



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра горных машин  
и транспортно-технологических комплексов

**И.М. Кутлубаев**  
**Е.Ю. Мацко**  
**И.Г. Усов**

## **ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД**

Методические указания к контрольным работам  
по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика»,  
«Гидравлика и гидропневмопривод»  
для студентов специальности 190109  
и направления подготовки 190100 всех форм обучения

Магнитогорск  
2012

**Рецензенты:**

*Кандидат технических наук, доцент  
кафедры машин и технологий обработки давлением,  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И.Носова»*

**Д.В. Терентьев**  
*Технический директор,  
«Андроидная техника»*

**В.Б. Сычков**

**Кутлубаев И.М., Мацко Е.Ю., Усов И.Г.**

Гидравлика и гидропневмопривод [Электронный ресурс]: Методические указания к контрольным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика», «Гидравлика и гидропневмопривод» для студентов специальности 190109 и направления подготовки 190100 всех форм обучения / Ильдар Мухаметович Кутлубаев, Елена Юрьевна Мацко, Игорь Геннадьевич Усов; ФГБОУ ВПО «МГТУ». – Электрон. текстовые дан. (0,73 Мб). – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: IBM PC, любой, более 1 GHz; 512 Мб RAM; 10 Мб HDD; MS Windows XP и выше; Adobe Reader 8.0 и выше; CD/DVD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с контейнера.

Методические указания к контрольным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика», «Гидравлика и гидропривод» предназначены для студентов специальности 190109.65 – «Наземные транспортно-технологические средства» и направления подготовки 190100.62 – «Наземные транспортно-технологические комплексы» всех форм обучения.

Методические указания содержат программу изучения, вопросы для самопроверки, задачи для контрольной работы, призваны помочь студентам в изучении дисциплин в овладении законами гидравлики и способами решения задач.

УДК 621.86

© Кутлубаев И.М., Мацко Е.Ю.,  
Усов И.Г., 2012  
© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012

## Содержание

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ .....	4
1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	6
1.1. Свойства и параметры состояния жидкости .....	6
1.2 Гидростатика .....	7
1.3. Основы кинематики жидкости .....	9
1.4. Основы гидродинамики .....	11
1.5. Гидравлические сопротивления. Режимы движения жидкости.....	13
1.6. Течения в трубах и каналах .....	16
1.7. Нестационарные течения .....	18
2 ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	20
3 ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	32
Список литературы.....	33

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Методические указания призваны помочь студентам в изучении дисциплин «Механика жидкости и газа», «Гидравлика» в овладении законами гидравлики и способами решения задач.

Гидравлика - это прикладная наука, изучающая законы равновесия, движения жидкостей и взаимодействия их с твёрдыми телами, а также разрабатывающая способы практического приложения этих законов. Для обеспечения эффективной эксплуатации и совершенствования сложных гидравлических систем и гидро-пневмоприводов подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин инженеры-механики должны обладать достаточно широкими знаниями в области гидро-пневмопривода, основные расчётные зависимости которого тесно связаны с основными положениями гидравлики.

Предмет дисциплины «Гидравлика» в своих исходных положениях опирается на физику, законы высшей математики, теоретической механики, сопротивления материалов, теорию механизмов и машин и детали машин. Однако большая сложность и недостаточная изученность многих явлений вынуждает использовать и эмпирические приёмы; некоторые из которых демонстрируются в лабораторных работах по гидравлике. Взаимодействие теории и эксперимента - характерная особенность данной дисциплины.

В пределах учебного года студенты приглашаются на сессию, на которой слушают лекции по дисциплине в сокращённом объёме, знакомятся с некоторыми лабораторными работами и сдают итоговый контроль (экзамен или зачет). Основным видом изучения рассматриваемого курса является самостоятельная работа студента-заочника. Студент должен систематически работать над книгой, выполняя контрольные задания и гидравлические расчёты. Работу над расчётами необходимо сопровождать изучением рекомендованной литературы, обращая особое внимание на то, что необходимо в процессе расчёта или решения задач.

Рекомендуется следующий порядок изучения дисциплины. Сначала бегло просмотреть программу, методические указания и пособия, чтобы составить представление о дисциплине в целом. При работе над каждым разделом следует, прежде всего, ознакомиться с его содержанием по программе. Опираясь на методические указания, приступить к изучению материала по учебникам; при этом рекомендуется вести конспект с основным содержанием темы, с выводами формул и необходимыми графиками. Фиксировать неясные места. По тем вопросам, которые не удаётся разобрать самостоятельно, следует обратиться к ведущему преподавателю за консультацией. Для проверки усвоения

материала нужно ответить на контрольные вопросы, приведенные в настоящем пособии и в учебниках. Рекомендуемое ниже является минимумом того, что должен знать по данному дисциплине студент. Для более глубокого изучения необходимо самому решать задачи, соответствующие прорабатываемому разделу. Чем больше будет сделано расчётов и решено задач, тем лучше усвоится теоретический курс и тем успешнее будут выполнены предлагаемые контрольные задания.

Завершением самостоятельной работы по курсу является выполнение контрольной работы по дисциплине «Гидравлика» (8 задач), которая представляется в ВУЗ не позднее, чем за 3 дня до зачета, экзамена. Номер варианта задач должен соответствовать последней цифре номера зачётной книжки студента. К итоговому контролю допускаются студенты, имеющие зачтённые контрольные работы.

# 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Свойства и параметры состояния жидкости

### Программа

Жидкость - сплошная среда. Плотность сплошной среды, ее зависимость от давления и температуры для разного состояния тел. Силы, действующие на жидкость. Понятие о давлении в жидкости. Основные физические свойства жидкостей: текучесть, сжимаемость, вязкость, кавитация, поверхностное натяжение. Закон вязкого трения (Ньютон). Скорость звука в сплошной среде.

Силы, действующие в жидкости. Тензор напряжений в точке. Понятие о гидростатическом давлении. Математические модели сплошной среды.

### Методические указания

Одним из основных параметров состояния капельных жидкостей (в дальнейшем - жидкость) и газообразных (в дальнейшем - газ) является их **плотность**  $\rho$ ; это справочная величина, независящая от ускорения силы тяжести  $g$ , но зависящая от давления и температуры. В отличие от  $\rho$ , удельный вес  $\gamma = \rho \cdot g$  зависит от  $g$ . Удельный объём  $\nu = V / m$  - величина, обратная плотности.

Покоящаяся жидкость подвержена действию двух категорий **сил**: массовых и поверхностных. Следует знать, какие силы относятся к массовым, а какие - к поверхностным. В покоящейся жидкости может существовать только напряжение сжатия, которое является соответствующим **давлением**.

Общим для жидкостей и газов является свойство **текучести**; отличие их в том, что жидкость мало сжимаема, а газ - сжимаемое тело с переменной (согласно уравнению состояния) плотностью. Сжимаемость (**упругость**) жидкости в ряде задач следует учитывать, например, при расчёте гидроудара.

**Вязкость** характеризуется динамическим  $\mu$  и кинематическим  $\nu$  коэффициентами вязкости. Закон вязкости (Ньютона) для всех жидкостей один, но вязкость жидкостей с ростом температуры снижается, а газов - растёт. Следует обратить пристальное внимание на условия проявления такого свойства жидкости, как «кавитация», которое может появляться в различных потоках, в том числе, в объёмном гидроприводе подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин.

Учёт сил вязкого трения осложняет изучение законов движения жидкости. В целях упрощения постановки задач и их математического

решения создана модель **идеальной** жидкости, которая характеризуется отсутствием вязкости и неизменяемостью объёма при изменении давления и температуры. Переход от идеальной жидкости к **реальной** осуществляется введением в конечные расчётные формулы поправок (полученных, в основном, опытным путём), учитывающих влияние сил вязкости.

Следует разобраться в размерностях величин, уметь получать одни единицы из других и переводить их в единицы СИ.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чём отличие жидкостей от твёрдых тел и газов?
2. Какова взаимосвязь между плотностью и удельным весом жидкости? Укажите их единицы.
3. Что называется коэффициентом объёмного сжатия жидкости? Какова его связь с модулем упругости?
4. Какова связь скорости звука в жидкости с модулем упругости и плотностью жидкости?
5. Что называется вязкостью жидкости? В чём состоит закон вязкого трения Ньютона?
6. В чем принципиальная разница между силами внутреннего трения в жидкости и силами трения при относительном перемещении твёрдых тел?
7. Какова связь между динамическим и кинематическим коэффициентами вязкости? Укажите их единицы.
8. Какие виды сил в жидкости рассматриваются в гидравлике?
9. Укажите свойства идеальной жидкости. С какой целью в гидравлике введено понятие об идеальной жидкости? В каких случаях при практических расчётах можно считать жидкость идеальной?
10. Опишите схему вискозиметра Энглера. Какую вязкость он измеряет? Укажите связь условной вязкости с кинематической и последней - с динамической.
11. Напишите уравнение состояния газа и дайте определение входящих в него величин.

## **1.2 Гидростатика**

### **Программа**

Гидростатическое давление и его свойства.

Уравнения Эйлера и полный дифференциал давления для равновесия сплошной среды. Относительный покой жидких сред в сосудах. Основное уравнение гидростатики. Абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давления. Пьезометрическая высота. Закон Паскаля. Силы давления жидкости на плоские и криволинейные стенки.

Центр и тело давления. Закон сообщающихся сосудов. Приборы для измерения давления. Закон Архимеда. Плавание тел.

### Методические указания

Дифференциальные уравнения Эйлера устанавливают связи между массовыми и поверхностными силами, действующими в жидкости; следует усвоить физический смысл всех входящих в них величин. С помощью этих уравнений решаются задачи: а) как в случае абсолютного покоя жидкости, когда на жидкость из массовых сил действует только сила тяжести, б) так и в случае относительного покоя, когда к силе тяжести присоединяются те или иные силы инерции; в первом случае интегрирование уравнений Эйлера даёт **основное уравнение гидростатики**

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot H \quad (1)$$

где  $p$  - гидростатическое давление в заданной точке жидкости, Па;  $p_0$  - внешнее давление на жидкость, Па;  $\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  - высота столба жидкости над заданной точкой, м;  $\rho \cdot g \cdot H$  - весовое давление этого столба жидкости, Па. Уравнение (1) широко используется при расчёте параметров объёмного гидропривода.

В зависимости от способа отсчёта (от абсолютного нуля или от атмосферного давления, как условного нуля) различают **абсолютное, избыточное** положительное (*манометрическое*) или **избыточное** отрицательное (*вакуумметрическое*) давление. Следует знать взаимосвязь этих величин.

Важно усвоить понятия "пьезометрическая высота " $h$ " гидростатический напор". Гидростатический напор равен сумме геометрической  $Z$  и пьезометрической  $p / \rho \cdot g$  высот. Горизонтальная плоскость раздела жидкости и газа при атмосферном давлении является **пьезометрической плоскостью**. Пьезометр - жидкостный прибор для измерения пьезометрических высот; это - стеклянная трубка, одним концом открытая в атмосферу, а другим соединённая с источником давления.

Воздействие жидкости на плоские и криволинейные поверхности наглядно иллюстрируется **эпюрами давления**; сила давления проходит через центр тяжести этой эпюры.

Необходимо рассмотреть давление жидкости на криволинейные стенки труб и резервуаров и ознакомиться с формулами для расчёта толщины их стенок.

Следует обратить внимание, что на любой горизонтальной плоскости, проведенной в однородной жидкости в сообщающихся сосудах, давление одно и то же. Это правило следует использовать, в частности, при решении задач с жидкостными приборами.

Здесь полезно вспомнить также закон Архимеда и условия плавания тел; закон потребуется при изучении характера взаимодействия движущейся жидкости с твёрдыми телами.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы свойства гидростатического давления?
2. Объясните физический смысл величин, входящих в дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера.
3. Каковы форма и уравнение поверхности равного давления: при абсолютном покое жидкости; при движении сосуда с жидкостью по горизонтальной плоскости с ускорением; при вращении сосуда с жидкостью вокруг вертикальной оси?
4. Как формулируется закон Паскаля? Приведите примеры гидравлических установок в системе гидропривода, действие которых основано на законе Паскаля.
5. Каковы соотношения между абсолютным давлением, избыточным и вакуумметрическим? Что больше: абсолютное давление, равное 0,12 МПа, или избыточное, равное 0,06 МПа при атмосферном давлении равном 0,1 МПа?
6. Чему равна в метрах водяного столба пьезометрическая высота для атмосферного давления?
7. Почему центр давления всегда находится ниже центра тяжести смоченной поверхности плоской стенки?
8. Объясните, что такое пьезометрическая и барометрическая высота. Как устроен механический манометр?
9. Что такое эпюра давления и центр давления?

## **1.3. Основы кинематики жидкости**

### **Программа**

Поле скоростей. Стационарные и нестационарные течения.

Виды движения жидкости. Гидравлические элементы потока. Уравнения неразрывности для элементарной струйки и потоков жидкости. Средняя скорость и расход потока.

Вихревое течение: ротор, вихревая линия, трубка, нить. Циркуляция скорости, напряженность вихревой нити, теорема Гельмгольца.

Общее представление о режимах движения.

### Методические указания

Виды движения жидкости: равномерное и неравномерное, установившееся (стационарное) и неустановившееся, потенциальное и вихревое. Следует различать, что равномерное (или неравномерное) движение характеризуется постоянством (или изменением) скорости жидкости на заданной длине потока при постоянном начальном давлении, установившееся (или неустановившееся) движение характеризуется постоянством (или изменением) скорости жидкости в заданном сечении потока в течение заданного промежутка времени.

К гидравлическим элементам потока относятся: линия тока, трубка тока, элементарная струйка. Струйчатая модель потока. Следует уяснить свойства элементарной струйки. Потоки различают: напорный, безнапорный и струйный. Дополнительно к элементам потока относятся: живое сечение потока, смоченный периметр и гидравлический радиус, который является характерным размером живого сечения, в том числе, сечения некруглой формы. Понятие об элементарной струйке позволяет построить теоретическую модель потока и далее - перейти к составлению уравнения Бернулли.

Изучите понятие «расход». Следует различать объёмный расход, массовый и весовой; знать их размерности. При перемещении газов, имеющих переменную плотность, используют понятие «массовый расход»  $Q_m$ . Расход постоянен в каждом сечении потока при установившемся движении. Уравнение неразрывности утверждает тот факт, что расход во всех сечениях неразветвляющегося потока один и тот же. Формулы объёмного расхода:

$$Q_v = V / T, \text{ и } Q_v = v \cdot S;$$

где  $V$  - объём жидкости, прошедшей через данное живое сечение потока;  $T$  - время наблюдения;  $v$  - средняя скорость потока;  $S$  - площадь живого сечения. Знать способы измерения расхода.

Средняя скорость определяется, как частное от деления объёмного расхода на площадь живого сечения потока. Следует различать местную действительную скорость частицы жидкости (или элементарной струйки) и среднюю условную скорость потока.

Резкие изменения конфигурации твёрдых границ потока приводят к возникновению вихрей, застойных зон и нередко - к кавитации. Рассмотрите понятия: вихревая нить, вихревой шнур, напряженность вихря. По теореме Гельмгольца напряженность вихревой нити постоянна по всей её длине. Согласно теореме Стокса циркуляция скорости равна напряженности вихревой трубки.

Теоретически обосновано и наглядно показано (*Рейнольдс*) существование двух принципиально различных режимов движения жидкости: ламинарного и турбулентного. Следует ознакомиться с опытной установкой для иллюстрации режимов движения, с математическим выражением числа Рейнольдса ( $Re$ ) для потоков круглого сечения и некруглого, с величиной критического числа  $Re$  с условиями преждевременного перехода от ламинарного режима к турбулентному.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Может ли равномерное, движение быть неустановившимся, а неравномерное - установившимся?
2. Дайте определения и приведите примеры видов движения жидкости установившегося и неустановившегося, напорного и безнапорного, равномерного и неравномерного, плавно меняющегося.
3. Что такое линия тока, трубка тока и элементарная струйка?
4. При каких условиях сохраняется постоянство расхода вдоль потока?
5. В чем отличие турбулентного течения жидкости от ламинарного?
6. Поясните физический смысл и практическое значение критерия Рейнольдса.
7. Влияет ли температура жидкости на величину критической скорости, при которой происходит смена режимов движения?
8. Назовите свойства элементарной струйки.
9. Объясните, что такое линия тока, как выглядит струйчатая модель потока, что такое «живое сечение», «смоченный периметр» и «гидравлический радиус»?

## **1.4. Основы гидродинамики**

### **Программа**

Уравнение Бернулли для элементарной струйки и для потока жидкости и газа. Напор (удельная энергия) жидкости. Коэффициент Кориолиса. Напорная и пьезометрическая линии для идеальной и реальной жидкости. Измерение напоров, давлений, расходов и скоростей движения жидкости. Истечение жидкости. Насадки.

### **Методические указания**

Ознакомьтесь с выводом уравнения Бернулли и уясните для себя значение трёх его составляющих: удельной энергии положения, удельной энергии давления и удельной кинетической энергии, в сумме представляющих собой полную удельную энергию элементарной

струи (или потока) в данном живом сечении потока. Разберитесь в энергетическом смысле каждой составляющей: отношение энергии к силе тяжести  $\text{Нм/Н}$  (или  $\text{Дж/Н}$ ) - есть **напор**, отношение энергии к объёму  $\text{Нм/м}^3$  (или  $\text{Дж/м}^3$ ) - есть **давление**. Кроме энергетической интерпретации уравнения Бернулли следует знать и его геометрическую интерпретацию; это достигается через усвоение правил построения **пьезометрической** и **напорной** линий для рассматриваемого участка потока.

Коэффициент Кориолиса показывает степень неравномерности распределения кинетической энергии по сечению потока; так для элементарной струйки и в сжатом сечении струи этот коэффициент равен единице, при турбулентном равномерном движении - чуть больше единицы, а при ламинарном - равен двум; разберитесь, с чем это связано.

Рассмотрите приборы и практические приёмы для измерения напоров, давлений, расходов и скоростей движения жидкости.

Ознакомьтесь с выводом формулы Торричелли для скорости истечения жидкости и разберитесь в вариантах задания величины напора при истечении в атмосферу, под уровень, при наличии над свободной поверхностью в сосуде давления, отличающегося от атмосферного; поймите разницу в коэффициентах истечения, сжатия и расхода для различных струеформирующих устройств (отверстий, насадков, патрубков).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите энергетический смысл каждого слагаемого уравнения Бернулли.
2. Может ли быть коэффициент Кориолиса больше двух? Приведите примеры.
3. Что влияет на численное значение коэффициента Кориолиса?
4. Дайте геометрическое истолкование каждой составляющей уравнения Бернулли.
5. Что представляет собой разность ординат напорной линии идеальной жидкости и реальной?
6. Что представляет собой разность ординат напорной линии и пьезометрической?
7. Как удачнее всего проводить плоскость сравнения при решении задач, связанных с использованием уравнения Бернулли?
8. Назовите назначение пьезометра, трубки Пито.
10. Когда напорная и пьезометрическая линии параллельны? Когда в направлении движения жидкости эти линии сближаются и когда удаляются одна от другой?

11. К каким выражениям приводится уравнение Бернулли в случаях: а) неподвижной жидкости; б) равномерного движения без местных сопротивлений; в) истечения жидкости через малое отверстие с острой кромкой при постоянном напоре?

12. Как связаны между собой коэффициенты сопротивления, сжатия, скорости и расхода при истечении жидкости?

13. Как рассчитываются затопленные отверстия и насадки?

14. Как изменяются расход и скорость при истечении жидкости через цилиндрический наружный насадок по сравнению с истечением её из круглого отверстия того же диаметра в тонкой стенке под тем же напором?

15. Чем отличается наружный цилиндрический насадок от трубы?

16. В чём особенности истечения жидкости из большого отверстия по сравнению с истечением её из малого отверстия?

## **1.5. Гидравлические сопротивления. Режимы движения жидкости**

### **Программа**

Критерии подобия. Режимы течения (ламинарный и турбулентный). Формулы потерь напора. Полуэмпирические теории турбулентности. Влияние вязкости жидкости и шероховатости стенок на сопротивление. Потери напора по длине потока. Местные сопротивления трубопроводов. Сопротивление тел при обтекании потоком. Подъёмная сила.

### **Методические указания**

В гидравлике широко применяется метод моделирования, когда исследуют не само явление или установку, а их уменьшенную модель. Основой моделирования является теория гидродинамического подобия. Для установившегося движения жидкости условием гидродинамического подобия является подобие частных критериев: геометрического, кинематического и динамического. Но подобие по одним силам часто исключает подобие по другим, поэтому считается достаточным получение приближенного подобия по силам, преобладающим в данном потоке. Критериями такого подобия являются критерий Рейнольдса (преобладание сил трения), критерий Фруда (сил тяжести), критерий Эйлера (сил давления).

Для использования уравнения Бернулли при решении практических инженерных задач необходимо знать гидравлические потери (потери энергии в виде напора или давления), имеющие место при движе-

нии жидкости. Эти потери зависят от режима движения, который характеризуется критерием Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где  $v$  - средняя скорость движения жидкости;  $d$  - диаметр трубопровода;  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости. Следует уяснить различия в структуре потоков и представлять физический смысл  $\text{Re}$  (отношение сил инерции к силам вязкого трения).

Течением Пуазейля является вязкое (ламинарное) стационарное течение в трубе постоянного круглого сечения бесконечной длины при пренебрежении массовыми силами. С использованием этого понятия получено распределение скоростей и напряжений по сечению круглой трубы. Следует ознакомиться и с другими закономерностями и зависимостями ламинарного режима: для расхода, местной скорости (формула Стокса), средней скорости, максимальной скорости, коэффициента Кориолиса, коэффициента гидравлического трения, потерь энергии по длине (формула Пуазейля). Из формулы Пуазейля следует, что потери напора на трение пропорциональны средней скорости потока в первой степени.

Турбулентный поток характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости. Для этого режима выводы и расчёты соотношения получены экспериментально. Следует уяснить механизм турбулентного перемешивания, пульсации скоростей и структуру потока.

Потери на трение по длине определяются по формуле Дарси, где коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  является функцией числа Рейнольдса и относительной шероховатости (график Никурадзе). Каждая зона сопротивления этого графика характеризуется определённой внутренней структурой потока и в соответствии с этим - определённой зависимостью  $\lambda$  от числа Рейнольдса и относительной шероховатости. Изучите этот график - это поможет вам в решении практических задач.

Местные сопротивления (МС) представляют собой короткие фасонные участки трубопроводов, на которых происходит изменение величин и направления скоростей потока, вызванное изменением размеров и формы сечения трубопровода; в образовавшихся застойных зонах существует вихревое движение, на поддержание которого из транзитного потока отбирается часть энергии - потеря энергии в МС (на вихреобразование и трение).

В общем случае коэффициент местного сопротивления  $\xi$  (входящий в формулу Вейсбаха для определения потерь энергии в МС) зависит от формы МС, относительной шероховатости стенок, числа Рейнольдса и распределения скоростей в граничных сечениях потока перед МС и после него. Уясните, как эта общая зависимость конкретизируется для различных зон сопротивления турбулентного течения и при ламинарном течении, для какой зоны сопротивления и на каком удалении одного МС от другого приводятся в справочниках данные о коэффициентах МС. Отметим, что в технических установках (в частности, в гидроприводе) на узлы с концентрацией большого количества близко расположенных друг к другу МС (гидроаппараты) в справочниках даются не коэффициенты  $\xi$  а потери давления  $\Delta p$  в аппарате в целом.

При обтекании потоком твёрдого тела в процессе опускания его в жидкой среде под действием силы тяжести имеет место сначала ускоренное движение, которое превращается в равномерное, когда возрастающая с ростом скорости сила сопротивления уравновесит разность сил тяжести и архимедовой. Скорость равномерного движения называют «гидравлической крупностью». Указанная сила сопротивления при ламинарном обтекании шара определяется по формуле Стокса. При турбулентном движении так же, как и указывалось выше, коэффициент сопротивления зависит от  $Re$ , формы тела, и шероховатости его поверхности, кроме квадратичного закона сопротивления, где  $Re$  не влияет.

Источником подъёмной силы пластины (или крыла) по Н.Е.Жуковскому является циркуляционное движение потока вокруг его профиля. Подъёмную силу можно получить и при обтекании симметричного тела, например, цилиндра. Обратите внимание на существование аномальных (неньютоновских) жидкостей, параметры потока которых определяются из уравнения Шведова-Бингама.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Объясните физический смысл критериев: Рейнольдса, Фруда и Эйлера. В каких случаях должны применяться эти критерии?
2. Укажите закон распределения касательных напряжений в цилиндрическом трубопроводе при ламинарном течении.
3. Изобразите эпюру скоростей для условий предыдущего вопроса.
4. Каково соотношение между средней и максимальной скоростями при ламинарном течении, при равномерном турбулентном напорном течении и в сжатом сечении свободной струи при истечении?

5. От каких параметров потока зависят потери энергии по длине при ламинарном течении?
6. При каком режиме имеет место более высокая неравномерность скоростей и почему?
7. Объясните понятия «гидравлически гладкие» и «гидравлически шероховатые» поверхности. Может ли одна и та же труба быть «гидравлически гладкой» и «гидравлически шероховатой»?
8. Объясните основные линии и зоны сопротивления на графике Никурадзе.
9. Почему первая зона этого графика называется «линейная», а последняя - «квадратичная»?
10. От каких факторов зависит коэффициент гидравлического трения при турбулентном течении, и по каким формулам можно его определить?
11. Какие сопротивления называют «местными»?
12. По какой формуле определяют потери энергии, вызванные местными сопротивлениями?
13. Как определить потерю энергии при внезапном расширении потока и внезапном сужении его?
14. Чему равен коэффициент местного сопротивления при входе жидкости в трубу из большого резервуара и при выходе потока из трубы в большой резервуар?
15. В чём принцип наложения потерь?
16. Зачем требуется расстояние между двумя смежными местными сопротивлениями не менее 20-50 диаметров трубы, чтобы привести данные о величине коэффициента местного сопротивления в справочной литературе?
17. Назовите силы, возникающие при обтекании потоком тел несимметричной формы.

## **1.6. Течения в трубах и каналах**

### **Программа**

Расчёт водопроводов и газопроводов. Расчёты простых трубопроводов. Всасывающий и сифонный трубопроводы. Характеристика трубопровода насосной установки. Разветвлённые трубопроводы. Безнапорное движение жидкости.

### **Методические указания**

Для гидравлического расчёта трубопроводов применяются уравнение Бернулли, формулы по определению потерь напора на трение по длине и в местных сопротивлениях, уравнение постоянства

расхода. К числу основных гидравлических характеристик относится расходная характеристика или модуль расхода.

В зависимости от гидравлической схемы работы системы и от методов гидравлического расчёта различают трубопроводы "короткие" и "длинные", "простые" и "сложные", "разветвлённые" и "замкнутые", с транзитными и путевыми расходами жидкости. Следует уяснить различие между перечисленными типами трубопроводов и особенности их гидравлических расчётов. Все случаи расчёта простых трубопроводов сводятся к трём типовым задачам по определению: 1) расхода, 2) напора, 3) диаметра трубопровода. Следует знать методику решения этих задач. В частности, ввиду того, что при турбулентном движении  $\lambda$  является функцией скорости и диаметра (через  $Re$  и  $\Delta/d$ ) т.е. тех величин, которые часто сами подлежат определению, такие задачи приходится решать способом последовательных приближений.

При расчёте параметров трубопровода с насосной подачей ознакомьтесь с вариантами характеристик рассчитываемых систем и причинами ограничения высоты установки насоса над свободной поверхностью жидкости. Подъём жидкости над этим уровнем обеспечивается за счёт создаваемого насосом вакуума, величина которого не должна быть равной или меньше давления насыщенных паров - в противном случае в системе возникнет явление кавитации и система станет неработоспособной.

Трубопроводы, на которых имеются участки потока с давлением ниже атмосферного, называются сифонными.

Необходимо также ознакомиться с установившимся течением безнапорных потоков, формулой Шези, распределением скоростей в поперечном сечении такого потока; знать, что безнапорные потоки могут быть установившимися и неустановившимися, равномерными и неравномерными.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какова зависимость пропускной способности трубопровода от его шероховатости при неизменных прочих условиях?
2. Какой зависимостью учитываются потери в местных сопротивлениях в "длинных" трубопроводах?
3. Как учитываются потери в комплексных местных сопротивлениях в "коротких" трубопроводах гидроприводов?
4. Какова особенность расчёта трубопроводов с параллельным соединением ветвей?
5. Чем отличается определение диаметра магистрального трубопровода и его ответвлений?
6. Что такое "сифон"?

7. Назовите несколько вариантов трубопровода с насосной подачей.
8. Почему при расчёте трубопровода важно выявить режим движения?
9. Объясните, что такое "кавитация" и в чём состоит её вредное действие?
10. Как графически построить суммарную характеристику двух простых трубопроводов, соединённых последовательно, параллельно?
11. Какие величины входят в формулу Шези?
12. Какой вид имеет эпюра скоростей в поперечном сечении открытого русла при равномерном движении жидкости?

## **1.7. Нестационарные течения**

### **Программа**

Сила давления струи на неподвижную и движущуюся преграды. Истечение при переменном напоре. Неустановившееся напорное движение несжимаемой жидкости в неупругом трубопроводе. Гидроудар в простом трубопроводе.

### **Методические указания**

На основании уравнения количества движения выводится зависимость силы воздействия струи на неподвижные и движущиеся преграды различной формы. Рассмотрите суть удвоения силы за счёт угла поворота струи на преграде и практическое применение этого эффекта, в том числе, в гидроприводе различных машин.

С использованием уравнения количества движения выводится зависимость приращения давления в трубопроводе в результате резкого изменения скорости движения жидкости. Формула Н.Е.Жуковского применима для расчёта прямого и непрямого гидроудара и учитывает как сжатие жидкости, так и растяжение стенок трубы при ударном повышении давления. Рассмотрите фазы гидравлического удара. Различают прямой удар, когда время закрытия затвора меньше фазы гидроудара (время пробега ударной волны от затвора к источнику энергии и обратно), и не прямой гидроудар, при котором указанное время больше фазы гидроудара. Проанализируйте способы борьбы с гидроударами и пути их практического использования.

На основании уравнения Бернулли выведено уравнение неустановившегося движения жидкости в трубопроводе. Уясните себе механизм получения инерционного напора на примере работы поршневого насоса на трубопроводную сеть.

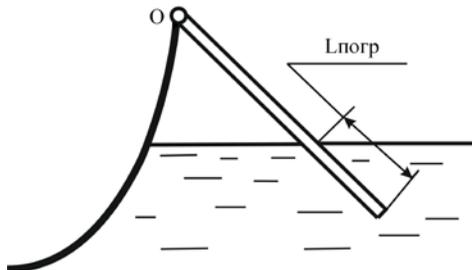
Широко распространены задачи истечения жидкости из сосудов при переменном напоре. Основным параметром, подлежащим определению, является, как правило, время опорожнения таких сосудов, но математический аппарат позволяет находить и другие величины, сопутствующие опорожнению сосудов, например, соответствующие уровни, коэффициенты истечения и т.д. Следует понимать, что предлагаемые в учебной литературе зависимости относятся к условно установившемуся движению жидкости в сосуде, поэтому носят приближённый характер.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какова формула силы давления струи на движущуюся, на неподвижную преграду?
2. Какие трудности возникают при расчёте времени опорожнения резервуара переменного горизонтального сечения?
3. Что происходит с коэффициентом расхода к концу процесса опорожнения сосуда?
4. Ускорится или замедлится опорожнение сосуда через отверстие в его дне, если это отверстие снабдить внешним цилиндрическим насадком?
5. Чем пренебрегают при выводе уравнения неустановившегося движения жидкости в трубопроводе?
6. В связи с большой величиной инерционного напора какое техническое средство следует применить, чтобы движение жидкости на основном участке трубопровода было установившимся?
7. Что такое гидроудар?
8. Чем можно уменьшить ударное повышение давления?
9. Чем гасятся ударные волны с течением времени?

## 2 ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

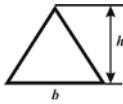
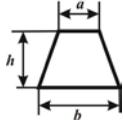
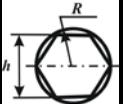
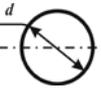
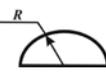
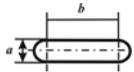
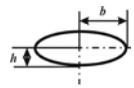
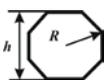
**Задача 1.** Шест длиной  $L$  одним концом шарнирно закреплён в точке  $O$ , а другим погружен в жидкость плотностью  $\rho_{ж}$ . Найти плотность  $\rho_{ш}$  материала шеста и выталкивающую силу  $F_{арх}$ , если при равновесии в жидкость погружена его часть длиной  $L_{погр}$ .



№ Варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{погр}$	$L/5$	$L/4$	$L/3$	$3L/8$	$2L/5$	$L/2$	$3L/5$	$5L/8$	$2L/3$	$3L/4$

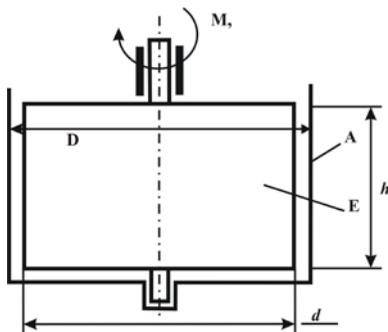
**Задача 2.** Определить силу  $F$  от гидростатического давления на торцевую стенку сосуда с жидкостью и точку её приложения, считая от свободной поверхности.



№ Варианта	0	1	2	3	4
Форма торцевой стенки					
$d = 2R, \text{ м}$	1000	900	880	870	850
$C, \text{ м}$	–	–	–	2	3
$b, \text{ м}$	1	0,5	0,2	0,3	0,5
$h, \text{ м}$	2	2	3	–	–
$a, \text{ м}$	1	1,732	2,5	1,732	–
$d = 2R, \text{ м}$	–	–	2	–	–
№ Варианта	5	6	7	8	9
Форма торцевой стенки					
$\rho_{жс}, \text{ кг/м}^3$	1000	950	910	890	850
$d = 2R, \text{ м}$	3	1,6	–	2,8	–
$C, \text{ м}$	2	1,5	1	0,8	0,6
$b, \text{ м}$	–	2	2	–	1,5
$h, \text{ м}$	–	–	1	2,59	2
$a, \text{ м}$	–	–	–	–	–

**Задача 3.** В кольцевом зазоре длиной  $h$  между цилиндрами  $A$  и  $B$  находится жидкость плотностью  $\rho$  и кинематической вязкостью  $\nu$ . Цилиндр  $B$  вращается с частотой  $n$ . Пренебрегая сопротивлением опор, определить:

- коэффициент динамической вязкости  $\mu$  (Вариант 0 и 1);
- величину зазора  $\delta = 0,5(D - d)$  (Варианты 2 и 3);
- частоту вращения  $n$  (Варианты 4 и 5)
- момент сопротивления, создаваемый жидкостью в зазоре  $\delta$  (Варианты 6 и 7);
- коэффициент кинематической вязкости (Варианты 8 и 9).



№ Варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M$ , Нм*10 <sup>3</sup>	2,0	1,34	12	6,3	15,0	10,0	–	–	138,0	68,7
$n$ , об/мин	100	80	90	80	–	–	100	200	250	180
$D$ , мм	200	202	–	–	64	46	06	00	50	80
$d$ , мм	194	195	205	50	60	40	00	94	70	90
$h$ , мм	100	80	90	00	10	0	00	00	20	00
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	–	–	–	–	–	–	–	–	90	90
$\mu$ , Па*с*10 <sup>3</sup>	–	–	8,5	10,6	11,6	2,05	17,7	19,4	–	–

**Задача 4.** Жидкость кинематической вязкостью  $\nu$  поступает из отстойника с постоянным уровнем по трубопроводу длиной  $L$  и

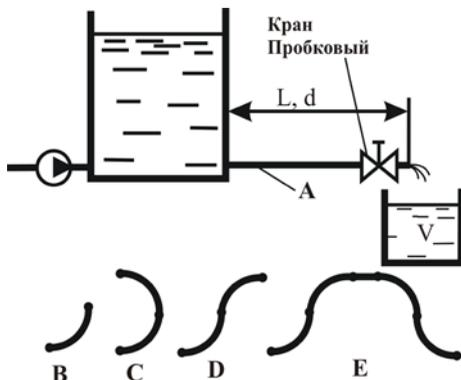
диаметром  $d$  при шероховатости  $\Delta = 0,02\text{мм}$  в ёмкость вместимостью  $V$ . При заданном значении коэффициента местного сопротивления пробкового крана  $\zeta_{кр1}$  ёмкость  $V$  наполняется за  $T$  часов. Во сколько раз следует уменьшить сопротивление крана, чтобы в  $n$  раз сократить время наполнения ёмкости  $V$ ?

При решении задачи следует учесть все местные сопротивления (для ламинарного течения) и трение по длине  $L$ . Определение области сопротивления обязательно.

Трубопровод на длине  $L$  имеет в горизонтальной плоскости изгибы в форме:

- одиночного плавного колена с отношением радиуса закругления  $R$  к диаметру  $d$  равном  $0,75$  ( $R/d = 0,75$ ) и углом поворота  $90^\circ$  (схема В для вариантов 0 и 1).];
- сдвоенных по схеме С таких же колен (для вариантов 2 и 3);
- сдвоенных по схеме D таких же колен (для вариантов 4 и 5);
- двух сдвоенных по схеме D таких же колен, но с прямым промежутком между ними  $l > 20d$  (для вариантов 6 и 7);

В вариантах 8 и 9 колен нет.

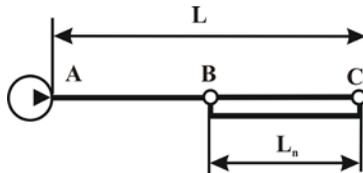


№ Варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\nu$ , м <sup>2</sup> /с*10 <sup>-6</sup>	12	30	2,5	1,52	1,0	50	50	30	20	25
$\zeta_{кр1}$	32	25	20	18	30	50	52	48	22,8	20
$L$ , м	3	3	4	4,5	5	3,5	2	4	2	3
$d$ , мм	32	20	25	20	16	20	25	32	20	25
$V$ , м <sup>3</sup>	18	21	10	15	20	15	10	9	22,6	20
$T$ , час	7	9	5	6	7	10	8	5	10	8
$n$	2,5	1,5	1,3	1,6	1,8	2	1,5	1,8	2	1,5

**Задача 5.** Требуется увеличить пропускную способность  $Q$  трубопроводной трассы длиной  $L$  и диаметром  $d_0$  в  $k$  раз при прокачке жидкости с параметрами  $\rho$  и  $\nu$  при сохранении неизменным давления на выходе из насоса.

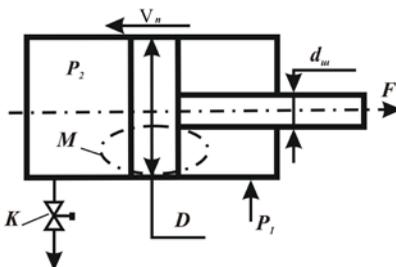
Одним из вариантов технического решения является прокладка на части трассы параллельной нитки трубопровода длиной  $L_n$ . Определите диаметр  $d_n$  этой нитки.

Варианты 0 - 4 соответствуют ламинарному режиму движения жидкости; варианты 5,6 – сопротивлению в области гидравлически гладких труб; варианты 7 - 9 – квадратичной области сопротивления.



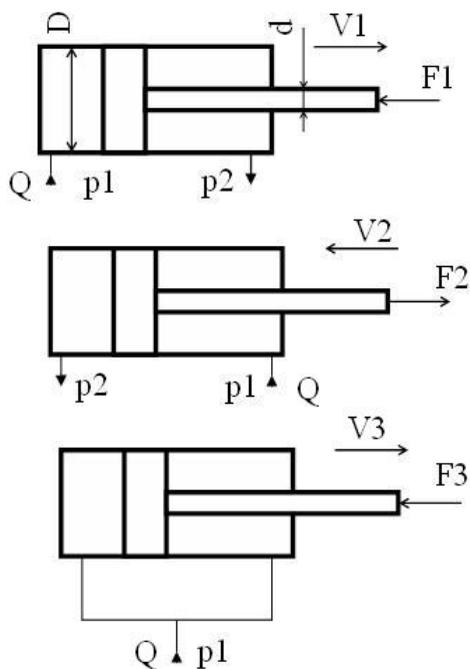
№ Варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$ , км	25	35	35	30	15	40	22	10	9	1
$d_0$ , мм	280	310	250	300	300	280	250	250	200	150
$Q$ , т/час	95	110	70	100	90	85	80	150	130	100
$k$	1,2	1,35	1,5	1,3	1,4	1,3	1,3	1,5	1,3	1,2
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	850	875	820	800	900	820	885	1000	1000	820
$\nu$ , м <sup>2</sup> /с*10 <sup>-6</sup>	85	88	89	90	75	2,5	20	1	1	2,5
$L$ , км	9	11	5	10	5	20	10	7	5	0,4
$\Delta$ , мм	–	–	–	–	–	0,02	0,15	1	1,5	1,2

**Задача 6.** Жидкость плотностью  $\rho$  поступает в штоковую полость гидроцилиндра под давлением  $p_1$ , а затем поступает в поршневую полость через струеформирующее устройство (СФУ) в поршне (узел М) и далее – в атмосферу через кран К. Поршень нагружен силой  $F$  и перемещается со скоростью  $v_n$  которую следует определить при заданном типе СФУ, заданных диаметрах штока  $d_{ш}$ , поршня  $D$  и отверстия  $d_0$  и площади проходного канала крана  $S_K = 2S_0$ . Характеристики СФУ принять согласно (2, табл.8.1), коэффициент расхода крана  $\mu_K = 0,65$ .



**Задача 7.** Определить усилия  $F$  на штоке, скорости перемещения  $V$ , работу, совершаемую при движении штока, для трех схем подключения гидроцилиндра с односторонним штоком при заданных диаметрах поршня  $D$  и штока  $d$ , давлениях  $p_1$  и  $p_2$ , расходе  $Q$ , длине хода штока  $L$ .

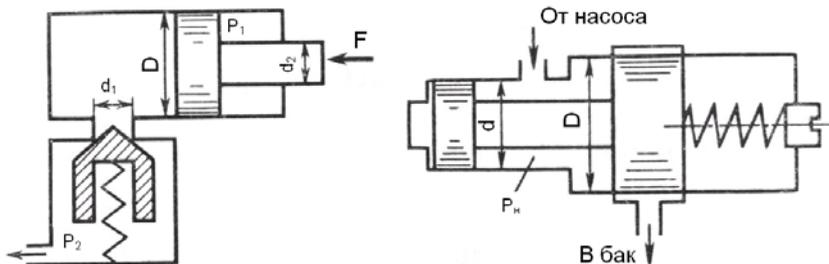
№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид СФУ	Отверстие в тонкой стенке		Насадок цилиндрический наружный		Насадок конический сходящийся		Насадок конический расходящийся		Насадок коноидальный	
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	880	890	850	910	885	880	890	850	910	885
$p_1$ , МПа	2,5	2,3	2	1,8	1,7	2	2,5	,2	,4	,6
$F$ , кН	4	2,8	3	3,5	2,9	2	4,5	3,5	4	3,9
$D$ , мм	125	125	100	125	160	200	125	100	100	125
$d_{ш}$ , мм	80	100	60	80	100	125	100	80	60	70
$d_0$ , мм	3	2	2,5	3	3	2	2,5	3	2	3,5



№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр поршня, мм	16	32	40	50	63	80	100	125	160	200
Диаметр штока, мм	10	20	25	30	50	50	63	90	80	90
Давление $p_1$ , МПа	4	6,3	2,5	16	32	10	20	28	20	32
Давление $p_2$ , МПа	0,7	0,8	0,6	1,2	2	1	1,3	1,6	1,3	2
Расход $Q$ , л/мин	2	10	12,5	20	80	125	85	140	400	250
Ход штока $L$ , мм	200	100	160	400	1100	800	630	1400	450	1255

### Задача 8.

Вариант 1. Определить минимальное значение силы  $F$ , приложенной к штоку, под действием которой начнется движение поршня диаметром  $D=80$  мм, если сила пружины, прижимающая клапан к седлу, равна  $F_0=100$  Н, а давление жидкости  $p_2=0,2$  МПа. Диаметр входного отверстия клапана (седла)  $d_1=10$  мм. Диаметр штока  $d_2=40$  мм, давление жидкости в штоковой полости гидроцилиндра  $p_1=1,0$  МПа.

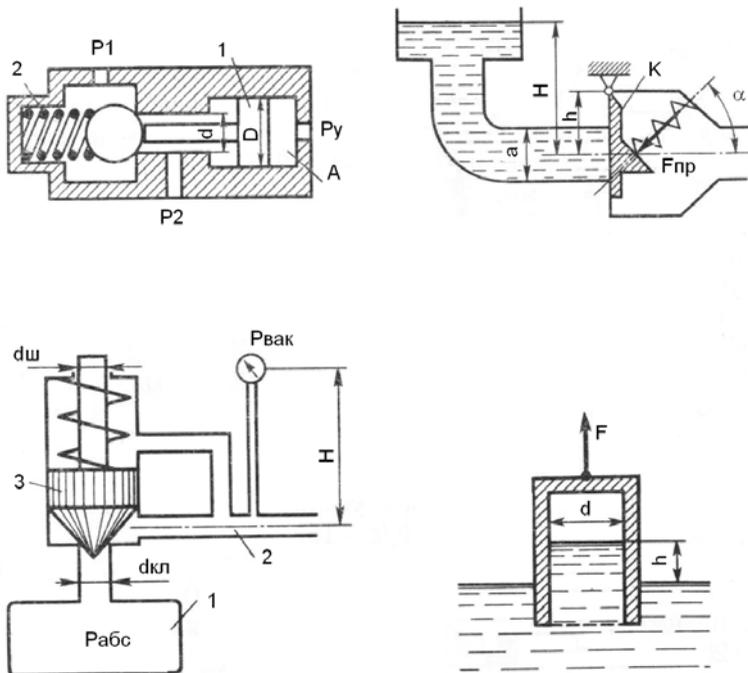


Варианты 0, 1

Вариант 1. Определить величину предварительного поджатия пружины дифференциального предохранительного клапана (мм), обеспечивающую начало открытия клапана при  $p_n=0,8$  МПа. Диаметры клапана:  $D=24$  мм,  $d=18$  мм.

Вариант 2. На рисунке представлена конструктивная схема гидрозамка, проходное сечение которого открывается при подаче в полость  $A$  управляющего потока жидкости с давлением  $p_y$ . Определить, при каком минимальном значении  $p_y$  толкатель поршня  $1$  сможет открыть шариковый клапан, если известно: предварительное усилие пружины  $2 F=50$ Н;  $D=25$  мм,  $d=15$  мм,  $p_1=0,5$  МПа,  $p_2=0,2$  МПа. Силами трения пренебречь.

Вариант 3. Определить, при какой высоте уровня воды начнет открываться клапан  $K$ , если сила пружины  $F_{np}=2$  кН, угол ее установки  $\alpha=45^\circ$ , высота  $h=0,3$  м. Труба перед клапаном имеет квадратное сечение со стороной  $a=300$  мм.

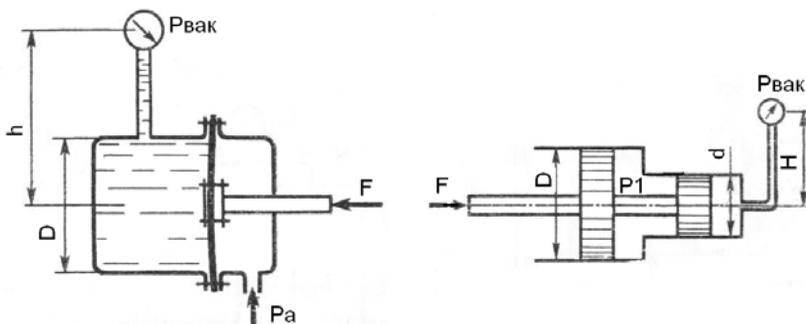


Варианты 2-5

Вариант 4. Определить абсолютное давление в резервуаре 1, если подача жидкости из него по трубопроводу 2 прекратилась и клапан 3 закрылся. Показание вакуумметра  $p_{\text{вак}} = 0,05 \text{ МПа}$ , высота  $H = 2,5 \text{ м}$ , сила пружины  $F_{\text{np}} = 10 \text{ Н}$ , плотность жидкости  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , атмосферное давление соответствует  $h_a = 755 \text{ мм рт.ст.}$ , диаметры  $d_{\text{кл}} = 20 \text{ мм}$ ,  $d_{\text{ш}} = 10 \text{ мм}$ . Вертикальными размерами клапана 3 пренебречь.

Вариант 5. Определить абсолютное давление на поверхности жидкости в сосуде и высоту  $h$ , если атмосферное давление соответствует  $h_a = 740 \text{ мм рт.ст.}$ , поддерживающая сила  $F = 10 \text{ Н}$ , вес сосуда  $G = 2 \text{ Н}$ , а его диаметр  $d = 60 \text{ мм}$ . Толщиной стенки сосуда пренебречь. Плотность жидкости  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

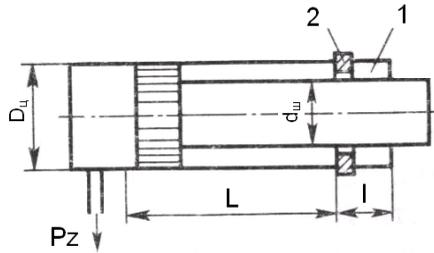
Вариант 6. Определить силу  $F$ , действующую на шток гибкой диафрагмы, если ее диаметр  $D=200$  мм, показание вакуумметра  $p_{\text{вак}}=0,05$  МПа, высота  $h=1$  м. Площадь штока пренебречь. Найти абсолютное давление в левой полости, если  $h_a=740$  мм рт.ст.



Варианты 6, 7

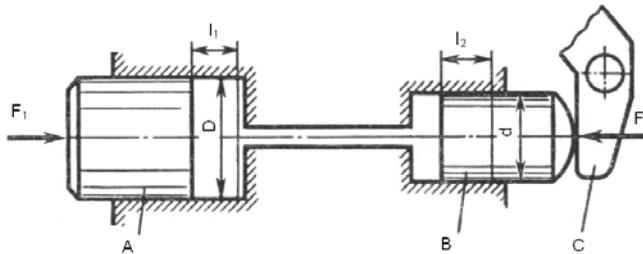
Вариант 7. Определить силу  $F$  на штоке золотника, если показание вакуумметра  $p_{\text{вак}}=60$  кПа, избыточное давление  $p_1=1$  МПа, высота  $h=3$  м, диаметры поршней  $D=20$  мм и  $d=15$  мм,  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Вариант 8. Для обеспечения обратного хода гидроцилиндра его полость 1 заполнена воздухом под начальным давлением  $p_1$ . Найти размер  $l$ , определяющий положение стопорного кольца 2, которое ограничивает ход штока. Размеры цилиндра:  $D_u=150$  мм;  $d_{\text{ш}}=130$  мм; ход штока  $L=400$  мм. Сила трения поршня и штока  $400$  Н, давление слива  $p_z=0,3$  МПа, давление воздуха в начале обратного хода  $P_{1\text{max}}=2$  МПа. Процесс расширения и сжатия воздуха принять изотермическим.



Вариант 8

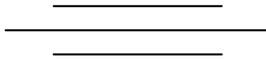
Вариант 9. В системе дистанционного гидроуправления необходимо обеспечить ход  $l_2$  поршня  $B$  равным ходу  $l_1$  поршня  $A$ , т. е.  $l_1 = l_2 = l = 32$  мм. Поршень  $B$  диаметром  $d = 20$  мм должен действовать на рычаг  $C$  с силой  $F_2 = 8$  кН. Цилиндры и трубопровод заполнены маслом с модулем упругости  $K = 1400$  МПа. Объем масла, залитого при атмосферном давлении,  $V = 700$  см<sup>3</sup>. Определить диаметр  $D$  поршня  $A$  и силу  $F_1$ , приложенную к поршню  $A$ . Упругостью стенок цилиндров и трубок, а также силами трения поршней о стенки цилиндров пренебречь.



Вариант 9

### 3 ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Измерение гидростатического давления.
2. Измерение режимов движения жидкости.
3. Иллюстрация уравнения Бернулли.
4. Определение коэффициентов гидравлического сопротивления (сопротивления трения) для труб.
5. Определение коэффициентов местных сопротивлений.



## Список литературы

1. Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов, О.В. Байбаков, Ю.Л. Кирилловский Под ред. проф. Т.М. Башты Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. – М.: Машиностроение, 1970. – 503 с.
2. В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря Гидравлика и гидропривод: учебник для вузов. – М.: Недра, 1991. – 331с.
3. Н.С. Гудилин, Е.М. Кривенко, Б.С. Маховиков, И.Л. Пастоев Под ред. проф. И.Л. Пастоева Гидравлика и гидропривод. Издание 2-е – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1999 – 520с.
4. Л.П. Поспелов Гидравлика и гидропривод: учебник для техникумов.– М.: Недра,1989. – 118 с.
5. Макаров А.Н., Кутлубаев И.М., Антонов В.Н., Усов И.Г., Кудряшов А.А. Механика жидкости и газа: Лабораторный практикум. Магнитогорск: МГТУ, 2004. -14 с.
6. Гидравлика: Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газов», «Гидравлика»» для студентов направлений 190100, 190200 всех форм обучения, Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. -24с.

**Авторы:** Кутлубаев Ильдар Мухаметович  
Мацко Елена Юрьевна  
Усов Игорь Геннадьевич

## **ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД**

Методические указания к контрольным работам  
по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика»,  
«Гидравлика и гидропневмопривод»  
для студентов специальности 190109  
и направления подготовки 190100 всех форм обучения

*Издается полностью в авторской редакции*

г. Магнитогорск, 2012 год  
ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Адрес: 455000 Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра горных машин и транспортно-технологических комплексов  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru