести.

#### 1.4 Основное уравнение гидростатики.

Понятие гидростатического давления столба жидкости. Определение силы давления на плоские, криволинейные поверхности и на дно резервуара. Определение условий перехода рабочей среды между резервуарами при различной исходной плотности. Основной закон гидростатики для несжимаемой жидкости: его энергетическая и геометрическая интерпретация. Виды давлений и способы измерения давлений. Приборы для измерения давления в жидкостях и газах. Использование пьезометров.

#### 1.5 Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности.

Сила давления жидкости на плоскую стенку. Сила давления жидкости на криволинейную (цилиндрическую) стенку. Центр давления. Гидростатический парадокс. Уравнение баланса массы, количества движения и механической энергии для неподвижного контрольного объема. Поле давления. Поверхность равного давления и плоскость уровня. Сжимаемость жидкостей и газов. Коэффициент объемного сжатия и модуль объемной упругости. Закон Гука

#### 1.6 Закон Архимеда. Воздухоплавание.

Действие сил, на тело, погруженное в жидкость. Условие равновесия системы плавающих тел. Определение выталкивающей силы на тело, погруженное в жидкость. Определение объема и плотности тела погруженного в жидкость. Использование дирижаблей и аэростатов как подъемных механизмов.

#### 1.7 Основы плавания тел в жидкости.

Тело плавает, тонет и находится в положении безразличного равновесия. Центр давления. Центр водоизмещения. Положение остойчивости плавающих тел. Появление крена. Размещение грузов по оси плавающего тела. Ватер- линия кораблей. Определение возможной грузоподъемности судна.

#### 1.8 Закон Паскаля. Применение закона Паскаля для расчета простейших гидравлических машин.

Основы проектирования гидравлических прессов, гидравлических аккумуляторов и гидравлических домкратов. Типы рабочих жидкостей в простейших подъемных машинах. Применение закона сохранения и превращения энергии в простейших механизмах, в чем заключаются недостатки этих машин. Вывод закона Б.Паскаля для двух сообщающихся сосудов с различными жидкостями.

#### 1.10 Основные понятия, определения и уравнения гидрогазодинамики

Понятие движения жидкости. Два метода исследования движения жидкости и газа: методы Лагранжа и Эйлера. Гидродинамическое давление и местная скорость частиц жидкости. Траектория и линия тока. Ускорение жидкой частицы в методе Лагранжа и методе Эйлера. Классификация течений (поток) жидкости. Принцип обратимости движения. Векторная линия (линия тока, вихревая линия) и ее уравнение. Векторная трубка (трубка тока, вихревая трубка). Поток вектора через незамкнутую и замкнутую поверхность (объемный расход, интенсивность вихревой трубки). Живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус, расход, средняя скорость потока. Уравнения неразрывности для элементарной струйки несжимаемой жидкости и установившегося потока. Теорема Гаусса-Остроградского для потока вектора. Теорема Гельмгольца.

#### 1.11 Кинематические параметры течения. Равномерное и неравномерное движение потоков.

Одномерное установившееся движение жидкости. Роль одномерного анализа при решении технических задач. Основные уравнения. Скорость звука. Различные формы уравнения энергии. Изэнтропийное течение. Параметры торможения и критические параметры. Газодинамические функции и газодинамические таблицы. Критический расход. Суживающее сопло и сопло Лаваля. Режимы течения и изменение параметров потока по длине сопла Лаваля. Переменный режим работы суживающегося сопла. Одномерные течения при различных воздействиях на поток. Установившееся течение сжимаемой вязкой жидкости в теплоизолированной трубе постоянного сечения. Критическая длина трубы. Распределение скоростей и давлений вдоль трубы. Течение идеальной сжимаемой жидкости в канале с постоянной площадью поперечного сечения и прямым скачком уплотнения. Расчет параметров течения в сопле Лаваля со скачком уплотнения.

#### 1.12 Уравнение неразрывности потока. Одномерное движение жидкости.

Классификация видов движения жидкости: установившееся и неустановившееся, напорное и безнапорное, плавноизменяющееся и резкоизменяющееся, равномерное и неравномерное движения. Закон Стокса. Давление в движущейся вязкой жидкости. Уравнение движения жидкости в напряжениях. Уравнение Навье-Стокса. Система уравнений для определения состояния движущейся вязкой жидкости. Физическое подобие как обобщение понятий геометрического подобия и подобия во времени. Связь между масштабами физических величин в подобных явлениях. Необходимые условия динамического подобия. Критерии подобия при моделировании движения в вязкой жидкости. Их совместимость и возможность реализации. Автомодельность подобия.

#### 1.13 Уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для газов.

Различные формы уравнения энергии

Уравнение Д.Бернулли для элементарной струйки идеальной и реальной жидкости. Уравнение Д.Бернулли для установившегося потока реальной жидкости и газа. Физический смысл и графическая интерпретация компонентов уравнения Д.Бернулли. Различные формы уравнения энергии. Расчет газовых течений с помощью газодинамических функций. Режимы движения жидкости (ламинарный и турбулентный). Понятие о механизме турбулентного движения. Основной закон вязкого сопротивления.

#### 1.14 Расчет газовых течений с помощью газодинамических функций.

Истечение газов из сопел и отверстий. Истечение газа из отверстия с острой кромкой. Суживающиеся сопла. Сопло Лаваля. Диффузоры. Конфузоры. Диафрагмы. Выхлопные патрубки турбомашин. Различные группы расходомеров.

#### 1.15 Теория пограничного слоя. Основные понятия и уравнения пограничного слоя. Ламинарный пограничный слой. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный

Гипотеза о пограничном слое. Основные особенности и допущения. Распределение скоростей в пограничном слое. Дифференциальное уравнение пограничного слоя для установившегося течения несжимаемой жидкости. Интегральное соотношение для пограничного слоя (уравнение Кармана). Условные толщины пограничного слоя. Расчет ламинарного и турбулентного пограничного слоя на пластине. Коэффициенты трения и потери энергии при обтекании пластины. Элементы теории пограничного слоя (структура потока при больших числах Рейнольдса, виды пограничного слоя, отрыв пограничного слоя)

#### 1.16 Уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса

Уравнение движения для вязкой несжимаемой жидкости и уравнение Навье-Стокса. Ламинарное установившееся течение вязкой жидкости в трубах. Распределение скоростей в поперечном сечении. Безразмерный коэффициент сопротивления. Закон Хагена-Пуазейля. Универсальные законы распределения скорости.

#### 1.17 Потери напора при равномерном течении жидкости. Потери напора по длине.

Коэффициент гидравлического трения для различных материалов трубопроводов. Определение величины потери напора с учетом гидравлического, пьезометрического и геодезического уклонов. Определение величины потерь напора в каналах. Формула А.Шези. Особенности турбулентного течения. Степень турбулентности. Трение при турбулентном течении. Статистические характеристики турбулентности. Уравнение Рейнольдса для турбулентного течения несжимаемой жидкости. Турбулентное течение в трубах. Универсальные законы сопротивления для гладких труб. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Различные виды местных сопротивлений. Сопротивление при внезапном изменении площади каналов.

#### 1.18 Местные потери напора. Виды местных сопротивлений. Значения коэффициентов местных сопротивлений.

Отрыв пограничного слоя при прохождении поворотов труб под разными углами. Схема отрыва. Особенности отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя в трубопроводах с различными сроками эксплуатации. Сила сопротивления и безразмерный коэффициент сопротивления. Хорошо и плохо обтекаемые тела. Крыловидные профили и аэродинамические препятствия. Виды местных сопротивлений. Закон сопротивления для цилиндра в измерительных приборах. Кризис сопротивления плохо обтекаемых тел. Парадокс Даламбера. Минимизация сопротивления при обтекании тел в различных технических задачах.

#### 2.1 Гидравлический расчет напорных трубопроводов

Гидравлический расчет напорных трубопроводов. Классификация трубопроводов. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов. Трубопроводы с равномерно



распределенным расходом. Расчет тупиковых и кольцевых сетей. Преимущества и недостатки различных систем трубопроводов.

## 2.2 Неустановившееся напорное движение жидкости в трубопроводе

Гидравлический расчет безнапорных трубопроводов. Уравнение неустановившегося движения жидкости в жестких трубах. Расчет жесткого трубопровода при неустановившемся движении потока вязкой жидкости. Гидравлические потери при неустановившемся движении.

## 2.3 Гидравлический удар

Описание явления гидравлического удара. Теоретическое и экспериментальное исследование гидравлического удара в трубах. Опыты Н.Е. Жуковского. Скорость распространения ударной волны. Способы предотвращения и ослабления гидравлического удара выбирают для каждого конкретного случая. Компенсаторы гидравлического удара. Способы и средства предотвращения и ослабления гидравлического удара используют в промышленной гидравлике

## 2.4 Истечение жидкости через отверстия и насадки

Свободные струи. Дальность полета и распад жидких струй. Дробление струи при взаимодействии с воздушным потоком. Условие сжатия струи. Взаимодействие струи с твердыми телами. Кинематические характеристики струйного потока. Инверсия струи. Коэффициент расхода отверстия. Коэффициент скорости отверстия. Отверстие в тонкой стенке. Отверстие в толстой стенке. График Альтшуля.

## 2.5 Водосливы Кригера –Офицерова

Безвакуумная стенка нормального очертания с вертикальной верхней гранью. Водослив с тонкой стенкой. Очертание водослива который строится по опытным данным Кригера – Офицерова. Использование водослива с тонкой стенкой для определения расхода жидкости.

## 2.6 Инжекторы

Струйные насосы предназначенные для нагнетания (инжекторы), подъема (элеваторы), откачивания метом разряжения (экспаустеры). Пароструйные инжекторы. Газоструйные инжекторы.

## 2.7 Классификация трубопроводов.

Технологические трубопроводы в зависимости от давления. Деление по роду транспортируемых продуктов технологические трубопроводы. Окраска трубопроводов по характеристикам рабочей среды ГОСТ 14202-69. Способы соединения трубопроводов. Применение трубопроводной арматуры. Требования к укладке трубопроводов.

## 2.8 Основные расчетные зависимости трубопроводов

Простой трубопровод постоянного сечения. Соединения простых трубопроводов. Значения коэффициентов эквивалентной шероховатости  $\Delta$  для труб из различных материалов. Сложные трубопроводы. Трубопроводы с насосной подачей жидкостей. Изменение пропускной способности трубопроводов в процессе их эксплуатации.

## 2.9 Последовательное и параллельное соединение трубопроводов

Последовательное соединение трубопроводов. Параллельное соединение трубопроводов. Построение характеристики трубопровода с учетом сопротивления перекачиваемой среды. Разветвленные трубопроводы. Определение потерь напора для различных способов укладки трубопровода.

## 2.10 Расчет тупиковых и кольцевых сетей.

Составление схемы трубопровода. Определение потерь на участках трубопровода. Расчетный внутренний диаметр трубопровода.

## 2.11 Движение жидкости в пористой среде. Инфильтрация

Поровое пространство материала. Коэффициент пористости среды. Капиллярность среды. Безнапорное и напорное движение в пористой среде. Гидромеханическое обоснование основных законов фильтрации, методы определения физических констант горных пород (проницаемость, пористость); вывод дифференциальных уравнений движения однородных жидкостей: воды, нефти и газа; радиальное и нерадиальное плоское движение жидкостей к стокам (скважинам); фильтрация под плотинами, трехразмерный поток жидкости в пористой среде, теория совершенных и несовершенных скважин, движение жидкости в условиях гравитационного потока (с учетом „свободной поверхности“), теория движения жидкости в среде с неоднородной проницаемостью, теория одновременного движения в пласте двух жидкостей, анализ движения водонефтяного контакта и явления конусообразования, теория интерференции скважин, теория водной репрессии (флюдинга) при различной сетке размещения инъекционных и эксплуатационных скважин,

неустановившееся движение жидкости в пористой среде, движение сжимаемой жидкости или проблема упругого режима, движение газа в пористой среде - двухразмерное, трехразмерное, установившееся и неустановившееся, теория газонефтяного фактора

#### 2.12 Гидродинамическая теория смазки.

Теория Н.П.Петрова. Основы гидродинамической теории. Схема вращения цапфы в подшипнике при соосном расположении (а) и с эксцентриситетом. Трение смазочного слоя между шипом и подшипником. Расчет подшипников на основании гидродинамической теории смазки.

#### 2.13 Обтекание тел несжимаемой жидкостью

Уравнение количества движения в форме Громеки –Ламба. Вихревое и безвихревое течения. Соотношения Коши- Римана. Уравнение Бернулли и интеграл Коши-Лагранжа. Начальные и граничные условия уравнений идеальной жидкости. Функция тока и потенциал скорости и их свойства. Комплексный потенциал и комплексная скорость. Однородный поток, сток (исток), вихрь и диполь на плоскости. Применение теории функций комплексного переменного к расчету потоков. Обтекание цилиндра установившимся потоком идеальной жидкости на плоскости. Теорема Жуковского о подъемной силе. Вихри в идеальной жидкости

#### 2.14 Моделирование гидромеханических явлений

Анализ классических линейных методов моделирования гидромеханических устройств. Разработка комплекса нелинейных алгоритмических динамических моделей, алгоритмов и программ. Построение обобщенных характеристик сложных гидромеханических устройств с использованием методов теории подобия. Разработка технологии проведения вычислительного эксперимента с использованием обобщенных переменных. Автоматизация вычислительного эксперимента путем создания программного комплекса (пакета прикладных программ). Пакет *MAHSIM* как единое информационное поле, которое действует в рамках интегрированной системы *MATLAB* и включает в себя: библиотеку схем, методы расчетов и алгоритмы, базу данных, помощь и программы с графическим интерфейсом. Теория физического подобия. Теория размерности формулы Фурье. Определяющие параметры.  $\pi$ -теорема подобия. Критерии подобия и моделирования. Роль подобия в теоретических и экспериментальных исследованиях.

#### 2.15 Гидравлические машины (динамические и объемные)

Гидравлические машины и вентиляторы сведения. Назначение гидравлических машин и вентиляторов. Классификация гидравлических машин. Формулы теоретического напора центробежного насоса. Влияние угла выхода лопаток рабочего колеса на напор насоса Рабочие характеристики центробежного насоса. Работа насоса на сеть. Регулирование подачи лопастных насосов. Последовательная и параллельная работа насосов Насосы. Классификация и область применения. Параметры, характеризующие работу насосов. Подача, напор, мощность, КПД. Центробежные насосы. Назначение, устройство, принцип действия, область применения. Основное уравнение лопастных машин (уравнение Эйлера). Предельная высота всасывания и кавитация. Методы и средства борьбы с кавитацией. Осевые насосы. Устройство и принцип действия. Насосы с поворотными лопастными рабочими колесами. Вихревые насосы. Устройство и принцип действия, рабочие характеристики. Область применения. Высота всасывания, регулирование подачи. Подбор насосов. Гидро- и пневмо- механизация процессов. Роль гидро и пневмопривода в комплексной механизации и автоматизации производства. Схемы гидроприводов. Принцип действия объемного гидропривода. Основные параметры, характеризующие объемные гидроприводы. Типовые схемы объемного гидропривода. Объемный гидропривод с разомкнутой и замкнутой циркуляцией рабочей жидкости. Дроссельное и объемное регулирование гидропривода. Гидравлический расчёт объёмного гидропривода.

#### 2.16 Гидравлика природоохранных проектов

Схемы станций биологической, физико-химической, механической очистки производственных и коммунальных сточных вод. Системы водоснабжения с замкнутыми циклами. Объекты водоохраных зон с комплексом мероприятий. Мероприятия по улучшению технического состояния и благоустройству водохранилищ и естественных водоемов. Тампонажи неработающих скважин. Охрана атмосферного воздуха от загрязнения промышленными установками.

#### 2.17 Гидравлика энергетических объектов

Схемы ГЭС, ГРЭС, АЭС, ТЭЦ. Основное и вспомогательное оборудование.

### 4.3 Лабораторные работы

| № ЛР | № раздела | Наименование лабораторных работ                                                | Кол-во часов |
|------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1    | 1.1       | Основные физические свойства жидкостей и газов.                                | 2            |
|      | 1.12      | Уравнение неразрывности потока. Одномерное движение жидкости.                  | 1            |
| 2    | 1.13      | Опытная иллюстрация уравнения Бернулли. Определение режимов движения жидкости. | 1            |
| 3    | 1.15      | Движение жидкости через расходомер Вентури                                     | 1            |
| 4    | 1.18      | Определение коэффициентов местных сопротивлений                                | 1            |
| 5    | 2.3       | Гидравлический удар                                                            | 1            |
| 6    | 2.4       | Истечение жидкости через отверстия и насадки                                   | 1            |
| 8    | 2.9       | Последовательное и параллельное соединение трубопроводов                       | 1            |
| 9    | 2.10      | Расчет тупиковых и кольцевых сетей.                                            | 1            |
| 11   | 2.14      | Моделирование гидромеханических явлений                                        | 1            |
| 12   | 2.15      | Гидравлические машины (динамические и объемные)                                | 1            |
|      |           | Итого:                                                                         | 12           |

### 4.4 Практические занятия (семинары)

| № занятия | № раздела | Тема                                                                         | Кол-во часов |
|-----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2         | 1.2       | Гидростатическое давление и его свойства.                                    | 0,5          |
| 3         | 1.3       | Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Применение уравнения Эйлера. | 0,5          |
| 4         | 1.4       | Основное уравнение гидростатики.                                             | 0,5          |
| 5         | 1.5       | Виды давлений и способы измерения давлений                                   | 0,5          |
| 6         | 1.6       | Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности.      | 0,5          |
| 7         | 1.7       | Закон Архимеда. Воздухоплавание.                                             | 0,5          |
| 8         | 1.12      | Уравнение неразрывности потока. Одномерное движение жидкости.                | 0,5          |
| 9         | 1.14      | Расчет газовых течений с помощью газодинамических функций.                   | 0,5          |
| 10        | 2.7       | Классификация трубопроводов. Способы соединения трубопроводов.               | 1            |
| 11        | 2.8       | Основные расчетные зависимости трубопроводов                                 | 1            |
| 12        | 2.9       | Последовательное и параллельное соединение трубопроводов                     | 1            |
| 13        | 2.10      | Расчет тупиковых и кольцевых сетей.                                          | 1            |
| 14        | 2.11      | Движение жидкости в пористой среде. Инфильтрация                             | 2            |
|           |           | Итого:                                                                       | 10           |

### 4.5 Курсовая работа (5 семестр)

Курсовая работа «Расчет системы водоснабжения промышленного предприятия» преследует цели углубленной проработки студентами основных типов систем водоснабжения, водоотведения и пожаротушения.

Задачей курсовой работы является углубление знаний, полученных в процессе изучения курса «Гидрогазодинамика». При выполнении курсовой работы студенты рассматривают гидравлические основы расчета системы водоснабжения промышленного объекта. При этом в задании на курсовую работу имеются наборы вариантов исходных данных для расчета. Принципиальная схема унифицирована, изменены местные потребители и геодезические отметки положения объектов.

Курсовая работа содержит следующие разделы:

1. Находят расчетные расходы на отдельных участках водопроводной сети, подачу насоса;
2. Определяют диаметры труб на этих участках, уточняют их по ГОСТ и находят расчетные скорости на участках водопровода;
3. Определяют потери напора на участках водопровода;
4. Находят геометрический напор всасывания и налегания, а затем напор насоса;
5. Определяют давление на бортовые поверхности, дно емкостей и строятся эпюры распределения давлений на эти поверхности
6. По напору и подаче насоса используя поля  $Q - H$  центробежных насосов, находят марку насоса и строят графические характеристики насоса  $H = f_1(Q); N = f_2(Q); \eta = f_3(Q)$  по данным каталога характеристик центробежных насосов;
7. Рассчитывают данные для построения графической характеристики трубопроводной сети, наносят ее на характеристики насоса в масштабе аналогичном  $H = f_1(Q)$ ; и определяют рабочую точку насоса;
8. Находят потребную мощность насоса в рабочей точке насоса, определяю мощность электродвигателя и зная  $N$  и  $\eta$  подбирают электродвигатель.

#### 4.6 Контрольная работа (4, 5 семестры)

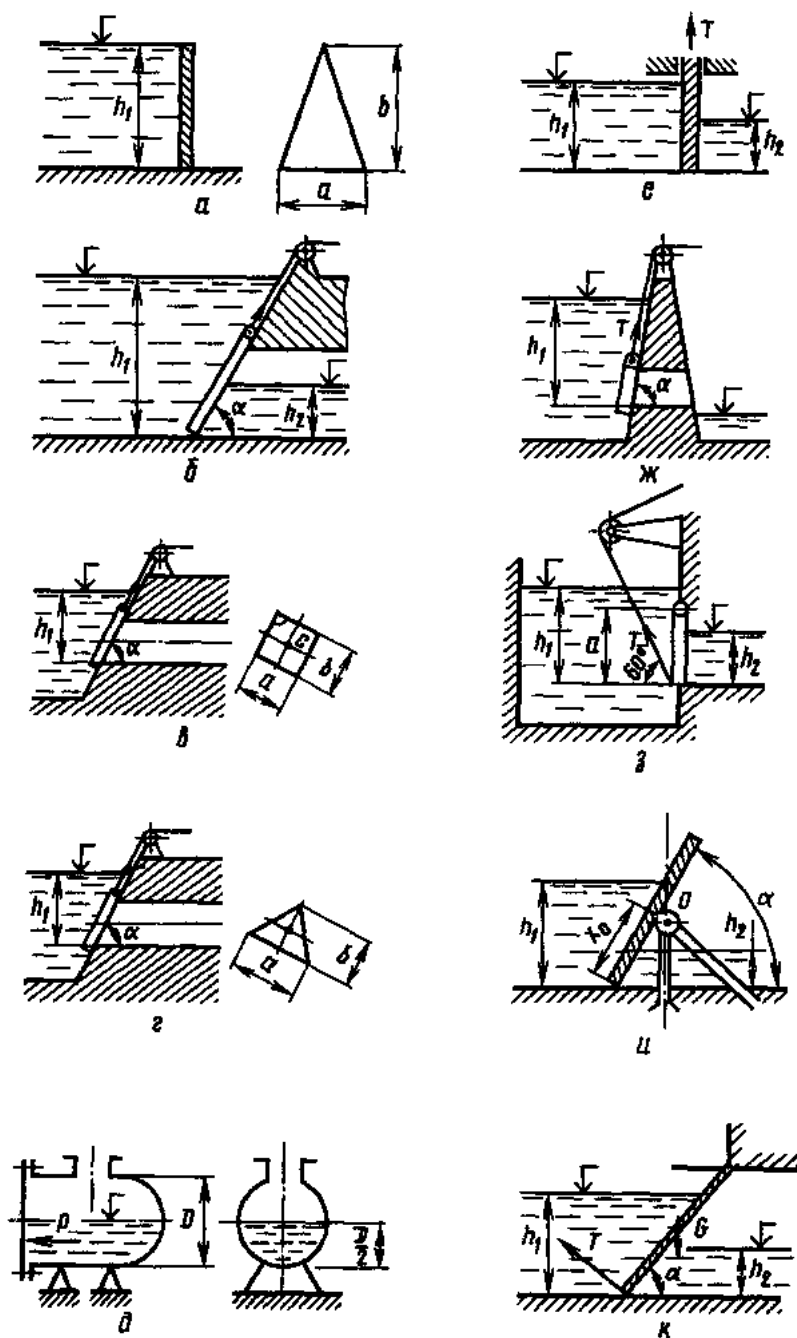


Рис.1

| показатель              | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Глубина воды, м         |     |     |     |     |     |     |
| $h_1$                   | 4   | 6   | 10  | 9.5 | -   | 3   |
| $h_2$                   | -   | 1.5 | -   | -   | -   | 1.5 |
| Размеры щита, м         |     |     |     |     |     |     |
| $a$                     | 1.5 | -   | 1.2 | 1.2 | -   | 4   |
| $b$                     | 4   | 4   | 2   | 1.5 | -   | 2   |
| Угол наклона щита, град | -   | 45  | 60  | 45  | -   | -   |
| Диаметр цистерны D, м   | -   | -   | -   | -   | 1,2 | -   |

**Задача 1.1.** Шлюзовое окно закрыто щитом треугольной формы, ширина которого  $a$ , а высота  $b$  (рис. 1.9, а). За щитом воды нет, а глубина воды перед ним  $h_1$ , при этом горизонт воды перед щитом совпадает с его вершиной. Определить силу абсолютного гидростатического давления на щит и положение центра давления. Удельный вес воды  $\gamma_v=9,81 \text{ кН/м}^3$ .

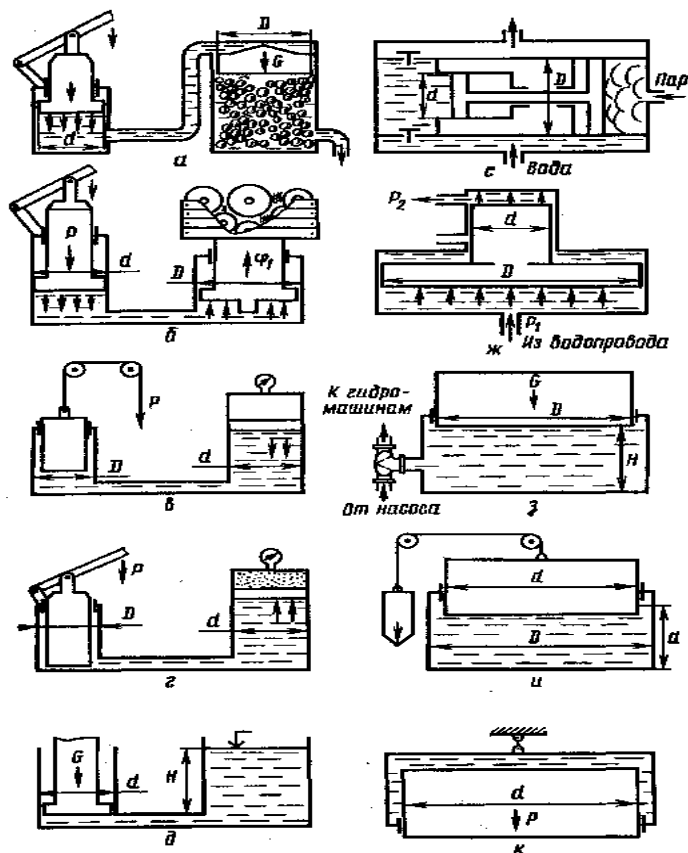
**Задача 1.2.** Плоский квадратный щит установлен с углом наклона к горизонту  $\alpha$  (рис. 1, б). Глубина воды перед щитом  $h_1$ , за щитом  $h_2$ , ширина щита  $b$ . Определить силу избыточного гидростатического давления и центр давления жидкости на щит. Удельный вес воды  $\gamma_w = 9,81 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 1.3.** Для сброса излишков воды используют донный водовыпуск, прямоугольный затвор которого имеет размеры  $a$  и  $b$  (рис. 1 в). Глубина воды от ее свободной поверхности до нижней кромки затвора  $h_1$ , угол наклона затвора  $\alpha$ , плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Определить силу абсолютного гидростатического давления жидкости на затвор водовыпуска.

**Задача 1.4.** Затвор донного водовыпуска треугольной формы имеет ширину  $a$  и высоту  $b$  (рис. 1 г). Угол наклона затвора  $\alpha$ , нижняя кромка затвора находится в воде на глубине  $h_1$ , плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Определить силу абсолютного гидростатического давления жидкости и положение центра давления на затвор.

**Задача 1.5.** Цистерна диаметром  $D$  наполовину заполнена керосином (рис. 1 д). Определить силу избыточного гидростатического давления  $P$ , которую необходимо приложить для открытия крышки цистерны, а также найти координату точки приложения этой силы. Плотность керосина  $\rho_k = 830 \text{ кг/м}^3$ .

**Задача 1.6.** Отверстие шлюза-регулятора (рис. 1, е) перекрыто плоским металлическим затвором с размерами: высота  $a$ , ширина  $b$  и толщина  $c = 0,25 b$ . Глубина воды слева от затвора  $h_1$ , а справа  $h_2$ . Определить начальную силу тяги, необходимую для открытия затвора, равнодействующую силы давления воды на затвор и положение центра ее приложения. Коэффициент трения скольжения  $f = 0,4$ , удельный вес материала, из которого изготовлен затвор,  $\gamma_s = 11 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес воды  $\gamma_w = 9,81 \text{ кН/м}^3$ .



**Задачи. 2** Далее приведены условия и некоторые примеры решения задач, посвященных гидростатическим машинам. Пояснительные рисунки к задачам сгруппированы и представлены на рис. 2. Исходные данные для решения задач содержатся в табл.

## 2.2. Исходные данные для решения задач 2.11...2.20

| показатель                | Номер задачи |      |      |      |      |      |      |       |       |      |
|---------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
|                           | 2.11         | 2.12 | 2.13 | 2.14 | 2.15 | 2.16 | 2.17 | 2.18  | 2.19  | 2.20 |
| Диаметр поршня, мм<br>$D$ | 340          | 250  | 300  | 500  | -    | 300  | 400  | 300   | 600   | -    |
| $d$                       | 15           | 25   | 200  | 250  | 200  | 150  | 40   | -     | 400   | 150  |
| Сила $P$ , кН             | 0,196        | -    | 0,80 | 1    | 1    | -    | -    | -     | -     | -    |
| Вес груза,<br>$G$ , кН    | -            | 19,6 | -    | -    | 0,10 | -    | -    | 196,2 | 0,196 | 0,10 |

**Задача 2.11.** Определить сжимающее усилие  $P_1$  гидравлического пресса с диаметрами поршней  $D$  и  $d$  (рис.2.,а), используемого для получения виноградного сока, если к малому поршню приложена сила  $P$ .

**Задача 2.12.** При ремонте сельскохозяйственных машин и оборудования широко используют гидравлический домкрат, принципиальная схема которого приведена на рис. 4 б. Определить усилие  $P$ , которое необходимо приложить к малому поршню, чтобы поднять груз весом  $G$ . Диаметры поршней  $D$  и  $d$ .

**Задача 2.13.** Два вертикальных цилиндра, имеющих диаметры  $D$  и  $d$ , наполнены жидкостью и сообщаются между собой (рис. 2, в). В цилиндры заключены поршни, из которых большой при помощи блока может перемещаться по вертикали, а в пространстве над малым поршнем находится воздух при атмосферном давлении. Определить, насколько изменится давление воздуха над малым поршнем, если большой будет перемещаться вверх с силой  $P$  (трением пренебречь).

**Задача 2.14.** Система, состоящая из двух вертикальных цилиндров, соединенных между собой, заполнена жидкостью (рис. 2, г). В цилиндры заключены поршни диаметрами  $D$  и  $d$ . К большому из них приложена вертикально вниз сила  $P$ , а в пространстве над малым поршнем — воздух при атмосферном давлении. Определить изменение давления воздуха  $\Delta p$  над малым поршнем (трением пренебречь).

**Задача 2.15.** Два сообщающихся цилиндра наполнены жидкостью (рис. 2, д). В меньший цилиндр диаметром  $d$  заключен поршень весом  $G$ . На какой высоте  $H$  установится уровень жидкости в большем цилиндре, когда вся система придет в равновесие (трением пренебречь)? Удельный вес жидкости  $\gamma = 9,81 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 2.16.** Определить давление пара  $P$  в цилиндре поршневого парового насоса (рис. 2, е), необходимое для подачи воды на высоту  $H=60 \text{ м}$ , если диаметры цилиндров  $D$  и  $d$ .

**Задача 2.17.** Для повышения гидростатического давления применяется мультипликатор - устройство для повышения давления (рис. 2, ж), давление на входе которого  $P_1 = 20 \text{ кПа}$ , а диаметры поршней  $D$  и  $d$ . Определить давление жидкости  $P_2$  на выходе из мультипликатора.

**Задача 2.18.** Для накопления энергии используется грузовой гидравлический аккумулятор (рис. 2, з), вес плунжера которого равен  $G$ , а диаметр  $D$ . Рассчитать давление воды, создаваемое аккумулятором при зарядке.

**Задача 2.19.** Цилиндрический резервуар с водой диаметром  $D$  и весом  $G$  висит на плунжере диаметром  $d$  (рис. 2, и). Сосуд заполнен на высоту  $a=0,5 \text{ м}$ . К поршню через блоки подвешен груз, удерживающий систему в равновесии. Определить вакуум в сосуде, обеспечивающий равновесие цилиндра. Трением в системе пренебречь.

**Задача 2.20.** Плунжер диаметром  $d$  и весом  $G$  висит на цилиндрическом сосуде, заполненном воздухом (рис. 2, к). Определить вакуум в сосуде, обеспечивающий равновесие плунжера. Трением в системе пренебречь.

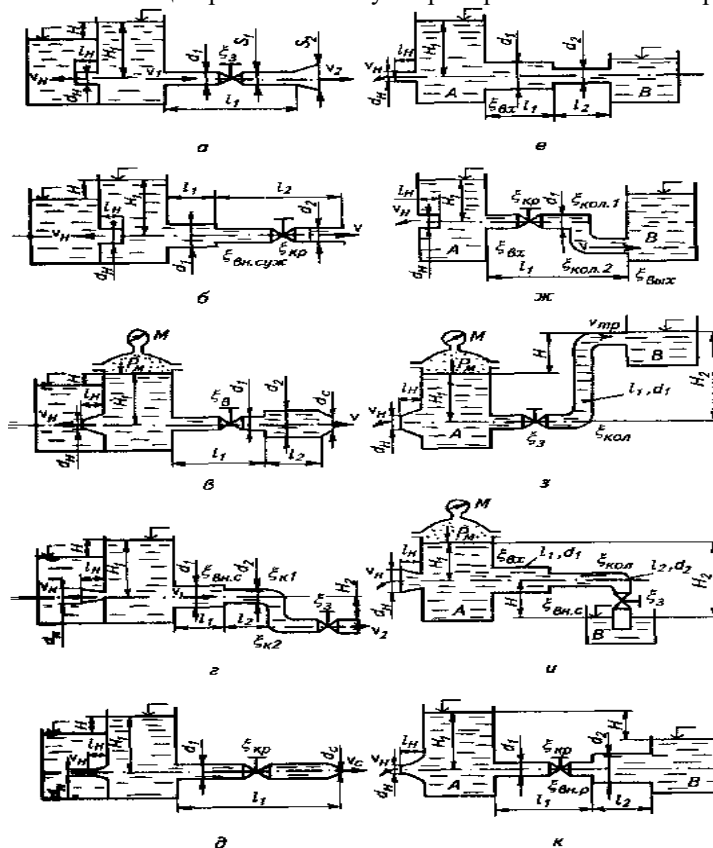


Рис. 5 К задачам 3.1...3.10. Местные сопротивления и истечение жидкости через отверстия и насадки

**Задачи.** Ниже приведены условия и некоторые примеры решения задач, посвященных истечению жидкости через отверстия и насадки. Пояснительные рисунки к задачам сгруппированы и представлены на рис. 5. Исходные данные для решения задач содержатся в таблице.

Исходные данные для решения задач 3.1...3.10

| показатель          | Номера задач |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|---------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                     | 3.1          | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 3.10 |
| Диаметр труб,<br>мм |              | 200 | 120 | 400 | 100 | 200 | 100 | 100 | 200 | 80   |
| $d_1$               |              | 100 | 250 | 100 | -   | 80  | -   | -   | 80  | 150  |

|                                      |     |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|
| $d_2$                                | 80  |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
| -                                    | -   |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
| Длина трубопроводов, м               |     |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
| $l_1$                                | 4   | 4   | 10  | 0,8 | 3  | 8   | 15  | 6   | 8   | 8  |
| $l_2$                                | -   | 10  | 5   | 2   | -  | 10  | -   | -   | 12  | 10 |
| Диаметр насадка, мм                  | 100 | 100 | 120 | 200 | 80 | 100 | 100 | 100 | 200 | 80 |
| $d_n$                                |     |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
| Напор в резервуарах, м               |     |     |     |     |    |     |     |     |     |    |
| $H$                                  | 3   | 2   | 3   | 6   | 2  | -   | -   | 2   | 4   | 4  |
| $H_1$                                | 6   | 5   | 8   | 5   | 4  | -   | 4   | 5   | 6   | 8  |
| Манометрическое давление $P_m$ , кПа | -   | -   | 500 | -   | -  | -   | -   | 150 | 200 | -  |

**Задача 3.1.** Из открытого резервуара при постоянном напоре  $H_1$  вытекает вода: с одной стороны — в атмосферу по короткому трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$  с диффузором на конце, площадь живого сечения которого за расширением  $S_2 = 2S_1$ ; с другой стороны — через затопленный внешний цилиндрический насадок (насадок Вентури) диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_1$  в другой резервуар. Разность уровней в резервуарах  $H$  (рис. 5, а). Температура воды  $t = 50^\circ\text{C}$ .

Определить: 1) скорость истечения  $V_2$  и расход воды в коротком трубопроводе  $Q_2$ , если коэффициент сопротивления задвижки  $\xi_z = 2,5$ , а диффузора  $\xi_{\text{диф}} = 0,9$  (коэффициент гидравлического трения найти по заданной шероховатости стенок трубы  $\Delta = 1 \text{ мм}$ ); 2) расход через насадок диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n$ , если коэффициент расхода насадка  $\mu = 0,82$ .

Сравнить расход воды через насадок с расходом через отверстие в тонкой стенке того же диаметра. Коэффициент расхода для отверстия  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.2.** К открытому резервуару подсоединены короткий стальной трубопровод, состоящий из двух участков длиной  $l_1$  и  $l_2$ , диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ , и внутренний цилиндрический насадок (насадок Борда) диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$  (рис. 5, б). Истечение по короткому трубопроводу происходит в атмосферу под постоянным напором  $H_1$ , принять коэффициент сопротивления крана  $\xi_{\text{кр}} = 3$ .

Определить: 1) скорость и расход воды, вытекающей из трубопровода при температуре воды  $t = 10^\circ\text{C}$ ; 2) расход через насадок при разности уровней в резервуарах  $H$ , если коэффициент расхода насадка  $\mu_n = 0,71$ .

Сравнить расход воды через насадок с расходом через отверстие в тонкой стенке того же диаметра. Коэффициент расхода для отверстия  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.3.** К закрытому резервуару, на свободной поверхности которого действует манометрическое давление  $P_m$ , подсоединены чугунный трубопровод переменного сечения диаметрами  $d_1$ ,  $d_2$  заканчивающийся соплом диаметром  $d_c = d_1$ , и конически сходящийся насадок диаметром выходного сечения  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$ . Трубопровод и насадок подсоединены на глубине  $H_1$ . На первом участке длиной  $l_1$  установлен вентиль, коэффициент сопротивления которого  $\xi_v = 4$ . Длина второго участка  $l_2$ . Коэффициент сопротивления сопла  $\xi = 0,06$ , сжатие струи на выходе из сопла отсутствует (рис. 5, в).

Определить: 1) скорость истечения  $V$  и расход  $Q$  вытекающей из сопла воды при температуре  $t = 10^\circ\text{C}$  и постоянном напоре  $H_1$ ; 2) расход воды через затопленный насадок при разности уровней в резервуарах  $H$ , если коэффициент расхода для насадка  $\mu_n = 0,94$ .

Сравнить расход воды, проходящий через насадок, с расходом через отверстие в тонкой стенке того же диаметра. Коэффициент расхода для отверстия  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.4.** Истечение происходит из открытого резервуара при постоянном напоре воды  $H_1$  по короткому трубопроводу переменного поперечного сечения диаметрами  $d_1$  и  $d_2$  в атмосферу и из конически расходящегося насадка диаметром выходного сечения  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$  под уровень (рис. 5, г). Разность Уровней  $H_2 = 1,5 \text{ м}$ .

На втором участке трубопровода имеются два колена с плавным поворотом, Коэффициент сопротивления каждого  $\xi_k = 0,15$ , и задвижка, коэффициент сопротивления которой  $\xi_z = 8,0$ . Коэффициент гидравлического трения на первом участке длиной  $l_1$  принять равным  $\lambda_1 = 0,04$ , на втором участке длиной  $l_2$  принять  $\lambda_2 = 0,025$ .

Определить: 1) скорость истечения  $V_2$  и расход  $Q_2$  через трубопровод; 2) скорость истечения и расход через затопленный конически расходящийся насадок, если коэффициент скорости и коэффициент расхода для насадка равны и составляют  $\varphi_n = \mu_n = 0,45$ .

Сравнить скорость и расход через насадок со скоростью и расходом через отверстие в тонкой стенке того же диаметра. Коэффициент скорости для отверстия  $\varphi = 0,97$ , а коэффициент расхода  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.5.** Из открытого резервуара по короткому стальному трубопроводу постоянного поперечного сечения  $d_1$  и длиной  $l_1$ , который заканчивается соплом диаметром  $d_c = 0,5 d_1$ , вытекает вода при  $t = 30^\circ\text{C}$  в атмосферу. Истечение происходит под напором  $H_1$  (рис. 5, д). Коэффициент сопротивления крана принять равным  $\xi_k = 2,5$ . С другой стороны к резервуару подсоединен коноидальный насадок диаметром выходного сопла  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$ .



Определить: 1) скорость истечения из сопла  $V_c$  и объемный расход воды по короткому трубопроводу  $Q$ ; 2) расход воды через затопленный коноидальный насадок при разности уровней в резервуарах  $H$ , если коэффициент расхода насадка  $\mu = 0,97$ .

Сравнить расход воды через насадок с расходом через отверстие в тонкой стенке того же диаметра. Коэффициент расхода для отверстия  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.6.** Вода при температуре  $t = 15^\circ\text{C}$  из резервуара  $A$  подается в резервуар  $B$  по трубопроводу, состоящему из двух участков длиной  $l_1$  и  $l_2$ , диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ . Коэффициент гидравлического трения принять равным  $\lambda = 0,03$ . С другой стороны на том же уровне к резервуару  $A$  подсоединен внешний цилиндрический насадок (насадок Вентури) диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$  (рис.5, е).

Определить: 1) напор  $H_1$ , который нужно поддерживать в баке  $A$ , чтобы наполнить бак  $B$  объемом  $W_e = 18 \text{ м}^3$  за 30 мин (коэффициент гидравлического трения принять равным  $\lambda = 0,03$ , а коэффициент потерь при входе в трубу  $\xi_{вх} = 0,5$ ); 2) скорость истечения воды через насадок в предположении, что в резервуаре  $A$  она находится под напором  $H_1$ , определенным из предыдущего условия (коэффициент скорости для насадка принять равным  $\varphi_n = 0,82$ ).

Сравнить скорость истечения из насадка со скоростью истечения через отверстие в тонкой стенке того же диаметра, если  $\varphi_{отв} = 0,62$ .

**Задача 3.7.** Вода при температуре  $t = 15^\circ\text{C}$  из резервуара  $A$  подается в резервуар  $B$  со скоростью  $v = 0,5 \text{ м/с}$  по стальному трубопроводу диаметром  $d_1$  и длиной  $l_1$ . Уровень воды в баке  $A$  поддерживается постоянным. Коэффициенты сопротивления входа в трубу  $\xi_{вх} = 0,5$ ; крана  $\xi_{кр} = 1,5$ ; колена без закругления  $\xi_{кол1} = 0,25$ ; колена с закруглением  $\xi_{кол2} = 0,14$ . На глубине  $H_1$  к резервуару подсоединен внутренний цилиндрический насадок (насадок Борда) диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$  (рис. 5, ж).

Определить: 1) время заполнения водой резервуара  $B$  объемом  $W_e = 1,15 \text{ м}^3$  и потери напора в трубопроводе; 2) скорость истечения воды из насадка, если коэффициент скорости для насадка  $\varphi_n = 0,71$ . Сравнить скорость истечения из насадка со скоростью истечения из отверстия в тонкой стенке того же диаметра, если  $\varphi_{отв} = 0,62$ .

**Задача 3.8.** Из резервуара  $A$ , заполненного водой на высоту  $H_1$  и находящегося под манометрическим давлением  $P_m$ , вода подается по стальному трубопроводу длиной  $l_1$  и диаметром  $d_1$  в резервуар  $B$  на высоту  $H$ . К резервуару  $A$  на глубине  $H_1$  подсоединен конически сходящийся насадок диаметром выходного сечения  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$  (рис. 5, з).

Коэффициенты сопротивлений задвижки  $\xi_z = 9,0$ , каждого колена с закруглением  $\xi_{кол} = 0,25$ , коэффициент гидравлического трения  $\lambda = 0,04$ . Кинематическая вязкость воды  $\nu = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Скоростным напором и изменением уровня в баке  $A$  пренебречь.

Определить: 1) режим течения, расход  $Q$  и скорость воды, протекающей по трубопроводу; 2) скорость и расход, проходящий через конически сходящийся насадок, если коэффициент скорости для насадка составляют  $\varphi_n = 0,96$ , а коэффициент расхода  $\mu_n = 0,94$ .

Сравнить скорость и расход воды через насадок со скоростью и расходом через отверстие в тонкой стенке такого же диаметра, если коэффициент скорости для отверстия  $\varphi = 0,97$ , а коэффициент расхода  $\mu = 0,62$ .

**Задача 3.9.** Из резервуара  $A$ , на свободной поверхности которого избыточное давление  $P_m$ , вода температурой  $t = 15^\circ\text{C}$  поступает в резервуар  $B$  по трубопроводу переменного сечения, состоящему из двух участков длиной  $l_1$  и  $l_2$  и диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ . Разность уровней в резервуарах  $h = H_1 - H$  (рис. 5, и).

На глубине  $H_1$  к резервуару  $A$  подсоединен конически расходящийся насадок диаметром выходного сечения  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$ .

Определить: 1) режим течения, скорость  $v$  и расход воды  $Q$ , поступающей в резервуар  $B$  по трубопроводу, если коэффициент потерь входа в трубу  $\xi_{вх} = 0,5$ , Коэффициент сопротивления колена  $\xi_{кол} = 0,4$ , полностью открытой задвижки  $\xi_z = 5$ , коэффициент гидравлического трения на первом участке  $\lambda_1 = 0,025$ , на втором  $\lambda_2 = 0,04$  (скоростным напором и изменением уровня в резервуаре  $A$  пренебречь); 2) скорость и расход воды через конически расходящийся насадок, если коэффициенты  $\varphi_n$  и  $\mu_n$  равны и составляют 0,45.

Сравнить скорость и расход воды, проходящей через насадок, со скоростью и расходом через отверстие в тонкой стенке, если  $\varphi_{отв} = 0,97$ , а  $\mu_{отв} = 0,62$ .

**Задача 3.10.** Вода при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$  подается из резервуара  $A$  в резервуар  $B$  по короткому трубопроводу, состоящему из двух участков длиной  $l_1$  и  $l_2$ , диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ . Разность уровней в резервуарах равна  $H$ . На глубине  $H_1$  к резервуару  $A$  подсоединен коноидальный насадок диаметром выходного сечения  $d_n$  и длиной  $l_n = 5 d_n$ . (рис. 5, к).

Определить: 1) расход  $Q$ , поступающий в резервуар  $B$  по трубопроводу, если Коэффициент сопротивления крана  $\xi_k = 4,2$ , коэффициент гидравлического трения  $\lambda = 0,032$ ; 2) расход воды через коноидальный насадок, если коэффициент расхода насадка  $\mu_n = 0,97$ .

Сравнить расход воды через насадок с расходом через отверстие в тонкой стенке такого же диаметра, если коэффициент скорости для отверстия  $\varphi = 0,97$ , а коэффициент расхода  $\mu = 0,62$ .

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Основная литература

1. Аэрогидромеханика : сборник задач / А.А. Кураев, В.В. Ларичкин, А.Д. Обуховский, С.Д. Саленко. - Новосибирск : НГТУ, 2010. - 116 с. - ISBN 978-5-7782-1423-1; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228757>
2. Гидравлика: Учебное пособие / Б.В. Ухин. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=375072>

### 5.2 Дополнительная литература

1. Кудинов А.А. Гидрогазодинамика: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 336 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-004730-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/485830>
2. Ухин, Б. В. Гидравлика [Текст] : учебник / Б. В.Ухин, А. А. Гусев.- М.-ИНФРА-М, 02012. – 432 с.:ил. – (Среднее профессиональное образование). – Библиогр.:с.413-416. – Прил.:с.417-425. - ISBN 978-5-16-005536-7.
3. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие для вузов / Л. С. Скворцов [и др.] ; Моск. гос. строит. ун-т. - М.: Архитектура-С, 2008. - 256 с.
4. Брюханов О. Н. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики: учебник для студентов сред. спец. учеб. заведений / О. Н. Брюханов, В. И. Коробко, А. Т. Мелик-Аракелян. - М. : ИНФРА-М, 2007. - 254 с. - (Среднее профессиональное образование). - Прил.: с. 241-248. - Библиогр.: с. 249. - ISBN 5-16-001856-5.

### 5.3 Периодические издания

- Известия РАН. Энергетика: журнал.- М.:Академиздатцентр «Наука» РАН, 2016.
- Информационно-измерительные и управляющие системы: журнал. – М.:Агентство «Роспечать», 2016.
- Теплоэнергетика: журнал. – М.:Агентство «Роспечать», 2016.
- Энергосбережение: журнал. – М.:Агентство «Роспечать», 2016.

### 5.4 Интернет-ресурсы

1. [www.trie.ru](http://www.trie.ru) – электронная энциклопедия энергетики;
2. [www.files.lib.sfu-kras.ru/](http://www.files.lib.sfu-kras.ru/)– электронный справочник по лабораторным работам;
3. [www.fizika.ayp.ru](http://www.fizika.ayp.ru)- обучающий портал для работы с механикой жидкости и газов;
4. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)- свободная энциклопедия;
5. <https://ru.coursera.org/>- «Coursera»;
6. <https://openedu.ru/course/>– «Открытое образование», Каталог курсов, MOOK: «Системы автоматизированного проектирования аддитивных технологий»;
7. <https://universarium.org/> - «Универсариум»;
8. <https://www.edx.org/> - «EdX»;
9. <https://www.lektorium.tv/> - «Лекториум»;
10. <https://ru.coursera.org/learn/python> - «Coursera», MOOK: Programming for Everybody (Getting Started with Python)»;
11. <https://universarium.org/catalog> - «Универсариум», Курсы, MOOK: «Общие вопросы философии науки»;
12. <https://www.lektorium.tv/mooc> - «Лекториум», MOOK: «Дискретная математика»

## **5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы современных информационных технологий**

Open Office

Автоматизированная интерактивная система сетевого тестирования АИССТ

autoCAD

Консультант Плюс [Электронный ресурс]: справочно-правовая система/Компания Консультант Плюс. – Электрон.дан.- Москва, [Электронный ресурс].- Режим доступа: в локальной сети ОГУ \\fileserver1\\consult\\cons.exe\\

Гарант [Электронный ресурс]: справочно-правовая система/НПП Гарант-Сервис.- Электрон.дан. – Москва, [1990-2018].- Режим доступа: в локальной сети ОГУ \\fileserver1\\GarantClient\\garant.exe

## **6 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для написания отчетов по практике и прохождения практики на кафедре имеются:

- программа учебной практики (электронный вариант и бумажный носитель);
- отдел библиотеки (7 корпус) с необходимой научно-технической литературой;
- схемы, плакаты;
- макеты электрооборудования подстанции;
- компьютерные классы кафедры электро- и теплоэнергетики;
- учебные лаборатории.

***К рабочей программе прилагаются:***

- Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине;
- Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.