2. ГИДРОСТАТИКА

Гидростатика – это раздел гидравлики, в котором изучаются законы равновесия жидкостей и их практические приложения (взаимодействие этой жидкости с ограничивающими ее поверхностями, равновесие твердых тел полностью или частично погруженных в жидкость).

Когда жидкость находится в равновесии, т.е. в состоянии покоя, то она характеризуется свойствами, очень близкими к свойствам идеальной жидкости.

Все задачи гидростатики, рассматриваемые с использованием понятия об идеальной жидкости, решаются с большой точностью.

2.1. Силы, действующие на жидкость, давление в жидкости

Вследствие текучести жидкости (подвижности ее частиц), в ней не могут действовать сосредоточенные силы, а возможно лишь действие сил непрерывно распределенных по ее объему (массе) или по поверхности.

Жидкость, находящаяся в покое, подвергается действию внешних сил двух категорий: массовых сил и поверхностных сил.

Массовые силы пропорциональны массе жидкости (а для однородных жидкостей и ее объему). Это силы тяжести и силы инерции.

Поверхностные силы – это силы, действующие на поверхности объемов жидкости. Эти силы обусловлены непосредственным воздействием соседних объемов жидкости на данный объем или же воздействием других тел, соприкасающихся с данной жидкостью. Например, давление атмосферы на поверхность жидкости в открытом сосуде.

Как массовые, так и поверхностные силы обычно рассматривают в виде единичных сил. Массовые силы относят к единице массы, а поверхностные – к единице площади.

Так как массовая сила равна произведению массы на ускорение, то единичная массовая сила численно равна соответствующему ускорению.

Например, сила тяжести равна $G = mg$, единичная массовая сила равна $m_G = \frac{G}{m} = \frac{mg}{m} = g$.

Выполним рисунок, который поможет разобраться в том, что такое гидростатическое давление.

Рассмотрим некоторый объем покоящейся жидкости, находящейся в сосуде произвольной формы (рис. 2.1). Мысленно разделим этот объем на две части произвольной плоскостью ОО и уберем I часть. Для сохранения равновесия II части к ней необходимо приложить силу R, действующую в общем случае на поверхность площадью S под некоторым углом к ней. Силу R можно разложить на нормальную F и тангенциальную T составляющие силы.

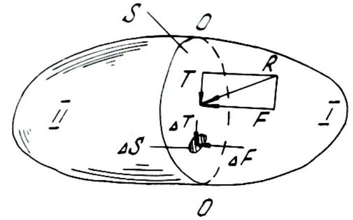

Рис. 2.1. Схема определения гидростатического давления

Нормальная составляющая – сила F – называется силой давления.

Отношение силы давления к площади обозначается $p_{ср}$ **и называется средним гидромеханическим давлением, или давлением, т.е.**

$$p_{ср} = \frac{F}{S}. \qquad (2.1)$$

Давление в данной точке равно пределу отношения $\frac{\Delta F}{\Delta S}$ при $\Delta S \to 0$ и обозначается p, т.е.

$$p = \lim \frac{\Delta F}{\Delta S}. \qquad (2.2)$$

Касательные напряжения в жидкости, т.е. напряжения силы трения обозначаются τ и определяются по формулам:

$$\tau_{ср} = \frac{T}{S}; \qquad \tau = \lim \frac{\Delta T}{\Delta S}. \qquad (2.3)$$

Когда жидкость находится в покое, то касательные напряжения отсутствуют и имеет место только гидромеханическое давление, которое называется гидростатическим давлением.

2.2. Свойства гидростатического давления

Свойство 1. Гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует. Это следует из определения гидростатического давления, как единичной поверхностной силы давления.

Свойство 2. В любой точке жидкости гидростатическое давление по всем направлениям одинаково, оно не зависит от ориентации площадки, на которую действует.

Для доказательства этого свойства выделим в неподвижной жидкости некоторый элементарный объем в форме тетраэдра с ребрами dx, dy, dz (рис. 2.2). Три грани тетраэдра лежат в координатных плоскостях, а наклонная грань является замыкающей. Обозначим через p_x гидростатическое давление, действующее на грань, нормальную к оси x, аналогично обозначим давления p_y, p_z. Гидростатическое давление, действующее на наклонную грань, обозначим p_n, а площадь этой грани через S_n.

Помимо поверхностных сил на выделенный объем жидкости действует массовая сила. Проекции единичной массовой силы (т.е. ускорений) на оси координат обозначим g_x, g_y, g_z.

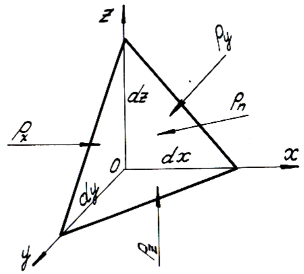

Рис. 2.2. Схема, иллюстрирующая свойства гидростатического давления

Составим уравнения равновесия выделенного объема жидкости. Из теоретической механики известно, что если тело находится в равновесии, то сумма проекций на оси x, y, z всех действующих на него сил равна нулю.

Для рассматриваемого тетраэдра можно записать условия равновесия:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} p_x dydz - p_n S_n \cos(n^\wedge x) + \frac{1}{6} g_x \rho d \\ \frac{1}{2} p_y dxdz - p_n S_n \cos(n^\wedge y) + \frac{1}{6} g_y \rho d \\ \frac{1}{2} p_z dxdy - p_n S_n \cos(n^\wedge z) + \frac{1}{6} g_z \rho d \end{cases} \qquad (2.4)$$

Так как $S_n \cos(n^\wedge x) = \frac{1}{2} dydz$; $S_n \cos(n^\wedge y) = \frac{1}{2} dxdz$; $S_n \cos(n^\wedge z) = \frac{1}{2} dxdy$, то разделив первое уравнение системы (2.4) на $\frac{1}{2} dydz$, получим уравнение

$$p_x - p_n + \frac{1}{3} g_x \rho dx = 0. \qquad (2.5)$$

При стремлении размеров тетраэдра к нулю $(dx \to 0)$ последний член уравнения стремится к нулю. Следовательно, в пределе получим $p_x = p_n$.

Аналогично находим $p_y = p_n$; $p_z = p_n$.

Или $$p_x = p_y = p_z = p_n.$$ (2.6)

Так как размеры тетраэдра dx, dy, dz взяты произвольно, то и наклон площадки S_n произволен и, следовательно, в пределе при стягивании тетраэдра в точку давление в этой точке по всем направлениям будет одинаково.

2.3. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости (уравнения Эйлера)

В прямоугольной системе координат с осями x, y, z рассмотрим элементарный объем жидкости в форме прямоугольного параллелепипеда с ребрами, параллельными координатным осям и соответственно равными dx, dy, dz (рис. 2.3). В центре параллелепипеда возьмем точку А с координатами x, y, z.

Покажем, что на левую грань действует гидростатическое давление $p_л$, на правую $p_п$. Покажем, что вдоль оси x действует градиент давления $\partial p / \partial x$. Проекции единичной массовой силы (ускорений) на оси координат обозначим g_x, g_y, g_z. Окружающая жидкость заменена силами, действующими на все грани параллелепипеда.

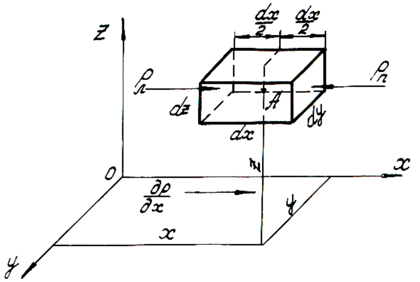

Рис. 2.3. Схема к выводу дифференциального уравнения равновесия жидкости

Предположим, что в точке А действует давление p, тогда на боковые грани действуют давления:

$$p_л = p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}; \qquad (2.7)$$

$$p_п = p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}. \qquad (2.8)$$

Соответствующие силы, действующие на левую и правую грани, могут быть определены следующим образом:

$$F_л = \left(p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dzdy; \qquad (2.9)$$

$$F_п = \left(p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dzdy. \qquad (2.10)$$

Кроме поверхностных сил на выделенный элементарный объем жидкости действуют также массовые силы. Так, вдоль оси x действует ускорение g_x и вызывает массовую силу F_x:

$$F_x = g_x m = g_x \rho dxdydz. \qquad (2.11)$$

Объем жидкости находится в покое (равновесии), следовательно, сумма проекций всех сил на ось x равна нулю, т.е.

$$\left(p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dydz - \left(p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dydx + g_x \rho dxdydz = 0. \qquad (2.12)$$

Проведя алгебраические преобразования, получим

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g_x. \qquad (2.13)$$

Аналогично можно рассмотреть равновесие элементарного объема жидкости по осям y, z. В результате получим систему трех дифференциальных уравнений:

[illegible] (2.14)

Полученные уравнения представляют собой общие условия равновесия жидкости в дифференциальной форме. Система дифференциальных уравнений гидростатики называется уравнениями Эйлера. Получены Леонардом Эйлером в 1755 году.

Из уравнений видно, что приращение гидростатического давления в направлении какой-либо координатной оси равно произведению плотности на проекцию результирующего ускорения на ту же ось, т.е. **приращение давления в покоящейся жидкости происходит за счет массовых сил.**

Умножим уравнения системы (2.14) соответственно на dx, dy и dz и сложим почленно, получим

$$\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz = \rho\left(g_x dx + g_y dy + g_z dz\right). \qquad (2.15)$$

Левая часть уравнения представляет собой полный дифференциал давления dp. В окончательном виде запишем, что

$$dp = \rho\left(g_x dx + g_y dy + g_z dz\right). \qquad (2.16)$$

Полученное уравнение (2.16) выражает функциональную зависимость давления от плотности жидкости и координат точек в пространстве и позволяет определить величину давления в любой точке жидкости, находящейся в равновесии.

Уравнение (2.16) называется приведенным дифференциальным уравнением равновесия жидкости.

2.4. Уравнение поверхности равного давления

Поверхность равного давления – это поверхность, во всех точках которой давления равны, т.е. если $p = const$, то $dp = 0$.

Запишем уравнение (2.16) для поверхности равного давления. Уравнение поверхности равного давления имеет вид:

$$g_x dx + g_y dy + g_z dz = 0. \qquad (2.17)$$

Частным случаем такой поверхности является свободная поверхность – поверхность раздела жидкости и газообразной среды.

2.5. Основное уравнение гидростатики

Выведем основное уравнение гидростатики, используя приведенное дифференциальное уравнение равновесия жидкости (2.16), рассмотрев частный случай равновесия, когда жидкость находится под действием только сил тяжести.

В прямоугольной системе координат рассмотрим объем жидкости в виде параллелепипеда (рис. 2.4). На свободную поверхность действует внешнее давление p_0. На каком-то расстоянии z от основания рассмотрим сечение параллелепипеда плоскостью, параллельной основанию. В центре сечения возьмем точку А и давление, которое действует в этой точке, обозначим p.

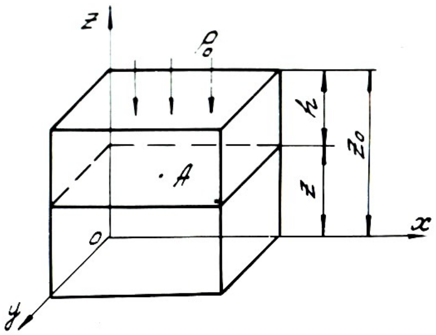

Рис. 2.4. Схема к выводу основного уравнения гидростатики

Жидкость в неподвижном сосуде находится в поле действия сил тяжести. Аналитически это будет выглядеть таким образом:

$$g_X = 0; \quad g_Y = 0; \quad g_Z = -g, \tag{2.18}$$

где g_X, g_Y, g_Z – проекции ускорений на оси координат; g – ускорение свободного падения.

Подставим значения ускорений в дифференциальное уравнение жидкости (2.16), получим

$$dp = -\rho g dz. \tag{2.19}$$

Проинтегрируем полученное выражение, получим

$$p = -\rho g z + c, \tag{2.20}$$

где с – постоянная интегрирования.

Постоянную интегрирования найдем из условия, записанного для свободной поверхности, т.е. при $z = z_0$; $p = p_0$:

$$p_0 = -\rho g z_0 + c,$$

отсюда

$$c = p_0 + \rho g z_0. \tag{2.21}$$

Подставим уравнение (2.21) в уравнение (2.20), получим

$$p = -\rho g z + p_0 + \rho g z_0. \tag{2.22}$$

После преобразований получим

$$z + \frac{p}{\rho g} = z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = \text{const}. \tag{2.23}$$

Сумма $z + \frac{p}{g}$ называется гидростатическим напором.

Координата Z – геометрический напор (геометрическая высота). Величина $\frac{p}{\rho g} = \frac{p}{\gamma}$ – пьезометрический напор (пьезометрическая высота).

Как видно из уравнения (2.23), гидростатический напор есть величина постоянная для всего объема неподвижной жидкости.

Из уравнения (2.22) получим основное уравнение гидростатики:

$$p = p_0 + \rho g h. \tag{2.24}$$

Таким образом, давление в точке покоящейся жидкости зависит от плотности жидкости ρ, расстояния точки от свободной поверхности h и давления p_0, действующего на свободную поверхность жидкости.

2.6. Давление абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакуумметрическое

В открытых сосудах на свободную поверхность жидкости действует атмосферное давление, которое будем обозначать $p_{ат}$. В этом случае основное уравнение гидростатики можно записать так:

$$p = p_{ат} + \rho g h, \tag{2.25}$$

где p – абсолютное или полное давление в точке.

То есть гидростатическое давление, определяемое по выражению основного закона гидростатики, называется абсолютным давлением.

Рассмотрим два случая.

1. Если $p > p_{ат}$.

Разность между абсолютным давлением и атмосферным называется избыточным или манометрическим давлением:

$$p_М = p - p_{ат}. \tag{2.26}$$

Давление $p_м$ может изменяться от нуля до бесконечности.

2. Если $p < p_{ат}$.

Разность между атмосферным давлением и абсолютным, когда последнее меньше атмосферного, называется вакуумметрическим давлением (или давлением разряжения):

$$p_В = p_{ат} - p. \qquad (2.27)$$

Оно показывает недостаток давления в данной точке до атмосферного. Давление $p_В$ может изменяться от нуля до $p_{ат}$.

2.8. Закон Паскаля

Согласно закону Паскаля, **внешнее давление, производимое на жидкость, заключенную в закрытом сосуде, передается жидкостью во все точки без изменения.**

Пусть в сосуде с жидкостью (рис. 2.6) имеется поршень, на который оказывает давление сила F.

Тогда давление на жидкость от силы F определяется по формуле

$$p_F = \frac{F}{S}, \qquad (2.28)$$

где S – площадь поршня.

Давления в точках A, B, C (p_A, p_B, p_C) в соответствии с основным законом гидростатики запишутся следующим образом:

$$p_A = p_F + \rho g h_A; \quad p_B = p_F + \rho g h_B; \quad p_C = p_F + \rho g h_C. \qquad (2.29)$$

Из уравнений (2.29) видно, что давление в различных точках имеет различное значение, но составляющая от внешнего давления во всех точках одинакова, следовательно, закон Паскаля доказан.

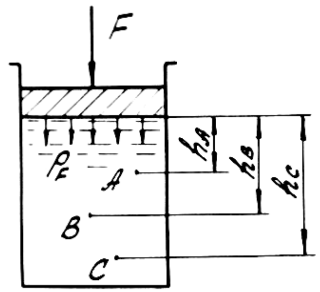

Рис. 2.6. Схема к выводу закона Паскаля

Закон Паскаля лежит в основе всех гидравлических машин объемного действия. Он имеет широкое применение в технике. Используется в механизмах, действие которых основано на передаче давления внутри жидкости. Это гидравлические прессы, тормоза, подъемники и др.

Использование закона Паскаля в технике рассмотрим на примере работы гидравлического пресса, который состоит из двух камер, соединенных между собой гидролинией (рис. 2.7).

В каждой из камер имеется по поршню. В меньшей камере установлен поршень 1 площадью S_1, в большей камере 2 – площадью S_2.

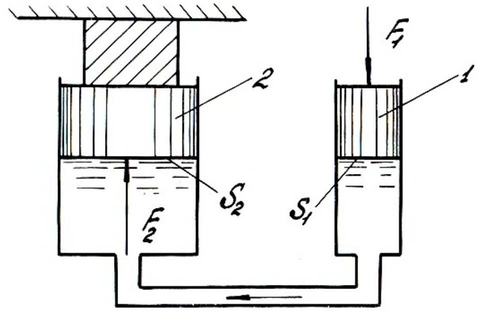

Рис. 2.7. Принципиальная схема гидравлического пресса

Если к поршню 1 приложить силу F_1, то в жидкости под поршнем создается давление $p_1 = F_1 / S_1$.

Согласно закону Паскаля, это давление передается во все точки жидкости, в том числе в основание поршня 2. Оно создает силу F_2, равную $F_2 = p_1 S_2$.

Таким образом, $F_2 = p_1 S_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$. Следовательно, сила F_2 во столько раз больше силы F_1, во сколько раз площадь $S_2 > S_1$.

2.11. Закон Архимеда

В покоящуюся жидкость погружено тело произвольной формы объемом V (рис. 2.12). Горизонтальной плоскостью разделим тело на две части: верхнюю с криволинейной поверхностью АСВ и нижнюю с поверхностью АС′В. Определим вертикальные составляющие силы давления жидкости, действующие на поверхность тела.

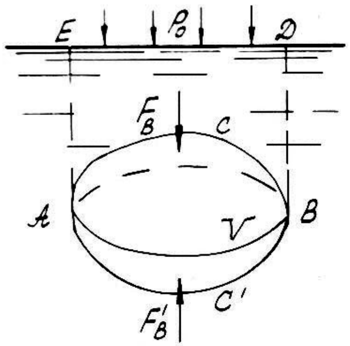

Рис. 2.12. Схема к выводу закона Архимеда

На поверхность тела АСВ действует сила F_B:

$$F_B = p_0 S_Г + \rho g V_{АСВДЕ}, \quad (2.45)$$

где $S_Г$ – площадь горизонтальной проекции поверхности АСВС′; $V_{АСВДЕ}$ – объем жидкости над телом.

На поверхность АС′В действует сила F_B':

$$F_B' = p_0 S_Г + \rho g V_{АС'ВДЕ}. \quad (2.46)$$

где $V_{АС'ВДЕ}$ – объем тела давления, $V_{АС'ВДЕ} = V_{АСВДЕ} + V_{АС'ВС}$, здесь $V_{АС'ВС}$ – объем жидкости, $V_{АС'ВС} = V$.

Таким образом, тело находится под действием вертикальных сил, результирующая которых будет равна

$$F_A = F_B' - F_B = \rho g V_{АС'ВС} = \rho g V. \quad (2.47)$$

Сила F_A называется архимедовой силой или силой поддержания. Таким образом, получено математическое выражение закона Архимеда, которое формулируется следующим образом: **«Тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость».**

Тело, погруженное в жидкость, находится под действием двух сил: силы тяжести G и архимедовой силы F_A.

Тело тонет, если сила тяжести больше архимедовой силы, т.е. при $G > F_A$.

Тело находится в состоянии равновесия (плавает), когда $G = F_A$.

Тело всплывает, если $F_A > G$.

2.9. Сила давления жидкости на плоскую стенку

В практике часто требуется знать, с какой силой жидкость давит на стенку сосуда и точку приложения этой силы.

Рассмотрим сосуд с плоской боковой стенкой, наклоненной к горизонту под углом α (рис. 2.8). Вычислим силу давления F, действующую со стороны жидкости на определенную фигуру площадью S.

Ось x направим по линии пересечения плоскости стенки со свободной поверхностью жидкости, а ось y перпендикулярно этой линии в плоскости стенки.

Выделенную фигуру вращаем вместе с плоскостью хоу до ее совмещения с плоскостью чертежа.

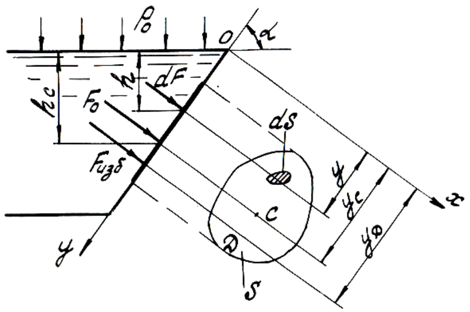

Рис. 2.8. Схема определения силы давления жидкости на плоскую стенку

Обозначим через p_0 давление на свободной поверхности; h – глубину расположения элементарной площадки; C – центр тяжести фигуры.

Для определения силы давления F используем основное уравнение гидростатики (2.24).

Выразим элементарную силу давления dF, приложенную к бесконечно малой площадке dS:

$$dF = pdS = \left(p_0 + \rho gh\right)dS. \qquad (2.30)$$

Заметим, что $h = y\sin\alpha$.

Для определения полной силы давления F проинтегрируем полученное выражение (2.30) по всей площади S, получим

$$F = p_0\int_S dS + \rho g\int_S hdS = p_0 S + \rho g\sin\alpha\int_S ydS. \qquad (2.31)$$

Интеграл $\int_S ydS$ является статическим моментом площади S относительно оси x и равен произведению площади фигуры на координату центра тяжести y_c, т.е. $\int_S ydS = y_c S$.

Следовательно,

$$F = p_0 S + \rho g\sin\alpha y_c S = p_0 S + \rho gh_c S = \left(p_0 + \rho gh_c\right)S = p_c S. \qquad (2.32)$$

То есть полная сила давления жидкости на плоскую стенку равна произведению площади стенки на гидростатическое давление p_c в центре тяжести этой площади.

Рассмотрим вопрос о точке приложения силы давления, т.е. определим центр давления.

Так как внешнее давление p_0, действующее на свободную поверхность, передается всем точкам площади S одинаково, то его равнодействующая сила F_0 будет приложена в центре тяжести фигуры S.

Для нахождения точки приложения силы избыточного давления $F_{изб} = \rho gh_c S$ (точка Д) воспользуемся уравнением механики, согласно которому момент равнодействующей силы давления относительно оси x равен сумме моментов составляющих сил, т.е.

$$F_{изб} y_Д = \int_S y dF_{изб} . \quad (2.33)$$

Запишем значения $F_{изб}$ и $dF_{изб}$:

$$F_{изб} = \rho g h_c S = \rho g y_c \sin\alpha S; \quad (2.34)$$

$$dF_{изб} = \rho g h dS = \rho g y \sin\alpha dS . \quad (2.35)$$

Подставляя значения $F_{изб}$ и $dF_{изб}$ в уравнение (2.33), получим

$$\rho g y_c \sin S y_Д = \int_S \rho g \sin\alpha y^2 dS . \quad (2.36)$$

Решаем его относительно $y_Д$:

$$y_Д = \frac{\int_S y^2 dS}{y_c S} = \frac{I_x}{y_c S}, \quad (2.37)$$

где I_x – момент инерции площади фигуры S относительно оси x.

Учитывая, что $I_x = I_{ox} + y_c^2 S$, где I_{ox} – момент инерции площади фигуры S относительно центральной оси, параллельной x, получим

$$y_Д = y_c + \frac{I_{ox}}{y_c S}. \quad (2.38)$$

Таким образом, точка приложения силы $F_{изб}$ расположена ниже центра тяжести площади фигуры.

Если давление p_0 равно атмосферному ($p_0 = p_{ат}$) и воздействует на стенку с обеих сторон, то точка Д и будет центром давления.

Если $p_0 > p_{ат}$, но действует на стенку только с одной стороны, то центр давления находится по правилам механики, как точка приложения двух сил $F_0 = p_0 S$ и $F_{изб} = \rho g h_c S$.

Чем больше p_0, тем очевидно, центр давления будет находиться ближе к центру тяжести площади S.

Если α = 0 (горизонтальное дно сосуда), то сила давления на дно будет равна $F = (p_o + \rho g H) S$.

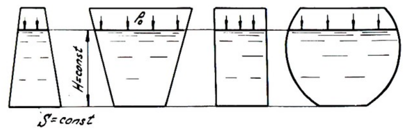

Рис. 2.9. Схема, иллюстрирующая гидростатический парадокс

Вывод: различные по форме сосуды, имеющие одинаковые площади днища и заполненные одинаковой жидкостью на одну и ту же высоту (рис. 2.9), будут иметь одинаковую силу давления на дно, независимо от формы сосуда и количества находящейся в нем жидкости (гидростатический парадокс).

2.10. Сила давления жидкости на криволинейную стенку

Задача о силе давления жидкости на криволинейную поверхность в общем случае сводится к определению трех составляющих суммарной силы давления и трех моментов.

На практике чаще всего приходится иметь дело с цилиндрическими или сферическими поверхностями, имеющими плоскость симметрии.

Определение силы давления в этом случае сводится к определению составляющих сил давления по осям координат, а затем и равнодействующей.

Рассмотрим сосуд с жидкостью, имеющий цилиндрическую поверхность AB с образующей, перпендикулярной плоскости чертежа (рис. 2.10) и определим силу давления жидкости на эту поверхность.

Выделим объем жидкости АВСД, ограниченный рассматриваемой поверхностью АВ, вертикальными поверхностями СВ и АД и свободной поверхностью жидкости.

Покажем действующие силы на выделенный объем жидкости и рассмотрим условия равновесия выделенного объема жидкости в вертикальном и горизонтальном направлениях.

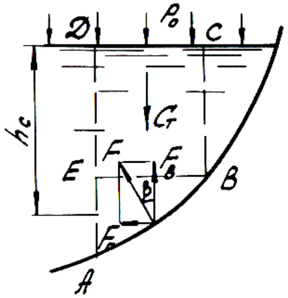

Рис. 2.10. Схема определения силы
давления жидкости на стенку

Запишем условие равновесия объема жидкости (АВСД) в вертикальном направлении:

$$p_0 S_Г + G - F_В = 0, \qquad (2.39)$$

где $S_Г$ – площадь горизонтальной проекции поверхности АВ; $G = \rho g V$ – сила тяжести выделенного объема жидкости, здесь V – объем жидкости; $F_В$ – вертикальная составляющая силы давления.

Из данного уравнения следует, что

$$F_В = p_0 S_Г + G. \qquad (2.40)$$

Вертикальная составляющая силы давления жидкости на криволинейную стенку равна силе тяжести жидкости в объеме V, называемом телом давления, и силе давления, действующей на свободную поверхность жидкости.

Тело давления – это объем, ограниченный рассматриваемой криволинейной стенкой, смоченной жидкостью, вертикальной цилиндрической поверхностью, проведенной через контур этой стенки и горизонтальной плоскостью, проведенной по свободной поверхности жидкости.

Условие равновесия того же объема жидкости в горизонтальном направлении запишем с учетом того, что силы давления жидкости на поверхности ДЕ и СВ взаимно уравновешиваются и остается лишь сила давления на поверхность АЕ, т.е.

$$F_{АЕ} - F_Г = 0, \qquad (2.41)$$

где $F_{АЕ} = p_0 S_В + \rho g h_С S_В$ – сила давления жидкости на поверхность АЕ, имеющую площадь, равную площади вертикальной проекции поверхности АВ – $S_В$, здесь $h_С$ – глубина расположения центра тяжести поверхности АЕ под уровнем свободной поверхности жидкости.

Из данного условия равновесия (2.41) следует, что

$$F_Г = p_0 S_В + \rho g h_Г S_В. \qquad (2.42)$$

Определив вертикальную и горизонтальную составляющие полной силы давления, найдем эту силу:

$$F = \sqrt{F_В^2 + F_Г^2}. \qquad (2.43)$$

Угол направления β находится из соотношения $\mathrm{tg}\beta = \dfrac{F_Г}{F_В}$:

$$\beta = \mathrm{arctg}\frac{F_Г}{F_В}. \qquad (2.44)$$

Когда жидкость расположена снизу поверхности АВ (рис. 2.11), гидростатическое давление во всех точках поверхности АВ имеет те же значения, что и в предыдущем случае, но направления их будут противоположны.

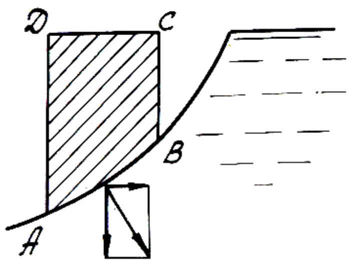

Рис. 2.11. Схема к расчету силы
давления жидкости на стенку

Силы $F_В$ и $F_Г$ определяются по формулам (2.40), (2.42), но направлены будут противоположно. Под G понимается сила тяжести жидкости в объеме, равном АВСД, хотя и не заполненном жидкостью.