

ВВЕДЕНИЕ

Механика жидкости и газа (гидравлика) - техническая наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая на основе этих законов способы практического приложения к решению инженерных задач.

Множество производственных процессов связано с использованием жидкости: это разливка жидкого металла, все виды литья (обычное, центробежное, под давлением), гидромеханизация и гидроразработка полезных ископаемых и другие.

На основе гидравлических законов осуществляют расчеты и конструирование гидродинамических (гидромуфты и гидротрансформаторы) и объемных гидropередач (гидроприводы), лопастных и объемных насосов, гидродвигателей, прессов, домкратов, амортизаторов, тормозов и другие. Этот далеко не полный перечень свидетельствует, что круг технических вопросов, решаемых путем применения и использования законов гидравлики, весьма обширен.

Сложность явлений, происходящих в движущейся жидкости, делает во многих случаях невозможным их исследование чисто теоретическими методами. Поэтому гидравлика, наряду с теоретическими исследованиями, широко пользуется экспериментальным методом. Опытным путем, во-первых, определяют коэффициенты, входящие во многие теоретические формулы; во-вторых, непосредственно выводятся новые эмпирические формулы.

Изучение гидравлики базируется на философии, физике, высшей математике, теоретической механике, сопротивлении материалов. Гидравлика является важным логическим звеном между общенаучными и специальными дисциплинами, обеспечивающая сквозную мировоззренческую, математическую и физическую подготовку специалистов.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТИ

1.1 Основные свойства жидкостей

В природе различают четыре агрегатных состояния вещества: твердое, жидкое, газообразное и плазменное (ионизированный газ). Объектом изучения в гидравлике являются жидкости и газы, которые часто объединяют общим понятием «жидкость», как тела, обладающие общим свойством - текучестью.

Жидкость - физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой.

Она занимает промежуточное положение между твердым телом и газом. Жидкость способна относительно сохранять свой объём и этим сходна с твердым телом, но не способна самостоятельно сохранять свою форму из-за большой подвижности частиц, что сближает ее с газом.

Первоочередной задачей, предшествующей непосредственному изучению гидравлики, является определение физических свойств жидкостей и выявление факторов, влияющих на них.

Сжимаемость - способность жидкости уменьшаться в объеме при повышении давления.

Изменение объема ΔV определяется по формуле

$$\Delta V = -\beta_v \cdot V_0 \cdot \Delta p, \text{ м}^3, \quad (1.1)$$

откуда

$$\beta_v = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta p}, \text{ Па}^{-1}$$

где β_v - коэффициент сжимаемости жидкости, Па^{-1} ;

для воды $\beta_v = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$;

V_0 - начальный объем жидкости, м^3 ;

Δp - изменение (повышение) давления, Па.

Величина, обратная коэффициенту сжимаемости, называется объемным модулем упругости жидкости E .

Жидкости сжимаются незначительно, например, при повышении давления от 0,1 до 10 МПа (1...100 ат) объем воды уменьшается лишь на 0,5 %. Поэтому зачастую сжимаемостью в гидравлических расчетах пренебрегают.

Расширяемость (температурное расширение) - способность жидкости изменять свой объем при изменении температуры.

Изменение объема ΔV определяется по формуле

$$\Delta V = \beta_t \cdot V_0 \cdot \Delta t^0, \text{ м}^3, \quad (1.2)$$

откуда

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta t^0}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

где β_t – коэффициент температурного расширения, $^\circ\text{C}^{-1}$;

для воды $\beta_t = 15 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

V_0 – начальный объем жидкости, м^3 ;

Δt^0 – изменение температуры, $^\circ\text{C}$.

С увеличением температуры жидкости расширяются; например, при повышении температуры воды с 4 до 100 $^\circ\text{C}$ ее объем увеличивается приблизительно на 4%.

Плотность (ρ) - масса однородной жидкости, содержащаяся в единице объема.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3.$$

Объемный (удельный) вес (γ) - вес единицы объема жидкости.

Между объемным весом и плотностью жидкости есть зависимость

$$\gamma = \rho \cdot g, \text{ Н/м}^3, \quad (1.3)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с^2 .

Плотность жидкости с учетом формул (1.1) и (1.2) зависит от давления и температуры, а объемный вес - еще и от ускорения g (формула (1.3)), которое, в свою очередь, зависит от географической широты и высоты над уровнем моря.

В гидравлике часто пользуются понятием относительного веса, под которым понимается отношение веса или массы жидкости ($ж$) к весу или массе дистиллированной воды ($в$), взятой в том же объеме при температуре 4 $^\circ\text{C}$.

$$\delta = \frac{G_{ж}}{G_{в}} = \frac{M_{ж}}{M_{в}} = \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_{в}} = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{в}}. \quad (1.4)$$

Вязкость - свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) соприкасающихся слоев. Она приводит к появлению сил (напряжений) внутреннего трения между соседними слоями, текущими с различными скоростями. Вязкость характеризует степень текучести жидкости, подвижности ее частиц. Вода принадлежит к маловязким жидкостям, а к жидкостям с наименьшей вязкостью относится жидкая углекислота. Ее вязкость в 50 раз меньше вязкости воды.

Жидкости, характеризующиеся наличием внутреннего трения, называются вязкими. Так как всякое трение сопровождается потерей энергии, то при движении вязких жидкостей неизбежно теряется часть энергии, переходящая в тепловую энергию.

При параллельно струйном движении жидкости сила внутреннего трения (T) прямо пропорциональна относительной скорости перемещения слоев (градиенту скорости - du/dn), площади поверхности (S) трущихся слоев и динамическому коэффициенту вязкости (η) и определяется законом Ньютона-Петрова

$$T = \pm \eta \frac{du}{dn} S, \text{ Н,} \quad \text{или} \quad \frac{T}{S} = \tau = \pm \eta \frac{du}{dn}, \text{ Па.} \quad (1.5)$$

Закон трения жидких тел диаметрально противоположен закону трения твердых тел, где сила трения прямо пропорциональна нормальному давлению и не зависит от площади соприкосновения трущихся тел и относительной скорости движения.

Жидкости, для которых справедлив закон внутреннего трения Ньютона-Петрова (1.5) называются ньютоновскими. Однако, существуют и такие жидкости, в которых силы трения возникают уже в состоянии покоя при их стремлении прийти в движение. Их называют неньютоновскими. Например, смазочные масла при низких температурах, глинистый раствор, литой бетон, растворы полимеров и других.

Вязкость зависит от рода жидкости, температуры и в меньшей степени от давления.

Парообразование - свойство жидкостей изменять свое агрегатное состояние на газообразное.

Парообразование, происходящее лишь на поверхности жидкости называется испарением. Парообразование по всему объему жидкости называется кипением, оно происходит при определенной температуре, зависящей от давления. Давление, при котором жидкость закипает при данной температуре, называется давлением парообразования или давлением насыщенных паров. Величина его зависит от рода жидкости и ее температуры.

Растворимость воздуха в жидкостях характеризуется количеством растворенного воздуха в единице объема. В обычных условиях вода содержит около 2% (по объему) растворенного в ней воздуха, а минеральные масла - 6% и более.

Понятия давления насыщенных паров и растворимости воздуха тесно связаны с вредным явлением - кавитацией.

Кавитация - явление парообразования и выделения воздуха, обусловленное понижением давления в жидкости. Причиной ее возникновения является холодное кипение жидкости при нормальной температуре и понижении давления до давления насыщенных паров. Кавитация изменяет характер течения, вызывает дополнительные потери энергии, шум и эрозию (разрушение) обтекаемых ею поверхностей.

Кавитация возникает во всасывающих трубопроводах лопастных насосов, в рабочих колесах, на лопатках реактивных турбин и гребных винтах, в местных гидравлических сопротивлениях (в запорно-регулирующих устройствах, диафрагмах, жиклерах и т.п.).

1.2 Идеальная жидкость и ее свойства

Для упрощения выводов законов гидромеханики Л.Эйлер ввел понятие идеальной жидкости, под которой понимается абстрактная, фиктивная жидкость, выполняющая в гидравлике такую же роль, какую в теоретической механике - понятие абсолютно твердого тела.

Идеальная жидкость наделена следующими свойствами:

1) абсолютно не сжимаема и не расширяется при сколь угодно высоких температурах; следовательно, плотность идеальной жидкости постоянна, модуль упругости бесконечно велик, а коэффициент температурного расширения бесконечно мал;

2) абсолютно текуча и не оказывает сопротивление разрыву, т.е. не имеет вязкости; следовательно, динамический и кинематический коэффициенты вязкости бесконечно малы, что приводит к отсутствию сил (напряжений) трения при движении идеальной жидкости; единственные напряжения, которые могут существовать в идеальной жидкости, суть напряжения сжатия.

Переход от идеальной жидкости к реальной осуществляется введением в конечные формулы поправок, учитывающих влияние сил вязкости и полученных опытным путем.

2 ГИДРОСТАТИКА

Гидростатика - часть гидравлики, изучающая законы равновесия жидкостей и взаимодействия их с твердыми телами.

2.1 Теоретические сведения

2.1.1 Гидростатическое давление и его свойства.

Рассмотрим понятия силы и давления.

Сила - это векторная величина, являющаяся мерой механического действия одного тела на другое, которая может проявляться двояко: во-первых, она способна вызывать изменение состояния механического движения тела, а во-вторых, - деформацию тела.

Силы, действующие в жидкости, делятся на поверхностные и массовые.

Поверхностные силы - это силы, действующие на поверхность жидкости. К ним относятся: силы давления (атмосферное давление, давление сжатого воздуха, пара или газа, давление поршня, реакция стенок) и силы трения, возникающие при движении жидкости.

Массовые силы - силы, пропорциональные массе или объему жидкости. К ним относятся: сила тяжести, сила инерции (при движении), центробежная сила (при вращении), сила упругости и др.

Результат действия одного тела на другое зависит не только от величины силы, но и от площади, к которой она приложена. Давление - это сила, приходящаяся на единицу площади поверхности тела. Частное от деления силы на площадь дает среднее по площади нормальное сжимающее напряжение, как если бы сила была распределена на площади равномерно. Это условно усредненное напряжение называется средним гидростатическим давлением.

Гидростатическое давление имеет три свойства:

1) гидростатическое давление (как и сила) всегда направлено по внутренней нормали к площадке в жидкости, на которую оно действует;

2) гидростатическое давление в любой точке покоящейся жидкости по всем направлениям одинаково и не зависит от ориентации (положения) площадки, на которую оно действует; иными словами, любая частица (точка) покоящейся жидкости сжата со всех сторон одинаково;

3) гидростатическое давление в данной точке покоящейся жидкости зависит только от ее координат (положения) в объеме жидкости и от плотности жидкости; за единицу давления в СИ принят Паскаль ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$).

Более удобными для практического пользования являются кратные единицы: килопаскаль ($\text{кПа} = 10^3 \text{ Па}$) и мегапаскаль ($\text{МПа} = 10^6 \text{ Па}$).

В технике давление измеряют в технической (ат) и физической (атм) атмосферах, а также в метрах водяного и миллиметрах ртутного столба.

2.1.2 Основное уравнение гидростатики.

Это уравнение получено путем интегрирования дифференциального уравнения равновесия идеальной жидкости Л.Эйлера

$$dp = \rho \cdot (\Phi_x \cdot dx + \Phi_y \cdot dy + \Phi_z \cdot dz), \text{ Па} \quad (2.1)$$

где dp - полный дифференциал гидростатического давления, Па;
 Φ_x, Φ_y, Φ_z - проекции ускорения свободного падения g на соответствующие координатные оси, м/с^2 ;
 d_x, d_y, d_z - ребра элементарного параллелепипеда, м;
 ρ - плотность жидкости, кг/м^3 .

Интегрирование уравнения (2.1) дает выражение

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const} \quad (2.2)$$

Уравнение (2.2) справедливо для любых точек одного и того же объема однородной жидкости, находящейся в равновесии. Для двух частиц жидкости с ординатами z_1 и z_2 уравнение имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g}. \quad (2.3)$$

Уравнение (2.3) и называется основным уравнением гидростатики.

2.1.3 Абсолютное и избыточное давление. Вакуум.

Для определения давления в любой точке покоящейся жидкости используется основное уравнение гидростатики для двух точек, одна из которых лежит на свободной поверхности (рисунок 2.4)

$$z + \frac{p}{\rho g} = z_0 + \frac{p_0}{\rho g}, \quad \text{откуда} \quad p = p_0 + \rho g \cdot (z_0 - z), \text{ Па}$$

где $p_0 = p_a + p_m$ - полное давление на свободной поверхности, Па;
 $z_0 - z = h$ - глубина погружения произвольной точки, м.

Отсюда следует, что давление в жидкости растет с глубиной погружения, а абсолютное (полное) гидростатическое давление определяется по формуле

$$p = p_0 + \rho g \cdot h, \text{ Па} \quad (2.4)$$

Формула (2.4), наряду с формулой (2.3), является вторым видом основного уравнения гидростатики.

Для открытых сосудов давление на свободной поверхности равно атмосферному, т.е. $p_0 = p_a$, тогда уравнение (2.4) принимает вид

$$p = p_a + \rho g \cdot h, \text{ Па} \quad (2.5)$$

Избыточное (манометрическое) давление - это давление сверх атмосферного, т.е. разность между абсолютным и атмосферным давлениями.

Для герметичных сосудов

$$p_m = p_0 + \rho g \cdot h - p_a, \text{ Па} . \quad (2.6)$$

Для открытых сосудов

$$p_m = \rho g \cdot h, \text{ Па}. \quad (2.7)$$

Под вакуумметрическим давлением понимается недостаток (дефицит) давления до атмосферного, т.е. разность между атмосферным и абсолютным давлениями

$$p_{\text{вак}} = p_a - p = \rho g \cdot h_{\text{вак}}, \text{ Па}. \quad (2.8)$$

Тогда абсолютное давление при разрежении будет

$$p = p_a - p_{\text{вак}} = p_a - \rho g \cdot h_{\text{вак}}, \text{ Па} \quad (2.9)$$

2.1.4 Закон сообщающихся сосудов.

Гидростатическое давление, как следует из формул (2.5 - 2.7), зависит не только от глубины h , но и от плотности (вернее от объемного веса $\gamma = \rho g$) жидкости.

При равновесии двух неоднородных жидкостей ($\rho_1 < \rho_2$) в открытых сообщающихся сосудах избыточные давления на поверхности раздела жидкостей 0-0 одинаковы (задача 1.2)

$$\gamma_1 \cdot h_1 = \gamma_2 \cdot h_2, \quad \text{или} \quad \rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2, \quad \text{откуда} \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (2.10)$$

т.е. при одинаковых давлениях на свободной поверхности высоты двух разнородных жидкостей над плоскостью раздела обратно пропорциональны их плотностям.

На этом законе основаны принципы действия пьезометров, водомерных стекол, ртутных манометров, приборов для определения плотности жидкостей, воздушных водоподъемников (эрлифтов) и др.

2.1.5 Закон Паскаля.

Закон Паскаля, открытый им в 1650 году, формулируется так:

«Давление, приложенное к свободной поверхности покоящейся жидкости передается одинаково во все точки занятого ею объема».

Доказательство этого закона базируется на основном уравнении гидростатики (2.3).

На законе Паскаля основан принцип действия таких гидростатических механизмов, как гидравлический домкрат, гидравлический пресс, гидроаккумулятор, а также объемный гидропривод.

2.1.6 Силы давления жидкости на плоские стенки.

Одной из основных задач гидростатики является определение силы давления жидкости на различные поверхности. По этой силе рассчитывают стенки сосудов, трубопроводов, гидроцилиндров и т.п.; определяют усилия на штоках гидроцилиндров и крутящие моменты на валу гидромоторов; рассчитывают болтовые соединения крышек.

Сила давления жидкости на плоскую стенку равна произведению полного гидростатического давления $p_{ц}$ в центре тяжести смоченной поверхности на ее площадь $S_{см}$

$$p = (p_0 + \rho g \cdot h_{ц}) \cdot S_{см} = p_{ц} \cdot S_{см}, \text{ Па} \quad (2.11)$$

В частном случае, когда давление $p = p_a$, избыточную силу давления жидкости на стенку определяют по формуле

$$p_{и} = \rho g \cdot h_{ц} \cdot S_{см}, \text{ Па} \quad (2.12)$$

Центром давления называется точка приложения силы давления. Глубина погружения этой точки для вертикальной стенки равна

$$h_{д} = h_{ц} + \frac{J_0}{h_{ц} \cdot S_{см}}, \text{ м} \quad (2.13)$$

где J_0 - главный (центральный) момент инерции стенки, м^4 .

Для наиболее распространенных геометрических фигур (прямоугольник, треугольник, круг) J_0 находят по формулам:

$$\begin{aligned} & \text{- для треугольника: } J_0 = \frac{b \cdot h^3}{12}, \text{ м}^4; \\ & \text{- для прямоугольника: } J_0 = \frac{b \cdot h^3}{36}, \text{ м}^4; \\ & \text{- для круга: } J_0 = \frac{\pi h^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}, \text{ м}^4. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Из формулы (2.13) следует, что центр давления лежит всегда ниже центра тяжести (за исключением давления на горизонтальную стенку, когда они совпадают в центре тяжести).

2.1.7 Силы давления жидкости на криволинейные поверхности.

Равнодействующая сила давления жидкости на криволинейную поверхность определяется по теореме Пифагора

$$P = \sqrt{P_r^2 + P_b^2}, \text{ Н} \quad (2.15)$$

Горизонтальная составляющая силы давления равна силе давления на вертикальную проекцию криволинейной поверхности

$$P_r = \rho g \cdot h_c \cdot S_z, \text{ Н} \quad (2.16)$$

Глубина погружения центра давления горизонтальной составляющей определяется по формуле (2.13).

Вертикальная составляющая равна весу жидкости в объеме тела давления ($V_{\text{тд}}$).

$$P_b = \rho g \cdot V_{\text{тд}}, \text{ Н}$$

Тело, ограниченное криволинейной поверхностью, ее проекцией на свободную поверхность и вертикальными проектирующими плоскостями, называется телом давления, а его объем – объемом тела давления.

Тело давления реально (положительно), если оно заполнено жидкостью, т.е. жидкость давит на криволинейную поверхность сверху вниз, как сила тяжести.

Тело давления фиктивно (отрицательно), если оно не заполнено жидкостью, т.е. жидкость стремится как бы вытолкнуть криволинейную поверхность, как Архимедова сила.

Линия действия равнодействующей силы давления жидкости на цилиндрические и сферические поверхности всегда направлена по радиусу и проходит через ось цилиндра или геометрический центр шара. Угол наклона φ этой силы к горизонту вычисляют по формуле

$$\text{tg } \varphi = \frac{P_b}{P_r}, \quad \text{откуда} \quad \varphi = \text{arctg } \frac{P_b}{P_r} \quad (2.17)$$

Точка пересечения линии действия равнодействующей с криволинейной поверхностью называется центром давления.

2.1.8 Закон Архимеда.

Из физики известен закон Архимеда о равновесии тел, погруженных в жидкость. Открытие этого закона относят к 250 г. до н.э. в связи с выходом в свет трактата «О плавающих телах», в котором ученый древности свой закон сформулировал так:

«Всякое тело, если оно тяжелее данной жидкости, при погружении в нее идет ко дну. Если же тело взвесить в жидкости, оно будет настолько легче своего собственного веса, сколько весит вытесненная им жидкость».

Ныне закон Архимеда нашел самое широкое применение в практике и технике.

$$P_z = \rho g \cdot V_T = \gamma \cdot V_T, \text{ Н}, \quad (2.18)$$

где V_T - объем тела, м^3 .

Сила P_z называется Архимедовой, а для плавающего тела называется водоизмещением.

Основное условие плавания тела выражается равенством

$$G = P_z = \rho g W, \text{ Н}, \quad (2.19)$$

где G – сила тяжести плавающего тела, Н;

W – объемное водоизмещение, равное объему жидкости, вытесненной телом, м^3 ;

P_z - водоизмещение, характеризующее меру плавучести тела, Н.

Если плавающее тело однородно по всему объему V_T , то имеем

$$G = \rho_T g \cdot V_T, \text{ Н} \quad (2.20)$$

На основании формулы (2.19) при $g = \text{const}$ следует

$$\frac{\rho_T}{\rho} = \frac{W}{W_T}, \quad (2.21)$$

т.е. отношение плотностей плавающего тела и жидкости обратно пропорционально отношению объема тела к объему вытесненной им жидкости.

2.1.9 Относительный покой жидкости.

Различают покой абсолютный и относительный. Абсолютным покоем называется покой жидкости относительно Земли.

Равновесие жидкости относительно стенок сосуда, движущегося вместе с жидкостью, называется относительным покоем. При этом отдельные частицы

жидкости не смещаются относительно друг друга и вся масса жидкости с сосудом движутся как одно твердое тело.

В этих случаях к силе тяжести добавляется дополнительная массовая сила – сила инерции. В зависимости от характера действия сил инерции свободная поверхность может принимать различную форму.

При рассмотрении частных случаев относительного покоя важными вопросами являются:

- 1) форма свободной поверхности;
- 2) закон распределения давления внутри жидкости.

Для выявления закона распределения давления используется дифференциальное уравнение равновесия Л.Эйлера (2.1).

Определение формы свободной поверхности основывается на уравнении поверхности равного давления, полученном из уравнения (2.1) при $p = \text{const}$, а, следовательно, при $dp = 0$.

$$\Phi_x \cdot dx + \Phi_y \cdot dy + \Phi_z \cdot dz = 0. \quad (2.22)$$

Рассмотрим частные случаи относительного покоя.

2.1.9.1 Вращение цилиндра с жидкостью вокруг вертикальной оси.

Уравнение свободной поверхности жидкости в сосуде

$$z = z_0 + \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2g}, \text{ м}, \quad (2.23)$$

где z – координата точки свободной поверхности жидкости, м;

z_0 – координата вершины параболы (расстояние от дна сосуда до ближайшей к нему точки свободной поверхности жидкости), м;

ω – угловая скорость вращения сосуда с жидкостью, с^{-1} ;

r – расстояние от оси вращения до точки свободной поверхности жидкости, м.

Уравнение (2.23) является уравнением параболы. Таким образом, поверхности равного давления, в т.ч. и свободная поверхность, представляют собой параболоиды вращения.

Закон распределения давления в жидкости

$$p = p_a + \rho g \cdot h + \rho g \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2g}, \text{ Па} \quad (2.24)$$

2.1.9.2 Прямолинейное равноускоренное движение сосуда с жидкостью.

Уравнение свободной поверхности жидкости в сосуде

$$g \cdot z \pm a \cdot x = 0, \quad \text{или} \quad z = \pm \frac{a}{g} \cdot x, \quad (2.25)$$

где a – ускорение, с которым движется сосуд с жидкостью, м/с^2 ;
 z, x – соответственно, вертикальная и горизонтальная координаты точки свободной поверхности жидкости, м .

Угол наклона плоскости к горизонту

$$\text{tg } \alpha = \frac{a}{g}, \quad \text{откуда} \quad \alpha = \text{arc tg } \frac{a}{g}. \quad (2.26)$$

Закон распределения давления в жидкости

$$p = p_a + \rho(g \cdot z \pm a \cdot x), \quad \text{Н} \quad (2.27)$$

Рассмотренные случаи относительного покоя жидкости нашли широкое применение в технике - это: сепараторы, центрифуги, центробежная очистка масел, центробежное литье, жидкостные тахометры, акселерометры и т.п.

2.2 Контрольные вопросы

- 1) Физические свойства жидкостей. Явление кавитации.
- 2) Гидростатическое давление и его свойства.
- 3) Основное уравнение гидростатики.
- 4) Приборы для измерения давления.
- 5) Силы давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности.
- 6) Относительный покой жидкости при равномерном вращении и прямолинейном равноускоренном движении сосуда с жидкостью.

2.3 Расчетные задания

2.3.1 Задача №1.

В гидравлическом домкрате диаметр малого поршня d , диаметр большого поршня D , плечи рычага a , b . Какую силу может развить домкрат на большом поршне, если сила, приложенная к рычагу, F , вес поршня G и коэффициент полезного действия домкрата η ?

Исходные данные приведены в таблице 2.1, схема - на рисунке 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	15	10	12	13	14	11	16	17	18	19
D , мм	30	35	32	34	36	33	31	40	50	55
a , м	1,0	0,8	0,9	0,75	0,85	0,95	1,1	1,15	1,2	1,25
b , м	0,1	0,15	0,2	0,25	0,15	0,25	0,05	0,06	0,07	0,08
F , Н	100	120	130	150	140	160	170	180	190	200
G , Н	1500	1400	1300	1400	1200	1600	1800	1700	1900	2000
η	0,75	0,80	0,82	0,85	0,84	0,78	0,83	0,76	0,77	0,81

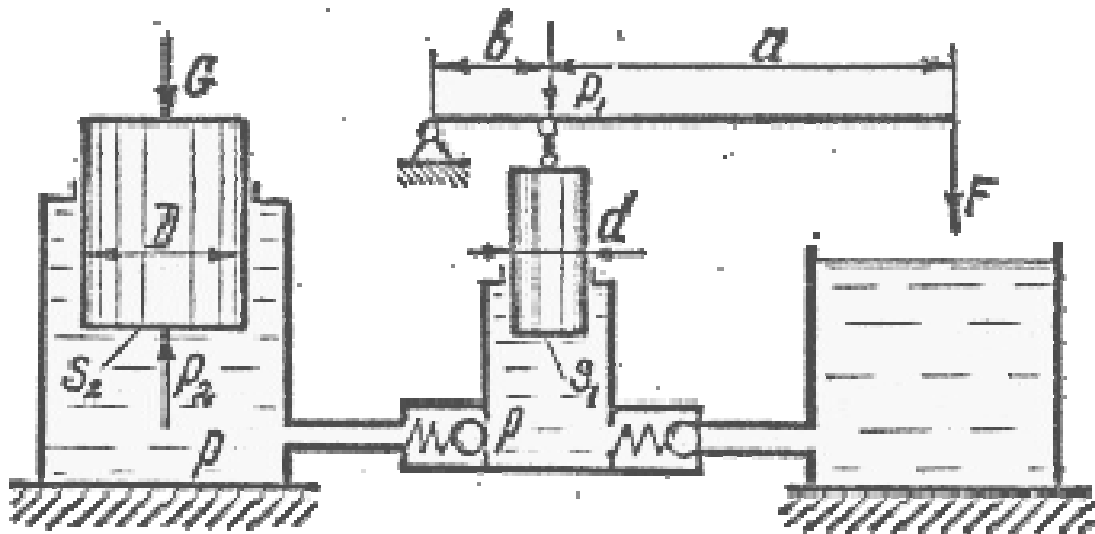


Рисунок 2.1

2.3.2 Задача №2.

Круглое отверстие диаметром d закрыто плоским поворотным щитом, который прижат к стенке грузом G . Найти плечо r при уровне воды H , если расстояние от верхней кромки отверстия до оси вращения щита C . Найти реакцию R в цапфе щита A .

Исходные данные приведены в таблице 2.2, схема - на рисунке 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные	Значение для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
G , кН	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	3,0	4,0
C , м	0,3	0,2	0,25	0,35	0,4	0,22	0,32	0,24	0,34	0,22
H , м	3,1	3,4	3,3	2,2	3,2	2,4	3,5	3,0	2,5	2,0

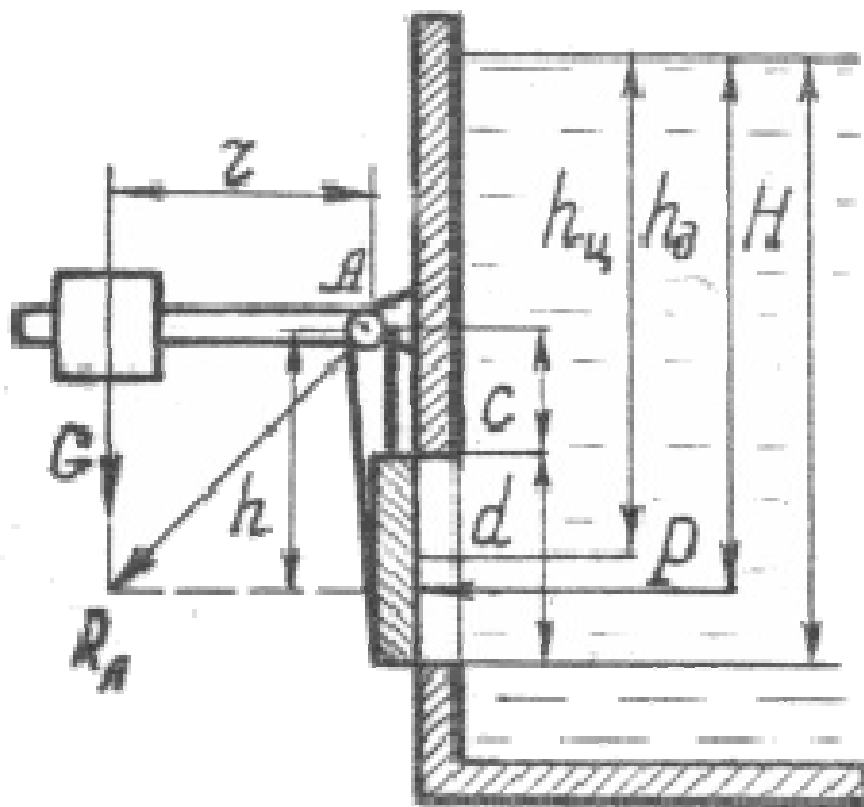


Рисунок 2.2

2.3.3 Задача №3.

Съемная полусферическая крышка диаметром D крепится n болтами.

Определить отрывающее усилие и диаметры стальных болтов, если показание манометра p_m и глубина воды над ним h . Допускаемое напряжение на разрыв для стали 3 – $[\sigma] = 200$ МПа.

Исходные данные приведены в таблице 2.3, схема - на рисунке 2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	1,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
n	6	8	4	3	4	6	8	12	6	6
p_m , МПа	0,4	0,8	0,3	0,2	0,5	0,6	0,7	1,5	1,0	1,2
h , м	2,0	1,5	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	1,2

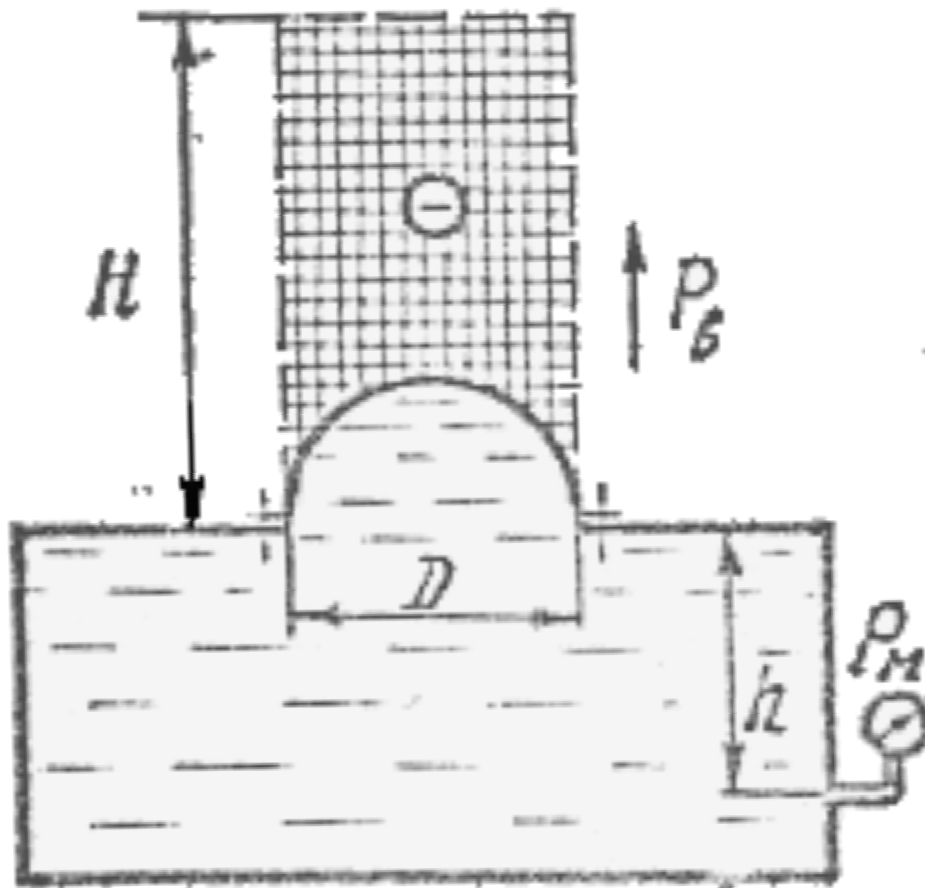


Рисунок 2.3

2.3.4 Задача №4.

Бензин (относительный вес δ) под избыточным давлением p_m подводится к поплавковой камере карбюратора по трубке диаметром d . Шаровой клапан весом G_k и игла весом G_n , перекрывающая доступ бензина, укреплены на рычаге (плечи a , b), который поворачивается вокруг оси O . Определить диаметр поплавка D . Исходные данные приведены в таблице 2.4, схема - на рисунке 2.4.

Таблица 2.4

Исходные данные	Значение для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7
p_m , кПа	300	290	280	270	310	320	325	330	310	315
d , мм	3,5	4,0	4,5	5,0	4,8	5,5	4,2	5,2	5,3	5,4
G_k , Н	0,50	0,30	0,40	0,44	0,35	0,45	0,37	0,46	0,32	0,48
G_n , Н	0,25	0,15	0,20	0,22	0,20	0,18	0,16	0,23	0,15	0,24
a , мм	40	45	50	55	60	42	52	48	58	46
b , мм	15	18	17	19	20	12	16	13	21	14

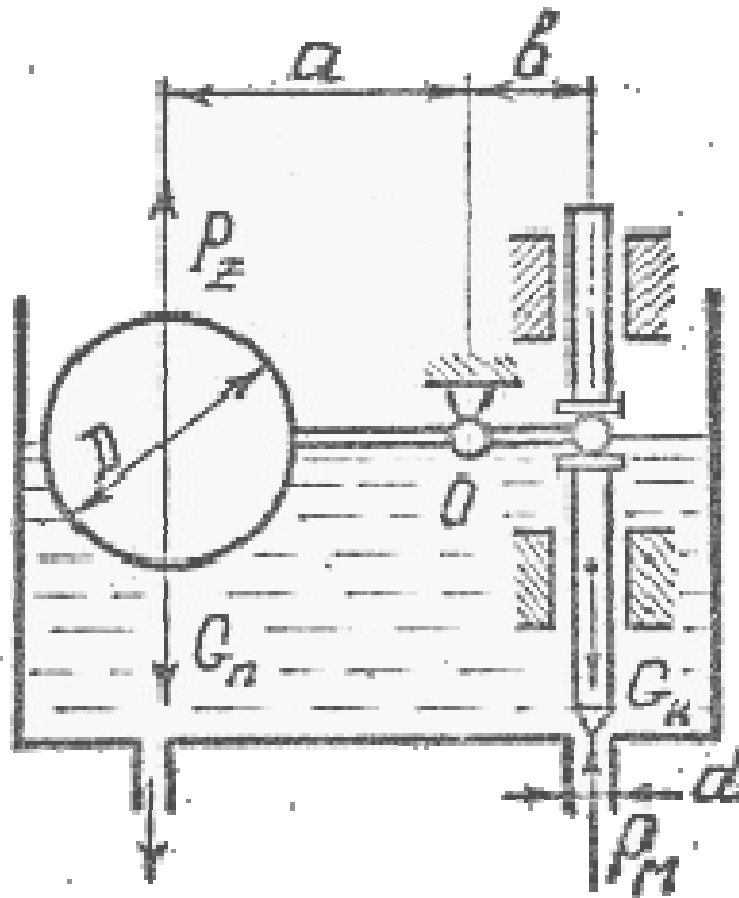


Рисунок 2.4

2.3.5 Задача №5.

Круглое отверстие в дне резервуара диаметром d закрыто клапаном, который соединен тягой с цилиндрическим поплавком диаметром D . Определить при каком уровне бензина клапан автоматически откроется, если вес поплавка и клапана G , относительный вес бензина δ , а длина тяги Z .

Исходные данные приведены в таблице 2.5, схема - на рисунке 2.5.

Таблица 2.5

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	25	30	35	20	40	25	30	35	40	20
D , мм	175	150	200	140	250	200	250	220	240	200
G , Н	0,3	0,25	0,4	0,35	0,32	0,25	0,4	0,28	0,38	0,3
δ	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,73	0,72	0,7
Z , м	0,20	0,15	0,25	0,30	0,22	0,25	0,26	0,28	0,30	0,27

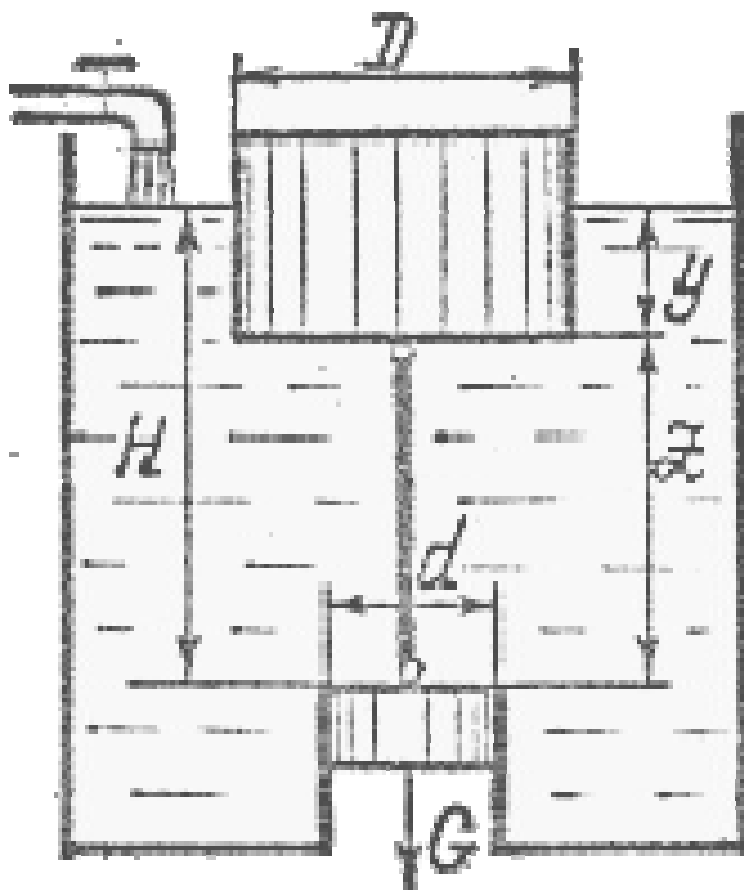


Рисунок 2.5

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1 - Средние значения модуля упругости E разных тел

Жидкость	$E \cdot 10^9$, Па	Твердые тела	$E \cdot 10^9$, Па
Вода пресная	2,06	Сталь углеродистая	206
Нефть	1,35	Сталь легированная	216
Керосин	1,28	Чугун черный	152
Бензин	1,305	Чугун белый	134
Дизтопливо	1,32	Латунь, бронза	118
Масло	1,72	Дюралюминий	70
Ртуть	32,27	Алюминий	68

Таблица 2 - Средние значения плотности ρ , объемного веса γ и кинематического коэффициент вязкости ν жидкости

Жидкость	t, °C	ρ , кг/м ³	γ , Н/ м ³	$\nu \cdot 10^{-4}$, м ² /с
Вода пресная	4	1000	9810	0,0157
Вода морская	4	1025	10055	0,0157
Нефть	15	850	8338	0,25
Керосин	15	800	7848	0,025
Бензин	15	740	7259	0,0093
Диз.топливо	20	846	8299	0,28
Масло	50	850	8339	0,10
Мазут	15	920	9025	20,0
Глицерин	15	1270	11772	9,7
Ртуть	20	13546	132886	0,0016
Чугун	1200	7000	68670	0,0109

Таблица 3 - Давление насыщенного пара воды p_n

t, °C	p_n , МПа	t, °C	p_n , МПа	t, °C	p_n , МПа	t, °C	p_n , МПа
0	0,0006	25	0,0032	60	0,0202	90	0,0714
5	0,0009	30	0,0043	70	0,0317	100	0,1033
10	0,0012	40	0,0075	75	0,0392	120	0,237
20	0,0024	50	0,0126	80	0,0482	150	0,485

Таблица 4 - Характеристики центробежных насосов

Марка насоса	Параметры, единицы измерения	Числовые значения				
1,5К-6	Q, л/с	0	1,6	3,0	3,9	4,5
	H, м	20	20,3	17,4	14,5	12
	η , %	0	44	55,5	53	47
2К-6	Q, л/с	0	2,0	5,5	8,3	10
	H, м	33,7	34,5	30,8	24,0	19,0
	η , %	0	45,0	64,0	63,5	58,0
2К-9	Q, л/с	0	3,0	5,5	6,1	7,0
	H, м	20,0	21,0	18,5	17,5	16,0
	η , %	0	56,0	68,0	66,0	60,0
3К-6	Q, л/с	0	4,0	8,3	16,7	19,5
	H, м	62,0	64,0	62,0	50,0	44,5
	η , %	0	35,0	54,4	66,3	63
3К-9	Q, л/с	0	4,0	8,3	12,5	15
	H, м	34,0	35,2	34,8	31,0	27,0
	η , %	0	40,0	62,0	71,0	71,5
4К-8	Q, л/с	0	10,0	19,4	25,0	33,4
	H, м	62,0	63,0	59,0	54,9	43,0
	η , %	0	48,0	65,5	71,0	66,0
4К-12	Q, л/с	0	10,0	18,0	25,0	33,4
	H, м	37,0	39,0	37,7	34,6	28,0
	η , %	0	53,0	72,0	78,0	74,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Альтшуль, А.Д. Примеры расчетов по гидравлике: Учебное пособие. / А.Д.Альтшуль, В.И.Калицун, Ф.Г.Майрановский и др.- М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.
- 2 Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. / Т.М.Башта. - М.: Машиностроение, 1973.
- 3 Брацлавский, Х.Л. Гидродинамические передачи строительных и дорожных машин / Х.Л.Брацлавский. - М.: "Машиностроение", 1976. - 149.
- 4 Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. / Я.М.Вильнер, Я.Т.Ковалёв, Б.Б.Некрасов. - Минск: Высшая школа, 1985.
- 5 Гидравлика: учеб. пособие для ВУЗов / А.Д.Тян, М.К.Скаков, Ю.К.Назаров, В.А.Петров. - Алма-Ата: Рауан, 1992. – 240 с.
- 6 Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: учеб. для вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. - 2-е изд. перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с. - Библиогр.: с. 418.
- 7 Гидравлика, гидромашин и гидропневмопривод: учеб. пособие для вузов / под ред. С. П. Стесина. - М.: Академия, 2005. - 335 с. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 332.
- 8 Гидравлика и гидропривод: учеб. пособие / Н.С.Гудилин, Е.М.Кривенко, Б.С.Маховиков, И.Л.Пастоев; Ред. И.Л.Пастоев. - 3-е изд., стереотип. - М.: МГГУ, 2001. - 519 с.: ил. - (Высшее горное образование). - Библиогр.: с. 518.
- 9 Лепешкин, А.В. Гидравлика и гидропневмопривод / А.В.Лепешкин, А.А.Михайлин, А.А.Шейпак. - 3-е изд., стереотип., в 2-х ч. - М.: МГИУ, 2005. - 350 с.: рис. - Библиогр.: с. 349-350.
- 10 Ловкис, З.В. Гидравлика и гидравлические машины. / З.В.Ловкис, Э.В.Бердышев. – М.: Колос, 1995.
- 11 Механика жидкости и газа: учеб. пособие / Ред. В.С.Швыдкой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. - 462 с.: рис., табл. - Библиогр.: с.458.
- 12 Пастоев, И.Л. Гидропневмопривод: учеб. пособие для вузов / И.Л.Пастоев, Н.И.Берлизев, В.Ф.Еленкин. - 2-е изд. - М.: МГГУ, 2000.
- 13 Примеры гидравлических расчетов: Учеб. Пособие / Под ред. А.И. Богомолова - 2-е изд., перераб. - М.: Транспорт, 1977. – 526 с.
- 14 Сборник задач по машиностроительной гидравлике. / Под ред. И.И. Куколевского и Л.П. Подвидза. – М.: Машиностроение, 2002.
- 15 Сугуров, Ш.Б. Гидравлика (на казахском языке). / Ш.Б.Сугуров - Алматы, 1988. -198 с.
- 16 Шейпак, А.А. Гидравлика и гидропневмопривод / А.А.Шейпак. - Часть 1(2), Москва, МГИУ, 2006.