

Механика жидкости и газа

(ГИДРАВЛИКА)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для студентов-заочников и МИПС
инженерно-технических специальностей

КубГТУ

1. Основные свойства жидкости

Определение жидкости. Силы, действующие на жидкость. Давление в жидкости. Сжимаемость. Закон Ньютона для жидкостного трения. Вязкость. Поверхностное натяжение. Давление насыщенного пара жидкости. Растворение газов в жидкости. Модель идеальной жидкости. Неньютоновские жидкости.

Методические указания

По своим физическим свойствам жидкости занимают промежуточное положение между твердыми телами и газами. Жидкость мало изменяет свой объем при изменении давления или температуры, в этом отношении она сходна с твердым телом. Жидкость обладает текучестью, благодаря чему она не имеет собственной формы и принимает форму того сосуда, в котором находится. В этом отношении жидкость отличается от твердого тела и имеет сходство с газом. Свойства жидкостей и их отличие от твердых тел и газов обуславливаются молекулярным строением. Следует уяснить, каким образом особенности молекулярного строения влияют на физические свойства жидкости.

Покоящаяся жидкость подвержена действию двух категорий внешних сил: массовых и поверхностных. Массовые силы пропорциональны массе жидкости или для однородных жидкостей – ее объему. Внешние поверхностные силы непрерывно распределены по граничной поверхности жидкости. Следует знать, какие силы относятся к массовым (объемным) и к поверхностным силам, какие силы называются внешними и какие внутренними.

В покое жидкости может существовать только напряжение сжатия, т. е. давление. Необходимо чётко представлять разницу между понятиями среднего гидростатического давления, гидростатического давления в точке, выраженных в единицах напряжения, и понятием суммарного гидростатического давления на поверхность, выраженного в единицах силы.

В гидравлике при изучении законов равновесия и движения широко пользуются различными физическими характеристиками жидкости (например, плотность). Студенту нужно уметь определять основные физические характеристики жидкости, знать единицы этих характеристик.

Следует также рассмотреть основные физические свойства капельных жидкостей: сжимаемость, тепловое расширение, вязкость и др.

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление относительному перемещению слоев, вызывающему деформацию сдвига. Это свойство проявляется в том, что в жидкости при ее движении возникает сила сопротивления сдвигу, называемая силой внутреннего трения. При прямолинейном слоистом движении жидкости сила внутреннего трения T между перемещающимися один относительно другого слоями с площадью соприкосновения S определяется законом Ньютона:

$$T = \pm \mu S \frac{du}{dn} \text{ или } \frac{T}{S} = \tau = \pm \frac{du}{dn}. \quad (1)$$

Динамический коэффициент вязкости μ не зависит от давления и от характера движения, а определяется лишь физическими свойствами жидкости и ее температурой. Как видно из (1), сила T и касательное напряжение τ

пропорциональны градиенту скорости u и по нормали n к поверхности трения $\frac{du}{dn}$, который представляет собой изменение скорости жидкости в направлении нормали на единицу длины нормали. Жидкости, для которых зависимость изменения касательных напряжений от скорости деформации отличается от закона Ньютона (1), называются неньютоновскими или аномальными жидкостями.

Учет сил вязкости значительно осложняет изучение законов движения жидкости. С другой стороны, капельные жидкости незначительно изменяют свой объем при изменении давления и температуры. В целях упрощения постановки задач и их математического решения создана модель идеальной жидкости. Идеальной жидкостью называется воображаемая жидкость, которая характеризуется полным отсутствием вязкости и абсолютной неизменяемостью объема при изменении давления и температуры. Переход от идеальной жидкости к реальной осуществляется введением в конечные расчетные формулы поправок, учитывающих влияние сил вязкости и полученных, главным образом, опытным путем. При изучении гидродинамики следует проследить особенности перехода от идеальной жидкости к реальной.

В гидравлике жидкость рассматривается как сплошная среда (континуум), т.е. среда, масса которой распределена по объему непрерывно. Это позволяет рассматривать все характеристики жидкости (плотность, вязкость, давление, скорость и др.) как функции координат точки и времени, причем в большинстве случаев эти функции предполагаются непрерывными.

2. Гидростатика

Свойства давления неподвижной жидкости. Уравнение Эйлера равновесия жидкости. Интегрирование уравнения Эйлера. Поверхности равного давления. Свободная поверхность жидкости. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Приборы для измерения давления. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные стенки. Закон Архимеда. Плавание тел. Относительный покой жидкости.

Методические указания

Два свойства гидростатического давления обусловлены тем, что покоящаяся жидкость не воспринимает касательных и усилий. Знание этих свойств позволяет понять форму статического силового воздействия жидкости.

Наиболее общими уравнениями гидростатики являются дифференциальные уравнения Эйлера, устанавливающие и поверхностными силами, действующими в жидкости. При изучении этих уравнений следует усвоить физический смысл всех входящих в них величин. Эти уравнения позволяют просто и быстро решать задачи как в случае абсолютного покоя жидкости, когда на жидкость из массовых сил действует только сила тяжести, так и в случае относительного покоя, когда к силе тяжести присоединяются силы инерции. В случае действия на жидкость одной лишь силы тяжести интегрирование уравнений Эйлера дает основное уравнение гидростатики

$$p_2 = p_1 + \gamma h, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 — давления в точках 1 и 2; h — глубина погружения точки 2 относительно точки 1; γ — удельный вес жидкости; γh — весовое давление столба жидкости глубиной h .

В зависимости от способа отсчета различают абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакуумметрическое давление. Следует знать взаимосвязь этих величин.

В уравнении (2) точка 1 может лежать на свободной поверхности жидкости. При этом весовое давление γh будет избыточным давлением только в том случае, когда давление на свободную поверхность равно атмосферному давлению.

Весьма важными понятиями в гидравлике являются пьезометрическая высота и гидростатический напор. Пьезометрическая высота выражает в метрах столба жидкости избыточное (или абсолютное) давление в рассматриваемой точке жидкости. Гидростатический напор равен сумме геометрической z и пьезометрической p/γ высот. Для всех точек данного объема покоящейся жидкости гидростатический напор относительно выбранной плоскости сравнения есть постоянная величина.

Воздействие жидкости на плоские и криволинейные поверхности наглядно отражается эпюрами давления. Площадь (объем) эпюры дает величину силы давления, а центр тяжести этой площади (объема) — точку приложения силы давления. Аналитическое рассмотрение задачи позволяет получить весьма простые расчетные формулы. В случае плоской поверхности любой формы величина силы гидростатического давления равна смоченной площади этой поверхности, умноженной на гидростатическое давление в центре тяжести площади. Точка приложения силы гидростатического давления (центр давления) лежит всегда ниже центра тяжести (за исключением давления на горизонтальную плоскость, когда они совпадают). Следует указать, что формула для определения координаты центра давления дает точку приложения силы только гидростатического давления без учета давления на свободную поверхность (см. вывод формулы в любом учебнике гидравлики).

Для криволинейных цилиндрических поверхностей обычно определяют горизонтальную и вертикальную составляющие полной силы гидростатического давления. Определение вертикальной составляющей связано с понятием «тела давления», которое представляет собой действительный или воображаемый объем жидкости, расположенный над цилиндрической поверхностью. Линия действия горизонтальной составляющей проходит через центр давления вертикальной проекции криволинейной поверхности, а линия действия вертикальной составляющей — через центр тяжести тела давления.

При изучении этого раздела студенту полезно рассмотреть несколько конкретных примеров построения тел давления для цилиндрических поверхностей, определить самостоятельно вертикальную и горизонтальную составляющие силы давления, точки их приложения результирующую силу.

Необходимо рассмотреть давление жидкости на стенки труб и резервуаров, расчетные формулы для определения толщины их стенок.

3. Кинематика и динамика жидкости

Виды движения жидкости. Основные понятия кинематики жидкости: линия тока, трубка тока, струйка, нормальное сечение, расход. Поток жидкости. Средняя скорость. Уравнение расхода. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для установившегося движения идеальной жидкости. Геометрическое и энергетическое толкование уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости. Коэффициент Кориолиса. Общие сведения о гидравлических потерях. Виды гидравлических потерь. Трубка Пито, водомер Вентури.

Методические указания

Одним из основных уравнений гидродинамики является уравнение постоянства расхода (уравнение неразрывности), которое для плавно изменяющегося и параллельностройного движения может быть представлено в виде $v \cdot S = const$ (вдоль

потока), откуда для двух сечений 1 и 2 получим $v_1/v_2=S_2/S_1$, т.е. средние скорости потока обратно пропорциональны площадям живых сечений.

Следует уяснить, что уравнение постоянства расхода справедливо только при соблюдении ряда допущений, на которых основан логический вывод этого уравнения.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера дают общую зависимость между скоростями и ускорениями движущихся частиц жидкости и силами, действующими на эти частицы. Интегрирование этих уравнений для элементарной струйки идеальной жидкости приводит к основному уравнению гидродинамики — уравнению Бернулли, которое можно получить также и непосредственно, применив к бесконечно малому объему жидкости теоремы механики, например теорему живых сил.

Уравнение Бернулли представляет собой частный случай закона сохранения энергии. Все члены уравнения Бернулли отнесены к единице веса жидкости, поэтому все виды энергии в этом уравнении имеют линейную размерность. При рассмотрении уравнения Бернулли для простейшего случая движения элементарной струйки невязкой (идеальной) жидкости следует уяснить геометрический и физический (энергетический) смысл уравнения в целом и его отдельных членов, а также обратить внимание на условия применимости уравнения Бернулли к элементарной струйке.

При распространении уравнения Бернулли для элементарной струйки на поток реальной жидкости возникает ряд трудностей, которые преодолеваются введением соответствующих ограничений и поправок. Уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений потока, в которых течение параллельностройное или плавно изменяющееся. Живые сечения здесь плоские, поэтому отсутствуют ускорения вдоль живых сечений, а из массовых сил действует только сила тяжести. Следовательно, в этих сечениях (участках) справедливы законы гидростатики, в частности постоянство гидростатического напора для всех точек живого сечения относительно любой плоскости сравнения. Между плавно изменяющимися течениями (участками) потока, связанными уравнением Бернулли, поток может быть и резко изменяющимся. При определении кинетической энергии потока по средней скорости в данном сечении вводится поправка в виде коэффициента Кориолиса α , учитывающего неравномерность распределения скоростей по живому сечению.

При решении практических инженерных задач уравнение Бернулли и уравнение постоянства расхода используются совместно. При этом они составляют систему из двух уравнений, позволяющую решать задачи с двумя неизвестными.

Если для струйки идеальной жидкости уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения механической энергии, то для потока реальной жидкости оно является уравнением баланса энергии с учетом гидравлических потерь. Гидравлическими потерями называется работа сил трения, затраченная на перемещение единицы веса жидкости из одного сечения в другое. Энергия потока, израсходованная на работу сил трения, превращается в тепловую энергию и рассеивается в пространстве.

4. Режим движения жидкости и основы гидродинамического подобия

Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Число Рейнольдса. Основы теории гидродинамического подобия.

Методические указания

Для использования уравнения Бернулли при решении практических инженерных задач необходимо знать гидравлические потери (потери напора), имеющие место при движении жидкости. Эти потери в значительной степени зависят от того, будет ли режим движения в потоке турбулентным или ламинарным.

Наличие того или иного режима в трубопроводе обуславливается соотношением трех факторов, входящих в формулу безразмерного критерия Рейнольдса $Re = vd/\nu$, где v — средняя скорость движения жидкости; d — диаметр трубопровода; ν — коэффициент кинематической вязкости.

При изучении режимов движения жидкости следует уяснить различия в структуре потоков. Нужно знать формулу числа Рейнольдса и его критическое значение, отчетливо представлять его физический смысл.

В гидравлике широко применяется метод моделирования, когда исследуется не само явление или установка, а их модель, обычно меньших размеров. Основой моделирования является теория гидродинамического подобия.

Для установившегося движения однородных несжимаемых жидкостей необходимым и достаточным условием гидродинамического подобия является геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков. Следует четко представлять содержание этих частичных критериев подобия. Для полного гидродинамического подобия необходима пропорциональность всех сил, действующих в потоке, но подобие по одним силам часто исключает подобие по другим

силам. Поэтому считается достаточным получение приближенного подобия по силам, преобладающим в данном потоке. Критериями такого подобия являются критерий Рейнольдса (преобладание сил трения), критерий Фруда (силы тяжести), критерий Эйлера (силы давления).

Особое внимание следует обратить на критерий Рейнольдса. Он представляет собой отношение сил инерции к силам трения. Теперь можно более глубоко разобраться в физическом смысле числа, или критерия Рейнольдса: режимы движения жидкости и переход одного режима в другой объясняются преобладанием силы инерции или силы трения в потоке, т. е. величиной Re . Как будет видно из дальнейшего, многие величины, характеризующие движение жидкости, могут быть представлены как функции Re .

Турбулентное движение жидкости

Особенности турбулентного движения жидкости. Пульсация скоростей и давлений. Распределение осредненных скоростей по сечению. Касательные напряжения в турбулентном потоке. Потери напора в трубах. Формула Дарси и коэффициент потерь на трение по длине (коэффициент Дарси). Шероховатость стенок абсолютная и относительная. Графики Никурадзе и Мурина. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. Формулы для определения коэффициента Дарси и область их применения. Турбулентное движение в некруглых трубах.

Методические указания

Турбулентный поток характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости. Из-за сложности явлений до сих пор не создано достаточно удовлетворительной теории турбулентного движения, которая непосредственно вытекала бы из основных уравнений гидродинамики и хорошо подтверждалась опытом (как для ламинарного движения). Поэтому все выводы и расчетные соотношения получены экспериментально и в результате теоретического исследования упрощенных моделей турбулентного течения.

Прежде всего, следует уяснить механизм турбулентного перемешивания и пульсации скоростей. Далее рассмотрите структуру и физическую природу касательных напряжений, которые определяются как сумма напряжений, вызванных

действием сил вязкости и обусловленных турбулентным перемешиванием. Определение последних основано на полуэмпирических теориях Прандтля и Кармана, получивших дальнейшее развитие в трудах советских ученых.

Потери на трение по длине определяются по формуле Дарси, которая может быть получена из соображений размерности.

Центральным вопросом темы является определение коэффициента гидравлического трения λ в формуле Дарси. В общем случае коэффициент λ является функцией числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости k/d :

$$\lambda = f\left(Re; \frac{k}{d}\right), \quad (3)$$

где k — абсолютная шероховатость; d — диаметр трубы.

Наиболее полно зависимость (3) раскрывается графиком Никурадзе, который получен экспериментально на трубах с искусственной зернистой равномерной шероховатостью. На графике можно выделить пять зон, каждая из которых характеризуется определенной внутренней структурой потока и в соответствии с этим определенной зависимостью λ от Re и k/d .

1. Зона изменения Re от 0 до 2320. Ламинарный режим потока. Здесь $\lambda = f(Re)$. По Пуазейлю,

$$\lambda = 64/Re. \quad (4)$$

2. Зона изменения Re от 2320 до ~ 4000 . Неустойчивая зона перемежающейся турбулентности, когда на отдельных участках возникают области турбулентного режима, которые разрастаются, а затем исчезают и снова появляются. Изменение структуры потока сопровождается колебаниями величины λ . Зона не рекомендуется для применения в гидравлических системах.

3. Зона чисел Re от ~ 4000 до $\sim 10d/k$. Поток характеризуется турбулентным ядром и пристенным (пограничным) ламинарным слоем, который затапливает шероховатости внутренней поверхности трубы, ввиду чего коэффициент λ не зависит от k/d и зависит только от Re . Здесь трубы работают как «гидравлически гладкие». Для этой зоны, по Блазиусу,

$$\lambda = 0,3164/\sqrt[4]{Re} \quad (5)$$

4. Зона, в которой $\lambda = f\left(Re; \frac{k}{d}\right)$. Пределы зоны определяются соотношением $10d/k < Re < (500d)/k$. Переходная зона к «гидравлически шероховатым» трубам. Пристенный ламинарный слой равен (или меньше) высоте выступов шероховатости.

5. Зона больших чисел $Re > (500d)/k$ и, следовательно, интенсивной турбулентности. Трубы «гидравлически шероховатые». Коэффициент λ не зависит от Re и является функцией только k/d .

Как показали более поздние исследования, результаты экспериментов Никурадзе для «гидравлически шероховатых» труб нельзя перенести на трубы с естественной шероховатостью. Оказалось, что в четвертой и пятой зонах общий характер зависимости (3) сохраняется, но вид кривых на графике для различных типов шероховатостей получается различным, т. е. на λ влияет не только величина k/d , но и характер шероховатости стенок труб. Для реальных технических труб с естественной шероховатостью для определения λ в четвертой зоне может быть рекомендована формула Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

а для пятой зоны — формула Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0,125} \quad (7)$$

Здесь k_s — эквивалентная абсолютная шероховатость, т. е. такая равномерная зернистая шероховатость Никурадзе, которая при расчетах дает такой же коэффициент λ , как и естественная шероховатость.

Отметим, что при малых Re ($< 10d/k$) формула (6) переходит в формулу (5) для гидравлически гладких труб, а при больших Re ($> 500d/k$) обращается в формулу (7) для вполне «гидравлически шероховатых» труб.

Вместо расчетных формул (5), (6) и (7) для определения λ можно пользоваться графиком Г. А. Мурина.

Истечение жидкости через отверстия и насадки

Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. Коэффициенты сопротивления, сжатия, скорости, расхода. Истечение жидкости через цилиндрический насадок. Насадки различного типа. Истечение при переменном напоре. Понятие о струйной технике.

Методические указания

Отверстие называется малым, если можно пренебречь изменением давления по его площади. Насадками называются небольшие по длине трубы $\sim l = (3 \dots 6)d$, присоединенные к таким отверстиям. Прежде всего, следует уяснить характер и особенности движения жидкости в процессе истечения (сжатые струи, образование вакуума).

В гидравлике истечения через отверстия и насадки есть много общего. Скорость истечения и вытекающий расход рассчитываются по общим формулам, выведенным на основе уравнения Бернулли, причем потери при истечении

определяются как местные потери. Общими являются также гидравлические характеристики (коэффициенты расхода, скорости, сжатия, сопротивления).

Следует знать физический смысл коэффициентов сжатия, скорости и расхода, зависимость их числовых значений от типа и формы отверстий и насадков и от критерия Рейнольдса. Нужно также обратить внимание на то, что при $Re > 10^5$ влияние сил вязкостного трения на коэффициенты истечения практически отсутствует (квадратическая зона сопротивления). При этом коэффициенты истечения зависят только от формы отверстий и насадков. Это позволяет с успехом использовать отверстия с острой кромкой и с насадками в качестве измерителей расхода.

При истечении при переменном напоре (опорожнение сосудов) расчетными являются формулы для определения времени опорожнения.

Неустановившееся движение жидкости

Неустановившееся движение несжимаемой жидкости в жестких трубах с учетом инерционного напора. Явление гидравлического удара. Формула Жуковского для прямого удара. Понятие о непрямом ударе. Способы ослабления гидравлического удара.

Методические указания

Интегрирование дифференциального уравнения неустановившегося движения жидкости в напорном трубопроводе в предположении, что трубы обладают абсолютно жесткими стенками, а жидкость несжимаема, приводит к уравнению Бернулли с инерционным членом. Инерционный член учитывает напор, затраченный на преодоление локальных сил инерции, т. е. сил инерции, обусловленных ускорением (или замедлением) всего объема жидкости в трубопроводе. В случае плавно изменяющегося движения локальные ускорения определяются по изменению средних скоростей в сечениях потока. Для параллельно-струйного движения (трубопровод постоянного сечения) локальное ускорение в каждый момент времени одинаково для всех сечений потока, т. е. жидкость условно представляется как твердое тело.

Если ускорения в потоке достаточно велики, то предположение о неупругости системы становится неприемлемым. Учет упругих свойств жидкости и стенок трубопровода приводит к рассмотрению процесса распространения вдоль трубопровода упругих волн деформации и связанных с ними волн резкого повышения и понижения давления, приводит к явлению гидравлического удара.

Гидравлическим ударом называется повышение или понижение давления в напорном трубопроводе, вызванное изменением во времени (в некотором сечении трубопровода) скорости движения жидкости. Явление гидравлического удара

было теоретически и экспериментально изучено в конце XIX в. Н. Е. Жуковским в связи с многочисленными авариями московского водопровода.

Гидравлический удар чаще всего возникает в случае быстрого закрытия или открытия затвора, управляющего потоком в трубопроводе. Различают прямой удар, когда время закрытия затвора меньше фазы гидравлического удара (время пробега ударной волны от затвора к резервуару и обратно), и не прямой удар, при котором время закрытия затвора больше фазы гидравлического удара.

Формула Н. Е. Жуковского $p = \rho C v$ дает зависимость величины ударного повышения давления p от плотности жидкости ρ , скорости распространения ударной волны C , уменьшения скорости в трубе перед краном вследствие его закрытия v . Формула применима для расчета прямого и непрямого удара и учитывает как сжатие жидкости, так и растяжение стенок трубы при ударном повышении давления.

После уяснения физической сущности гидравлического удара и методов его расчета следует рассмотреть меры борьбы с ним.

Таблица 1. Номера задач в контрольных работах

Последняя цифра шифра	При выполнении одной контрольной работы	При выполнении двух контрольных работ		При выполнении трех контрольных работ		
		в первой	во второй	в первой!	во второй	в третьей
0	1, 7, 10, 22, 28, 31	1, 7, 10, 19	22, 28, 31, 34	1, 7, 10, 13, 16	22, 25, 28	31, 34, 37
1	2, 8, 11, 23, 29, 32	2, 8, 11, 20	23, 29, 32, 35	2, 8, 11, 14, 17	23, 26, 29	32, 36, 38
2	3, 9, 12, 24, 30, 33	3, 9, 12, 21	24, 30, 33, 36	3, 9, 12, 15, 18	24, 27, 30	33, 34, 39
3	4, 13, 14, 25, 28, 34	4, 7, 13, 19	25, 30, 36, 37	4, 9, 10, 14, 19	22, 26, 30	33, 35, 39
4	5, 15, 18, 26, 29, 35	5, 8, 14, 20	26, 29, 35, 38	5, 7, 11, 15, 20	23, 27, 28	31, 36, 37
5	6, 7, 16, 27, 30, 36	6, 9, 15, 21	27, 28, 34, 39	6, 8, 12, 13, 21	24, 25, 29	32, 34, 38
6	1, 8, 17, 22, 30, 40	1, 7, 16, 19	22, 30, 32, 34	1, 8, 10, 15, 16	22, 27, 29	31, 36, 38
7	2, 9, 19, 23, 28, 41	2, 8, 17, 20	23, 28, 33, 35	2, 9, 11, 13, 17	23, 25, 30	32, 34, 39
8	4, 14, 20, 24, 29, 40	4, 19, 18, 21	24, 29, 31, 36	4, 7, 12, 14, 18	24, 26, 28	33, 35, 37
9	6, 18, 21, 25, 30, 41	6, 8, 13, 20	25, 29, 34, 37	6, 9, 11, 13, 20	23, 27, 29	31, 34, 38

Примечание. Студенты-заочники специальности 16.03.03, 15.03.05 решают задачи из выделенного столбца

ЗАДАЧИ

1. Определить величину и направление силы F , приложенной к штоку поршня для удержания его на месте. Справа от поршня находится воздух, слева от поршня и в резервуаре, куда опущен открытый конец трубы, — жидкость Ж (рис. 1). Показание пружинного манометра — p_m .

2. Паровой прямодействующий насос подает жидкость Ж на высоту H (рис. 2). Каково абсолютное давление пара, если диаметр парового цилиндра

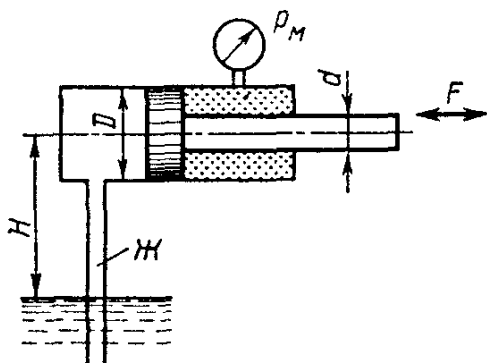


Рис. 1

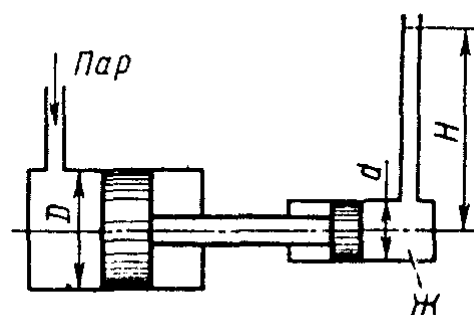


Рис. 2

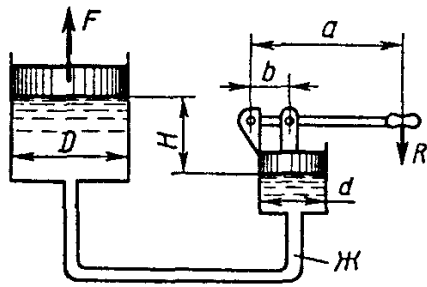
D , а насосного цилиндра d ? Потерями на трение пренебречь.

3. Определить силу прессования F , развиваемую гидравлическим прессом, у которого диаметр большего плунжера - D , диаметр меньшего плунжера - d . Большой плунжер расположен выше меньшего на величину H ; рабочая жидкость - Ж, усилие, приложенное к рукоятке, - R (рис. 3).

4. Замкнутый резервуар разделен на две части плоской перегородкой, имеющей квадратное отверстие со стороной a , закрытое крышкой (рис. 4). Давление над жидкостью Ж в левой части резервуара определяется показаниями манометра p_m , давление воздуха в правой части - показания мановакуумметра. Определить величину и точку приложения результирующей силы давления на крышку.

Указание. Эксцентриситет e центра давления для результирующей силы может быть определен по выражению

$$e = \frac{I_e}{\left(h_{ум} + \frac{\Delta p}{\gamma} \right) S},$$



где $\Delta p = p_m - p_e$

Рис. 3

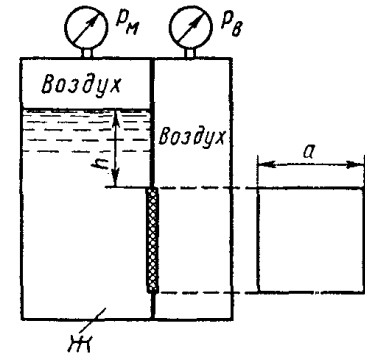


Рис. 4

5. Шар диаметром D наполнен жидкостью Ж. Уровень жидкости в пьезометре, присоединенном к шару, установился на высоте H от оси шара. Определить силу давления на боковую половину внутренней поверхности шара (рис. 5). Показать на чертеже вертикальную и горизонтальную составляющие, а также полную силу давления.

6. Определить силу давления на коническую крышку горизонтального цилиндрического сосуда диаметром D , заполненного жидкостью Ж (рис. 6). Показание манометра в точке его присоединения - p_m . Показать на чертеже

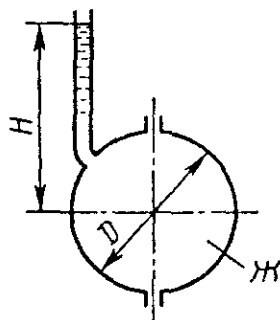


Рис. 5

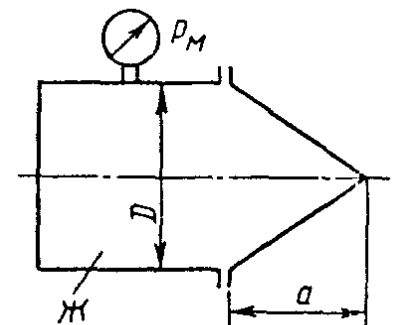


Рис. 6

вертикальную и горизонтальную составляющие, а также полную силу давления.

7. При истечении жидкости из резервуара в атмосферу по горизонтальной трубе диаметра d и длиной $2l$ уровень в пьезометре, установленном посередине длины трубы, равен h (рис. 7). Определить расход Q и коэффициент гидравлического трения трубы λ , если статический напор в баке постоянен и равен H . Построить пьезометрическую и напорную линии. Сопротивлением входа в трубу пренебречь.

8. Жидкость Ж подается в открытый верхний бак по вертикальной трубе длиной l и диаметром d за счет давления воздуха в нижнем замкнутом резервуаре (рис. 8). Определить давление p воздуха, при котором расход будет равен Q . Принять коэффициенты сопротивления: вентиля $\xi_e = 8,0$;

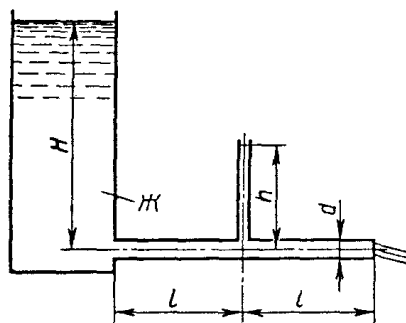


Рис.7

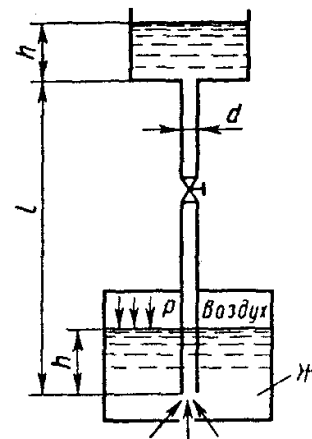


Рис.8

входа в трубу $\xi_{вх} = 0,5$; выхода в бак $\xi_{вых} = 1,0$. Эквивалентная шероховатость стенок трубы $k_s = 0,2$ мм.

9. Поршень диаметром D движется равномерно вниз в цилиндре, подавая жидкость Ж в открытый резервуар с постоянным уровнем (рис. 9). Диаметр трубопровода d , его длина l . Когда поршень находится ниже уровня жидкости в резервуаре на $H=0,5$ м, потребная для его перемещения сила равна F . Определить скорость поршня и расход жидкости в трубопроводе. Построить напорную и пьезометрическую линии для трубопровода. Коэффициент гидравлического трения трубы принять $\lambda = 0,03$. Коэффициент сопротивления входа в трубу $\xi_{вх} = 0,5$. Коэффициент сопротивления выхода в резервуар $\xi_{вых} = 0,5$.

10. Определить диаметр трубопровода, по которому подается жидкость Ж с расходом Q , из условия получения в нем максимально возможной скорости при сохранении ламинарного режима. Температура жидкости $t=20^\circ\text{C}$.

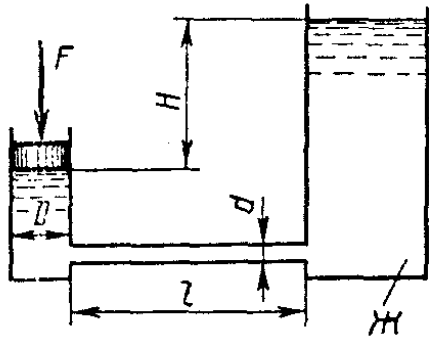


Рис. 9

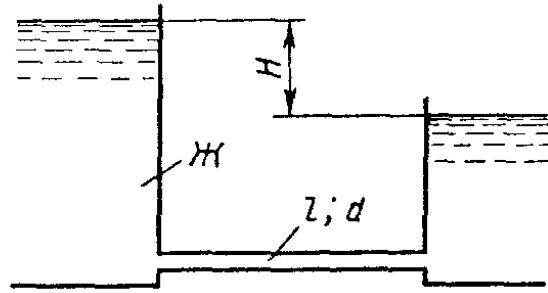


Рис. 10

11. При ламинарном режиме движения жидкости по горизонтальному трубопроводу диаметром $d=30$ см расход равнялся Q , а падение пьезометрической высоты на участке длиной l составило h . Определить кинематический и динамический коэффициенты вязкости перекачиваемой жидкости.

12. По трубопроводу диаметром d и длиной l движется жидкость Ж (рис. 10). Чему равен напор H , при котором происходит смена ламинарного режима турбулентным? Местные потери напора не учитывать. Температура жидкости $t=20^\circ\text{C}$.

Указание. Воспользоваться формулой для потерь на трение при ламинарном режиме (формула Пуазейля).

13. На поршень диаметром D действует сила F (рис. 11). Определить скорость движения поршня, если в цилиндре находится вода, диаметр отверстия в поршне d , толщина поршня a . Силой трения поршня о цилиндр пренебречь, давление жидкости на верхнюю плоскость поршня не учитывать.

14. Определить длину трубы l , при которой расход жидкости из бака будет в два раза меньше, чем через отверстие того же диаметра d . Напор над отверстием равен H . Коэффициент гидравлического трения в трубе принять $\lambda = 0,025$ (рис. 12).

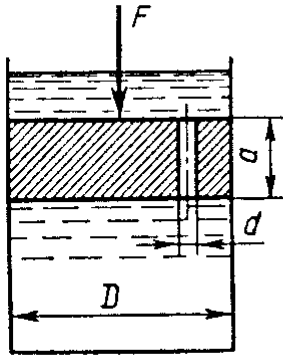


Рис. 11

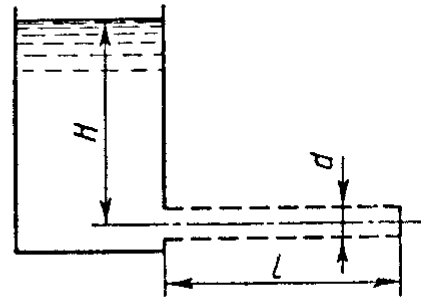


Рис. 12

15. Определить длину трубы l , при которой опорожнение цилиндрического бака диаметром D на глубину H будет происходить в два раза медленнее, чем через отверстие того же диаметра d . Коэффициент гидравлического трения в трубе принять $\lambda = 0,025$ (рис. 12).

Указание. В формуле для определения времени опорожнения бака коэффициент расхода μ выпускного устройства определяется его конструкцией. Для трубы

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}}}$$

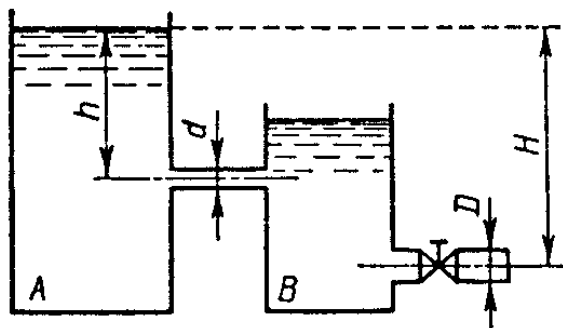
где ξ — суммарный коэффициент местных сопротивлений.

16. Определить диаметр горизонтального стального трубопровода d длиной $l=20$ м, необходимый для пропуска по нему воды в количестве Q , если располагаемый напор равен H . Эквивалентная шероховатость стенок трубы $k=0,15$ мм.

Указание. Для ряда значений d и заданного Q определяется ряд значений потребного напора H_n . Затем строится график $H_n=f(d)$, и по заданному H определяется D .

17. Из бака А, в котором поддерживается постоянный уровень, вода протекает по цилиндрическому насадку диаметром d в бак В, из которого сливается в атмосферу по короткой трубе диаметром D , снабженной краном (рис. 13). Определить наибольшее значение коэффициента сопротивления крана ξ , при котором истечение из насадка будет осуществляться в атмосферу. Потери на трение в трубе не учитывать.

18. При внезапном расширении трубопровода скорость жидкости в трубе большего диаметра равна v . Отношение диаметров труб $D/d=2$ (рис. 14).



Определить h — разность показаний пьезометров.

Рис. 13

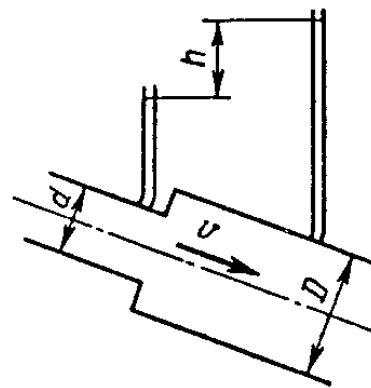


Рис. 14

19. Горизонтальная труба служит для отвода жидкости Ж в количестве Q из большого открытого бака (рис. 15). Свободный конец трубы снабжен краном. Определить ударное повышение давления в трубе перед краном, если диаметр трубы d , длина l , толщина стенки δ , материал стенки — сталь. Кран закрывается за время $t_{зак}$ по закону, обеспечивающему линейное уменьшение скорости жидкости в трубе перед краном в функции времени.

20. Вода в количестве Q перекачивается по чугунной трубе диаметром d , длиной l с толщиной стенки δ . Свободный конец трубы снабжен затвором. Определить время закрытия затвора при условии, чтобы повышение давления в трубе вследствие гидравлического удара не превышало $\Delta p = 1$ МПа. Как повысится давление при мгновенном закрытии затвора?

21. Определить время закрытия задвижки, установленной на свободном конце стального водопровода диаметром D , длиной l , с толщиной стенки δ , при условии, чтобы максимальное повышение давления в водопроводе было в три раза меньше, чем при мгновенном закрытии задвижки. Через сколько времени после мгновенного закрытия задвижки повышение давления распространится до сечения, находящегося на расстоянии $0,7l$ от задвижки?

Таблица 2. Числовые значения величин

№ за да чи	Наименование величины и единицы	Предпоследняя цифра шифра зач. книжки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	Ж	Вода	Керосин	Бензин	Масло трансформаторное	Нефть	Масло турбинное	Глицерин	Спирт	Керосин	Бензин
	Р, МПа*	0,02	0,08	0,07	0,08	0,05	0,10	0,02	0,02	0,10	0,05
		(вак.)	(изб.)	(абс.)	(абс.)	(вак.)	(абс.)	(вак.)	(изб.)	(абс.)	(изб.)
	Н, м	5	6	7	8	6	5	5	8	7	6
	D, мм	100	200	300	120	140	160	180	200	180	160
	d, мм	50	100	140	60	70	80	90	100	90	80
2	Ж	Нефть	Бензин	Керосин	Вода	Масло трансформаторное	Глицерин.	Вода	Керосин	Масло турбинное	Бензин
	Н, м	10	20	30	40	30	20	10	50	45	30
	D, мм	300	200	100	300	140	160	180	200	180	160
	d, мм	150	100	50	150	70	90	80	90	100	90
3	Ж	Масло трансформаторное	Вода	Глицерин	Вода	Масло турбинное	Масло трансформаторное	Вода	Масло турбинное	Вода	Глицерин
	R, Н	50	100	150	200	250	200	150	100	50	100
	Н, м	2	1	1,5	2	3	1,5	2	3	1	1,5
	D, мм	500	600	700	600	500	400	350	400	300	200
	d, мм	120	150	180	150	120	100	90	100	75	50
	a, мм	700	700	1000	700	800	500	600	650	500	400

	b,мм	70	80	100	80	70	60	55	55	45	45
4	Ж	Вода	Бензин	Керосин	Вода	Масло трансформаторное	Глицерин	Нефть	Керосин	Масло турбинное	Бензин
	P, МПа	0,08	0,09	0,07	0,08	0,05	0,09	0,10	0,03	0,10	0,05
		(изб.)	(абс.)	(абс.)	(изб.)	(изб.)	(абс.)	(абс.)	(изб.)	(абс.)	(изб.)
	Pв, МПа	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
		(вак.)	(изб.)	(абс.)	(изб.)	вак.)	(изб.)	(вак.)	(изб.)	(вак.)	(изб.)
	a, мм	200	300	400	100	200	300	200	100	400	200
H, мм	500	3000	1300	500	500	400	500	300	600	300	

*Здесь и далее в табл.2 показание пружинного манометра рм, МПа; (вак.) – вакуум; (изб) - избыточное давление; (абс.) – абсолютное давление

Продолжение таблицы 2.

5	Ж	Бензин	Масло турбинное	Керосин	Вода	Глицерин	Масло трансформаторное	Вода	Керосин	Бензин	Нефть
	H,м	3	4	5	6	5	4	6	5	7	8
	D,мм	500	600	700	600	500	400	500	600	700	400
6	P, МПа	0,5	0,4	0,3	0,8	0,4	0,2	0,6	0,4	0,7	0,6
		(изб.)	(абс.)	(абс.)	(изб.)	(изб.)	(абс.)	(изб.)	(изб.)	(абс.)	(абс.)
	D,мм	1000	1500	2000	2500	2000	1500	1000	1500	2000	2500
7	a, мм	700	900	1200	1500	1200	900	700	1000	1300	1500
	H, м	10	10	7	8	7	9	10	9	8	7
	h, м	4,5	4,5	3	3,5	3	4	4,5	4	3,5	3
	l,м	46	4,5	3	6	4	4	5,2	6,7	4,65	2
8	d, мм	300	30	30	50	40	30	35	50	40	20
	ж	Вода	Масло	Бензин	Керосин	Глицерин	Вода	Масло	Вода	Бензин	Глицерин

			трансформаторное								
	Q, л/с	4	8	0,7	1,5	2,5	10	6	7,5	8	6
	l, м	6	8	10	6	8	10	12	8	6	15
	d, мм	50	70	20	40	40	80	60	70	70	60
9	Ж	Вода	Керосин	Бензин	Масло трансформаторное	Вода	Масло турбинное	Глицерин	Нефть	Бензин	Керосин
	F, Н	12400	27700	16700	12400	22000	5500	3100	1370	16700	8550
	D, мм	180	270	210	180	240	120	90	60	210	150
	d, мм	60	90	70	60	80	40	30	20	70	50
	l, м	18	27	21	18	24	12	9	6	21	15
10	Ж	Керосин	Бензин	Вода	Глицерин	Масло промышленное	Вода	Масло трансформаторное	Бензин	Вода	Керосин
	Q, л/с	0,72	0,21	0,29	251,3	14,4	0,29	8,66	0,21	0,29	0,72
11	Q, м ³ /с	0,259	0,285	0,306	0,330	0,352	0,376	0,400	0,424	0,447	0,470
	l, см	259	315	366	407	446	179	224	264	300	334
	h" см	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
12	Ж	Керосин	Масло веретенное	Вода	Масло веретенное	Керосин	Бензин	Вода	Керосин	Вода	Масло трансформаторное
	d, мм	20	50	10	60	30	10	8	25	12	80
	l, мм	500	20	400	34	1710	745	203	990	685	225
13	F, Н	4 · 10 ⁴	9 · 10 ⁴	7 · 10 ⁴	11 · 10 ⁴	3 · 10 ⁴	7 · 10 ⁴	20 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴	2 · 10 ⁴
	D, мм	200	300	250	300	200	150	350	200	200	250
	d, мм	10	15	12	14	16	10	15	12	14	16
	a, мм	45	60	55	50	70	15	20	20	25	30

14	H, м	6	5	4	5	6	5	4	8	7	6
	d, мм	30	50	70	90	70	50	40	60	80	70
15	H, м	6	7	8	4	5	6	5	4	5	6
	d, мм	70	30	50	70	90	70	50	40	60	80
16	Q, л/с	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,2	7,0	7,5	8,1
	H, м	3,4	5,2	7,5	10	13,5	17	21	25	30	35
17	d, мм	15	20	25	30	35	30	25	20	15	20
	D, мм	19	25	31	38	44	37	31	25	18,5	25
	h, см	35	40	45	50	55	52	42	38	36	40
	H, см	98	110	125	140	154	145	128	105	100	112
18	и, м/с	2	2,5	3,0	1,5	2,3	2,8	1,6	3,5	3,2	3,0
19	Ж	Бензин	Вода	Масло трансформаторное	Бензин	Глицерин	Керосин	Нефть	Масло трансформаторное	Масло трансформаторное	Вода
	Q, л/с	0,2	10	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	15
	d, мм	16	55	22	16	16	18	16	10	20	70
	l, м	20	1000	50	25	20	25	25	10	50	1500
	b, мм	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3
t зак,	0,5	2,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,2	0,6	2,0	
20	Q,	0,352	1,41	3,18	5,66	8,85	12,7	8,85	5,66	3,18	1,41
	d, мм	50	100	150	200	250	300	250	200	150	100
	l, м	1200	1400	1600	2000	1500	1100	1300'	1500	1700	1200
	b, мм	7	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5
21	d, мм	100	150	200	250	300	250	200	150	100	50
	l, м	1900	1700	1850	1750	1450	1900	1600	1800	1500	2000
	b, мм	7	8	8	10	12	11	10	9	8	6