

ГИДРАВЛИКА КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

УДК 37.6
ББК 92
Б12

М. А. Бабаев

Б12 Гидравлика / М. А. Бабаев. — М. : Т8 Издательские технологии / RUGRAM, 2020. — 192 с. — (Полезные конспекты).

ISBN 978-5-521-75021-4

Предложенная нами книга представляет собой конспект лекций по курсу «Гидравлика». Материал содержит ответы на все основные вопросы предмета и поможет студентам технических факультетов успешно сдать экзамен или зачет.

BIC JN
BISAC EDU000000

ЛЕКЦИЯ № 1. Гидростатика

1. Основные физические свойства жидкости

Вряд ли кто из вас не знает, что представляют собой гидротехника, водное хозяйство, мелиорация.

Водопроводная и канализационная система, услугами которых пользуется каждый из нас — это водное хозяйство.

Бесконечные плодородные степи находятся в относительно жаркой погодной зоне, требуют орошения, то есть дополнительно-го увлажнения. Это обеспечивается с помощью водного хозяйства.

Гидравлика (с греческого *hydor* — вода; *aulos* — труба, желоб) — наука, изучающая законы равновесия и механического движения жидкостей, гидравлика разрабатывает также методы применения этих законов в вышеназванных отраслях.

1. Аналитический. Цель применения этого метода — устанавливать зависимость между кинематическими и динамическими характеристиками жидкости.

С этой целью пользуются уравнениями механики; в итоге получают уравнения движения и равновесия жидкости.

Для упрощенного применения уравнений механики пользуются модельными жидкостями: например, сплошная жидкость.

По определению, ни один параметр этого континуума (сплошной жидкости) не может быть прерывным, в том числе его производное, причем в каждой точке, если нет особых условий.

Такая гипотеза позволяет установить картину механического движения и равновесия жидкости в каждой точке континуума пространства.

Еще одним приемом, применяемом для облегчения решения теоретических задач, является решение задачи для одномерного случая со следующим обобщением для трехмерного. Дело в том, что для таких случаев не так трудно установить среднее значение

исследуемого параметра. После этого можно получить другие уравнения гидравлики, наиболее часто применяемые.

Однако этот метод, как и теоретическая гидромеханика, суть которой составляет строго математический подход, не всегда приводит к необходимому теоретическому механизму решения проблемы, хотя и неплохо раскрывает ее общую природу проблемы.

2. Экспериментальный. Основным приемом, по этому методу, является использование моделей, согласно теории подобий: при этом полученные данные применяются в практических условиях и становится возможным уточнение аналитических результатов.

Наилучшим вариантом является сочетание двух вышеперечисленных методов.

Современную гидравлику трудно себе представить без применения современных средств проектирования: это высокоскоростные локальные сети, автоматизированное рабочее место конструктора и прочее.

Поэтому современную гидравлику нередко называют вычислительной гидравликой.

Свойства жидкости

Поскольку газ — следующее агрегатное состояние вещества, то у этих форм вещества существует свойство, общее для обоих агрегатных состояний. Это свойство **текучести**.

Исходя из свойств текучести, рассмотрев жидкое и газообразное агрегатное состояние вещества, увидим, что жидкость — то состояние вещества, в котором его уже невозможно сжимать (или можно сжать бесконечно мало). Газ — такое состояние того же вещества, в котором его можно сжать, то есть газ можно назвать сжимаемой жидкостью, точно так же, как и жидкость — несжимаемым газом.

Другими словами, особых принципиальных различий, кроме сжимаемости, между газом и жидкостью не наблюдается.

Несжимаемую жидкость, равновесие и движение которой изучает гидравлика, называют также **капельной жидкостью**.

К вышеуказанному свойству следует добавить, что это такая сплошная среда, в которой нет ни разрывов, ни пустот. Отсюда и непрерывность характеристик.

Плотность жидкости. Если рассмотреть произвольный объем жидкости W , то он имеет массу M .

Если жидкость однородна, то есть если во всех направлениях ее свойства одинаковы, то **плотность** будет равна

$$\rho = \frac{M}{W}. \quad (1)$$

Если требуется узнать ρ в каждой точке A объема W , то

$$\rho_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta W}. \quad (2)$$

где Δ — элементарность рассматриваемых характеристик в точке A .

Принято в связи с плотностью говорить об удельном весе однородной жидкости γ

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{M}{W} = g = \rho g \quad (3)$$

где $G = Mg$ — вес жидкости;

$g = 9,831 \text{ м/с}^2$ (на полюсе), $g = 9,781 \text{ м/с}^2$ (на экваторе) — ускорение свободного падения.

В системе СИ единицы измерения для плотности — кг/м^3 ; удельного веса — Н/м^2 .

Плотность нельзя рассматривать отдельно от таких параметров, как объем и температура.

Однако, вопреки свойствам всех жидкостей (или газов), ρ тах достигается при $t = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.

В дальнейшем с ростом температуры ρ уменьшается.

С увеличением давления (при $t = 4^\circ\text{C}$) ρ также уменьшается.

В нашем курсе принято, что $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Возвращаясь к сжимаемости, следует отметить, что она характеризуется коэффициентом объемного сжатия.

$$\beta_c = \frac{1}{W} \times \frac{dW}{d\rho}. \quad (4)$$

Из формулы видно, что речь идет о способности жидкостей уменьшать объем при единичном изменении давления: из-за уменьшения присутствует знак минус.

Если в формуле (1) предположить $M = \text{const}$ и взять производное от нее, то получим

$$-\frac{dW}{W} = \frac{d\rho}{\rho}. \quad (5)$$

С учетом формулы (5) из выражения (4) следует:

$$\beta_c = \frac{1}{\rho} \times \frac{d\rho}{d\rho}. \quad (6)$$

Получили качественно совсем другую формулу.

Если в (4) единичное изменение ρ приводит к изменению объема, то в (6) — плотности.

По определению $E_{жс} = 1/\beta_c$ называется модулем упругости жидкости.

Подставив (6) в (7) и преобразовав, получим закон Гука для жидкости:

$$E_{жс}^1 = \frac{\rho d\rho}{d\rho}, \quad (7)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{d\rho}{E_{жс}}. \quad (8)$$

Следует запомнить, что несжимаемость жидкости вообще и воды в частности все же относительна.

Например, при $t_0 = 90^\circ\text{C}$ $E_{ж}$ изменяется от $4,4 \times 103$ МПа у глицирина до $1,35 \times 103$ МПа у минеральных масел.

У воды рост давления 9,81 МПа вызывает уменьшение объема V_0 на $1/20\,000 V_0$. Однако это значение в 100 раз больше, чем сжимаемость стали. Этот факт говорит о том, что если взять классификацию веществ по сжимаемости, то воду почти наверняка можно относить к классу металлов. Если бы это было не так, то уровень Мирового океана был бы на 30 м выше, чем есть на самом деле. Это свойство при внезапном открытии или закрытии запорного устройства в трубопроводе порождает ряд гидравлических явлений, в которых надо учитывать, что жидкость в определенных условиях (в общем диапазоне) все же сжимаема. В противном случае ошибок не избежать.

В противоположность сжимаемости, существует температурный коэффициент объемного расширения, которым характеризуется свойство жидкости, называемое **температурным расширением**.

$$\beta_e = \frac{1}{W} \times \frac{dW}{dt}. \quad (9)$$

Как и коэффициент объемного сжатия, коэффициент объемного расширения также уменьшается при росте давления (для воды уменьшается только после 50°C ; до 50°C коэффициент еще растет).

Следующее свойство жидкости — **вязкость**. Движение жидкости происходит как бы слоями, а между слоями, на границе их соприкосновения возникают силы внутреннего сопротивления: их называют также силами вязкости. Суть явления в том, что слой с меньшей скоростью «тормозит» соседний. В итоге появляется особое состояние жидкости, из-за межмолекулярных связей у соседних слоев. Такое состояние называют вязкостью.

Если судить о касательном напряжении, которое возникает на касающихся поверхностях, то его истинное значение

$$\Gamma = \mu \frac{d\theta}{dt}, \quad (10)$$

где μ — характеристика свойства вязкости и называется динамической вязкостью жидкости;

$d\theta/dt$ — скорость деформации сдвига;

θ — деформация сдвига.

Установлено, что:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dn}, \quad (11)$$

где du — градиент скорости;

dn — толщина слоя;

u — скорость слоя.

Физический смысл (11) состоит в следующем: при переходе от оси к стенкам трубы, через каждый слой dn скорость жидкости уменьшается на du ; знак градиента зависит от его направления, т. е. он может быть как со знаком «+», так и «-».

С учетом последнего утверждения и с учетом (11), из (10) следует:

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dn}. \quad (12)$$

Отношение динамической вязкости к плотности жидкости называется кинематической вязкостью.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (13)$$

Единицы измерения вязкости в системе СИ:

1) для динамической вязкости — $\text{Па} \times \text{с}$; $1 \text{ Па} \times \text{с} = 10 \text{ Пз} = 10 \text{ г/см} \times \text{с}$, где пуаз — в честь ученого Пуазейся;

2) для кинематической вязкости — $1 \text{ м}^2/\text{с} = 104 \text{ ст} = 106 \text{ сСт}$, где Ст — стокс.

Вязкость измеряется приборами, которые называются вискозиметрами.

Из других свойств жидкости отметим свойство растворять газы, которое характеризуется коэффициентом растворимости.

Это свойство описывается формулой:

$$\frac{W_{\text{сп}1}}{W_{\text{жр}2}} = K' \frac{p_2}{p_1}, \quad (14)$$

где $W_{\text{сп}1}$, $W_{\text{жр}2}$ — объемы жидкости, соответствующие давлениям p_1 , p_2 при температуре t ;

K' — коэффициент растворимости данного газа при той же температуре.

Например, при $t = 20^\circ\text{C}$ и $p = 1 \text{ атм}$ вода содержит 1,6% растворенного воздуха.

Из (14) видно, что при уменьшении давления уменьшается вязкость в жидкости из-за роста выделенного газа кипения.

Кипения можно добиться двумя способами: повышением температуры при $p = \text{const}$ или снижением давления при $t = \text{const}$.

При давлении, которое соответствует давлению насыщенных паров жидкости ($t = \text{const}$), пар с поверхности жидкости начинает выделяться пузырями, как при температурном (обычном) кипении, такое кипение называется **холодным кипением**.

Сопротивление растяжения жидкостей возникает в дегазированных жидкостях.

Чем больше в жидкости нерастворенного газа, тем меньше модуль упругости жидкости. В последствиях этого явления мы убедимся при изучении движении жидкости в трубопроводах.

Поверхностное натяжение: из-за этого свойства жидкость стремится занимать наименьший объем, например, капли в шарообразных формах.

Это свойство порождает силы поверхностного натяжения, которые препятствуют растяжению жидкости на границе двух сред.

Силы поверхностного натяжения направлены по касательной к поверхности.

Размерность поверхностного натяжения — МТ^{-2} , то есть измеряется в Н/м.

Повышение температуры или добавление в жидкости плавающих веществ уменьшают силу поверхностного натяжения.

Это свойство жидкостей любопытным образом проявляет себя в капиллярах.

Если стенка капилляра смачивается, то форма поверхности — вогнутая: жидкость поднимается.

Если нет смачивания, то поверхность выпуклая и жидкость опускается по капилляру.

Высоту подъема (или спуска) считают по формуле:

$$h_{\text{кан}} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}, \quad (15)$$

где θ — острый угол между стенкой капилляра и касательной к свободной поверхности, проходящая через точку пересечения поверхности и стенкой капилляра;

d — диаметр капилляра.

Этим свойством воды подробно будем заниматься при изучении грунтовых вод.

В заключение приведем краткий список свойств жидкостей, которые рассмотрены выше.

1. Текучесть.
2. Сжимаемость.
3. Плотность.