

Реферат

на тему: «Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика»

Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика

1. Свойства жидкости (капельная и газовая) [плотность, удельный вес, объем, масса, вязкость: динамическая и кинетическая].

Силы действующие на жидкость: сила веса, сила инерции, сила давления и сила трения. Величины векторные и скалярные.

Давление скалярная величина- [Па, атм, мм.рт.ст., м.вод.ст., бар]

Системы отсчета (барометр, манометр, вакуумметр), системы отчета.

2. Гидростатика. Основной закон гидростатики.
3. Закон Архимеда.
4. Гидростатический напор.
5. Действие гидростатической силы на плоскую стенку. (модуль, вектор, точка приложения).
6. Гидродинамика. Виды движения жидкости: равномерное-неравномерное, стационарное- нестационарное, напорное-безнапорное. Идеальная и реальная жидкость. Поток, элементарная струйка. Живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус, эквивалентный диаметр. Расход: объемный, массовый.

Скорость течения жидкости – локальная и средняя.

7. Уравнение сплошности или неразрывности (материальный баланс).
Уравнения Бернулли: для струйки идеальной жидкости; для струйки реальной жидкости; для потока жидкости.
8. Режимы течения: ламинарный и турбулентный, число Ренольдтца.
9. Определение потерь в трубопроводе (Дарси).
10. Расчет простого трубопровода.
11. Основы подземной гидравлики.

12. Виды течений. Фильтрация. Гидравлический уклон. Закон фильтрации Дарси.

1. **Жидкость** — **вещество**, находящееся в жидком **агрегатном состоянии**, занимающем **промежуточное** положение между **твёрдым** и **газообразным состояниями**[1].

При этом агрегатное состояние жидкости как и агрегатное состояние твёрдого тела является конденсированным, то есть таким, в котором частицы (атомы, молекулы, ионы) связаны между собой.

Основным свойством жидкости, отличающим её от веществ, находящихся в других агрегатных состояниях, является способность неограниченно менять форму под действием касательных **механических напряжений**, даже сколь угодно малых, практически сохраняя при этом объём.

Жидкое состояние обычно считают промежуточным между **твёрдым телом** и **газом**: газ не сохраняет ни объём, ни форму, а твёрдое тело сохраняет и то, и другое[2].

Форма жидких тел может полностью или отчасти определяться тем, что их поверхность ведёт себя как упругая мембрана. Так, вода может собираться в капли. Но жидкость способна течь даже под своей неподвижной поверхностью, и это тоже означает несохранение формы (внутренних частей жидкого тела).

Молекулы жидкости не имеют определённого положения, но в то же время им недоступна полная свобода перемещений. Между ними существует притяжение, достаточно сильное, чтобы удержать их на близком расстоянии.

Вещество в жидком состоянии существует в определённом интервале **температур**, ниже которого переходит в **твёрдое состояние** (происходит **кристаллизация** либо превращение в твердотельное аморфное состояние — **стекло**), выше — в **газообразное** (происходит испарение). Границы этого интервала зависят от **давления**.

Как правило, вещество в жидком состоянии имеет только одну модификацию (наиболее важные исключения — это **квантовые жидкости** и **жидкие кристаллы**). Поэтому в большинстве случаев жидкость является не только агрегатным состоянием, но и **термодинамической фазой** (жидкая фаза).

Все жидкости принято делить на чистые жидкости и **смеси**. Некоторые смеси жидкостей имеют большое значение для жизни: **кровь, морская вода** и другие. Жидкости могут выполнять функцию **растворителей**.

Физические свойства жидкостей

Текучесть

Основным свойством жидкостей является текучесть. Если к участку жидкости, находящейся в равновесии, приложить **внешнюю силу**, то возникает поток частиц жидкости в том направлении, в котором эта сила приложена: жидкость течёт. Таким образом, под действием неуравновешенных внешних сил жидкость не сохраняет форму и относительное расположение частей, и поэтому принимает форму сосуда, в котором находится.

В отличие от пластичных твёрдых тел, жидкость не имеет **предела текучести**: достаточно приложить сколь угодно малую внешнюю силу, чтобы жидкость потекла.

Сохранение объёма

Одним из характерных свойств жидкости является то, что она имеет определённый **объём**. Жидкость чрезвычайно трудно сжать механически, поскольку, в отличие от **газа**, между молекулами очень мало свободного пространства. Давление, производимое на жидкость, заключённую в сосуд, передаётся без изменения в каждую точку объёма этой жидкости (**закон Паскаля**, справедлив также и для газов). Эта особенность, наряду с очень малой сжимаемостью, используется в гидравлических машинах.

Жидкости обычно увеличивают объём (расширяются) при нагревании и уменьшают объём (сжимаются) при охлаждении. Впрочем, встречаются и исключения, например, **вода** сжимается при нагревании, при нормальном давлении и температуре от 0 °C до приблизительно 4 °C.

Вязкость

Кроме того, жидкости (как и газы) характеризуются **вязкостью**. Она определяется как способность оказывать сопротивление перемещению одной из частей относительно другой — то есть как внутреннее трение.

Когда соседние слои жидкости движутся относительно друг друга, неизбежно происходит столкновение молекул дополнительно к тому, которое обусловлено **тепловым движением**. Возникают силы, затормаживающие упорядоченное движение. При этом кинетическая энергия упорядоченного движения переходит в тепловую — энергию хаотического движения молекул.

Жидкость в сосуде, приведённая в движение и предоставленная самой себе, постепенно остановится, но её температура повысится.

Образование свободной поверхности и поверхностное натяжение

Сферическая форма **капли жидкости** как пример минимизации **площади поверхности**, что обусловлено **поверхностным натяжением** в жидкостях.

Из-за сохранения объёма жидкость способна образовывать свободную поверхность. Такая поверхность является поверхностью раздела **фаз** данного вещества: по одну сторону находится жидкая фаза, по другую — газообразная (пар), и, возможно, другие газы, например, воздух.

Если жидкая и газообразная фазы одного и того же вещества соприкасаются, возникают силы, которые стремятся уменьшить площадь поверхности раздела — силы поверхностного натяжения. Поверхность раздела ведёт себя как упругая мембрана, которая стремится стянуться.

Поверхностное натяжение может быть объяснено притяжением между молекулами жидкости. Каждая молекула притягивает другие молекулы, стремится «окружить» себя ими, а значит, уйти с поверхности. Соответственно, поверхность стремится уменьшиться.

Поэтому мыльные пузыри и пузыри при кипении стремятся принять сферическую форму: при данном объёме минимальной поверхностью обладает шар. Если на жидкость действуют только силы поверхностного натяжения, она обязательно примет сферическую форму — например, капли воды в невесомости.

Маленькие объекты с плотностью, большей плотности жидкости, способны «плавать» на поверхности жидкости, так как сила тяготения меньше силы, препятствующей увеличению площади поверхности. (См. **Поверхностное натяжение**.)

Испарение и конденсация

Водяной пар, содержащийся в воздухе, конденсируется в жидкость после соприкосновения с холодной поверхностью бутылки.

Испарение — постепенный переход вещества из жидкости в газообразную фазу (пар).

При тепловом движении некоторые молекулы покидают жидкость через её поверхность и переходят в пар. Вместе с тем, часть молекул переходит обратно из пара в жидкость. Если из жидкости уходит больше молекул, чем приходит, то имеет место испарение.

Конденсация — обратный процесс, переход вещества из газообразного состояния в жидкое. При этом в жидкость переходит из пара больше молекул, чем в пар из жидкости.

Испарение и конденсация — **неравновесные процессы**, они происходят до тех пор, пока не установится **локальное равновесие** (если установится), причём жидкость может полностью испариться, или же прийти в равновесие со своим паром, когда из жидкости выходит столько же молекул, сколько возвращается.

Кипение

Кипение — процесс парообразования внутри жидкости. При достаточно высокой температуре давление пара становится выше давления внутри жидкости, и там начинают образовываться пузырьки пара, которые (в условиях земного притяжения) всплывают наверх.

Смачивание

Смачивание — поверхностное явление, возникающее при контакте жидкости с твёрдой поверхностью в присутствии пара, то есть на границах раздела трёх фаз.

Смачивание характеризует «прилипание» жидкости к поверхности и растекание по ней (или, наоборот, отталкивание и нерастекание). Различают три случая: несмачивание, ограниченное смачивание и полное смачивание.

Смешиваемость

Смешиваемость — способность жидкостей растворяться друг в друге. Пример смешиваемых жидкостей: вода и **этиловый спирт**, пример несмешиваемых: вода и жидкое **масло**.

Диффузия

При нахождении в сосуде двух смешиваемых жидкостей молекулы в результате **теплового движения** начинают постепенно проходить через поверхность раздела, и таким образом жидкости постепенно смешиваются. Это явление называется **диффузией** (происходит также и в веществах, находящихся в других агрегатных состояниях).

Перегрев и переохлаждение

Жидкость можно нагреть выше точки кипения таким образом, что кипения не происходит. Для этого необходим равномерный нагрев, без значительных перепадов температуры в пределах объёма и без механических воздействий, таких, как вибрация. Если в **перегретую жидкость** бросить что-либо, она мгновенно вскипает. Перегретую воду легко получить в **микроволновой печи**.

Переохлаждение — охлаждение жидкости ниже точки замерзания без превращения в **твёрдое агрегатное состояние**. Как и для перегрева, для переохлаждения необходимо отсутствие вибрации и значительных перепадов температуры.

Волны плотности

Хотя жидкость чрезвычайно трудно сжать, тем не менее, при изменении давления её объём и плотность всё же меняются. Это происходит не мгновенно; так, если сжимается один участок, то на другие участки такое сжатие передаётся с запаздыванием. Это означает, что внутри жидкости способны распространяться **упругие волны**, более конкретно, **волны плотности**. Вместе с плотностью меняются и другие физические величины, например, температура.

Если при распространении волн плотность меняется достаточно слабо, такая волна называется звуковой волной, или **звуком**.

Если плотность меняется достаточно сильно, то такая волна называется **ударной волной**. Ударная волна описывается другими уравнениями.

Волны плотности в жидкости являются продольными, то есть плотность меняется вдоль направления распространения волны. Поперечные упругие волны в жидкости отсутствуют из-за несохранения формы.

Упругие волны в жидкости со временем затухают, их энергия постепенно переходит в тепловую энергию. Причины затухания — вязкость, «**классическое поглощение**», **молекулярная релаксация** и другие. При этом работает так называемая вторая, или объёмная вязкость — внутреннее трение при изменении плотности. Ударная волна в результате затухания через какое-то время переходит в звуковую.

Упругие волны в жидкости подвержены также рассеянию на неоднородностях, возникающих в результате хаотического теплового движения молекул.

Волны на поверхности

Волны на поверхности воды

Если сместить участок поверхности жидкости от положения равновесия, то под действием возвращающих сил поверхность начинает двигаться обратно к равновесному положению. Это движение, однако, не останавливается, а превращается в колебательное движение около равновесного положения и распространяется на другие участки. Так возникают **волны на поверхности жидкости**.

Если возвращающая сила — это преимущественно силы тяжести, то такие волны называются гравитационными волнами (не путать с **волнами гравитации**). **Гравитационные волны на воде** можно видеть повсеместно.

Если возвращающая сила — это преимущественно сила поверхностного натяжения, то такие волны называются **капиллярными**.

Если эти силы сопоставимы, такие волны называются **капиллярно-гравитационными**.

Волны на поверхности жидкости затухают под действием вязкости и других факторов.

Сосуществование с другими фазами

Формально говоря, для равновесного сосуществования жидкой фазы с другими фазами того же вещества — газообразной или кристаллической — нужны строго определённые условия. Так, при данном давлении нужна строго определённая температура. Тем не менее, в природе и в технике повсеместно жидкость сосуществует с паром, или также и с твёрдым агрегатным состоянием — например, вода с водяным паром и часто со льдом (если считать пар отдельной фазой, присутствующей наряду с воздухом). Это объясняется следующими причинами:

- **Неравновесное состояние.** Для испарения жидкости нужно время, пока жидкость не испарилась полностью, она сосуществует с паром. В природе постоянно происходит испарение воды, также как и обратный процесс — конденсация.
- **Замкнутый объём.** Жидкость в закрытом сосуде начинает испаряться, но поскольку объём ограничен, давление пара повышается, он становится насыщенным ещё до полного испарения жидкости, если её количество было достаточно велико. При достижении состояния насыщения количество испаряемой жидкости равно количеству конденсируемой жидкости, система приходит в равновесие. Таким образом, в ограниченном объёме могут установиться условия, необходимые для равновесного сосуществования жидкости и пара.
- **Присутствие атмосферы в условиях земной гравитации.** На жидкость действует атмосферное давление (воздух и пар), тогда как для пара должно учитываться практически только его **парциальное давление**. Поэтому жидкости и пару над её поверхностью соответствуют разные точки на фазовой диаграмме, в области существования жидкой фазы и в области существования газообразной соответственно. Это не отменяет испарения, но на испарение нужно время, в течение которого обе фазы сосуществуют. Без этого условия жидкости вскипали бы и испарялись очень быстро.

Силы, действующие в жидкости

Жидкости делятся на **покоящиеся** и **движущиеся**.

Здесь же рассмотрим силы, которые действуют на жидкость и вне ее в общем случае.

Сами эти силы можно разделить на две группы.

1. **Силы массовые.** По-другому эти силы называют силами, распределенными по массе: на каждую частицу с массой $M = \rho W$ действует сила F , в зависимости от ее массы.

Пусть объем W содержит в себе точку A . Тогда в точке A :

$$F_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\rho \Delta W}, \quad (1)$$

где F_A – плотность силы в элементарном объеме.

Плотность массовой силы – векторная величина, отнесена к единичному объему W ; ее можно проецировать по осям координат и получить: F_x, F_y, F_z . То есть плотность массовой силы ведет себя, как массовая сила.

Примерами этих сил можно назвать силы тяжести, инерции (кориолисова и переносная силы инерции), электромагнитные силы.

Однако в гидравлике, кроме особых случаев, электромагнитные силы не рассматривают.

2. **Поверхностные силы.** Таковыми называют силы, которые действуют на элементарную поверхность w , которая может находиться как на поверхности, так и внутри жидкости; на поверхности, произвольно проведенной внутри жидкости.

Таковыми считают силы: силы давления которые составляют нормаль к поверхности; силы трения которые являются касательными к поверхности.

Если по аналогии (1) определить плотность этих сил, то:

нормальное напряжение в точке A :

$$\vec{P}_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta w}. \quad (2)$$

касательное напряжение в точке A :

$$\vec{T}_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{T}}{\Delta w}. \quad (3)$$

И массовые, и поверхностные силы могут быть **внешними**, которые действуют извне и приложены к какой-то частице или каждому элементу жидкости; **внутренними**, которые являются парными и их сумма равна нулю.

Давление

Давление — величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}$$

где

p — давление, Па
 F — приложенная сила, Н
 S — площадь поверхности / иначе площадь опоры тела l , м²

Давление — величина скалярная.

Единица СИ давления:

Единица, не входящая в СИ: бар = 10⁵ Па.

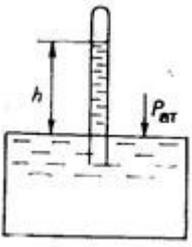
Единицы допускаявшиеся к применению до 1980 г.:

- миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.)
- физическая атмосфера (атм) = 760 мм рт. ст.
- техническая атмосфера (ат) = 1 кгс/(см²)

Приборы для измерения давления. Для измерения давления используют жидкостные (барометр, пьезометр, вакуумметр, дифманометр), механический манометр.

Для измерения давления используют жидкостные (барометр, пьезометр, вакуумметр, дифманометр), механические (манометр, вакуумметр) и электрические приборы. Рассмотрим принцип действия основных из них.

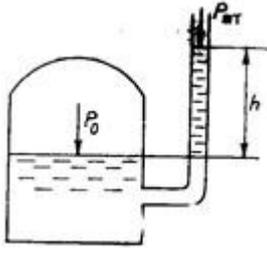
Барометр состоит из открытой чашки, заполненной ртутью, и стеклянной трубки, верхний конец которой запаян,

	<p>а нижний опущен в чашку под уровень ртути. В верхней части трубки воздуха нет, поэтому в ней действует давление насыщенных паров ртути $P_{\text{н.п.}}$. Значение атмосферного давления определяют по формуле</p>
<p>Ртутный барометр</p>	

$$P_{\text{ат}} = P_{\text{н.п.}} + \rho_{\text{рт}} g h$$

где $\rho_{\text{рт}}$ — плотность ртути; h — высота подъема жидкости в трубке.

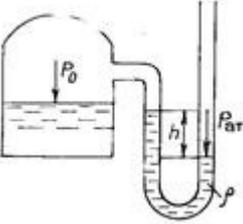
Пьезометр - это прибор для измерения небольших давлений в жидкости при помощи высоты столба этой жидкости.

	<p>Он состоит из вертикальной стеклянной трубки, верхний конец которой открыт и сообщается с атмосферой, а нижний присоединен к сосуду, в котором измеряют давление p.</p>
<p>Пьезометр</p>	

По основному уравнению гидростатики

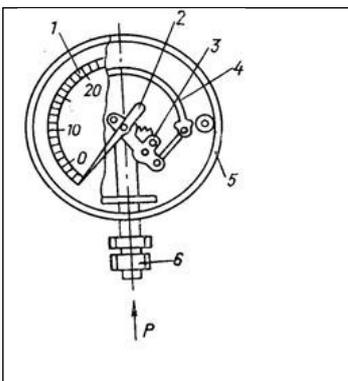
$$p_0 = p + \rho g h.$$

Вакуумметр - это U-образная стеклянная трубка, в колене которой имеется жидкость, тяжелее от той, которая

	<p>находится в сосуде. Один конец трубки соединен с сосудом, а второй открыт (рис.2.7). Давление P_0 на свободной поверхности жидкости, если трубка присоединена выше этой поверхности, вычисляют по формуле</p>
<p>Жидкостной вакуумметр</p>	

$$p_0 = p - \rho g h$$

Пружинный манометр состоит из корпуса 5, штуцера 6, манометрической (пружинной) трубки 4, передающего механизма 3, стрелки 2 и шкалы 1. Жидкость под давлением попадает в штуцер, а затем в трубку. Под действием давления трубка разгибается и перемещается ее свободный конец, связанный со стрелкой прибора.



2. Гидростатика

Гидростатика – раздел гидравлики, изучающий законы равновесия жидкости и их применение.

Напряжение в жидкости описывается давлением.

Давление (p) – величина, равная отношению модуля силы давления F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

$$p = F/S \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

При равномерном распределении сил давления, давление на всех участках поверхности одинаково и численно равно силе давления, действующую на поверхность единичной площади.

Рассмотрим наиболее важный для практики частный случай равновесия жидкости, находящейся под действием только сил тяжести.

Рассмотрим закрытый сосуд, в котором находится жидкость.

Обозначим через p_0 внешнее поверхностное давление, т.е. давление на свободную поверхность жидкости.

Наметим точку A , у которой выделим единицу массы жидкости. К этой единице массы приложена объемная сила – сила тяжести.

Тогда давление в произвольной точке A выразится зависимостью:

$$p = -\rho gZ + (p_0 + \rho gZ_0) \text{ или } p = p_0 + \rho g(Z_0 - Z) = p_0 + \rho gh.$$

Давление p , определяемое по этой формуле, называется абсолютным давлением. $p_{абс} = p_0 + \rho gh$ – уравнение и является основным уравнением гидростатики в простейшей гидравлической форме.

Величина ρgh представляет собой ту часть абсолютного давления $p_{абс}$, которая обусловлена весом самой жидкости. Назовем ее весовым давлением.

$$p_{вес} = \rho gh.$$

Основное уравнение гидростатики показывает, что абсолютное давление в точке равно сумме внешнего поверхностного давления p_0 и весового давления (ρgh)

Разность между абсолютным гидростатическим давлением и атмосферным называется избыточным или манометрическим давлением (такое давление показывает механический манометр):

$$p_{изб} = p_{абс} - p_{атм}.$$

Если $p_0 = p_{атм}$, то из основного уравнения гидростатики следует, что

$$p_{абс} = p_{атм} + \rho gh \text{ и } p_{абс} - p_{атм} = p_{изб} = \rho gh$$

т.е. избыточное давление равно весовому.

По основному уравнению гидростатики можно определить абсолютное давление в любой точке покоящейся жидкости.

Если взять ряд точек, в которых гидростатическое давление одинаково, и провести через эти точки поверхность, то получим поверхность равного давления.

Закон Паскаля

$$p = \frac{F}{S},$$

где p — это давление,

F — приложенная сила,

S — площадь поверхности сосуда.

Давление, оказываемое на жидкость, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Жидкость оказывает силовое воздействие на дно и стенки сосуда. Частицы жидкости, расположенные в верхних слоях, испытывают меньшие силы сжатия, чем частицы жидкости снизу.

На этом законе основано действие многих гидравлических устройств: тормозная система, гидропривод, гидропресс и т.д. Рассмотрим распространенный случай равновесия жидкости, когда на нее действует только одна массивная сила-сила тяжести и получим уравнение, позволяющие находить гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема жидкости. Это основное уравнение гидростатики:

3. Закон Архимеда

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила (сила Архимеда). Выталкивающая сила равна по модулю (и противоположна по направлению) силе тяжести, действовавшей на вытесненным телом объем жидкости, и приложена к центру тяжести этого объема.

Основной закон гидростатики для толщи жидкости – зависимость давления от глубины, который для несжимаемой жидкости в однородном поле тяжести имеет вид

-Закон Архимеда

$$F_A = \rho_{ж} g V_{пч}$$

Тело помещенное в воду, плавает, если сила Архимеда уравновешивает силу тяжести тела. Поведение тела в жидкости зависит от соотношения между плотностями.

1. если сила тяжести больше архимедовой силы, то тело будет опускаться на дно.
2. если сила тяжести равна архимедовой силы, то тело может находиться в равновесии в любом месте жидкости.
3. если сила тяжести меньше архимедовой силы, то тело будет подниматься из жидкости.

4. Пьезометрическим (гидростатическим) напором для точки, находящейся под давлением называется высота от плоскости сравнения до поверхности, где давление равно атмосферному. Гидростатический напор H — это энергетическая характеристика покоящейся жидкости. Напор измеряется в метрах по высоте(вертикали). Гидростатический напор H складывается из двух величин

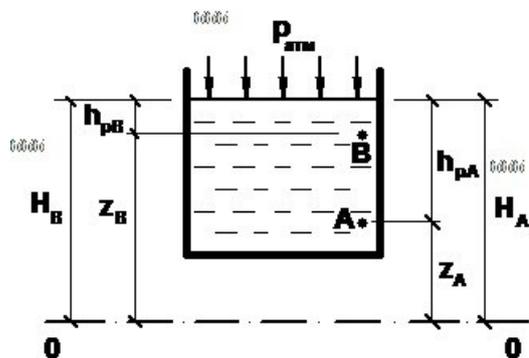


Рис. 6. Схема к понятию гидростатического напора

где z — геометрический напор или высота точки над нулевой горизонтальной плоскостью отсчёта напора $O-O$;

h_p — пьезометрический напор (высота).

Гидростатический напор H характеризует потенциальную энергию жидкости (её энергию покоя). Его составляющая z отражает энергию положения.

Например, чем выше водонапорная башня, тем больший напор она обеспечивает в системе водопровода. Величина h_p связана с давлением. Например, чем выше избыточное давление в водопроводной трубе, тем больше напор в ней и вода поднимется на бóльшую высоту.

Напоры для различных точек жидкости должны отсчитываться от одной горизонтальной плоскости $O-O$ для того, чтобы их можно было сравнивать друг с другом. В качестве горизонтальной плоскости сравнения $O-O$ может быть принята любая. Однако если сама труба горизонтальна, то иногда для упрощения расчётов удобнее $O-O$ провести по оси трубы. Кроме того, на практике часто высотные отметки z и H отсчёта напоров от $O-O$ отождествляют с абсолютными геодезическими, отсчитываемыми от среднего уровня поверхности океана. В России, например, они отсчитываются от уровня Балтийского моря.

Важная особенность гидростатического напора состоит в том, что он одинаков для всех точек покоящейся жидкости, гидравлически взаимосвязанных. Равенство напоров $H_A = H_B$ проиллюстрировано для точек A и B в резервуаре на, невзирая на то, что они находятся на разных глубинах и давления в них неодинаковые. Следует обратить внимание, что для открытых резервуаров напор в любой точке жидкости находится очень просто: от $O-O$ до уровня свободной поверхности воды, на которую действует атмосферное давление $p_{атм}$.

5. Сила гидростатического давления на плоские стенки

Равнодействующая сил давления на плоскую стенку w определяется по формуле:

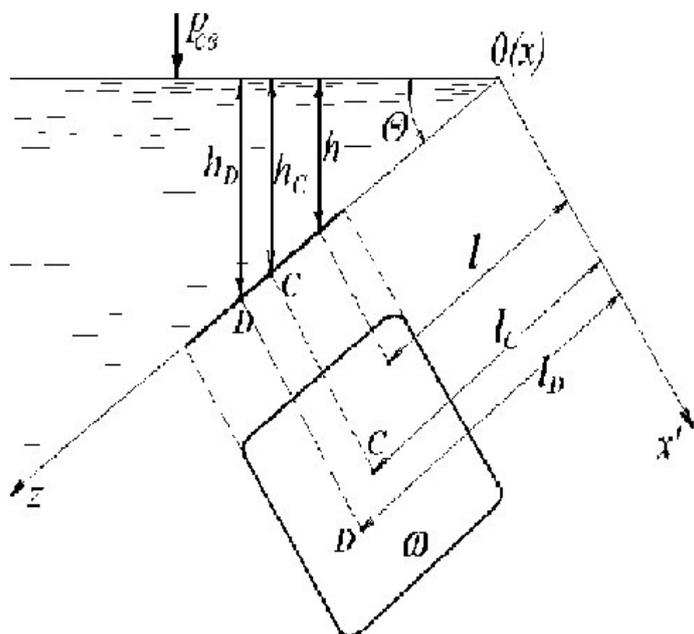
$$F = p_{св} \times w + r \times g \times h_c \times w,$$

где w - площадь смоченной поверхности плоской стенки, м²:

h_c - глубина погружения центра тяжести C смоченной площади под уровень свободной поверхности, м;

$p_{св}$ - внешнее давление (на свободную поверхность жидкости);

Произведение $h_c \times w$ - это объём цилиндра с площадью основания w и высотой h_c .



К определению силы давления на плоскую стенку

В уравнении:

$p_{св} \times w = F_{вн}$ - **сила внешнего давления**, передаваемая на стенку по закону Паскаля, Н;

$r \times g \times h_c \times w = F_{ж}$ - **сила давления** самой **жидкости** на стенку, Н.

Следовательно, сила, с которой жидкость давит на плоскую стенку, равна весу жидкости в объёме цилиндра с основанием, равным площади данной стенки, и высотой, равной глубине погружения центра тяжести этой площади под уровень свободной поверхности:

$$F_{ж} = r \times g \times h_c \times w.$$

Так как $r \times g \times h_c = p_c$, где p_c - гидростатическое давление в центре тяжести площадки w , можно записать:

$$F_{ж} = p_c \times w.$$

Точка приложения равнодействующей сил давления на наклонную стенку лежит ниже центра тяжести - в **центре давления D**.

Глубина погружения центра давления под уровень свободной hD поверхности жидкости равна:

$$hD = ID \times \sin Q,$$

ID – расстояние от свободной поверхности до центра давления D , считая по наклону стенки

Q – угол наклона стенки к горизонту.

Расстояние от свободной поверхности до центра давления D , считая по наклону стенки ID , определяется по формуле:

$$ID = IC + \dots,$$

где IC – расстояние от свободной поверхности до центра тяжести C , считая по наклону стенки;

IC – момент инерции смоченной площади относительно оси, проходящей через центр тяжести C параллельно линии уреза жидкости.

Совпадать глубина погружения центра тяжести смоченной поверхности C и центра давления D может только в случае, если площадка горизонтальная или она лежит на бесконечно большой глубине.

6. Виды движения жидкостей

Основными видами движения жидкости являются: движение установившееся и неустановившееся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное, сплошное и прерывистое.

Установившимся движением называется такое движение жидкости, при котором давление и скорость не изменяются во времени в каждой фиксированной точке пространства, через которую проходит жидкость.

$$u = f(x, y, z),$$

$$P = f(x, y, z)$$

Движение, при котором скорость и давление изменяются не только от координат пространства, но и от времени, называется **неустановившимся или нестационарным**

$$u = f(x, y, z, t),$$

$$P = f(x, y, z, t).$$

Примером неустановившегося движения может служить истечение жидкости из отверстия при переменном уровне ее в резервуаре: с понижением высоты столба жидкости скорость истечения уменьшается во времени.

Установившееся движение в свою очередь подразделяется на равномерное и неравномерное.

Равномерным называется такое установившееся движение, при котором живые сечения вдоль потока не изменяются: в этом случае $v = const$; средние скорости по длине потока также не изменяются, т.е. . Примером равномерного движения является: движение жидкости в цилиндрической трубе, в канале постоянного сечения при одинаковых глубинах.

Установившееся движение называется **неравномерным**, когда распределение скоростей в различных поперечных сечениях неодинаково; при этом средняя скорость и площадь поперечного сечения потока могут быть и постоянными вдоль потока. Примером неравномерного движения может быть движение жидкости в конической трубе или в речном русле переменной ширины.

Напорным называется движение жидкости, при котором поток полностью заключен в твердые стенки и не имеет свободной поверхности. Напорное движение происходит вследствие разности давлений и под действием силы тяжести. Примером напорного движения является движение жидкости в замкнутых трубопроводах (например, в водопроводных трубах).

Безнапорным называется движение жидкости, при котором поток имеет свободную поверхность. Примером безнапорного движения может быть: движение жидкости в реках, каналах, канализационных и дренажных трубах. Безнапорное движение происходит под действием силы тяжести и за счет начальной скорости. Обычно на поверхности безнапорного потока давление атмосферное.

Следует отметить еще один вид движения: свободную струю. **Свободной струей** называется поток, не ограниченный твердыми стенками. Примером может служить движение жидкости из пожарного брандспойта, гидромонитора, водопроводного крана, из отверстия резервуара и т. п. В этом случае движение жидкости происходит по инерции (т. е. за счет начальной скорости) и под действием силы тяжести.

Для упрощения выводов, связанных с изучением потока жидкости, вводится понятие о плавно изменяющемся движении жидкости.

Плавно изменяющимся называется такое движение жидкости, при котором кривизна струек незначительна (равна нулю или близка к нулю) и угол расхождения между струйками весьма мал (равен нулю или близок к нулю), т. е. практически поток жидкости мало отличается от параллельноструйного. Это предположение вполне оправдывается при изучении многих случаев движения жидкости в каналах, трубах и других сооружениях.

Отметим следующие свойства потока при плавно изменяющемся движении:

1. поперечные сечения потока плоские, нормальные к оси потока;
2. распределение гидродинамических давлений по сечению потока подчиняется закону гидростатики, т.е. гидродинамические давления по высоте сечения распределяются по закону прямой. Это свойство легко можно доказать, если внутри потока выделить частицу жидкости и спроектировать все действующие на нее силы на плоскость живого сечения. Вследствие того, что скорости и ускорения в этом случае будут перпендикулярны сечению, силы инерции в уравнение не войдут; поэтому уравнение равновесия и закон распределения давления в

плоскости живого сечения не будет отличаться от такового для жидкости, находящейся в покое;

3. удельная потенциальная энергия (т. е. потенциальная энергия единицы веса жидкости) по отношению к некоторой плоскости сравнения для всех точек данного сечения потока жидкости есть величина постоянная.

Понятие жидкости. Реальная и идеальная жидкости

Жидкость – физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой. Поэтому незначительные силы способны легко изменить форму жидкости, которая способна сохранить объем, но не форму.

В гидравлике жидкость рассматривают как непрерывную среду, заполняющую пространство без пустот и промежутков, т.е. отвлекаются от молекулярного строения жидкости и её частицы, даже бесконечно малые, считают состоящими из большого числа молекул.

Реальной жидкостью называют жидкость, обладающую вязкостью (свойство жидкости сопротивляться сдвигу ее слоев).

Идеальная или невязкая жидкость является упрощенной моделью реальной (вязкой) жидкости. По предположению, идеальная жидкость имеет все свойства реальной, кроме вязкости.

Элементарная струйка и поток.

Трубка тока – поверхность, очерченная вдоль небольшого контура внутри которой вдоль линии тока перемещаются частицы жидкости. Стенки трубки тока непроницаемы. Площадь поперечного сечения трубки тока мала, поэтому скорости движения в каждой точке равны (см. рис. 2.34).

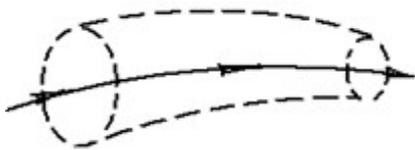


Рис. 2.34. Трубка тока

Элементарная струйка – поток жидкости, протекающий в трубке тока. Элементарную струйку можно представить также как совокупность линий тока, проходящих через бесконечно малое сечение ds , а разность скоростей соседних линий тока бесконечно мала. Расход элементарной струйки $dq = uds$. Поток жидкости можно представить как совокупность трубок тока, в которых движутся элементарные струйки.

$$Q = \int_s dq$$

Средняя скорость потока – скорость, одинаковая в каждой точке потока в данном сечении, соответствует реальному расходу

$$v_{\text{ф}} = \frac{\sum u_i}{i},$$

где u_i – скорость в точке в данном сечении; i – количество точек.

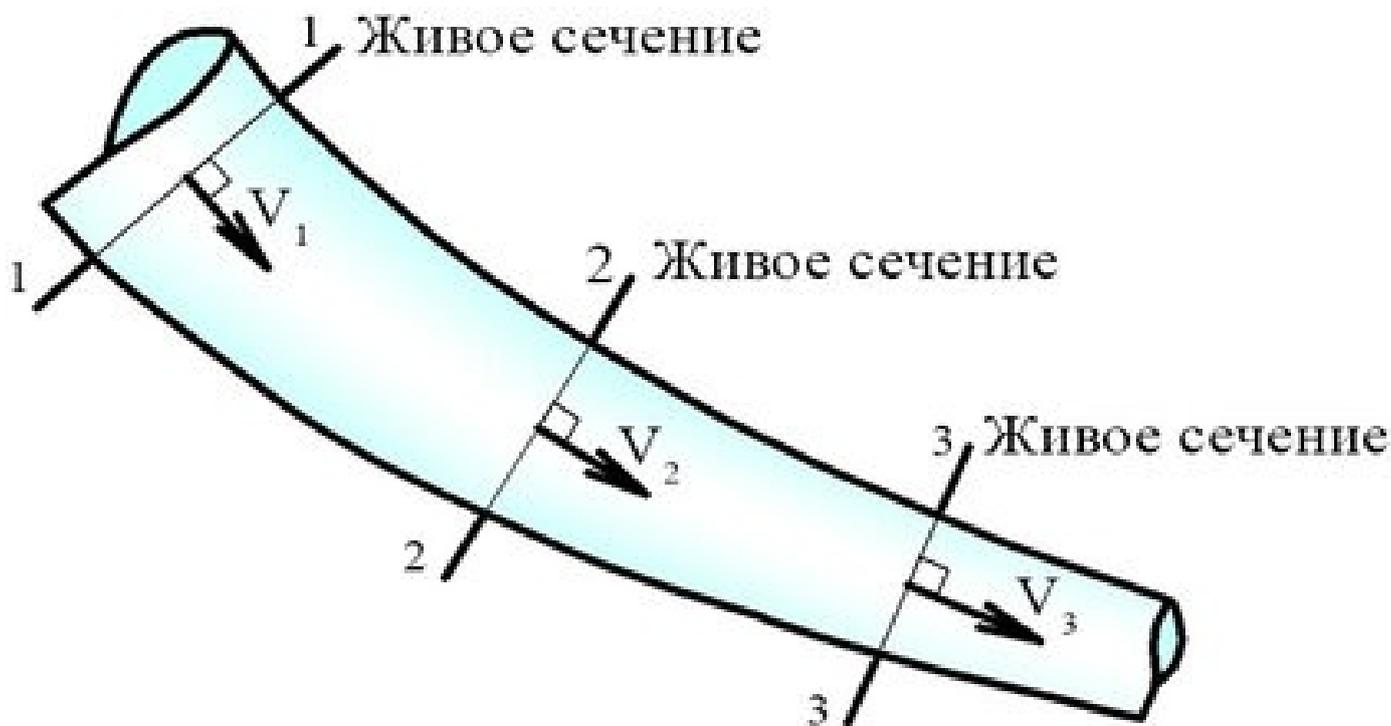
Для потока жидкости, состоящего из нескольких трубок тока можно записать

	$v_{\text{ф}} = \frac{\sum dq}{\sum ds} \text{ или } v_{\text{ф}} = \frac{Q}{S},$	
--	---	--

где S – площадь сечения потока жидкости.

Живое сечение

Живым или нормальным называют сечение потока перпендикулярное направлению скорости течения (линиям тока).

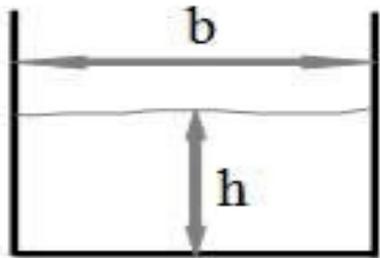


На рисунке изображен поток жидкости, в произвольных точках выбраны перпендикулярные направлениям скоростей живые сечения 1-1, 2-2, 3-3.

Смоченный периметр

Периметр контакта жидкости в данном *живом сечении* называют **смоченным периметром** (Π , м).

Рассмотрим пример:



Для представленного сечения смоченный периметр можно определить по формуле:

$$\Pi = 2h + b$$

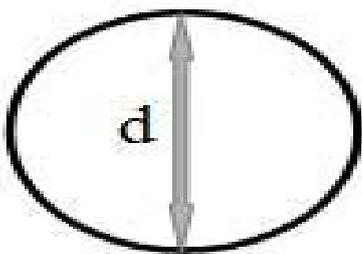
Гидравлический радиус

Отношение площади живого сечения (A , м^2) к смоченному периметру (Π , м) называют гидравлическим радиусом.

$$R_g = A / \Pi, \text{ м}$$

Гидравлический радиус для круглой трубы

Рассмотрим трубу с внутренним диаметром d , полностью заполненную жидкостью.



$$\Pi = \pi d$$

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$R_g = d / 4, \text{ м}$$

d

$d^2 / 4$

Гидравлический диаметр

Для заполненной круглой трубы гидравлический диаметр можно определить по формуле:

$$D_g = 4R_g, \text{ м}$$

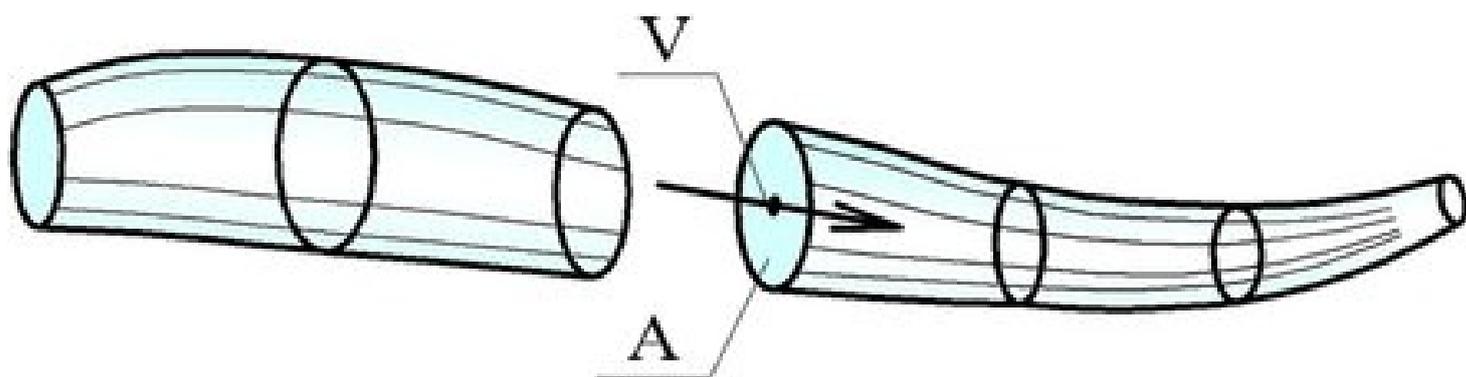
Гидравлический диаметр (эквивалентный диаметр) обычно обозначается — d_r , d_h , D_r . Широко применяется при гидравлических и аэродинамических расчетах различных систем, где формой сечения каналов не является окружность. Гидравлический (эквивалентный) диаметр может служить мерой эффективности системы в пропускании потока жидкости или газа.

Классическая формула гидравлического диаметра (эквивалентного диаметра)

$$D_r = (4 \cdot S) / P$$

Расход и средняя скорость течения жидкости

Рассмотрим стационарное течение жидкости на участках с плавной изменяемостью движения.



Массовый, объемный и весовой расход

Расход потока - это количество жидкости, проносимое потоком сквозь живое сечение за единицу времени.

$$Q = V \times A$$

где Q - объемный расход, A - площадь живого сечения.

Поскольку количество жидкости может измеряться в единицах объема, массы, веса различают:

- массовый расход m , кг/с
- объемный расход Q , л/с, м³/с
- весовой расход G , Н/с

Формула связи весового, массового и объемного расхода:

$$G = gm = \rho g Q$$

где ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения

При отсутствии притока и оттока жидкости, согласно уравнению неразрывности, расход несжимаемой жидкости остается постоянным.

Объемный способ измерения расхода

Доступным и точным методом измерения расхода является объемный способ, в котором фиксируется время наполнения нормированной емкости.

В системе СИ расход измеряют в м³/с, при нормировании характеристик устройств часто используют величину л/мин, для пересчета величин используйте [калькулятор единиц измерения расхода](#), представленный на нашем сайте.

Средняя скорость потока

Среднюю скорость можно определить используя зависимость:

$$V=Q/A$$

где Q - объемный расход, A - площадь живого сечения.

Если рассматривать поток, как множество элементарных струек, то следует понимать, что скорость движения жидкости в каждом из потоков может отличаться от среднего значения. Средняя скорость - это абстрактное понятие, которое дает возможность рассматривать поток, как единое целое. Такой подход позволяет решить множество инженерных задач при движении жидкости в трубопроводах, каналах и т.д.

Рассчитать скорость при известных значениях расхода и площади можно с помощью [калькулятора скорости потока жидкости](#).

7. Уравнение сплошности или неразрывности (материальный баланс)

Уравнение неразрывности

это уравнение материального баланса
или иначе закон сохранения массы

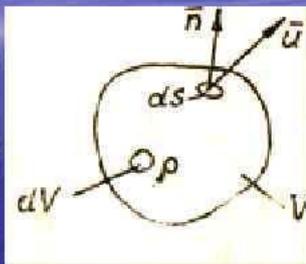
Если в сплошной среде выделить произвольный объем V , то очевидно

$$m = \int_V \rho dV$$

Изменение массы во времени

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$$

Возможно лишь за счет притока жидкости, который равен суммарному массовому расходу жидкости через поверхность s объема V , т. е.

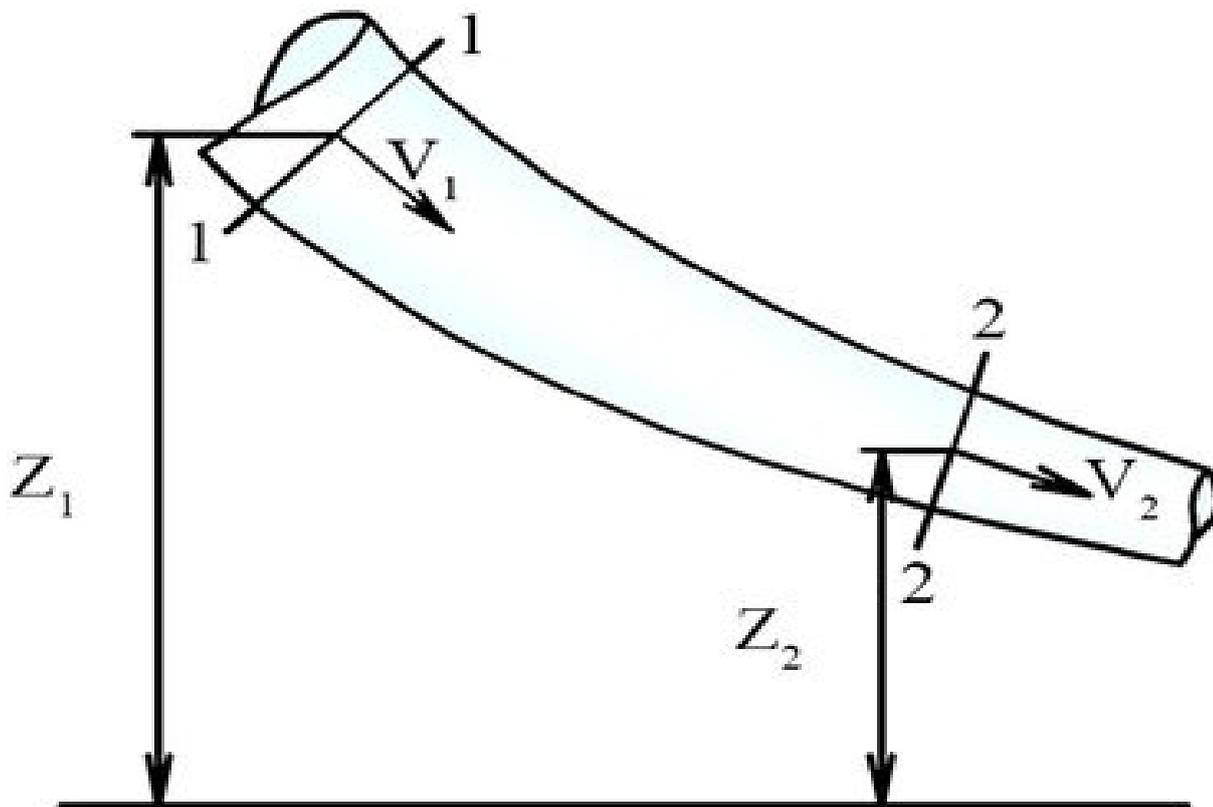


Уравнение неразрывности это уравнение материального баланса или иначе закон сохранения массы. Если в сплошной среде выделить произвольный объем V , то очевидно. Изменение массы во времени. Возможно лишь за счет притока жидкости, который равен суммарному массовому расходу жидкости через поверхность s объема V .

Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости

Рассмотрим установившееся движение потока идеальной несжимаемой жидкости, на которую действует только одна массовая сила - сила тяжести.

Выберем два живых сечения, 1-1 в начале рассматриваемого участка, 2-2 - в конце.



Запишем для этого случая уравнение, связывающее между собой скорость движения жидкости и ее давление в каждом сечении.

$$z_1 + (p_1/\rho g) + (V_1^2/2g) = z_2 + (p_2/\rho g) + (V_2^2/2g)$$

- где z - геометрическая высота,
- p - давление в выбранном сечении,
- V - скорость жидкости в выбранном сечении,
- ρ - плотность жидкости,
- g - ускорение свободного падения.

Указанное уравнение называют законом или **уравнением Бернулли для элементарной струйки идеальной несжимаемой жидкости.**

Для каждого рассматриваемого сечения полный напор есть сумма геометрического, пьезометрического и скоростного напора. Для идеальной жидкости (т.е. при отсутствии потерь энергии) *полный напор - величина постоянная.*

$$z + p/\rho g + V^2/2g = H = \text{const}$$

- где z - геометрический напор,
- $p/\rho g$ - пьезометрический напор,
- $z + p/\rho g$ - статический напор,

• $V^2/2g$ - скоростной напор,

• $z + p/\rho g + V^2/2g = H$ - полный напор.

Уравнение Бернулли можно записать и в другом виде, умножим обе части уравнения на g получим:

$$gz_1 + p_1/\rho + V_1^2/2 = gz_2 + p_2/\rho + V_2^2/2$$

Физический смысл уравнения Бернулли

Составляющие уравнения Бернулли являются различными формами удельной (отнесенной к единице массы) механической энергии жидкости:

• gz - удельная энергия положения,

• p/ρ - удельная энергия давления движущейся жидкости,

• $V_1^2/2$ - удельная кинетическая энергия жидкости,

• $gz + p/\rho + V^2/2 = Hg$ - полная удельная энергия движущейся идеальной жидкости.

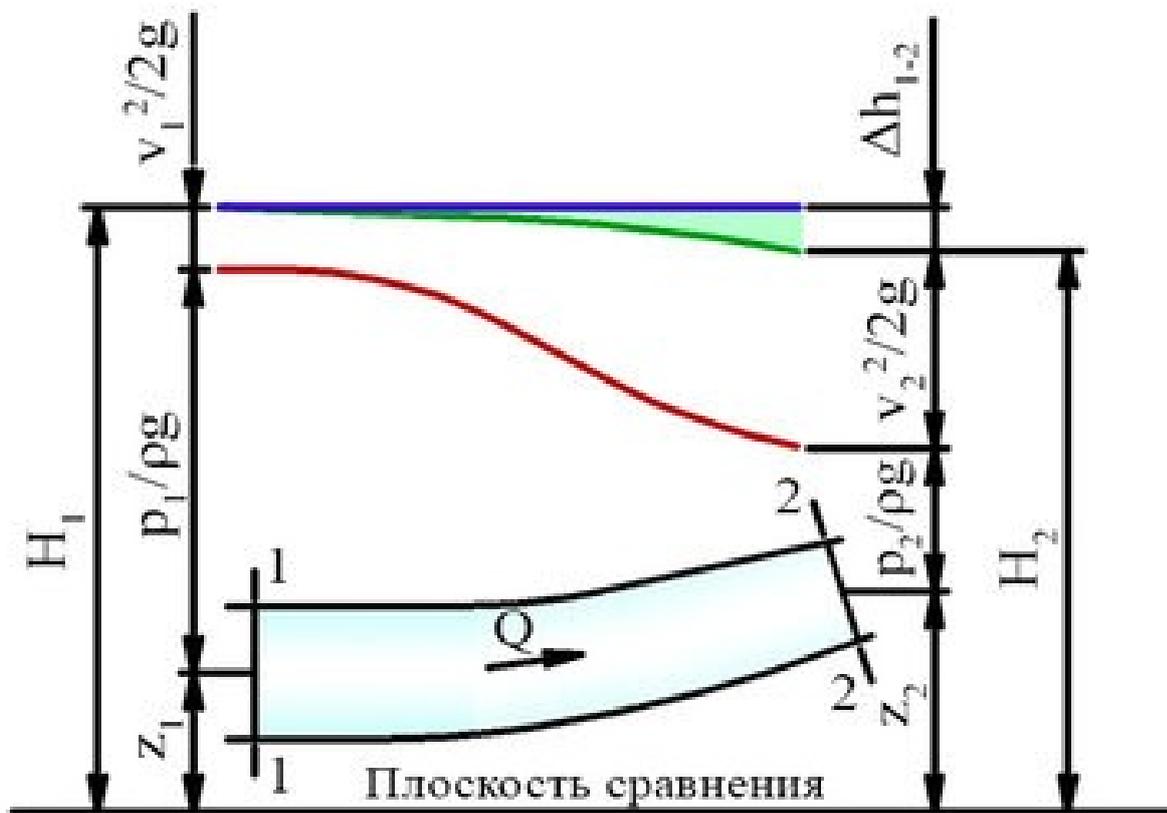
Физический и энергетический смысл уравнения Бернулли заключается в постоянстве полной удельной энергии вдоль элементарной струйки идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли отражает закон сохранения механической энергии для идеальной несжимаемой жидкости.

Уравнение Бернулли для потока реальной вязкой жидкости

Если на участке между расчетными сечениями не совершается механическая работа, а движение является установившимся, без притока и отбора жидкости, и сама жидкость является несжимаемой, то для потока будут справедливы зависимости:

$$H_1 = H_2 + \Delta h_{1-2}$$
$$z_1 + p_1/\rho g + V_1^2/2g = z_2 + p_2/\rho g + V_2^2/2g + \Delta h_{1-2}$$



hydro-pnevmo.ru

Уравнение Бернулли устанавливает связь между полными напорами потока жидкости на участке ограниченными сечениями 1-1 и 2-2. В соответствии с уравнением Бернулли полный напор потока H_1 уменьшается от сечения 1-1 к сечению 2-2 на величину потерь напора (энергии) h_{1-2} , вызванных гидравлическими сопротивлениями участка.

Иллюстрация уравнения Бернулли

Для иллюстрации закона Бернулли на координатной плоскости, совмещенной с принципиальной гидравлической схемой системы изображают [напорную и пьезометрическую линии](#).

Уравнение Бернулли для горизонтальной трубы

Для горизонтальных трубопроводов и силовых [гидроприводов](#), в которых пьезометрический напор существенно превышает геометрический удобна следующая форма записи уравнения Бернулли:

$$p_1 + \rho V_1^2 = p_2 + \rho V_2^2 + \Delta p_1^0$$

8. Режимы течения: ламинарный и турбулентный, число Ренольдтца.

Имеют место два различных по своему характеру режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный.

При ламинарном режиме жидкость движется слоями без поперечного перемешивания, причем пульсации скорости и давления отсутствуют.

При турбулентном режиме слоистость нарушается, движение жидкости сопровождается перемешиванием и пульсациями скорости и давления.

Число Рейнольдса

Критерием для определения режима движения является безразмерное число Рейнольдса. Для труб круглого сечения число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re = u \cdot d / \nu;$$

- для потоков произвольного поперечного сечения

$$Re_{R_2} = u \cdot R_2 / \nu;$$

или

$$Re_{R_2} = u \cdot D_2 / \nu;$$

где u — средняя скорость жидкости; d — диаметр трубы; R_2 — гидравлический радиус; D_2 — гидравлический диаметр; ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Режим будет ламинарным, если

$$Re < Re_{кр};$$

$$Re_R < Re_{Rкр};$$

и турбулентным, если

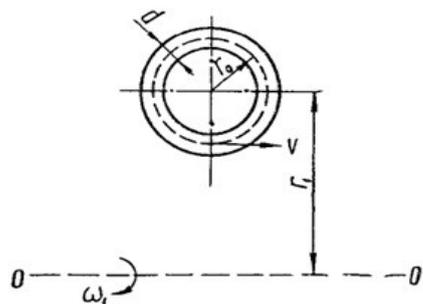
$$Re > Re_{кр};$$

$$Re_R > Re_{Rкр};$$

В выражениях приведенных выше $Re_{кр}$ и $Re_{Rкр}$ — критические числа Рейнольдса, для круглых труб обычно принимаемые равными соответственно 2320 и 580. В таблице приведены ориентировочные значения $Re_{кр}$ для некруглых каналов и некоторых гидроагрегатов, при этом число Рейнольдса определено по формуле $Re_{R_2} = u \cdot D_2 / \nu$.

Форма канала, вид арматуры	$Re_{кр}$
Круглые гладкие трубы	2000—2300
Гибкие (резиновые) шланги	1600—2000
Щели:	
кольцевые гладкие:	
концентрические	1100
неконцентрические	1000
с выточками:	
концентрические	700
неконцентрические	400
Краны распределительные	550—750
Окна цилиндрических золотников	260
Плоские и конусные клапаны	20—100

Для изогнутых каналов (витков), вращающихся вокруг внешней оси 0—0 (следующий рисунок), согласно исследованиям Ю. В. Квитковского и К. И. Толчеева, критическое число Рейнольдса получается несколько большим, чем для прямых труб.



9. Определение потерь в трубопроводе (Дарси).

Линейные потери. Основной формулой линейных потерь, наиболее полно вскрывающей их суть, является формула Дарси – Вейсбаха:

$$h_{л.п} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

где λ - коэффициент гидравлического трения, он зависит от режима движения жидкости и относительной шероховатости, т.е. $\lambda = f(Re, \varepsilon)$; l, d - соответственно длина и диаметр трубопровода; v - скорость движения жидкости.

Формула является универсальной. По ней можно подсчитать линейные потери в трубопроводах любого назначения, но в настоящее время этой формулой пользуются при расчете объемного гидравлического привода.

при расчете водопроводных систем широко используются табличные методы. Так линейные потери можно определить по формуле

$$h_{л.п} = i l$$

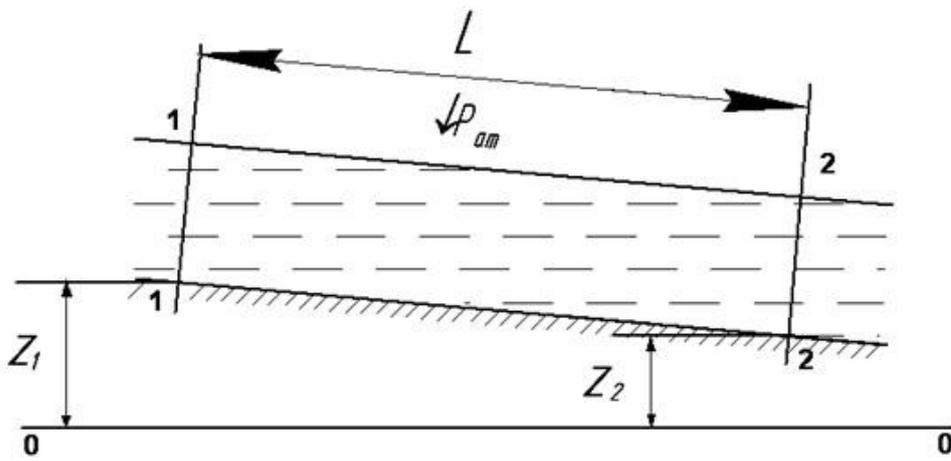
где i - гидравлический уклон, т.е. потери, приходящиеся на единицу длины трубопровода, берется из таблиц в зависимости от материала трубопровода, его диаметра и расхода; l - длина расчетного участка трубопровода.

Линейные потери водопроводных систем определяются так же по зависимости

$$h_{л.п} = \frac{l Q^2}{K^2}$$

где l - длина расчетного участка; Q - расход по участку; K - расходная характеристика, берется из таблиц в зависимости от материала трубопровода и его диаметра.

Рассмотрим особенности расчета безнапорных систем, каковыми являются каналы, лотки и т.п. устройства.



При равномерном движении жидкости в подобных системах уравнение Бернулли для потока реальной жидкости, составленное для сечений 1-1 и 2-2 имеет вид

$$z_1 = z_2 + h_{л.п.},$$

т.е. разница геометрических напоров затрачивается на преодоление линейных потерь. Таким образом движение жидкости обеспечивается наличием гидравлического уклона i , который в данном случае равен геометрическому:

$$i = \frac{h_{л.п.}}{l} = \frac{z_1 - z_2}{l}.$$

Поэтому при проектировании каналов большой протяженности используют естественный уклон местности и в этом случае определяют пропускную способность канала и его размеры по формуле Шези:

$$Q = \omega C \sqrt{R \cdot i}$$

где ω - живое сечение канала; R - гидравлический радиус; C - коэффициент Шези, который зависит от гидравлического радиуса и коэффициента шероховатости.

Коэффициент Шези берется из таблиц или определяется по формулам, например, по формуле Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}.$$

При необходимости решаются и другие задачи.

Местные потери. Для их определения пользуются единственной формулой

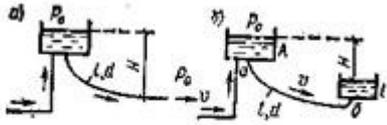
$$h_{м.п.} = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления, берется из таблиц и графиков, вычисляется по специальным формулам в зависимости от вида местного сопротивления; V - скорость движения жидкости в трубопроводе, где установлено местное сопротивление.

10. Расчет простого трубопровода.

Простым называют трубопровод, состоящий из одной линии труб постоянного сечения (не имеет ответвлений) с постоянным расходом по длине трубопровода.

Всякие другие трубопроводы называются сложными.



уравнение Бернулли, записанное для сечений на поверхности воды в резервуаре и на выходы из трубы, имеет вид:

$$z_0 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} = z + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \xi \frac{v^2}{2g}$$

Пренебрегая величиной $\frac{v_0^2}{2g}$ (очень малой по сравнению с другими членами уравнения) и обозначая $z_0 - z = H$, приводим уравнение Бернулли к виду:

$$H = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right)$$

При истечении под уровень получим аналогично:

$$z_A + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = z_B + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \xi \frac{v^2}{2g} + \frac{(v - v_B)^2}{2g}$$

В этом уравнении в отличие от предыдущего местные сопротивления оценены двумя

слагаемыми $\sum \xi \frac{v^2}{2g}$ и $\frac{(v - v_B)^2}{2g}$. Первое слагаемое так же, как и в предыдущем случае, учитывает потери напора на протяжении трубопровода, начиная от выхода из резервуара А в трубу (точка а) и до конца трубы (точка б), за исключением потерь напора на выход в резервуаре В, которые оценены вторым слагаемым.

По аналогии с первым случаем, пренебрегая величиной v_A и v_B , можно привести и это уравнение к виду:

$$z_A - z_B = H = \frac{v^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi + 1 \right)$$

Формулы тождественны между собой, и гидравлические расчеты для обеих схем трубопровода будут одинаковы.

Различие состоит лишь в том, что при истечении под уровень, единица, стоящая в скобках в правой части, представляет собой коэффициент сопротивления «на выход» потока под уровень, в то время как при истечении в атмосферу она учитывает кинетическую энергию, оставшуюся в потоке после выхода из трубопровода, которая может быть так или иначе использована.

Таким образом, напор H при истечении под уровень равен сумме всех сопротивлений: $H = \sum h_w$, при истечении же в атмосферу он делится на две части: кинетическую энергию, уносимую потоком из трубы, и сумму потерь напора

$$H = \frac{v^2}{2g} + \sum h_w$$

Гидравлический расчет простого трубопровода сводится к решению трех основных задач (для заданных конфигураций трубопровода, его материала и длины).

Первая задача. Требуется определить напор H , необходимый для пропуска заданного расхода жидкости Q по заданному трубопроводу диаметром d и длиной l (шероховатость известна). Задача решается путем непосредственного использования формулы с предварительным вычислением средней скорости

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Тогда искомый напор

$$H = \frac{8Q^2}{g \pi^2 d^5} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right)$$

Определение значений коэффициентов λ и ξ в данной задаче не вызывает затруднений, они находятся на основании известного числа Re (легко находится) и относительной шероховатости трубопровода.

Вторая задача. Требуется определить пропускную способность (расход) трубопровода Q при условии, что известны напор H , длина трубы l и ее диаметр d (и шероховатость). Задача решается с помощью формулы, согласно которой

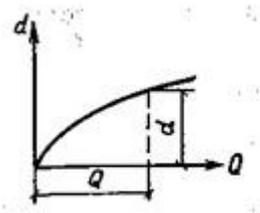
$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi}}$$

Т.к. коэффициенты λ и ξ являются функциями числа Re , которое связано с неизвестным и искомым здесь расходом Q , то решение находим методом последовательных приближений, полагая в первом приближении существование квадратичного закона сопротивления, при котором коэффициенты λ и ξ не зависят от числа Re (а определяются только относительной шероховатостью стенок трубопроводов).

Третья задача. Требуется определить диаметр трубопровода d при заданных значениях Q , l и H . Здесь также используем формулу, но встречаемся с трудностями в вычислениях вследствие

того, что Re неизвестно, неизвестна следовательно и λ . Решение задачи производится также методом последовательных приближений, полагая в первом приближении наличие квадратичного закона сопротивления, при котором коэффициент λ является функцией только диаметра (при заданной шероховатости стенок трубы)

Тогда уравнение приводится к виду



$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda \frac{1}{d} + \sum \xi}}$$

Задаваясь рядом значений диаметра d_1, d_2, \dots, d_n и вычисляя по последней формуле соответственно Q_1, Q_2, \dots, Q_n , строим график $Q=f(d)$, из которого определяем диаметр, отвечающий заданному расходу.

11. Основы подземной гидравлики.

Процессы движения жидкостей, газа и воды сквозь пористые породы изучает раздел подземной гидравлики. Расчетные модели базируются на классических положениях гидравлики, однако главной особенностью являются наличие пористой среды, поэтому законы и зависимости имеют отличия. Подземная гидравлика изучает процессы фильтрации. Основной задачей подземной гидравлики является расчет дебитов скважин и их параметров. Структура скважины представлена на рис. 4.1.

Фильтрация - движение жидкостей, газов и их смесей в пористых и трещиноватых средах, в твердых телах, пронизанной системой сообщающихся между собой пор и микротрещин.



Рис. 4.1. Схема поверхностей фильтрации в пласте с грунтовыми водами

Фильтрация жидкостей и газов по сравнению с движением в трубах и каналах обладает некоторыми особенностями, а именно происходит по чрезвычайно малым в поперечных размерах поровым каналам при очень малых скоростях движения жидкостей. При этом, поскольку площади соприкосновения жидкости с твердыми частицами при движении жидкости в пористой велики, велики и силы трения.

Пористая среда характеризуется *коэффициентами пористости и просветности*.

Активная пористость (пористость) - безразмерная величина, характеризующая способность пористой среды пропускать жидкость, учитывает только те поры и микротрещины, которые соединены между собой и через которые может фильтроваться жидкость.

Коэффициент пористости m - отношение объема пор ($V_{пор}$) ко всему объему пористой среды (V):

$$m = V_{пор} / V \quad (4.1)$$

Коэффициентом просветности n - отношение площади просветов ($\omega_{просв}$) в данном сечении пористой среды ко всей площади этого сечения (ω):

$$n = \frac{\omega_{просв}}{\omega} \quad (4.2)$$

Среднее по длине пласта значение просветности равно пористости, т.е.

$$\bar{n} = \frac{1}{l} \int_0^l n(x) dx = m \quad (4.3)$$

Поэтому среднее значение площади просветов

$$\omega_{просв} = \bar{n} \omega = m \omega$$

Скоростью фильтрации w называется отношение объемного расхода жидкости к площади поперечного сечения пласта, нормального к направлению движения жидкости

$$w = Q / \omega \quad (4.6)$$

Скорость фильтрации представляет собой фиктивную скорость, с которой двигалась бы жидкость, если бы пористая среда отсутствовала ($m=1$), поэтому для более корректной характеристики скорости используют понятие *средней скорости движения жидкости*. Скорость фильтрации и средняя скорость движения связана соотношением:

$$v = w / m \quad (4.8)$$

В общем виде *средняя скорость движения жидкости v* равна отношению объемного расхода к площади просветов $\omega_{просв}$ (живому сечению потока):

$$v = \frac{Q}{\omega_{просв}} = \frac{Q}{m \omega} \quad (4.7)$$

Коэффициент фильтрации c - скорость фильтрации при градиенте давления равном единице, зависит от свойств пористой среды и от свойств фильтрующейся жидкости.

Проницаемость - способность пористой среды пропускать сквозь себя жидкости и газы, характеризуется *коэффициентом проницаемости*. В отличии от коэффициента фильтрации c коэффициент проницаемости k зависит от свойств пористой среды.

Коэффициент проницаемости и фильтрации связаны соотношением

$$c = \frac{k \rho g}{\mu} \quad (4.8)$$

Коэффициент проницаемости имеет размерность площади, а коэффициент фильтрации — размерность скорости.

На практике проницаемость нефтяных и газовых пластов измеряется единицами, называемыми дарси (Д). За единицу проницаемости 1 Д принимают проницаемость такой пористой среды, при фильтрации через образец которой площадью 1 см^2 , длиной 1 см при перепаде давления в 1 кгс/см^2 (98100 Па) расход жидкости вязкостью 1 сП ($1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$) составляет $1 \text{ см}^3/\text{с}$.

Для перевода в систему СИ справедливо соотношение:

$$1 \text{ Д} = 102 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 = 102 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2.$$

Проницаемость реальных пластов изменяется от нескольких миллидарси до нескольких дарси.

12. Виды течений. Фильтрация. Гидравлический уклон. Закон фильтрации Дарси.

Виды течений(п.6). Подземные воды находятся в постоянном движении. Существует раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, который называется "Динамика подземных вод".

Законы движения подземных вод используются при гидрогеологических инженерных расчетах водозаборов, дренажей, определении притоков воды к строительным котлованам.

Подземные воды передвигаются в основном путем инфильтрации и фильтрации.

Под инфильтрацией понимают движение воды при частичном заполнении пор воздухом либо водяными парами.

При фильтрации движение воды происходит при полном заполнении пор(трещин) водой. Масса этой движущей воды создает фильтрационный поток.

Фильтрационные потоки различают по характеру движения (установившийся и неустановившийся), гидравлическому состоянию (безнапорные, напорные и напорно-безнапорные). Движение потоков в основном ламинарное (параллельным), в крупных трещинах и пустотах может быть турбулентным (завихряющемся). В плане фильтрационные потоки можно рассматривать как плоские и радиальные (сходящиеся (например к колодцу) и расходящиеся).

Основной закон фильтрации подземных вод - Закон фильтрации Дарси

Движение подземных вод происходит при наличии разности гидравлических уровней (напоров). Воды двигаются от мест с высокими уровнями к местам с низкими уровнями.

Отношение разности напоров к длине пути фильтрации называется гидравлическим (напорным) градиентом. Чем градиент выше, тем больше скорость движения.

$$I = \Delta H/l,$$

где $\Delta H = H_1 - H_2$ - разность напоров (H);

l - длина пути фильтрации.

Фильтрация в полностью водонасыщенных водах при ламинарном (параллельном, спокойном, без завихрений) движении воды подчиняется закону Дарси

$$Q = K_f F I,$$

где Q - расход воды (кол-во фильтрующей воды через поперечное сечение F в единицу времени);

K_f - коэффициент фильтрации;

F - площадь поперечного сечения потока воды (водоносного пласта);

I - Гидравлический градиент.

Введем понятие скорость фильтрации (v) - отношение расхода воды к площади поперечного сечения потока ($v = Q/F$). Таким образом сформулировать закон Дарси можно как "Скорость фильтрации пропорциональна напорному градиенту"

$$v = K_f I$$

Коэффициент фильтрации можно таким образом можно выразить как скорость фильтрации при напорном градиенте равном единице.

Скорость фильтрации воды по представленной выше формуле не отвечает действительной скорости движения воды в породе. Это связано с тем что вода двигается не по всему сечению, а только через его часть, равную площади пор и трещин породы. Действительную скорость движения воды (v_д) определить можно как

$$v_d = v/n,$$

где n - пористость породы, выраженная в долях единицы.

Коэффициент фильтрации определяется в основном геометрией пор, а также свойствами самой воды и пр.

Точное значение коэффициента фильтрации определяют лабораторным путем, полевым путем и расчетным методом (для песков и гравелистых пород)

Воды зоны аэрации.

Как правило, зона аэрации имеет слои грунта различные по своей водопроницаемости. Поэтому, во время выпадения дождей, в зоне аэрации может образовываться временный водоносный горизонт, который называется верховодкой. Верховодка особенно характерна при зимней оттепели и весной, когда в грунте ещё сохраняется водонепроницаемый слой сезонной мерзлоты, а тающий на поверхности снег обеспечивает интенсивное насыщение почвы водой. Весенняя верховодка часто является причиной затопления подвалов зданий.

Наличие влаги в зоне аэрации объясняется тем, что все капиллярно-пористые системы, в частности которой и является зона аэрации сложенная песками обладает способностью всасывать влагу из воздуха, удерживать и накапливать ее в своих порах. После чего накопленная влага может "стекать" из зоны аэрации в водоносный горизонт, пополняя его запасы. Эта способность возрастает с уменьшением влажности грунта, понижением его температуры и увеличением содержания в нем солей. Благодаря процессам внутригрунтовой конденсации водяных паров даже в пустынях, где влажность воздуха минимальна, под барханами образуются линзы пресной воды.

Зона аэрации расположена между поверхностью земли и уровнем грунтовых вод. Зона насыщения горных пород расположена ниже уровня грунтовых вод. Подземные воды в зоне насыщения циркулируют в виде верховодок, грунтовых, артезианских, трещинных и вод вечной мерзлоты. Верховодки- это временные скопления подземных вод в зоне аэрации. Верховодки образуются над случайными водоупорами- линзы глин и суглинков, при инфильтрации вода задерживается и образует водоносные горизонты. Это связано с периодом обильного снеготаяния, периодом дождей. Также это появляется вследствие низкой водопроницаемости грунта.

Для обеспечения зоны аэрации, для дыхания корней, правильного разложения органического вещества в почве должен происходить газообмен, при котором весь объем воздуха в корнеобитаемом слое будет обновляться не больше, чем за 8 суток. Для нормального роста и развития растений в почве одновременно должны содержаться в определенном соотношении воздух и вода. При недостатке воды корни растений не могут подать требуемое количество ее к листьям (почвенная засуха). В сухой почве много воздуха, вследствие чего активизируется деятельность аэробных бактерий, а это приводит к быстрому разложению органического вещества. При малом содержании воды в почве повышается концентрация почвенного раствора и растения не могут использовать его. При избытке воды, содержание воздуха уменьшается и ухудшается дыхание корней, замедляются процессы разложения органического вещества.

Таким образом, от количества воды в почве зависит степень обеспечения ею растений, содержания в почве воздуха, тепловой и питательный режим в почве, т.е. ее плодородие. Оптимальная влажность почвы для разных растений различна (табл.). чем в почве больше питательных веществ, тем выше оптимум влажности.

Плывуны и псевдоплывуны.

ПЛЫВУН (а. drift sand, floating sand, running sand, quicksand; н. Schwimmsand; ф. terrain coulant, sable aquifere; и. arena movediza, roca pastosa, fluidez de suelo) — насыщенные водой рыхлые слаболитифицированные, главным образом песчаные породы, способные растекаться и оплывать.

Различают истинный и ложный плывун. Истинный плывун состоит из тонкозернистых и пылеватых песков, а также грунтов, содержащих гидрофильные коллоиды, выполняющие роль смазки. Характерная особенность этих плывунов — большая подвижность и способность быстро переходить в плывунное состояние при незначительном механическом воздействии, особенно при сотрясении или вибрации. При малой влажности и высокой плотности плывун обладает значительной прочностью. При влажности выше некоторой критической плывуны могут течь как единое целое под действием незначительных напряжений. Истинный плывун при промерзании подвергается сильному пучению, слабо фильтрует воду, высыхая, приобретает связность. В отличие от высокодисперсных пластичных грунтов пластические свойства истинных плывунов являются временными и после снятия нагрузки постепенно

исчезают. Ложные пльвуны не содержат коллоидных частиц, и их пльвунные свойства проявляются при значительных напорных градиентах. По мере увеличения плотности ложные пльвуны часто теряют пльвунные свойства.

Пльвуны осложняют ведение горных работ при проходке горных выработок, строительстве котлованов, сооружений, тоннелей и др. В качестве защитных мероприятий при проходке в пльвунах применяют специальные щиты, кессоны, опускные колодцы, замораживание, опережающую проходку и закрепление пльвунов.

Виды воды в горных породах.

В зависимости от физического состояния, подвижности и характера связи с грунтом выделяют несколько видов воды в грунтах: химически и физически связанная, капиллярная, свободная, вода в твердом и парообразном состоянии.

Химически связанная вода входит в состав некоторых минералов, например гипса, медного купороса. Вода из таких минералов может быть удалена в большинстве случаев лишь при нагревании до 300-400 С.

Физически связанная вода удерживается на поверхности минералов и частиц грунта молекулярными силами и может быть удалена из грунта только при температуре не менее 90-120 С. Этот вид воды подразделяют на гигроскопическую и пленочную.

Гигроскопическая вода образуется вследствие адсорбции частицами грунта молекул воды. На поверхности частиц гигроскопическая вода удерживается молекулярными и электрическими силами.

Пленочная вода образует пленку поверх гигроскопической воды, когда влажность грунта становится выше его максимальной гигроскопичности. Эта вода может передвигаться от одной частицы грунта к другой.

Капиллярная вода образуется в порах грунта после насыщения их пленочной водой, заполняет поры и тонкие трещины и перемещается в них под действием капиллярных сил. Капиллярную воду в порах грунта подразделяют на капиллярно-подвешенную, образующуюся в верхней части почвенного слоя, питающуюся атмосферными осадками и не связанную с нижерасположенными грунтовыми водами; капиллярно-поднятую, располагающуюся в виде капиллярной зоны над уровнем грунтовых вод и тесно с ним связанную; капиллярно-разобщенную, находящуюся в остальной толще грунта.

Капиллярная вода через поверхность почвы или листья растений испаряется, играет важную роль в насыщении почв водами, режиме грунтовых вод и питании растений.

Свободная вода – наиболее подвижный и важный компонент подземных вод. Эта вода в жидком виде находится в порах и трещинах грунта и перемещается под влиянием силы тяжести и градиентов гидростатического давления.

Вода в твердом состоянии находится в грунте в виде кристаллов, прослоек и линз льда.

Вода в парообразном состоянии заполняет вместе с воздухом не занятые водой пустоты в грунтах.