

1. Никитин Олег Филиппович, к.т.н., доцент кафедры Э-10.

2. Яроц Валерий Владимирович, к.т.н., доцент кафедры Э-10.

Литература:

Основная литература:

1. Никитин О.Ф., Яроц В.В. Основы гидравлики и гидропневмопривода: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 490 с., ил.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1982. 423 с., ил. *(Переиздана стереотипно в 2010 году).*
3. Сборник задач по гидравлике для технических вузов / Д.А.Бутаев, З.А.Калмыкова, Л.Г.Подвидз и др.; под ред. И.И.Куколевского и Л.Г.Подвидза. 6-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 486 с., ил.
4. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат: учебное пособие для машиностроительных вузов / Под ред. С.С.Руднева и Л.Г.Подвидза. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1974. 416 с., ил.
5. Гидравлика и гидропневмопривод. Практический курс. Часть 1. Семинарские занятия.
6. Гидравлика и гидропневмопривод. Практический курс. Часть 2. Лабораторные работы.
7. Шабловский А.С. Выполнение домашних заданий и курсовых работ по дисциплине «Механика жидкости и газа»: учебное пособие в двух частях. Часть 1: Гидростатика. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 69 с., ил.
8. Шабловский А.С. Выполнение домашних заданий и курсовых работ по дисциплине «Механика жидкости и газа»: учебное пособие в двух частях. Часть 2: Гидродинамика. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 65 с., ил.

Дополнительная литература:

1. Некрасов Б.Б. Гидравлика и её применение на летательных аппаратах. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1967. 368 с., ил.

2. Беленков Ю.А., Лепёшкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник для вузов. М.: Издательский дом «БАСТЕТ», 2013. 406 с., ил.

3. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: учебник для вузов / Б.Т.Емцев. 2-е изд., переаб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 440 с., ил.

Основные разделы курса.

Часть 1. – «Гидравлика». Посвящена основам статики и кинематики жидкости, расчётам трубопроводов и силового воздействия потока жидкости на ограничивающие его преграды.

Часть 2. – «Гидропневмопривод». Включает в себя материалы по гидравлическому и пневматическому приводам.

Понятия гидравлики и жидкости

Раздел механики, в котором изучают равновесие и движение жидкости, а также силовое воздействие между жидкостью и обтекаемыми ею телами или ограничивающими её поверхностями, называют **гидромеханикой**.

Прикладную часть гидромеханики, для которой характерно изучение законов механики жидкости в состоянии покоя и движения с определённым кругом технических вопросов, задач и методов их решения, называют **гидравликой**.

Гидро... (от греческого слова *ὑδωρ* - *хюдор* - вода) - составная часть сложных слов, указывающих в общем случае на отношение к жидкости; *αὐλός* - *аулос* - труба, желоб.

ГИДРАВЛИКА - учение о движении воды по трубам.

В понятие жидкость включают все тела, для которых свойственна текучесть, т.е. способность сильно изменять свою форму под действием сколь угодно малых сил.

В гидравлике исследуются потоки, ограниченные и направленные твердыми стенками, т.е. это внутренние течения жидкостей, и решается так называемая **"внутренняя задача"**.

Вопросы **"внешних задач"**, возникающие при внешнем обтекании твердых тел сплошной средой, изучает наука под названием **аэрогидромеханика**. Эта дисциплина получила развитие в связи с все возрастающими потребностями судостроения и авиации.

Круг вопросов, решаемых гидравликой велик.

Гидравлика дает методы расчета и проектирования разнообразных гидротехнических сооружений, гидромашин и других гидравлических устройств, применяемых во многих областях техники.

Особенно велико значение гидравлики в машиностроении:

- закрытые русла (трубы) и потоки, полностью заполняющие все сечение трубы, с давлением, отличным от атмосферного;
- гидросистемы подачи технологических жидкостей (охлаждения, топливоподачи, смазки и т.п.);
- гидроприводы - передачи механической энергии посредством жидкости.

Создание прогрессивных систем и агрегатов многоцелевых мобильных машин и технологического оборудования базируется на достижениях науки и техники.

Силы, действующие в жидкостях.

Сплошность и текучесть.

Жидкость есть физическое тело, обладающее двумя особыми свойствами:

- 1) Сплошность. Предполагается, что жидкость заполняет пространство сплошь, без образования каких бы то ни было пустот. Жидкость весьма мало изменяет свой объём при изменении давления и температуры (в этом отношении жидкость сходна с твёрдым телом).
- 2) Текучесть. Жидкость обладает текучестью, благодаря чему она не имеет собственной формы и принимает форму того сосуда, в котором она находится (в этом отношении жидкость сходна с газом).

Жидкостью в гидромеханике считаются все среды, которым свойственна текучесть, то есть способность изменять свою форму под действием сколь угодно малых сил. Обычные жидкости называют капельными, газы называют некапельными жидкостями.

Капельные жидкости в малом количестве под действием поверхностного натяжения принимают сферическую форму (в виде капли), а в большом количестве образуют свободную поверхность раздела с газом. Особенностью капельных жидкостей является то, что они мало изменяют свой объём при изменении давления и температуры (p и t), поэтому их обычно считают несжимаемыми.

Некапельные жидкости или газы могут значительно уменьшаться в объёме под действием давления и неограниченно расширяться при отсутствии давления, т.е. обладают большей сжимаемостью.

Механическое движение этих сред описывается едиными дифференциальными уравнениями.

Решение этих уравнений требует учёта специфических свойств жидкостей и газов, поэтому механика сплошных сред разделяется на ряд самостоятельных дисциплин: гидромеханику, газодинамику, теорию упругости.

Внутренние и внешние силы.

Вследствие текучести жидкости (подвижности ее частиц) как непрерывной среды в жидкости не могут действовать сосредоточенные силы, а возможно лишь действие непрерывно распределенных сил по выделенному объему (массе) или по поверхности. В связи с этим действующие на рассматриваемый объем жидкости силы являются по отношению к нему внешними.

Внутренние силы - силы взаимодействия между отдельными частицами.

Внешние силы - это силы, приложенные к частицам рассматриваемого объема со стороны жидкости, окружающей этот объем. Внешние силы подразделяют на массовые и поверхностные.

Массовые (объемные) силы, действующие на все частицы рассматриваемого объема, пропорциональны массе жидкого тела (для однородных жидкостей - его объему). Иными словами, массовые силы – это силы, создаваемые полем, в котором находится эта жидкость, и к ним относятся как силы тяжести, так и силы инерции. Силы инерции равны произведению масс на соответствующее ускорение и направлены в сторону, им (ускорениям) противоположную.

Поверхностные силы обусловлены непосредственным воздействием на частицы жидкости данного объема частиц соседних объемов жидкости или же других тел (твердых или газообразных), соприкасающихся с данным жидким телом. Поверхностные силы - силы непрерывно распределены по поверхности выделенного объема жидкости и при равномерном их распределении пропорциональны величине площади этой поверхности и приложены к поверхности выделенного объема жидкости.

Чтобы охарактеризовать величину внешних сил, исключив при этом их зависимость от величины массы (для массовых сил) и поверхности (для поверхностных сил), вводится понятие о плотности их распределения.

Если на элементарный объем ΔW жидкости, имеющий элементарную массу $\Delta m = \rho \Delta W$ (ρ - плотность жидкости), действует элементарная сила тяжести $\Delta \bar{G}$, то плотность распределения массовых сил в точке, в которую стягивается элементарный объем,

$\bar{q} = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{G}}{\rho \Delta W}$. Вектор \bar{q} , представляющий собой силу, приходящуюся на единицу массы

жидкости, называют **единичной массовой силой** с размерностью ускорения, по модулю численно равной соответствующему ускорению в данной точке рассматриваемого объема жидкости и противоположно направлена этому ускорению.

Например, для поля сил тяжести единица силы \bar{q} соответствует единице ускорения $q = g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Характеристикой поверхностной силы на заданной поверхности является плотность её распределения, которую при использовании модели сплошной среды называют **напряжением поверхностной силы**. Это векторная величина.

В общем случае поверхностная сила распределена по поверхности неравномерно. Напряжение в данной точке фиксированной поверхности обычно проецируют на нормаль к ней и на касательную плоскость, при этом различают **нормальные** и **касательные напряжения**.

Давление жидкости.

Гидростатическое давление и его свойство.

В покоящейся или движущейся жидкости выделим некоторую площадку ΔS (рис.1.1). На площадку со стороны мысленно отброшенной части жидкости действует сила $\Delta \mathbf{R}$, направленная к площадке ΔS под некоторым углом. Силу $\Delta \mathbf{R}$ можно разложить на составляющие по нормали и по касательной к площадке ΔS , которые называют соответственно нормальной ΔP (**сила давления**) и касательной ΔT (**сила трения**). Если сила давления равномерно распределена по площадке, то нормальное напряжение, равное $\Delta P / \Delta S$, в гидравлике называют **гидромеханическим давлением** (в случае покоя - **гидростатическим**) и обозначают буквой p .

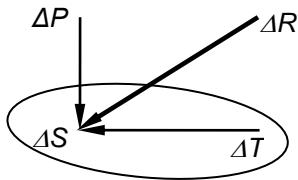


Рис.1.1. Разложение поверхностной силы на составляющие

При уменьшении поверхности площадки ΔS до нуля (стягивании к точке), получаем давление в данной точке объема жидкости,

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}.$$

Сила трения характеризуется касательным напряжением, которое называют напряжением трения и обозначают буквой τ и в данной точке определяют по формуле

$$\tau = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta S}.$$

Покажем, что гидростатическое давление в любой точке жидкости, находящейся в покое, не зависит от ориентации площадки, т.е. углов ее наклона по отношению к осям координат, и является скалярной величиной.

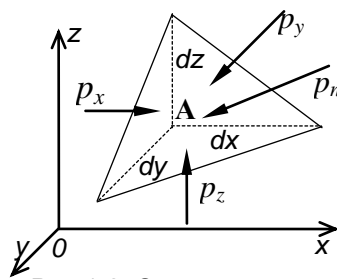


Рис.1.2. Элементарный объем жидкости

Выделим в неподвижной жидкости элементарный объем – тетраэдр с ребрами dx , dy , dz (рис.1.2). Площадки тетраэдра расположены по нормальям к осям Ox , Oy , Oz .

Площадка dS наклонена относительно осей координат.

Давления, действующие на грани и наклонную площадку, в отдельных точках одной и той же бесконечно малой грани (площадке) могут отличаться одно от другого только на бесконечно малую величину, а в выражения, определяющие величины сил, при учете этого отличия давлений вошли бы бесконечно малые высшего порядка, исчезающие перед бесконечно малыми первого порядка.

Поэтому напряжения p_x , p_y , p_z , p_n , распределенные по граням и наклонной площадке и действующие нормально к ним, усредняют и считают отрицательными (сжимающими), поскольку в качестве внешних нормалей служат орты осей координат, направленные внутрь тетраэдра.

Кроме этого, на тетраэдр действует массовая сила $q\Delta m$, слагающаяся из силы тяжести, направленной вертикально, и инерции переносного движения, направленного ускорению этого движения. Проекции массовой силы на оси Ox , Oy , Oz координат соответственно $q_x\Delta m$, $q_y\Delta m$ и $q_z\Delta m$, где $\Delta m = \frac{1}{6}\rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz$ - масса элементарного тетраэдра; q_x , q_y и q_z - единичные массовые силы, действующие по осям координат.

Т.к. рассматриваемый тетраэдр находится в покое, то поэтому сумма действующих на тетраэдр силовых факторов должна быть равна нулю, т.е. суммы проекций сил на оси координат и моментов относительно осей координат должны быть равны нулю.

Рассмотрим условия равновесия выделенного тетраэдра в направлении осей координат.

На выделенный объем по оси Ox действуют:

сила давления $-p_x \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{1}{2} + p_n \cdot dS \cos(n^{\wedge}x)$ и массовая сила: $q_x \cdot \rho \cdot \frac{1}{6} \cdot dx \cdot dy \cdot dz$.

Уравнение равновесия сил, действующих на выделенный объем по оси Ox , примет вид:

$$-p_x \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{1}{2} + p_n \cdot dS \cos(n^{\wedge}x) + q_x \cdot \rho \cdot \frac{1}{6} \cdot dx \cdot dy \cdot dz = 0$$

При условии, что $dS \cos(n^{\wedge}x) = dy \cdot dz \cdot \frac{1}{2}$, после преобразований получа-

ем: $p_x - p_n - q_x \cdot \rho \cdot \frac{1}{3} \cdot dx = 0$.

В пределе, при стягивании тетраэдра в точку, когда $dx \rightarrow 0$, имеем: $p_x = p_n$. Аналогично по осям Oy и Oz можно получить: $p_y = p_n$; $p_z = p_n$, т.е. $p_x = p_y = p_z = p_n$.

Поверхность рассматриваемого тетраэдра является граничной для рассматриваемой совокупности частиц жидкости, а поэтому и напряжения p_x , p_y , p_z и p_n являются внешними. Хотя согласно третьему закону Ньютона можно получить, что ответное действие жидкости будет $p_x = p_y = p_z = p_n = -p$ (p - давление внутри объема), однако нормальное гидростатическое давление будем считать положительным. **(Выкладки велись для случая действия внешних сил).**

Остальные три уравнения (суммы моментов) относительно осей координат удовлетворяют поставленному условию, так как начало координат можно было выбрать в точке А, что в пределе (при стягивании тетраэдра в точку) будет соответствовать прохождению всех сил через эту точку.

Напряжение в точке покоящейся жидкости имеет значение, не зависящее от направления этой площадки. Величина $p_n = -p$, взятая с обратным знаком, получила название - гидростатическое давление.

В различных точках объема жидкости гидростатическое давление не будет одинаковым.

Каждая точка объема характеризуется определенным значением давления $p=p(x;y;z)$, т.е. состоянию покоя в любой точке объема жидкости соответствует свое конкретное выражение функции давления.

За единицу давления в **Международной системе единиц СИ** принят Паскаль - давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по нормально к ней поверхности площадью 1 м²: 1 Па = 1 Н/м² = 10⁻³ кПа = 10⁻⁶ МПа.

В технике применяют **систему единиц МКГСС** (метр, килограмм-сила, секунда), в которой за единицу давления принимается килограмм-сила на квадратный сантиметр: 1 кГс/см² = 0,98·10⁵ Па.

Кроме того, используют внесистемную единицу - бар: 1 бар = 10⁵ Па ≈ 1 кГс/см².

Шкала отсчета давлений.

Введем несколько важнейших понятий. Их формулировки не претендуют на всеобъемлющую полноту и строгость, прежде всего они раскрывают суть явления и позволяют ввести ряд важнейших терминов.

Абсолютное давление $p_{абс}$ соответствует идеализированному случаю, когда рассматриваемая элементарная площадка жидкости не контактирует ни с какими телами (твердыми, жидкими, газообразными), и, следовательно, величину давления, определяемую по выражению $p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}$ при нормальной силе $\Delta P=0$, принимают за начало отсчета на шкале давления. Иными словами, такое давление возможно в идеализированном пространстве, в котором отсутствуют молекулы любого вещества, т.е. нет сжимающих напряжений. Давление, которое отсчитывают от **абсолютного нуля (0)**, называют абсолютным и обозначают $p_{абс}$ (рис.1.3).

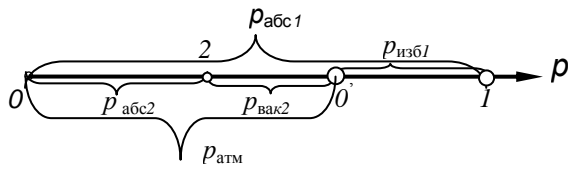


Рис.1.3. Шкала отсчета давлений

Атмосферное давление $p_{атм}$ - абсолютное давление, создаваемое окружающей средой (столбом воздуха, который условно «опирается» на единичную площадку); в общем случае - внешнее абсолютное давление, действующее в конкретной точке пространства, которое не имеет фиксированного значения. Не следует путать его с *нормальным атмосферным давлением* - среднестатистическим для данного места абсолютным давлением.

Избыточное давление $p_{изб}$ - давление, превышающее уровень атмосферного давления, т.е.

$$p_{изб1} = p_{абс1} - p_{атм} .$$

Недостаток давления до атмосферного (точка 2 на рис.1.3) свидетельствует о *разреженном состоянии рассматриваемой сплошной среды в сосуде, называемом в технике вакуумом*. Величину отрицательного избыточного давления (по отношению к атмосферному) $p_{абс} < p_{атм}$, измеряющую величину разрежения, определяют как давление вакуума - $p_{вак2} = p_{атм} - p_{абс2}$.

На шкале давления (см. рис.1.3) состоянию 1 жидкости соответствуют абсолютное давление $p_{абс1}$ и избыточное давление $p_{изб1}$, измеренное от начала отсчета 0' избыточного давления. Положение точки 0' соответствует атмосферному давлению на шкале абсолютного давления. Состоянию 2 соответствует абсолютное давление $p_{абс2}$ и избыточное давление - $p_{изб2} = p_{вак2}$.

Практика показывает, что в этом случае при составлении уравнений увеличивается вероятность ошибки, связанной с выбором знака. Необходимо внимательно следить, чтобы величины $p_{вак}$ и $p_{изб}$ входили в уравнение с разными знаками.