

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 09:48:37

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Инженерные системы зданий и сооружений
(Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики)»

Направление 08.03.01 «Строительство»
Направленность (Профиль) "Городское строительство и хозяйство"

ПЯТИГОРСК, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	
1. Лабораторная работа №1.Водопотребление. Системы водоснабжения.....	
2.Лабораторная работа №2.Системы забора, подачи и распределения воды.....	
3. Лабораторная работа №3. Системы подачи и распределения воды.....	
4. Список литературы.....	

ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики» является передача студентам основных теоретических сведений из области проектирования и расчета современных гидравлических систем жизнеобеспечения.

Выполнение лабораторных работ способствует более глубокому пониманию дисциплины и помогает студенту приобрести практические навыки при работе с инженерными системами зданий.

Перед началом проведения опытов студент должен нарисовать в рабочей тетради схему установки, подготовить необходимые таблицы для записи показаний приборов.

Проделав необходимые измерения и выполнив требуемые расчеты, студент должен составить отчет о работе, где помещается краткое описание установки и проведения опытов, основные формулы, результаты опытов, анализ полученных результатов и соответствующие выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Водопотребление. Системы водоснабжения

1.1 Цель работы. Понять основные свойства жидкости.

1.2 Основные свойства жидкостей.

Жидкости по своим механическим свойствам разделяются на два класса: мало сжимаемые (капельные) и сжимаемые (газообразные). С позиций физики капельная жидкость значительно отличается от газа, с позиций механики жидкости различие между ними не так велико, и законы справедливые для капельных жидкостей, могут быть приложены также и к газам, когда их сжимаемостью можно пренебречь.

Капельные жидкости обладают определенным объемом, который практически не

изменяется под действием сил. Газы, занимая все предоставленное им объем, могут значительно изменять объем, сжимаясь и расширяясь под действием сил. Таким образом, капельные жидкости легко изменяют форму (в отличие от твердых тел), но с трудом изменяют объем, а газы легко изменяют как объем, так и форму.

Основной механической характеристикой жидкостей является плотность. Плотностью называют массу жидкости, заключенную в единице объема. Для однородной жидкости

$$\rho = m / V, \text{ кг/м}^3,$$

m - масса жидкости в объеме V .

Рассмотрим основные физические свойства жидкости.

1.21. Сжимаемость, или свойство жидкости изменять свой объем под действием давления и характеризуется коэффициентом β_p объемного сжатия,

который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу давления, т.е.

$$\alpha_p = - \frac{V - V_0}{V_0} \cdot \frac{1}{P - P_0}, \text{ м}^2/\text{Н}.$$

Знак «минус» обусловлен тем, что положительному приращению давления P соответствует отрицательное приращение (т.е. уменьшение) объема жидкости V .

Тогда плотность в зависимости от давления P будет равна

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \beta(P - P_0)}, \quad (1.2)$$

где ρ_0 и ρ значения плотности при давлениях P_0 и P .

Величина обратная коэффициенту α_p представляет собой объемный модуль упругости K , который равен

$$K = 1/\alpha_p = \rho a^2, \text{ Н/м}^2,$$

где a – скорость распространения волн давления в упругой среде. Она равна скорости звука в этой среде. При температуре 20°C скорость распространения звука в воздухе равна 330 м/с, в воде – 1480 м/с. Для капельных жидкостей модуль K уменьшается с увеличением температуры и возрастает с повышением давления. Для воды он при атмосферном давлении приблизительно равен $2 \cdot 10^9$ Па. Следовательно, при увеличении давления на 1 атмосферу объем воды уменьшится всего на 1/20000 часть.

Как следует из формулы (1.2) при повышении давления воды, например до 400 атм, ее плотность повышается лишь на 2%. Поэтому в большинстве случаев капельные жидкости можно считать несжимаемыми, т.е. принимать их плотность не зависящей от давления.

1.2.2. Температурное расширение характеризуется коэффициентом α_t объемного расширения, который представляет собой среднее (в данном интервале температур) относительное

изменение объема при изменении температуры на 1 °С, т.е.

$$\alpha_t = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot \frac{1}{T - T_0}, \text{ 1/}^\circ\text{C}.$$

Тогда плотность

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta(T - T_0)}, \quad (1.3)$$

где ρ_0 и ρ значения плотности при температурах T_0 и T . Зависимость плотности воды от температуры показана в таблице 1.3. Для сравнения плотность простейшего представителя класса гликолей – этилен гликоля (ГОСТ 19710 – 83) при 20°C равна 1112 кг/м³.

Таблица 1.21.

Температура, °C	4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	15	20	25	30
Плотность воды, кг/м³	1000	999,8	998,2	995,7	992,2	988,1	982,8	976,2	968,4	959,6	950,0	917,7	899,9	871,8	840,0

Способность жидкостей менять плотность при изменении температуры широко используется для создания естественной циркуляции в котлах, отопительных системах и т.д.

Определим насколько увеличится объем жидкости при ее нагреве от температуры t_1 до температуры t_2 . При нагреве масса жидкости остается постоянной, т.е. $m_{t1} = m_{t2}$ или

$$\Delta_{t1} V_{t1} = \Delta_{t2} V_{t2}. \quad (1.4)$$

Но объем жидкости увеличился и стал равным $V_{t2} = V_{t1} + \Delta V$. Подставляя это выражение в уравнение (1.4) получаем, что объем жидкости увеличился на величину

$$\Delta V = V_{t1} \left(\frac{\rho_{t1}}{\rho_{t2}} - 1 \right). \quad (1.5)$$

Расширение жидкости должно учитываться при проектировании отопительной системы. Во всех системах, в которых возможен нагрев жидкости, необходимо предусмотреть установку емкости, в которую при нагреве поступает расширяющаяся часть жидкости. Это может быть или расширительный бак, соединенный с атмосферой и устанавливаемый в наивысшей точке отопительной системы, или закрытый баллон, изолированный от атмосферы, полость которого разделена мембраной на воздушную полость и полость для расширяющейся жидкости. Он устанавливается, как правило, в возвратном трубопроводе в любом доступном для монтажа и эксплуатации месте. Замкнутому баллону последнее время отдается предпочтение, т.к. он имеет следующие преимущества по сравнению с открытым расширительным баком:

- В системах с закрытым баллоном отсутствует испарение и поэтому они не требуют подпитки воды,
- Отсутствие коррозии и засоления трубопроводов из-за отложения солей в воде,
- В такие системы может добавляться жидкость против замерзания и антикоррозионные добавки. В системы с расширительным баком из-за испарения нельзя добавлять такие добавки из-за возможного вредного влияния при их испарении. Поэтому системы с расширительным баком требуют изоляции в случае возможных низких температур.
- Расширительный бак необходимо устанавливать в наивысшей точке системы, что требует дополнительных затрат на его установку.

1.3. Рассмотрим различные варианты подключения расширительных элементов.

Вариант 1

В систему отопления залили 350 литров воды при 10°C . На сколько увеличится объем?

жидкости после ее нагрева до 90°C и расширительный бачок, какого объема следует выбрать,

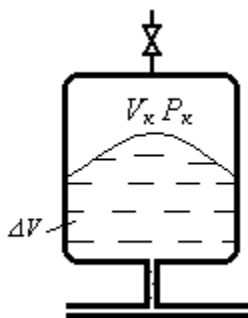
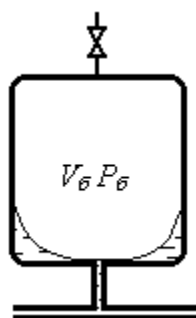
чтобы компенсировать температурное расширение такого объема жидкости?

Пользуясь таблицей 1.3 и уравнением (1.5) получаем, что объем воды, находящейся в системе увеличится на $\Delta V = V_1 (\alpha_1 / \alpha_2 - 1) = 350 (999/965 - 1) = 12.3$ литра.

Т.е. в отопительной системе следует предусмотреть расширительный бак объемом не менее указанного.

Вариант 2

Определим объем мембранного баллона, который следует установить в отопительную систему. Пусть в баллоне объемом V_6 перед установкой в



систему давление равно P_6 , при этом практически весь объем баллона занят воздухом (рис. 1.1 а). В результате

температурного расширения вода поступает в

баллон и занимает объем ΔV , сжимая воздух до объема V_k с давлением P_k .

Процесс сжатия воздуха в баллоне

сопровождается выделением тепла, которое передается окружающей среде.

При этом наблюдается лишь незначительное увеличение температуры

а) воздуха в баллоне. Поэтому процесс сжатия воздуха в баллоне можно считать изотермическим.

Рис. 1.1. К определению объема мембранного баллона

Запишем

1.3.1 Определим объем для системы отопления. Анализируют полученные результаты и делают вывод для чего устанавливается расширительный бак в системах отопления.

1.3.2 Определим объем мембранного баллона в отопительной установке.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов заносим в таблицы

Номер измерения	V_1	ΔV
1		
2		
...		
Средние значения		

Запишем уравнение Бойля – Мариотта для этого процесса сжатия:

$$V_{\delta} P_{\delta} = V_{\kappa} P_{\kappa} \text{ или } V_{\delta} = V_{\kappa} \frac{P_{\kappa}}{P_{\delta}}.$$

Но так как $V_{\kappa} = V_{\delta} - \Delta V$ тогда

$$V_{\delta} = \frac{\Delta V}{1 - \frac{P_{\delta}}{P_{\kappa}}} \quad (1.6)$$

Из этой формулы следует, что если $1 - P_{\delta}/P_{\kappa} \rightarrow 0$ или $P_{\delta}/P_{\kappa} \rightarrow 0$, что равноценно $P_{\delta} \rightarrow 0$ или $P_{\kappa} \rightarrow \infty$, то объем мембранного баллона будет минимальным и равным ΔV , т.е. объему расширенной жидкости.

Первоначальное давление в баллоне P_{δ} всегда больше единицы.

В результате расширения жидкости давление P_{κ} увеличивается, но оно не должно быть больше максимального допустимого давления, которое может выдержать баллон из условия его прочности. Увеличение допустимого давления в баллоне достигается увеличением толщины его стенок, и значит увеличением его веса. Для того, чтобы гарантировано не превысить давление P_{κ} , устанавливают предохранительный клапан на баллон. Таким образом, давление P_{κ} – это давление на которое настроен предохранительный клапан, чтобы обеспечить безаварийную работу баллона и оно имеет конечную величину. Поэтому объем мембранного баллона всегда больше объема расширенной жидкости.

В качестве сравнения рассмотрим ту же систему отопления, что и в варианте 1, т.е. систему, в которую залили 350 литров воды при 10°C. Следует определить объем мембранного баллона, чтобы компенсировать температурное расширение объема жидкости после ее нагрева до 90 °C. Начальное давление в баллоне P_{δ} равно 2.5 атм (абсолютное = атмосферное + избыточное), давление настройки предохранительного клапана $P_{\kappa} = 3.5$ атм (абсолютное = атмосферное + избыточное).

Из ранее рассмотренного варианта объем расширенной жидкости равен $\Delta V = 12.3$ л. Из уравнения (1.6) получаем, что объем мембранного баллона равен

$$V_{\delta} = \frac{\Delta V}{1 - \frac{P_{\delta}}{P_{\kappa}}} = 12.3 / [1 - (2.5/3.5)] = 43.1 \text{ л.}$$

Т.е. в отопительной системе следует предусмотреть мембранный баллон объемом почти в 3.5 раза большим объема расширительного бака. В противном случае отопительная система может быть разорвана силами температурного расширения жидкости.

Делают вывод о соответствии нагреваемой температуры и объема жидкости.

Выводы

А. Объем расширительного бака или замкнутого мембранного баллона

должен быть больше объема расширенной воды при максимальной температуре отопительной системы.

Б. Величина объема расширительного бака зависит от диапазона изменения температуры нагрева жидкости.

В. Величина объема замкнутого мембранного баллона зависит от диапазона изменения температуры нагрева жидкости и соотношения давлений P_6/P_k .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Системы забора, подачи и распределения воды

1.1 Цель работы. Определить экспериментальным путем основные свойства жидкости.

1.2 Основные теоретические сведения.

Сопротивление растяжению внутри капельных жидкостей по молекулярной теории может быть значительным до 10000 атм. Однако любые даже технически чистые жидкости содержат взвешенные твердые частицы и пузырьки газов и не выдерживают даже незначительных напряжений растяжения. Например, требуется поднять жидкость из скважины с большой глубины. В этом случае под действием веса жидкости, находящейся в поднимающемся трубопроводе, жидкость разрывается с образованием газовых полостей. Поэтому считается, что напряжение растяжения в капельных жидкостях невозможны.

Вязкостью называется свойство жидкостей оказывать сопротивление сдвигу. Она проявляется в виде внутреннего трения при относительном перемещении смежных частиц жидкости. Таким образом, вязкость характеризует степень текучести жидкости или подвижность ее частиц. Вязкость есть свойство, противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и др.) являются менее текучими и наоборот.

Касательное напряжение τ - это касательная составляющая напряжений, действующего на жидкость. В то время как, давление – это нормальное к площади напряжение. Касательное напряжение в жидкости, как результат ее вязкости, зависит от рода и характера течения и изменяется прямо пропорционально поперечному градиенту скорости $\frac{dv}{dy}$ и равно

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}, \text{ Н/м}^2$$

где η - коэффициент динамической или абсолютной вязкости. Поперечный градиент скорости $\frac{dv}{dy}$ определяет собой изменение скорости, приходящееся на единицу длины в направлении y , т.е. перпендикулярно направлению течения жидкости и, следовательно, характеризует интенсивность сдвига слоев жидкости в данной точке.

Коэффициент динамической вязкости в системе СИ имеет размерность $\text{Па}\cdot\text{с}$ или $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, или $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$. Широко используется размерность *пуаз*, при этом $1 \text{ пуаз} = 1 \text{ дин}\cdot\text{с}/\text{см}^2 = 0.1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Наряду с динамическим коэффициентом вязкости η применяют еще так называемый кинематический коэффициент вязкости

$$\nu = \eta / \rho, \text{ м}^2/\text{сек}. \quad (1.7)$$

В качестве единицы измерения кинематического коэффициента вязкости употребляется также *Строкс* $= 1 \text{ см}^2/\text{сек} = 100 \text{ сСтрокса} = 100 \text{ сСт}$.

Вязкость капельных жидкостей при увеличении температуры уменьшается, а вязкость газов возрастает. Вода принадлежит к наименее вязким жидкостям. Лишь немногие из практически используемых жидкостей (эфир, спирт) имеют меньшую вязкость, чем вода.

В таблице 1.4 показаны значения вязкости воды от температуры.

Таблица 1.4.

Температура $t, ^\circ\text{C}$	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150
η , 10^{-6} $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$	151 8	130 7	100 4	803	655	551	470	407	357	317	284	232	184
ν , 10^{-6} м^2 /сек	1.5 2	1.3 1	1.0 1	0.8 1	0.6 6	0.5 6	0.4 8	0.4 2	0.3 7	0.3 3	0.3	0.2 5	0.2

Принято считать, что

нормальные *стандартные условия* это: давление $= 1 \text{ атм}$ и температура $= 20^\circ\text{C}$

нормальные *физические условия* это: давление $= 1 \text{ атм}$ и температура $= 0^\circ\text{C}$.

Тогда для стандартных условий динамическая вязкость воды равна $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, этиленгликоля – $0.0198 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, а кинематическая вязкость воды $1.01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 1 \text{ мм}^2/\text{с} = 1 \text{ сСт}$. При этих условиях этилен гликоль имеет кинематическую вязкость $0.018 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 0.018 \text{ сСт}$.

Вязкость жидкостей также зависит от давления, однако эта зависимость существенно проявляется лишь при относительно больших изменениях давления, порядка нескольких сотен атмосфер.

Молекулы жидкости, расположенные у поверхности контакта с другой жидкостью, газом или твердым телом, находятся в условиях, отличных от условий молекул, находящихся внутри объема. Внутри объема жидкости молекулы окружены со всех сторон такими же молекулами, вблизи поверхности – лишь с одной стороны, поэтому энергия поверхностных молекул отличается от энергии молекул, находящихся в объеме жидкости, на некоторую величину, силы *поверхностного натяжения*, стремящейся придать объему жидкости сферическую форму и вызывающей некоторое дополнительное давление в жидкости. Однако это давление заметно сказывается лишь на малых размерах и для сферических объемов (капель).

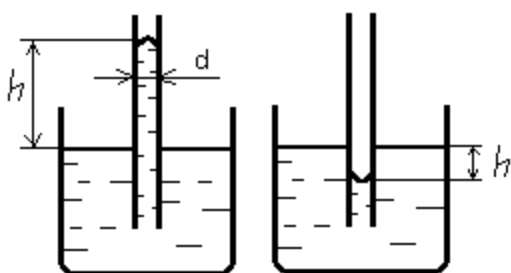
Влияние сил поверхностного натяжения приходится учитывать при работе с жидкостными приборами для измерения давления, при истечении

жидкости из малых отверстий/ при фильтрации/ образовании капель и в других случаях, когда прочие силы, действующие на жидкость (вес, давление) малы. Действительно в трубках малого диаметра возникает дополнительное давление, обусловленное поверхностным натяжением, которое вызывает подъем или опускание жидкости в ней относительно нормального уровня. Высота подъема (рис. 1.2) смачивающей жидкостью или опускание несмачивающей жидкости в трубке диаметром d определяют по формуле

$$h = k/d,$$

где коэффициент k имеет следующее значение: для воды + 30 мм², для ртути – 10.1 мм².

Это значит, что при замере давления с помощью трубочки диаметром 1 мм, мы будем мерить



давление на 30 мм Н₂О больше чем оно есть на самом деле, для ртути на 10 мм Нг меньше давление, чем оно есть на самом деле из-за того, жидкость в трубочках поднялась или опустилась из-за сил поверхностного натяжения. Поэтому

при измерениях

Рис. 1.2. Результат действия сил поверхностного натяжения для трубочек малого диаметра

следует применять трубки большого диаметра, когда силы поверхностного натяжения минимальны.

Теплоемкость – параметр, характеризующий способность среды или тела аккумулировать тепло. Количество энергии, передаваемое при тепловом взаимодействии тел, называется количеством тепла. В системе СИ теплота измеряется в *джоулях*. Однако она может измеряться и в *калориях*. Они связаны следующим соотношением 1 кал = 4.1868 Дж.

Удельная теплоемкость численно равна количеству тепла, которое необходимо сообщить телу единичной массы для повышения его температуры от $t^{\circ}\text{C}$ до $(t + 1)^{\circ}\text{C}$. Количество тепла, полученное телом массы m при увеличении его температуры на Δt равно

$$Q = c m \Delta t, \text{ Дж} \quad (1.8)$$

где c – удельная теплоемкость.

Теплоемкость зависит от условий нагревания. Теплоемкость при изобарическом процессе (нагревание происходит при постоянном давлении) называется теплоемкостью при постоянном давлении – c_p . Теплоемкость при изохорическом процессе (нагревание осуществляется при постоянном объеме) называется теплоемкостью при постоянном объеме – c_v . Всегда $c_p >$

c_v . Для веществ в твердом или жидком состоянии c_p и c_v отличаются незначительно. Поэтому в дальнейшем удельную теплоемкость будем обозначать как c .

Единицы измерения удельной теплоемкости: Дж/(кг $\cdot$ град К) или ккал/(кг $\cdot$ град К). В интервале от 0 $^{\circ}$ С до 100 $^{\circ}$ С удельная теплоемкость воды мало изменяется и ее можно принять равной 1 ккал/(кг $\cdot$ град К). Существенное увеличение удельной теплоемкости воды происходит при температуре более 200 $^{\circ}$ С.

Переход жидкости в газообразное состояние, происходящее с ее поверхности, называется *испарением*. Обратный переход называется *конденсацией*. *Испаряемость* свойственна всем каплевым жидкостям, однако интенсивность испарения неодинакова у различных жидкостей и зависит от условий, в которых они находятся.

Испарение, происходящее не только на поверхности, но и внутри жидкости, называется *кипением*. Кипение происходит всегда при постоянной (для данного внешнего

давления) температуре, которая называется температурой кипения. Испарение жидкости в

открытом сосуде может продолжаться до полного исчезновения жидкости. В закрытом

сосуде испарение жидкости продолжается до установления равновесия между массой вещества, находящегося в жидком состоянии и массой пара. При этом равновесии будут наблюдаться процессы испарения и конденсации, компенсирующие друг друга. Это так называемое динамическое равновесие. Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется *насыщенным*.

С повышением температуры увеличиваются давление и плотность насыщенного пара, а плотность жидкости уменьшается. Так будет продолжаться до такой температуры, при которой плотности их станут равными друг другу. При этом пропадет граница между ними.

Одним из показателей, характеризующим испаряемость жидкости является температура ее кипения при нормальном атмосферном давлении: чем выше температура кипения, тем меньше испаряемость жидкости.

В гидравлических системах работа насоса при нормальном атмосферном давлении является лишь частным случаем. Обычно приходится иметь дело с испарением, а иногда и кипением жидкостей при различных температурах и давлениях. Поэтому более полной характеристикой испаряемости является давление (упругость) насыщенных паров P_n , выраженное в функции от температуры. Давление, при котором закипает жидкость при данной температуре жидкости, называется *давлением насыщенного пара*. Чем больше давление насыщенных паров при данной температуре, тем больше испаряемость жидкости. С увеличением температуры давление P_n увеличивается. В таблице 1.5 приведены значения давления насыщенного пара для воды от температуры.

Таблица 1.5 (вода)

Температура, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150
$P_n, 10^{-3}$ атм	6.2	12.5	23.8	43.2	75.2	126	203	318	483	715	1030	2020	4850
$P_n, 10^2$ Па	6.08	12.3	23.4	42.4	73.8	123.6	199	312	474	701	1010	1982	4758

Давление насыщенных паров зависит не только от физико-химических свойств жидкости, но и от соотношения объемов жидкой и газо-паровой фаз. Давление насыщенных паров возрастает с увеличением части объема, занятого газовой фазой.

1.4. Понятие насыщенного пара или упругости паров очень важно для оценки кавитационных свойств насосов.

Растворимость газов в жидкостях происходит при всех условиях, но количество растворенного газа в единице объема жидкости различно для разных жидкостей и изменяется с увеличением давления. Во всех жидкостях имеется растворенный газ. Его относительный объем, растворенный в жидкости до полного ее насыщения, можно считать

прямо пропорциональным давлению, т.е.

$$V_2/V_{ж} = k (P_2/P_1),$$

где V_2 – объем растворенного газа в объеме жидкости $V_{ж}$ при нормальных стандартных условиях (давление = 1 атм, температура = 20°C), k – коэффициент растворимости.

Для стандартных условий коэффициент k имеет следующие значения: для воды - 0.016, для керосина – 0.127, для масла – 0.08. Т.е. при прочих равных условиях в керосине всегда растворено большее количество газов (воздуха). При атмосферном давлении в 1 м³ воды находится 0.016 м³ воздуха. При увеличении давления в два раза во столько же увеличивается количество растворенного воздуха в нем в том же объеме жидкости.

При понижении давления в жидкости или на входе в насос происходит выделение растворенного в ней газа. Причем газ выделяется из жидкости интенсивнее, чем растворяется в ней.

Это явление может отрицательно сказываться на работе насосов и гидравлических систем.

Примеры 1.2

Кинематическая вязкость жидкости равна 20 сСт. Рассчитать динамическую вязкость жидкости в единицах СИ и пуазах, приняв плотность равной 0.8 г/см².

$$\text{Кинематическая вязкость в единицах СИ } \eta = 20 \text{ сСт} = 20 \cdot 10^{-2} \frac{\text{см}^2}{\text{с}} = 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

$$\text{Динамическая вязкость в единицах СИ } \eta = \eta \cdot \rho = 0.8 \frac{10^{-3} \text{ кг}}{10^{-6} \text{ м}^3} 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

И т.к. 1 пуаз = 0.1 Па·с то $\eta = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с} = 0.16 \text{ Пуаз}.$

Задачи 1.4

1. Определить плотность смеси жидкостей, имеющей следующий состав: этилен гликоль – 40% объема, вода – 60% объема. Плотность гликоли $\rho_g = 1.1 \text{ г/см}^3$, воды 1 г/см^3 .

2. На сколько уменьшится объем воды при повышении давления с 1 атм до 100 атм, если первоначальный объем равен 50 л? Модуль объемной упругости воды $K = 20000 \text{ атм}$.

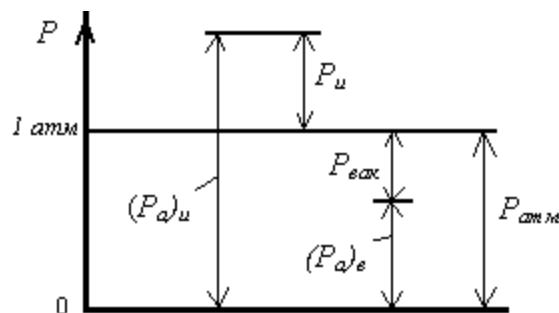
3. При гидроопрессовке сосуда объемом 1.2 м^3 давление в нем подняли с 1 до 500 атм. Определить объем воды, который необходимо дополнительно закачать в сосуд, если коэффициент объемного сжатия воды $\beta_p = 4.2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н}$.

Вопросы 1.4

1. Какова связь между кинематической и динамической вязкостью?
2. От чего зависит растворимость газов в жидкости?
3. Что называется давлением насыщенного пара жидкости? От чего оно зависит?

1.5. Основные уравнения статики и кинематики

Давление, отсчитываемое от нулевого значения, называют абсолютным давлением $(P_a)_u$ или $(P_a)_v$ (рис.1.3). Давление P_u , отсчитываемое и больше атмосферного давления $P_{атм}$, называется избыточным и



$$(P_a)_u = P_u + P_{атм} \quad (1.9)$$

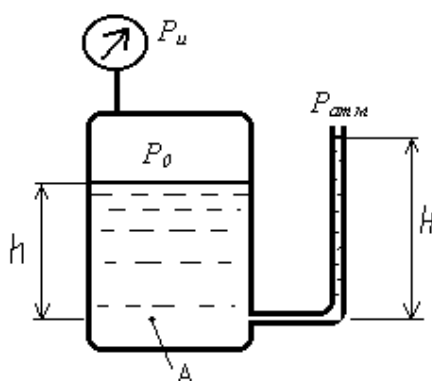
Если абсолютное давление меньше атмосферного, то разность между ними

называется вакуумом и

$$P_{вак} = P_{атм} - (P_a)_v \quad (1.10)$$

Рис. 1.3. К определению давления

Манометр всегда показывают избыточное давление, а вакуумметр – вакуум.



Уравнение гидростатики: давление P_A в произвольной точке А, расположенной на глубине h равно:

$$P_A = P_0 + \rho g h, \quad (1.11)$$

где P_0 – давление над свободной поверхностью

жидкости. Если жидкость заполняет сосуд, открытый в атмосферу, то абсолютное давление в любой точке будет равно

$$P_A = P_{атм} + \rho g H, \quad (1.12)$$

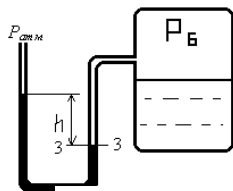
где H – глубина расположения точки A от свободной поверхности соединенной с атмосферой. Т.е.

$$P_A = P_0 + \rho g h = P_{атм} + \rho g H.$$

Рис. 1.4. К определению давления в любой точке резервуара

При этом манометр показывает избыточное давление $P_u = P_0 - P_{атм}$.

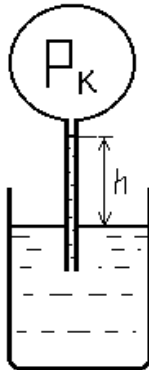
Примеры 1.5.1



1. Определить давление P_B в баке, наполненном газом и жидкостью, если разность уровня ртути в манометре $h = 0.3$ м. Плотность ртути $\rho_{Hg} = 13.6$ г/см³.

Решение. Запишем уравнение равновесия для сечения 3-3:

$$P_{3-3} = P_B = P_{атм} + \rho_{Hg} g h = 9.81 \cdot 10^4 + 13.6 \frac{10^{-3}}{10^{-6}} 9.81 \cdot 0.3 = 13.8 \cdot 10^4 \text{ Па} = 1.4 \text{ атм}$$



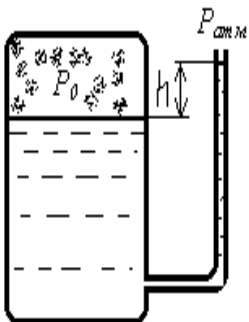
2. Определить на какую высоту поднимется вода в колбе, если абсолютное давление в ней $P_K = 9.3 \cdot 10^4$ Па.

Решение.

Условие равновесия жидкости для свободной поверхности $P_{атм} = P_K + \rho g h$. Отсюда

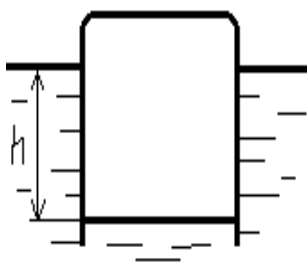
$$h = (P_{атм} - P_K) / \rho g = (9.81 - 9.3) \cdot 10^4 / 9.81 \cdot 10^3 = 0.51 \text{ м}$$

Задачи 1.3.1

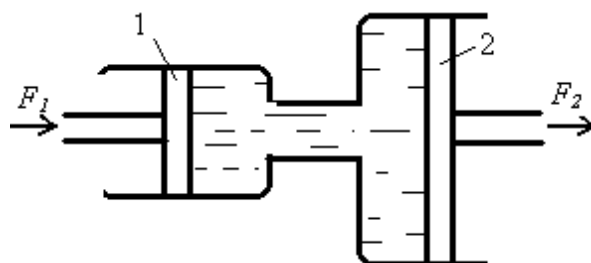


1. В закрытом сосуде находится газ и жидкость с плотностью $\rho_{Hg} = 13.6$ г/см³. С сосудом соединена пьезометрическая трубка. Определить давление газа в сосуде P_0 , если жидкость в трубке

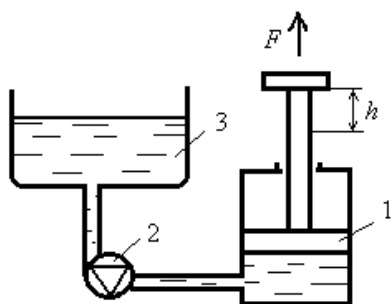
поднялась на высоту $h = 30$ см. Ответ дать в ата (абсолютное давление).



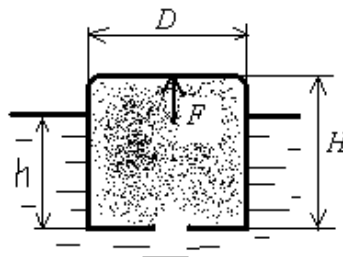
2. Полый тонкостенный цилиндр опустили в воду вверх дном. Цилиндр плавает так, что уровень воды внутри цилиндра находится на глубине $h = 20$ см от поверхности окружающей воды. Плотность воды 1000 кг/м^3 , вес цилиндра 2 кГ (20 Н). Определить площадь доньшка цилиндра.



3. Гидроусилитель состоит из двух цилиндров 1 и 2, соединенных трубкой. Площадь поршня $S_1 = 2 \text{ см}^2$. На него действует сила $F_1 = 50 \text{ кГ}$. Площадь поршня $S_2 = 20 \text{ см}^2$. Определить силу F_2 на втором гидроцилиндре и перемещение поршня, если первый поршень переместился на $h_1 = 5 \text{ см}$. Перемещение поршней считать бесконечно медленным.



4. Гидравлический подъемник развивает силу $F = 2000 \text{ кГ}$. Площадь поршня – 1 гидроцилиндра $S = 40 \text{ см}^2$. Какое давление должен обеспечить насос – 2, чтобы развить эту силу? Какова должна быть вместимость бака – 3, чтобы обеспечить подъем груза на высоту $h = 1 \text{ м}$?



5. Опрокинутый танк с нефтью плавает в воде. Диаметр танка $D = 5$ м, высота $H = 4$ м, вес 4000 кГ. Плотность нефти $\rho_n = 850$ кг/м³. Определить глубину его погружения h и силу F давления нефти на дно танка.

Вопросы 1.5.1

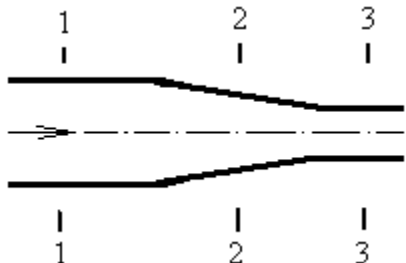
1. В чем заключается разность между напором и давлением?
2. Что называется абсолютным давлением, избыточным давлением и вакуумом?
3. Как записывается основное уравнение гидростатики?
4. Какова абсолютная возможная величина вакуума?
5. Чему равна пьезометрическая высота (в метрах H₂O для атмосферного давления)?
6. Чему равно давление жидкости на твердую поверхность?
7. Чему равна сила давления жидкости на плоскую поверхность?
8. Чем измеряют давление в жидкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Системы подачи и распределения воды

1.6. Уравнение постоянства расхода

Расходом называется количество жидкости, протекающее через сечение потока в единицу времени. Различают массовый $\dot{m}$ и объемный $\dot{V}$ расходы. Они связаны следующим соотношением



$$\dot{m} = \rho \dot{V}. \quad (1.13)$$

Одним из основных уравнений гидродинамики является уравнение постоянства расхода, который говорит: расход через сечения перпендикулярные оси трубопровода есть величина постоянная, т.е.

Рис. 1.6. Поперечное сечение трубопровода

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \text{const} = \rho_1 S_1 = \rho_2 S_2 = \rho_i S_i \quad (1.14)$$

где S_1 , S_2 и S_i – площади поперечных сечений трубопровода. $S_i = \pi D_i^2 / 4$, где D_i – диаметр i – ого сечения трубопровода; ρ_1 , ρ_2 и ρ_i – средние скорости течения жидкости в трубопроводе в сечениях 1, 2 и i – ом соответственно.

Из этого уравнения следует, что средние скорости в потоке несжимаемой жидкости обратно пропорциональны площадям сечений, т.е. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$.

Примеры 1.6.2.

Трубопровод диаметром $D = 100$ мм разветвляется на два трубопровода с

диаметрами d_1 и d_2 . Диаметр $d_1 = 50$ мм. Определить диаметр второго трубопровода, если после разветвления скорость в первом трубопроводе увеличилась в два раза, а во втором уменьшилась в два раза.

Решение: Запишем уравнение постоянства расходов для трубопроводов:

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \text{ или}$$

учитывая, что $\dot{V} = \omega S$ перепишем

$$\omega (\pi D^2)/4 = \omega_1 (\pi d_1^2)/4 + \omega_2 (\pi d_2^2)/4.$$

По условию задачи $\omega_1 = 2\omega$, $\omega_2 = 0.5\omega$. Тогда получаем $D^2 = 2d_1^2 + 0.5d_2^2$.

Откуда $d_2 = 100$ мм.

Задачи 1.6.2.

1. По трубопроводу диаметром $d = 200$ мм перекачивают керосин со скоростью $\omega = 8$ м/с. Определить массовый и объемный расход керосина.

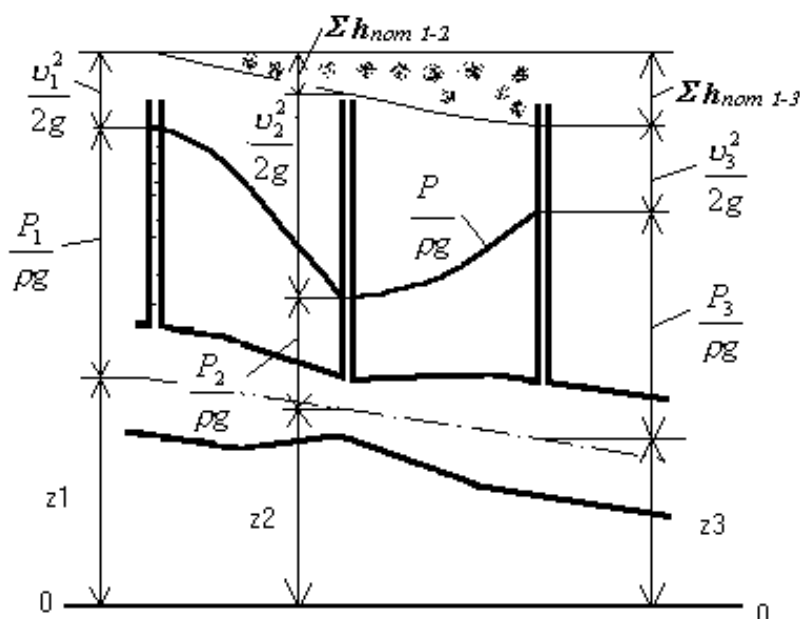
2. По трубе диаметром $d_1 = 600$ мм движется жидкость со скоростью $\omega_1 = 8$ м/с. Как изменится скорость движения на участке трубопровода с диаметром $d_2 = 300$ мм?

3. Уравнение Бернулли для вязкой жидкости для двух произвольно выбранных сечений трубопроводов выражает равенство энергий в этих двух сечениях, т.е.

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \omega h_{\text{ном } 1-2} \quad \text{или} \quad (1.15)$$

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} + \omega h_{\text{ном } 1-3},$$

где z_1 , z_2 и z_3 – высоты расположения сечений 1, 2 и 3 над произвольной горизонтальной плоскостью; ω_1 , ω_2 и ω_3 – средние скорости потока и P_1 , P_2 и P_3 – давления в сечениях 1, 2 и 3; $\omega h_{\text{ном } 1-2}$ и $\omega h_{\text{ном } 1-3}$ – потери энергии на участке 1–2 и 1–3, соответственно.



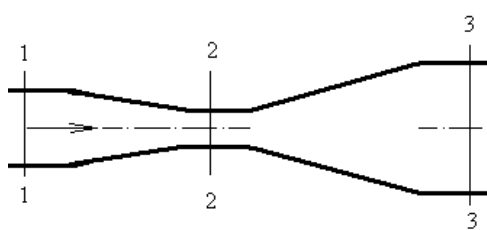
Это уравнение баланса энергии с учетом потерь. Т.е. сумма энергии положения – z_i , энергии давления $\frac{P_i}{\rho g}$, кинетической энергии $\frac{v_i^2}{2g}$ равна той же сумме энергий для второго (третьего) сечения с учетом всех потерь энергии на данном участке $\omega h_{\text{ном } 1-i}$.

Рис. 1.6. 2. Графическая интерпретация закона Бернулли

которая характеризует уменьшение механической энергии потока на участке между сечениями. На рис. 1.16 показана графическая интерпретация закона Бернулли. Энергия, теряемая жидкостью на рассмотренном участке течения, разумеется не теряется бесследно, а лишь превращается в другую форму – тепловую, которая непрерывно рассеивается, поэтому повышение температуры бывает практически незаметным.

Из уравнения Бернулли (1.15) и уравнения расхода (1.13) следует, что если площадь поперечного трубопровода уменьшается, то скорость течения жидкости увеличивается, а давление в этом сечении будет уменьшаться, и наоборот.

Пример 1.6.3.



По горизонтальному трубопроводу переменного сечения течет жидкость. Расход равен 15 л/с. Плотность жидкости 780 кг/м³. Диаметры трубопровода в характерных сечениях $d_1 = 50$ мм, $d_2 = 25$ мм,

$d_3 = 75$ мм. Определить напоры и давления в сечениях 1-1, 2-2, 3-3, если давление в сечении 1-1 равно $P_1 = 4$ ата. Потери пренебречь.

Решение. Запишем уравнение постоянства расхода и определим скорости в этих сечениях:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dot{V}_3 = \square_1 S_1 = \square_2 S_2 = \square_3 S_3,$$

откуда $\square_1 = 4 \dot{V}_1 / (\pi d_1^2)$, $\square_2 = 4 \dot{V}_2 / (\pi d_2^2)$, $\square_3 = 4 \dot{V}_3 / (\pi d_3^2)$.

Произведя вычисления, получаем $\square_1 = 7.64$ м/с, $\square_2 = 30.56$ м/с, $\square_3 = 3.4$ м/с.

Для определения пьезометрических напоров и давлений воспользуемся

уравнением Бернулли $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \square h_{\text{ном } 1-2}$ и $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} =$

$z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} + \square h_{\text{ном } 1-3}$, т.к. $z_1 = z_2 = z_3$, а потерями можно пренебречь

получаем

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g}.$$

Т. к. $\frac{P_1}{\rho g} = \frac{4 \cdot 9810}{780 \cdot 9.81} = 51.2$ м, получаем

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} = 51.2 + \frac{7.64^2 - 30.56^2}{2 \cdot 9.81} = 6.58 \text{ м},$$

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g} = 51.2 + \frac{7.64^2 - 3.4^2}{2 \cdot 9.81} = 53.6 \text{ м}.$$

После этого можно найти давление в сечениях 2 и 3:

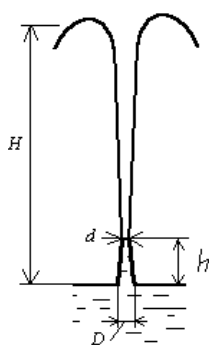
$P_2 = 6.58 \cdot 780 \cdot 9.81 \text{ Па} = 5 \cdot 10^4 \text{ Па} = 0.51 \text{ атм}$, $P_3 = 53.6 \cdot 780 \cdot 9.81 \text{ Па} = 41 \cdot 10^4 \text{ Па} = 4.2 \text{ атм}$.

Задачи 1.6.4.

1. По трубопроводу течет вода с расходом 125 л/с. В сечении 1-1 диаметр трубопровода

$d_1 = 40 \text{ см}$, давление $P_1 = 4.8 \text{ атм}$, а в сечении 2-2, расположенном на 4 м ниже, диаметр равен $d_2 = 30 \text{ см}$. Определить давление P_2 в сечении 2-2. Потерями пренебречь.

2. По нефтепроводу перекачивается нефть плотностью 890 кг/м^3 в количестве 40 л/с. В одном сечении нефтепровода внутренний диаметр трубы равен 305 мм и давление 10 атм, а в другом сечении, расположенном на 10 м выше, внутренний диаметр трубы равен 254 мм и давление 8 атм. Определить потери напора между сечениями.



3. Вода фонтанирует из конического насадка на высоту $H = 5 \text{ м}$. Пренебрегая потерями в насадке, определить расход воды и давление на входе в насадок, если его размеры $D = 45 \text{ мм}$, $d = 8 \text{ мм}$, $h = 350 \text{ мм}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самусь, О.Р. Руководство по изучению дисциплины «Водоснабжение и водоотведение» / О.Р. Самусь, В.М. Овсянников, А.С. Кондратьев. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - Ч. 1. Водоснабжение и водоотведение высотных зданий. - 53 с. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-1658-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=242014> (10.08.2015). ЭБС
2. Самусь, О.Р. Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики : учебное пособие / О.Р. Самусь, В.М. Овсянников, А.С. Кондратьев. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 128 с. : табл., рис., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4458-9555-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253622> (10.08.2015).