

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)

Кафедра строительства, теплоэнергетики и транспорта

**Методические указания  
к самостоятельной работе студентов**

по дисциплине: Основы гидравлики  
для направления подготовки  
21.03.01 Нефтегазовое дело  
Форма обучения: очная

Мурманск  
2019

Составитель – И.И. Гаврилова, ст. преподаватель

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика строительства, теплоэнергетики и транспорта

## 1 Тематический план

Таблица 1

№ п\п	Наименование тем и содержание самостоятельной работы
1	Основные физические свойства жидкостей и газов.
2	Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики.
3	Давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности.
4	Закон Архимеда. Плавание тел.
5	Равновесие в движущихся жидкостях.
6	Режимы движения жидкости.
7	Уравнение Бернулли.
8	Гидравлические сопротивления.

## 2 Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Артемьева, Т.В. Гидравлика, гидромашины и гидропривод / Т.В. Артемьева. - Академия, 2013 (24 экз.)
2. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. - М.: Колос, 2014 (19 экз.)
3. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика. [Электронный ресурс]: Учебники — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2015. — 656 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/64346>.

### Дополнительная литература

1. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. /Т.М. Башта. – Издательский дом Альянс, 2010 (50 экз.)
2. Осипов, П.Е. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. / П.Е. Осипов. – М.:Машиностроение, 1982 (10 экз.)

### 3 Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины

#### 3.1 Основные физические свойства жидкостей и газов

Плотность, удельный объем, удельный вес, сжимаемость, температурное расширение, сопротивление растяжению, поверхностное натяжение (капиллярность), вязкость, испаряемость, растворимость газов в жидкостях. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные.

1. Определить какой объем воды  $V_0$  нужно накачать на гидравлическом испытании на давлении 28 МПа, если его длина  $L = 10$  м, внутренний диаметр  $d = 50$  мм.
2. Плотность морской воды  $\rho = 1028$  кг/м<sup>3</sup>. Определить ее объемный вес.
3. Вода тяжелее керосина в 1,3 раза. Определить объемный вес керосина при температуре 4 °С.
4. Стальной барабан подвергается гидравлическому испытанию созданием избыточного давления 1,96 МПа. Определить какое количество воды  $\Delta V$  дополнительно к первоначальному объему при атмосферном давлении необходимо подать насосом в барабан, если его геометрическая емкость равна 10 м<sup>3</sup>. Коэффициент сжимаемости воды принять равным  $4,35 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/Н.
5. Определить динамический коэффициент вязкости  $\mu$ , если кинематический коэффициент нефти при 15 °С равен 0,40 см<sup>2</sup>/с.
6. Полагая, что температура морской воды не меняется с глубиной, вычислить ее объемный вес на некоторой глубине, где гидростатическое избыточное давление равно 100 ат. Объемный вес на поверхности воды  $\gamma_0 = 10085$  Н/м<sup>3</sup>, коэффициент объемного сжатия  $\beta_p = 4,76 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/Н.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Виды жидкостей.
2. Какими свойствами обладает жидкость?
3. Как определяется плотность, удельный вес и объем? Единицы измерения данных величин.
4. Чем характеризуется сжимаемость и расширяемость жидкостей?
5. Почему в формуле для определения коэффициента сжимаемости знак «-»?
6. Как влияют на коэффициенты сжимаемости и расширяемости жидкостей давление и температура?
7. Что такое вязкость? Виды вязкости. Единицы измерения вязкости. Обладает ли идеальная жидкость вязкостью?
8. Как температура (давление) влияет на изменение вязкости?
9. Какими свойствами обладает идеальная жидкость?
10. Изобразите эпюру скоростей для потока жидкости.
11. Как зависит давление насыщенных паров от температуры жидкости?
12. Чем характеризуется растворимость газов в жидкости?
13. Какие силы действуют в жидкости? Единицы измерения данных величин.

### 3.2 Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики

Гидростатическое давление и его свойства. Виды давлений: барометрическое (атмосферное), манометрическое (избыточное), вакуумметрическое и абсолютное; взаимосвязь между давлениями. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля, применение закона Паскаля в гидравлическом прессе. Приборы для измерения давления. Напор. Гидростатический парадокс.

#### Задачи:

1. Определить давление на поверхности воды, если полное (абсолютное) давление на глубине 50 м составляет 618 кПа. Удельный вес воды принять  $10006 \text{ Н/м}^3$ .
2. В закрытом резервуаре находится вода ( $\gamma_2 = 9810 \text{ Н/м}^3$ ,  $h_2 = 50 \text{ см}$ ) и масло ( $\gamma_1 = 7848 \text{ Н/м}^3$ ,  $h_2 = 30 \text{ см}$ ). Найти избыточное давление  $p_{\text{изб}}$  на поверхности масла, если в пьезометрической трубке уровень ртути ниже уровня масла на  $h = 40 \text{ см}$ .
3. В открытом резервуаре находится жидкость с относительной плотностью 1,23. Манометр, присоединяемый в некоторой точке резервуара, показывает давление  $p_{\text{изб}} = 0,31 \text{ ат}$ . На какой высоте над данной точкой находится уровень жидкости в резервуаре?
4. Определить вакуум (в м.вод.ст.) в цилиндре А, заполненном воздухом, если в трубке жидкостного вакуумметра вода поднялась на  $h = 2 \text{ м}$ .

#### Вопросы для самопроверки:

1. Гидростатическое давление, его свойства.
2. Основное уравнение гидростатики.
3. Закон Паскаля. Практическое применение закона Паскаля. Гидравлический пресс.
4. Что такое поверхность равного давления? Что такое свободная поверхность жидкости? Является ли свободная поверхность жидкости поверхностью равного давления?
5. Дайте определение вакуума. В каком диапазоне изменяется значение вакуума? Почему вакуум не может быть больше 1 ат? Может ли абсолютное давление жидкости быть меньше нуля?
6. В чем заключается «гидростатический парадокс»?

### 3.3 Давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности

Силы давления жидкости на поверхности. Сила давления жидкости на плоскую стенку. Сила давления жидкости на дно сосуда. Сила давления жидкости на плоскую прямоугольную стенку. Сила давления жидкости на криволинейную поверхность. Эпюры гидростатического давления.

#### Задачи:

1. Вертикальная прямоугольная стенка шириной  $b = 1 \text{ м}$  испытывает давление воды с двух сторон. Определить равнодействующую силу  $P$  давления воды на стенку, если  $h_1 = 1 \text{ м}$ ,  $h_2 = 0,7 \text{ м}$ .
2. Отверстие в боковой вертикальной стенке закрытого резервуара, представляющее собой равносторонний треугольник со стороной  $b = 0,5 \text{ м}$  закрыто крышкой. Определить силу давления воды на крышку, если горизонтальное основание треугольного отверстия расположено на глубине  $H = 1,5 \text{ м}$ , а манометрическое давление на свободной поверхности  $p_m = 0,05 \text{ МПа}$ .
3. Найти равнодействующую силу  $P$  давления воды на наклонную стенку ( $\varphi = 45^\circ$ ), если  $H_1 = 2,5 \text{ м}$ ,  $H_2 = 4,5 \text{ м}$ ; ширина стенки  $b = 1 \text{ м}$ .

4. Найти силу гидростатического давления воды на 1 м ширины нижней криволинейной части стенки, если  $H = 1,5$  м. Определить направление этой силы, если  $\gamma = 0,5$  м.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Эпюры гидростатического давления на вертикальную стенку, наклонную стенку, стенку, разделяющую две разнородные (однородные) жидкости.
2. Как определяется горизонтальная составляющая силы гидростатического давления на криволинейную поверхность?
3. Как определяется вертикальная составляющая силы гидростатического давления на криволинейную поверхность?
4. Как определяется равнодействующая составляющая силы гидростатического давления на криволинейную поверхность?
5. Формула для определения силы давления в общем виде. В чем различие между давлением и силой давления?

### 3.4 Закон Архимеда. Плавание тел

Плавание тел. Закон Архимеда. Равновесие и остойчивость тел, полностью погруженных в жидкость. Условия равновесия и остойчивости. Равновесие и остойчивость тел, частично погруженных в жидкость. Условия равновесия и остойчивости.

#### Задачи:

1. Ареометр состоит из полый стеклянной трубки и шарика  $R = 1,5$  см, вес ареометра  $G = 100$  г. Определить, на какую глубину  $h$  погрузится ареометр в спирте.
2. Прямоугольный понтон весом  $G = 800$  кг имеет длину  $l = 4$  м, ширину  $b = 2$  м и высоту  $h = 0,7$  м. Определить осадку  $T$  без нагрузки и предельную грузоподъемность  $P$  понтона при высоте бортов над ватерлинией  $0,2$  м.
3. Определить остойчивость плавающего тела в воде деревянного параллелепипеда, если плотность дерева  $\rho_d = 0,8$  г/см<sup>3</sup> и плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Закон Архимеда.
2. Что такое центр давления? Совпадает ли он с центром тяжести? Если совпадает, то в каком случае? Как определить координату центра давления?
3. Условия равновесия для тела, полностью погруженного в жидкость; для тела, частично погруженного в жидкость.
4. Что такое остойчивость?
5. Определение метацентра. Как его расположение влияет на остойчивость?
6. Что такое объемное водоизмещение?

### 3.5 Равновесие в движущихся жидкостях

Поверхности равного давления. Формы свободной поверхности жидкости. Относительный и абсолютный покой жидкости.

#### Задачи:

1. Цилиндрический сосуд радиусом  $R = 0,2$  м вращается вокруг вертикальной оси с  $n = 300$  об/мин, причем поверхность воды касается его края. Определить:
  - а) чему равен уровень воды в остановленном сосуде;
  - б) наибольшее давление на днище;
  - в) силу давления на днище, если высота всего сосуда  $H = 2,6$  м.

2. Определить число оборотов вала, если в укрепленном на одной вертикальной оси к торцу вала жидкостном тахометре диаметром  $D = 20$  мм высота параболоида вращения  $H = 80$  мм.
3. Определить диаметр сосуда, наполненного водой и вращающегося с постоянной угловой скоростью  $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$ , чтобы разность уровней у стенки и в наинизшей точке свободной поверхности жидкости не превышала  $0,46$  м.
4. Сосуд, заполненный водой, вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega = 15 \text{ с}^{-1}$ . Разность уровней у стенки и в наинизшей точке свободной поверхности жидкости  $0,1$  м. Вычислить линейную скорость частицы, расположенной на боковой стенке сосуда.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Определение поверхности равного давления.
2. Дифференциальное уравнение поверхности равного давления в общем виде.
3. Что такое свободная поверхность жидкости?
4. Что такое абсолютный и относительный покой жидкости?
5. Как будет выглядеть уравнение поверхности равного давления при действии на жидкость только силы тяжести?
6. Как будет выглядеть уравнение поверхности равного давления, если сосуд с жидкостью движется прямолинейно равноускоренно? Как можно определить угол наклона поверхности жидкости к горизонту?
7. Как будет выглядеть уравнение поверхности равного давления, если сосуд с жидкостью вращается с постоянной скоростью?

### 3.6 Режимы движения жидкости

Режимы течения жидкости. Число Рейнольдса, его физический смысл, критические числа Рейнольдса. Пульсация скорости. Коэффициент Кориолиса для ламинарного и турбулентного режимов.

#### Задачи:

1. Выяснить режим движения воды в трубе диаметром  $d = 10$  см при расходе  $Q = 4$  л/с и температуре воды  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ).
2. По трубопроводу диаметром  $d = 100$  мм движется нефть при температуре  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\nu = 0,30 \text{ см}^2/\text{с}$ ). Определить режим движения нефти при скорости  $v = 0,5$  м/с.
3. По конически сходящейся трубе движется вода при температуре  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  и с постоянным расходом  $Q$ . Определить:
  - а) может ли произойти смена режима движения воды в трубопроводе, если в начальном сечении режим ламинарный;
  - б) в сечении с каким диаметром будет наблюдаться смена режимов движения, если расход  $Q = 207 \text{ см}^3/\text{с}$ .
4. Нефть с кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu = 0,30 \text{ см}^2/\text{с}$  движется по трубопроводу. С каким расходом нефть будет двигаться по трубе диаметром  $d = 150$  мм при числе Рейнольдса  $Re = 5000$ ?
5. Температура бензина, протекающего по трубе диаметром  $d = 25$  мм увеличилась от  $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\nu = 0,008 \text{ см}^2/\text{с}$ ) до  $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\nu = 1,6 \text{ см}^2/\text{с}$ ). Во сколько раз изменится расход бензина, при котором произойдет переход от ламинарного режима к турбулентному?

#### Вопросы для самопроверки:

1. Режимы движения жидкости.
2. При каком числе Рейнольдса происходит переход от одного режима движения к другому?
3. Какие существуют виды критического числа Рейнольдса, и какое из них является истинным? Почему?

4. Изобразите эпюру скоростей для трубы круглого сечения при ламинарном и турбулентном режиме. В чем их отличие? Чем его можно объяснить?
5. Строение турбулентного потока.

### 3.7 Уравнение Бернулли

Уравнение Бернулли (для элементарной струйки идеальной жидкости, элементарной струйки реальной жидкости, потока). Графическое изображение уравнений Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Пьезометрический и гидравлический уклоны. Практическое использование уравнения Бернулли.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Уравнение Бернулли для струйки идеальной и реальной жидкости. Чем они отличаются?
2. В чем энергетический и геометрический смысл уравнения Бернулли?
3. Графическое изображение уравнений Бернулли для струйки идеальной и реальной жидкостей. В каком случае напорная линия будет горизонтальной прямой, а в каком наклонной?
4. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Что характеризует коэффициент Кориолиса? Одинаково ли его значение для ламинарного и турбулентного режимов? Почему?
5. Графическое изображение уравнения Бернулли для потока реальной жидкости.
6. От чего зависит значение коэффициента Кориолиса в уравнении Бернулли.
7. Что называют гидравлическим, пьезометрическим и геометрическим уклоном, и как они могут изменяться?
8. Практическое применение уравнения Бернулли.

### 3.8 Гидравлические сопротивления

Потери энергии при движении жидкости. Формулы Дарси-Вейсбаха и Шези. Коэффициент гидравлического трения. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. График Никурадзе. Формулы для нахождения коэффициента гидравлического трения. Местные сопротивления. Общие потери напора. Принцип наложения потерь давления.

#### Задачи:

1. Определить диаметр трубы в системе смазки двигателя, если максимально допустимая величина потерь напора  $h = 1$  м масляного столба, длина трубопровода  $l = 4$  м и расход масла  $Q = 0,3$  л/с. Принять кинематическую вязкость масла  $\nu = 1,6$  см<sup>2</sup>/с.
2. На сколько изменится коэффициент гидравлического трения круглого трубопровода, если в процессе эксплуатации шероховатость увеличится от 0,01 до 0,2 мм? Диаметр трубопровода  $d = 100$  мм, средняя скорость потока 3 м/с, кинематическая вязкость  $1,14 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с.
3. В системе водоснабжения потребителям подается горячая вода в количестве  $Q = 220$  м<sup>3</sup>/ч при температуре 70 °С. Длина трубопровода  $l = 1000$  м, диаметр  $d = 0,207$  м, давление воды в начале линии  $p_1 = 4,9 \cdot 10^5$  Па. Отметка оси трубопровода в конечной точке на 2 м выше начальной. Определить давление в конце трубопровода, а также полный напор в начале и в конце трубопровода, если эквивалентная шероховатость труб  $k_s = 0,5$  мм, а потери напора в местных сопротивлениях равны 10% линейных потерь. Вязкость воды при 70 °С равна  $0,41 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.
4. На наклонной водопроводной трубе имеется внезапное расширение от  $d_1 = 5$  см до  $d_2 = 10$  см. Определить расход воды, если уровни в пьезометрических трубках  $z_1^* = 0,4$  м и  $z_2^* = 0,7$  м. Учесть только местную потерю напора.



### Вопросы для самопроверки:

1. Виды потерь энергии.
2. Из каких «областей» состоит график Никурадзе по определению коэффициента гидравлического трения при движении жидкости.
3. В каких зонах график Никурадзе коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса, от числа Рейнольдса и относительной шероховатости, от значений относительной шероховатости? По каким формулам он вычисляется?
4. Будут ли отличаться формулы для нахождения коэффициента гидравлического трения при ламинарном и турбулентном режимах?
5. Виды шероховатостей.
6. Какие трубы называются «гидравлически гладкими»?
7. Какие трубы называются «гидравлически шероховатыми»?
8. Может ли быть одна труба гидравлически гладкой и шероховатой?
9. Что представляет собой коэффициент эквивалентной шероховатости? В каких единицах он измеряется?
10. Всегда ли при нахождении общих потерь энергии можно суммировать значения местных потерь и потерь по длине? Если нет, то в каком случае, и каким образом можно определить общие потери?
11. Что называется характеристикой трубопровода?