

24-81

**А. М. АРИФЖАНОВ,
Т. У. АПАКХУЖАЕВА**

ГИДРАВЛИКА



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

А.М. Арифжанов, Т.У. Апакхужаева

ГИДРАВЛИКА

*Предоставляется в качестве пособия для студентов
направления бакалавриата «Водное хозяйство и мелиорация»,
«Гидротехническое строительство» и «Гидрология
(водохранилищ)» технических высших учебных заведений
Министерства высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан*

Издательство Национального общества философов Узбекистана
Ташкент – 2019

УДК: 626/627:532(075.8)

ББК: 30.123я73

А81

Арифжанов, А.М.

А81 Гидравлика: учебник / А.М. Арифжанов, Т.У. Апакхужаева.
– Ташкент: Издательство Национального общества философов
Узбекистана, 2019. – 168 с.

УДК: 626/627:532(075.8)

ББК: 30.123я73

Рекомендовано научно-методическим советом ТИИИМСХ
Рассматриваются вопросы гидравлического расчета напорных
и безнапорных систем. Освещается современное состояние
гидравлического расчета трубопроводов, проектирования и
расчета каналов.

Приводятся зависимости для определения величины потери
напора в гидравлических системах. Дается гидравлический расчет
трубопроводов, каналов и гидротехнических сооружений.

Учебное пособие рассчитано на студентов технического
направления бакалавриата и специальностей магистратуры.

Рецензенты:

Э.Ж. Махмудов – д.т.н., проф.,

Х. Файзиев – к.т.н., доц.

ISBN 978-9943-6171-0-0



©Издательство Национального общества философов Узбекистана, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и механического движения жидкостей и разрабатывающая методы применения этих законов для решения различных прикладных задач. В настоящее время почти во всех областях техники применяются различные гидравлические устройства, основанные на использовании гидравлических законов. Главнейшие области применения гидравлики – гидротехника, мелиорация и водное хозяйство, гидроэнергетика, водоснабжение и канализация, водный транспорт, машиностроение, авиация и т.д.

В данном учебном пособии изложены основные понятия гидравлики, описываются гидравлические явления и приводятся основные сведения о методах и способах различных гидравлических расчетов. Рассматриваются вопросы гидравлического расчета напорных и безнапорных систем. Освещается современное состояние подходов к гидравлическому расчету трубопроводов, проектированию и расчету каналов.

Приводятся зависимости для определения величины потери напора в гидравлических системах. Дается гидравлический расчет трубопроводов, каналов и гидротехнических сооружений.

Учебное пособие составлено в соответствии с программами предмета гидравлика для направления бакалавриата «водное хозяйство и мелиорация», «гидротехническое строительство» и гидрология (водохранилищ).

Широкое развитие мелиорации и водного хозяйства в нашей стране приводит к созданию новых, технически более совершенных, мелиоративных систем. Для обеспечения надежной работы этих систем проводятся гидравлические расчеты, которые являются важной частью комплекса инженерных расчетов объектов и сооружений, входящих в

состав систем. Поэтому в учебном пособии уделено большое внимание гидравлическим условиям работы мелиоративных каналов, гидротехнических сооружений и трубопроводов.

В учебное пособие включены примеры и задачи, которые недостаточно подробно изложены в учебниках по гидравлике.

В некоторых разделах учебного пособия студентам рекомендуется обращаться к гидравлическим справочникам и нормативной литературе.

Предлагаемое учебное пособие обладает определенной методической и научной преемственностью по отношению к другим подобным учебным пособиям.

Авторы выражают благодарность доценту кафедры "Гидравлика" т.ф.н. П.Н. Гуриной, за ценные советы и предоставленные материалы для улучшения качества учебного пособия.

1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

1.1. Основные физические свойства реальной жидкости и ее характеристики

Капельные жидкости обладают двумя свойствами:

1. **Текучесть** – слабое сопротивление изменению своей формы (в отличие от твердых тел), что обуславливается пренебрежимо малой величиной внутренних касательных напряжений в покоящейся жидкости $\tau \approx 0$.

2. Малое изменение объема жидкости при изменении давления и температуры (в отличие от газов).

Это свойство жидкости характеризуется коэффициентами объемного сжатия β_V и температурного расширения β_t .

Коэффициент объемного сжатия β_V – это относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления.

$$\beta_V = \frac{\Delta V}{V_{\Delta p}}, \quad (1.1)$$

где V – первоначальный объем; ΔV – изменение объема, соответствующий изменению давления на величину Δp .

В системе СИ величина β_V выражается в Па^{-1} и для воды при давлении до 500 ат. и температуре до 20°C равен

$$\beta_V \approx \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{Па}^{-1},$$
$$\left(\beta_V \approx \frac{1}{20000} \text{см}^2 / \text{кгс} \right),$$

Здесь Па – давление, выраженное в Паскалях (см. пункт 2.4).

Коэффициент температурного расширения β_t выражает относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1 градус:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \Delta t} \quad (1.2)$$

Для воды в нормальных условиях можно принимать:

$$\beta_t = \frac{1}{10000} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Жидкости между собой различаются плотностью и удельным весом.

Плотность ρ – это распределение массы жидкости в единице объема:

$$\rho = \frac{M}{W} \quad (1.3)$$

Плотность пресной воды при температуре 4°C , $\rho_{4^\circ} = 1000 \text{ кг/м}^3$.
Удельный вес γ – это вес единицы объема жидкости:

$$\gamma = \frac{G}{W} \quad (1.4)$$

Удельный вес пресной воды при температуре 4°C ,

$$\gamma_{4^\circ} = 1000 \text{ кгс/м}^3 = 1 \text{ тс/м}^3 = 9810 \text{ н/м}^3.$$

Между плотностью и удельным весом существует связь:

$$\gamma = g\rho, \quad (1.5)$$

где: g – ускорение свободного падения.

Для выражения величин в системах СИ и МКГСС следует привести следующие данные:

Система

Ед. изм.	L	F	M	T	$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2$
СИ	м	Н	кг	с	$1 \text{ кгс} = 1 \text{ кг} \cdot 9.81 \text{ м/с}^2$

1.2. Примерный состав задач по теме 1

Цель решения задач – закрепить знание основных физических свойств жидкостей, научить студентов свободно пользоваться основными зависимостями для определения величин ρ и γ , показать связь между этими величинами, научить студентов тому, как выражать величины в системе единиц измерения.

Пример 1.1

Сосуд наполнен жидкостью, занимающей объем $V = 3 \text{ м}^3$. На сколько уменьшится этот объем при увеличении давления на величину $\Delta P = 300 \text{ кгс/см}^2$

Решение:

Коэффициент объемного сжатия $\beta_v = 10^4 \text{ см}^2/\text{кгс}$.

Изменение объема при увеличении давления определим из выражения:

$$\beta_v = \frac{\Delta V}{V \Delta P},$$

$$\Delta V = \beta_v \cdot V \cdot \Delta P = 3 \cdot 100^3 \cdot 300 = \frac{900}{2} = 0,045 \text{ см}^3.$$

Пример 1.2

В отопительной системе (котел, радиаторы, трубопроводы) небольшого дома содержится $V = 0,5 \text{ м}^3$ воды. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании от 20°C до 90°C . Коэффициент объемного расширения $\beta_t = 0,0004^\circ\text{C}^{-1}$

Решение:

Изменение объема воды ΔV при нагревании определим из уравнения:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \Delta t},$$

$$\Delta V = \beta_t V \Delta t = 0,0004 \cdot 0,5 \cdot (90^\circ - 20^\circ) = 0,0002 \cdot 70 = 0,014 \text{ м}^3.$$

Пример 1.3

Резервуар объемом 300 л заполнен жидкостью, плотность которой $\rho_{cu} = 0,75 \frac{г}{см^3}$. Определить удельный вес жидкости.

Решение:

1. Плотность в единицах системы СИ:

$$\rho_{cu} = 0,75 \frac{г}{см^3} = \frac{0,75 \cdot 100^3}{1000} = 750 \frac{кг}{м^3}.$$

2. Удельный вес жидкости в единицах системы:

$$a) \text{ СИ: } \gamma_{cu} = \rho_{cu} \cdot g = 750 \cdot 9,81 = 7360 \frac{Н}{м^3}$$

$$б) \text{ МКГСС: } \gamma_T = \frac{\gamma_{cu}}{9,81} = \frac{7360}{9,81} = 750 \frac{кгс}{м^3}.$$

3. Вес жидкости в единицах систем:

$$a) \text{ СИ: } G_{cu} = V \cdot \gamma_{cu} = 0,3 \cdot 7350 = 2207Н;$$

$$б) \text{ МКГСС: } G_T = V \cdot \gamma_T = 0,3 \cdot 750 = 225кгс.$$

Пример 1.5

Определить плотность жидкости ρ , налитой в левую часть открытых сообщающихся сосудов (площадь поперечного сечения их одинакова), если в правом колене вода с удельным весом

$$\gamma = 1000 \frac{кгс}{м^3} \text{ и } H_1 = 400\text{мм}. \quad H_2 = 300\text{мм} \quad (\text{рис. 1.1})$$

Решение:

Объем воды и жидкости в левом и правом сосудах выше плоскости О-О имеют одинаковый вес, поэтому:

$$\gamma \cdot H_2 \cdot \omega = \gamma_{ж} \cdot H_1 \cdot \omega \quad \text{или} \quad \gamma \cdot H_2 = \gamma_{ж} \cdot H_1$$

$$\text{получим: } \gamma_{ж} = \frac{\gamma \cdot H_2}{H_1}.$$

Удельный вес жидкости в единицах:

а) системы СИ: $\gamma_{ж}^{СИ} = 750 \cdot 9,81 = 7360 \frac{Н}{м^3}$,

б) системы МКГСС: $\gamma_{ж}^{МКГСС} = \frac{\gamma_T \cdot H_1}{H_2} = \frac{1000 \cdot 300}{400} = 750 \frac{кгс}{м^3}$.

3. Плотность жидкости, выраженная единицами измерения:

а) Системы СИ: $\rho_{ж(СИ)} = \frac{\gamma_{ж}}{g} = \frac{7360}{9,81} = 750 \frac{кг}{м^3}$,

б) Системы МКГСС: $\rho_{ж(Г)} = \frac{\gamma_{ж(Г)}}{g} = \frac{750}{9,81} = 76,4 \frac{кгс \cdot с^2}{м^4}$.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ТОЧКЕ, СПОСОБЫ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ И ЧИСЛОВОГО ВЫРАЖЕНИЯ

2.1. Гидростатическое давление в точке, его свойства и размерность

Гидростатическое давление в точке выражается как:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \left(\frac{P}{\omega} \right), \quad (2.1)$$

где: P – сила, действующая на рассматриваемую площадь ω . Гидростатическое давление имеет два свойства:

1. Гидростатическое давление действует нормально к площадке действия и направленно по внутренней нормали.

2. Величина гидростатического давления в данной точке по всем направлениям одинакова (этот закон демонстрируется на приборе Гартля).

2.2. Основное уравнение гидростатики в случае действия на жидкость только силы тяжести и его следствия

Основное уравнение гидростатического давления в дифференциальной форме имеет вид:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz)$$

Дифференциальное уравнение для рассматриваемого случая имеет следующий вид:

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dz = -\gamma dz, \quad (2.2)$$

$$\frac{dp}{\gamma} + dz = 0. \quad (2.3)$$

Рассматриваем покоящуюся жидкость, внутри которой намечаем точку А с ординатой Z .

На поверхности жидкости действует поверхностное давление P_0 . Ордината точки на поверхности жидкости Z_0 (рис. 2.1).

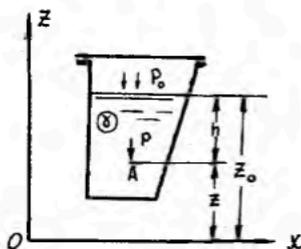


Рис. 2.1. Давление P для «тяжелой жидкости»

После интегрирования выражения (2.3) получим:

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \frac{P_0}{\gamma} + Z_0 = \text{const.} \quad (2.4)$$

Это уравнение называется основным уравнением гидростатики. Из этого уравнения вытекают следующие следствия:

А) Формула для определения гидростатического давления в точке

В покоящейся жидкости с удельным весом γ проведем оси координат и возьмем 2 точки; одну на поверхности жидкости, где давление P_0 , другую точку A на глубине h , давление в которой требуется определить (рис. 2.1). Применяя к этим точкам уравнение (2.4) после преобразования получим:

$$P = P_0 + \gamma h. \quad (2.5)$$

Это и есть формула для определения давления в покоящейся жидкости.

Б) Поверхность равного давления. Плоскость сравнения

Поверхность, проведенная в покоящейся жидкости таким образом, что давление во всех ее точках будет одинаковым и называется поверхностью равного давления.

В случае, когда объемные силы F представлены только силами тяжести, т.е

$$F = G.$$

дифференциальное уравнение равновесия жидкости будет иметь вид:

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dz = 0, \quad (2.6)$$

т.к. $g \neq 0$ и $\rho \neq 0$, то для выполнения равенства должно быть $dz=0$, т.е. $Z=const$.

Таким образом, когда на жидкость действуют только силы тяжести, поверхностью равного давления будет горизонтальная плоскость. Свободная поверхность жидкости является частным случаем поверхности равного давления.

Для определения координаты Z отдельных точек жидкости используется горизонтальная плоскость, проводимая на произвольной высоте. Эта плоскость называется плоскостью сравнения и обозначается О-О (рис. 2.2).

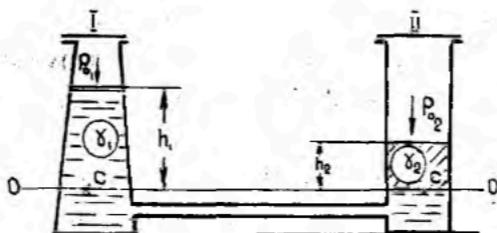


Рис. 2.2. К закону сообщающихся сосудов

В) Закон Паскаля

Из основного уравнения гидростатики, записанного в виде (2.5) видно, что в случае изменения поверхностного (внешнего) давления на некоторую величину ΔP_0 , на такую же величину изменится давление P во всех точках жидкости.

Согласно закону Паскаля, изменение поверхностного давления в любой точке покоящейся жидкости, не нарушающее ее равновесия, передается во все точки без изменения (пример 2.2).

Г) Сообщающиеся сосуды

Для анализа условий равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах (рис. 2.2) применяется основное уравнение гидростатики.

Сообщающиеся сосуды 1 и 2 закрыты и наполнены различными жидкостями, не смешивающимися между собой, давления на поверхности жидкости P_{01} и P_{02}

Как видно из рис. 2.2, давление в точках «С»:

в первом сосуде $p_{C1} = p_{01} + \gamma_1 h_1$,

во втором сосуде $p_{C2} = p_{02} + \gamma_2 h_2$, но $p_{C1} = p_{C2}$,

т.к. точки «С» лежат на одной горизонтальной поверхности О-О, являющейся плоскостью равных давлений, поэтому будет:

$$p_{01} + \gamma_1 h_1 = p_{02} + \gamma_2 h_2,$$

или

$$p_{01} - p_{02} = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1.$$

Последняя зависимость позволяет решить ряд разных задач.

Случай 1: В сообщающиеся сосуды налита одинаковая жидкость при одинаковых давлениях на ее поверхности. Т.к. $\gamma_1 = \gamma_2$ и $p_{01} = p_{02}$ то $h_1 = h_2$.

Случай 2: В сообщающиеся сосуды налита одинаковая жидкость, но давления на ее поверхности различны. При равенстве $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$

$$\Delta p = p_{01} - p_{02} = \gamma(h_2 - h_1).$$

Случай 3: В сообщающиеся сосуды налиты различные несмешивающиеся жидкости, но давления на их поверхности одинаковы, т.е. $p_{01} = p_{02}$, тогда будет равенство $\gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$.

Следовательно: $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$.

На принципе действия сообщающихся сосудов основано устройство водомерных стекол (случай 1), приборов для измерения давления (случай 2) и определения удельного веса жидкости (случай 3).

2.3. Техническая характеристика гидростатического давления и формулы для его определения

На любую точку в жидкости действует абсолютное давление:

$$p_A = p_0 + \gamma h. \quad (2.7)$$

Если свободная поверхность жидкости открыта, то поверхностное (внешнее) давление равно атмосферному $p_0 = p_a$.

Если свободная поверхность закрыта, то p_0 может быть больше или меньше p_a .

Если абсолютное давление в точке больше атмосферного $p_A > p_a$, то избыток абсолютного давления над атмосферным называется манометрическим:

$$p_m = p_A - p_a. \quad (2.8)$$

Если абсолютное давление меньше атмосферного $p_A < p_a$, недостаток до атмосферного называется вакуумметрическим давлением, величина которого равна:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p_A. \quad (2.9)$$

Весовое давление зависит от глубины погружения точки и объемного веса жидкости:

$$p_e = \gamma h. \quad (2.10)$$

В случае, когда на свободную поверхность жидкости действует атмосферное давление, весовое давление равно манометрическому:

$$\gamma h = p_A - p_0 = p_m. \quad (2.11)$$

2.4. Способы числового выражения величины гидростатического давления

В системе СИ давление выражается в Паскалях (Па):

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м}^2$$

$1 \text{ Па} = 0.0000102 \text{ ат}$ (техническая атмосфера);

$1 \text{ кгс} / \text{см}^2 = 1 \text{ ат} = 98100 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}$ (кило Паскаль).

Для воды манометрическое давление на глубине $h = 10 \text{ м}$ равно 98.10 кПа или $\approx 100 \text{ кПа}$, или 1 ат или $10000 \text{ кгс} / \text{м}^2 = 10 \text{ тс} / \text{м}^2$

Один миллиметр ртутного столба создает давление, равное $132.2 \text{ Па} \approx 133 \text{ Па}$

Столбик ртути высотой 735 мм создает давление в 1 ат.