

**ДИСЦИПЛИНА:
«ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА».**

**ТЕМА 5.
«ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ».**

Список литературы:

- 1. В.П. Гусев «Основы гидравлики», Томск, 2009 г.
- 2. Бретшнайдер С. «Свойства газов и жидкостей», Москва 1966 г.

Учебные вопросы:

1. Основные физические свойства жидкости.
2. Гидростатика.
3. Основное уравнение гидростатики.
4. Пьезометрический и гидростатический напоры.
5. Вакуум. Закон Паскаля.

Учебные вопросы:

6. Виды движения жидкости.

7. Гидродинамика.

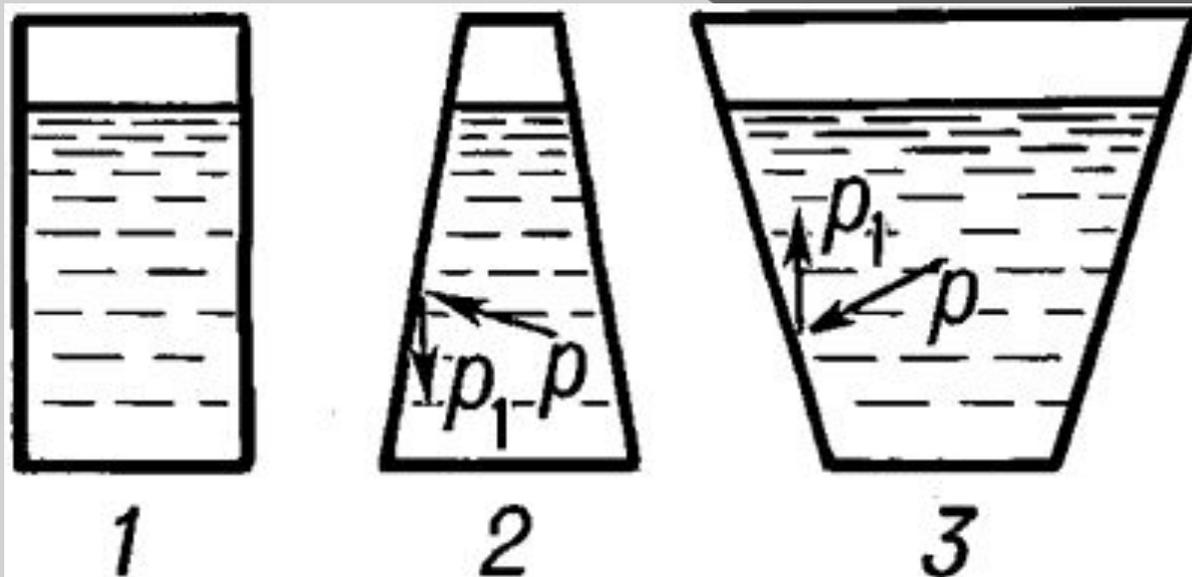
8. Уравнение неразрывности потока.

9. Ламинарный и турбулентный режим движения жидкости.

10. Уравнение Бернулли.

1. Основные физические свойства жидкости.

В отличие от твердого тела жидкость характеризуется малым сцеплением между частицами, вследствие чего она обладает текучестью и принимает форму сосуда, в который ее помещают.



Жидкости подразделяют на
два вида:

капельные

газообразные

Капельные жидкости обладают большим сопротивлением сжатию (практически несжимаемы) и малым сопротивлением касательным и растягивающим усилиям (из-за незначительного сцепления частиц и малых сил трения между частицами).

К капельным жидкостям относятся вода, бензин, керосин, нефть, ртуть и другие



Газообразные жидкости
характеризуются почти
полным отсутствием
сопротивления сжатию.

К газообразным жидкостям относятся все

газы.



К основным физическим свойствам жидкости

относятся:

плотность

давление

сжимаемость

вязкость

температурное
расширение

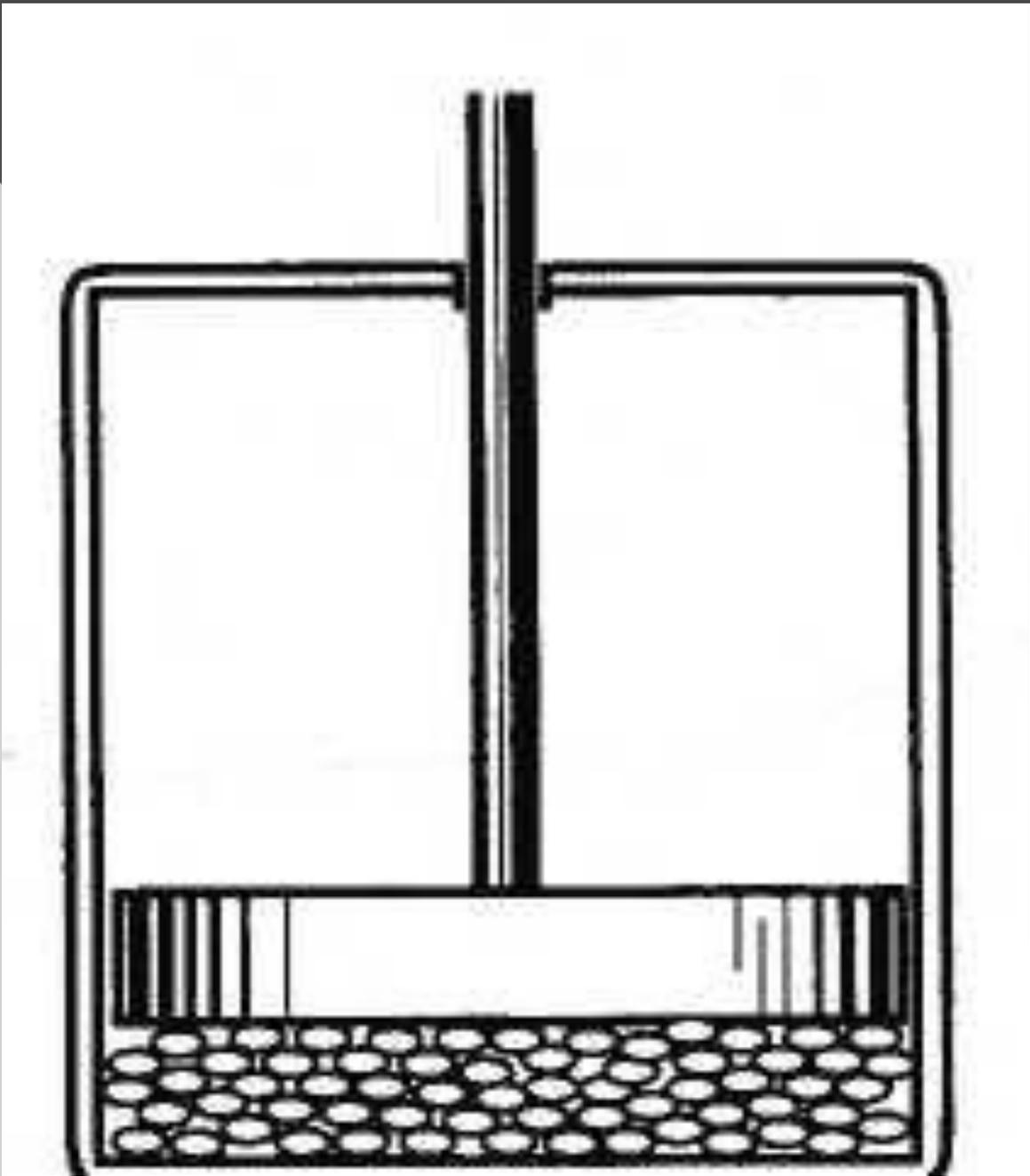
Плотность — это отношение массы к объему, занимаемому этой массой. Плотность измеряют в системе СИ в килограммах на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$). Плотность воды составляет $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Используются также укрупненные показатели: — килопаскаль — $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$;
— мегапаскаль — $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$.



Сжимаемость жидкости — это ее свойство изменять объем при изменении давления. Это свойство характеризуется коэффициентом объемного сжатия или сжимаемости, выражающим относительное уменьшение объема жидкости при увеличении давления на единицу площади. Для расчетов в области строительной гидравлики воду считают несжимаемой. В связи с этим при решении практических задач сжимаемостью жидкости обычно пренебрегают.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, называется модулем упругости. Модуль упругости измеряется в паскалях.



Температурное расширение жидкости при ее нагревании характеризуется коэффициентом температурного расширения, который показывает относительное увеличение объема жидкости при изменении температуры на 1 С.

В отличие от других тел объем воды при ее нагревании от 0 до 4 °С уменьшается. При 4 °С вода имеет наибольшую плотность и наибольший удельный вес; при дальнейшем нагревании ее объем увеличивается. Однако в расчетах многих сооружений при незначительных изменениях температуры воды и давления изменением этого коэффициента можно пренебречь.



Вязкость жидкости — ее свойство оказывать сопротивление относительно движению (сдвигу) частиц жидкости. Силы, возникающие в результате скольжения слоев жидкости, называют силами внутреннего трения, или силами вязкости.

Силы вязкости проявляются при движении реальной жидкости. Если жидкость находится в покое, то вязкость ее может быть принята равной нулю. С увеличением температуры вязкость жидкости быстро уменьшается; остается почти постоянной при изменении давления.

0W/50

5W30

10W30

10W40

15W40



2. Гидростатика

Гидростатикой называется

раздел гидравлики, в котором рассматриваются законы равновесия жидкости и их практическое применение.

Гидростатическое давление

В покоящейся жидкости всегда присутствует сила давления, которая называется *гидростатическим давлением*.

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

Гидростатическое давление обладает свойствами:

Свойство 1. В любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует внутрь рассматриваемого объема жидкости.

Свойство 2. Гидростатическое давление неизменно во всех направлениях.

Свойство 3. Гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве.

3. Основное уравнение гидростатики.

Рассмотрим распространённый случай равновесия жидкости, когда на нее действует только одна массовая сила - сила тяжести, и получим уравнение, позволяющее находить гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема жидкости.

Это уравнение называется *основным уравнением гидростатики*.

Пусть жидкость содержится в сосуде (рис.8) и на ее свободную поверхность действует давление P_0 . Найдем гидростатическое давление P в произвольно взятой точке M , расположенной на глубине h . Выделим около точки M элементарную горизонтальную площадку dS и построим на ней вертикальный цилиндрический объем жидкости высотой h . Рассмотрим условие равновесия указанного объема жидкости, выделенного из общей массы жидкости. Давление жидкости на нижнее основание цилиндра теперь будет внешним и направлено по нормали внутрь объема, т.е. вверх.

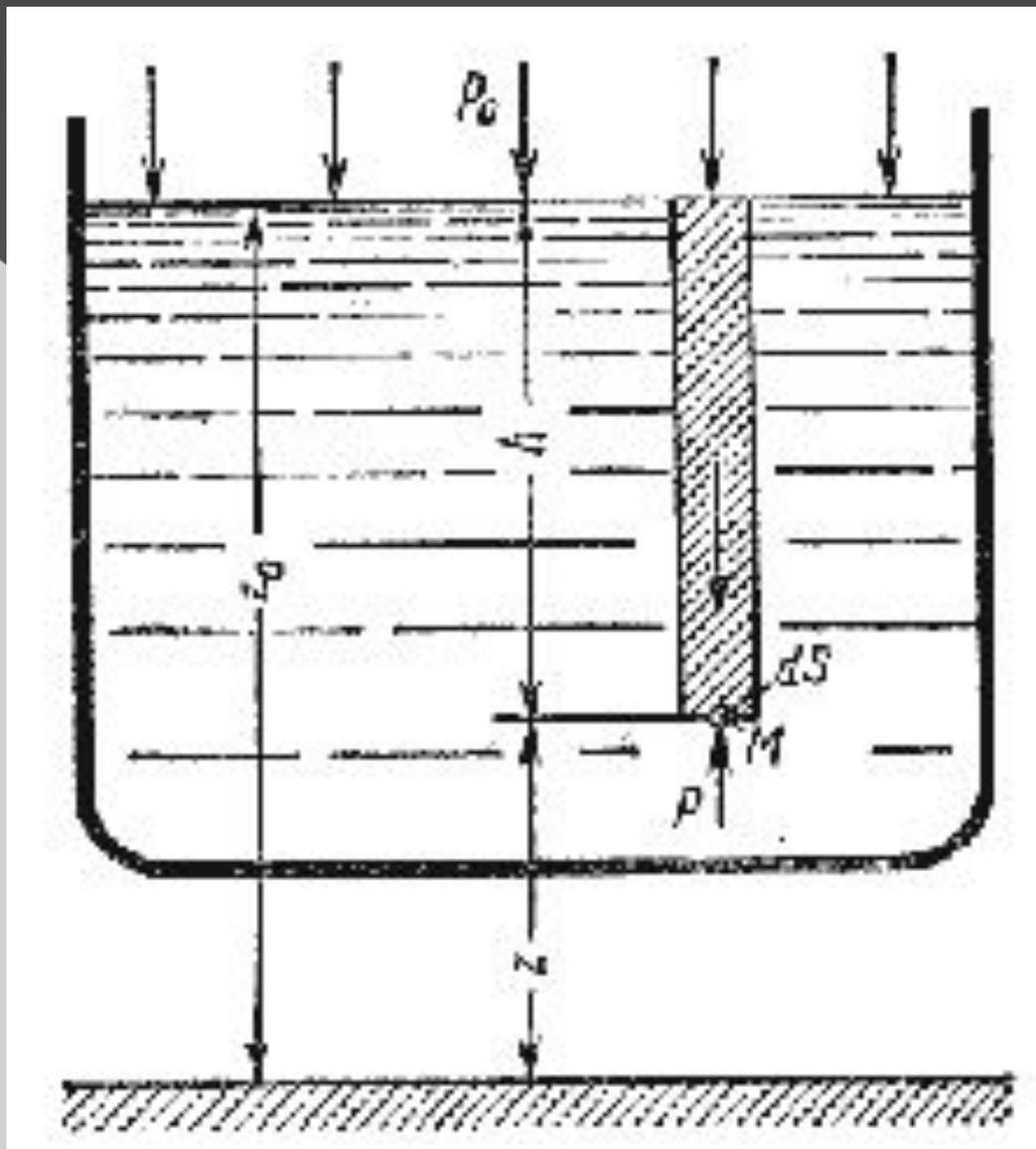


Рис. 8. Схема для вывода основного уравнения гидростатики

Запишем сумму сил, действующих на рассматриваемый объем в проекции на вертикальную ось:

$$PdS - P_0 dS - \rho gh dS = 0$$

Последний член уравнения представляет собой вес жидкости, заключенный в рассматриваемом вертикальном цилиндре объемом hdS . Силы давления по боковой поверхности цилиндра в уравнение не входят, т. к. они перпендикулярны к этой поверхности и их проекции на вертикальную ось равны нулю. Сократив выражение на dS и перегруппировав члены, найдем:

$$P = P_0 + \rho gh = P_0 + h\gamma$$

Полученное уравнение называют основным уравнением гидростатики. По нему можно посчитать давление в любой точке покоящейся жидкости. Это давление, как видно из уравнения, складывается из двух величин: давления P_0 на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости.

4. Пьезометрический и гидростатический напоры.

Рассмотрим закрытый сосуд с жидкостью, к которому в точках А и В на произвольной глубине присоединены пьезометры I и II (рис. 9).

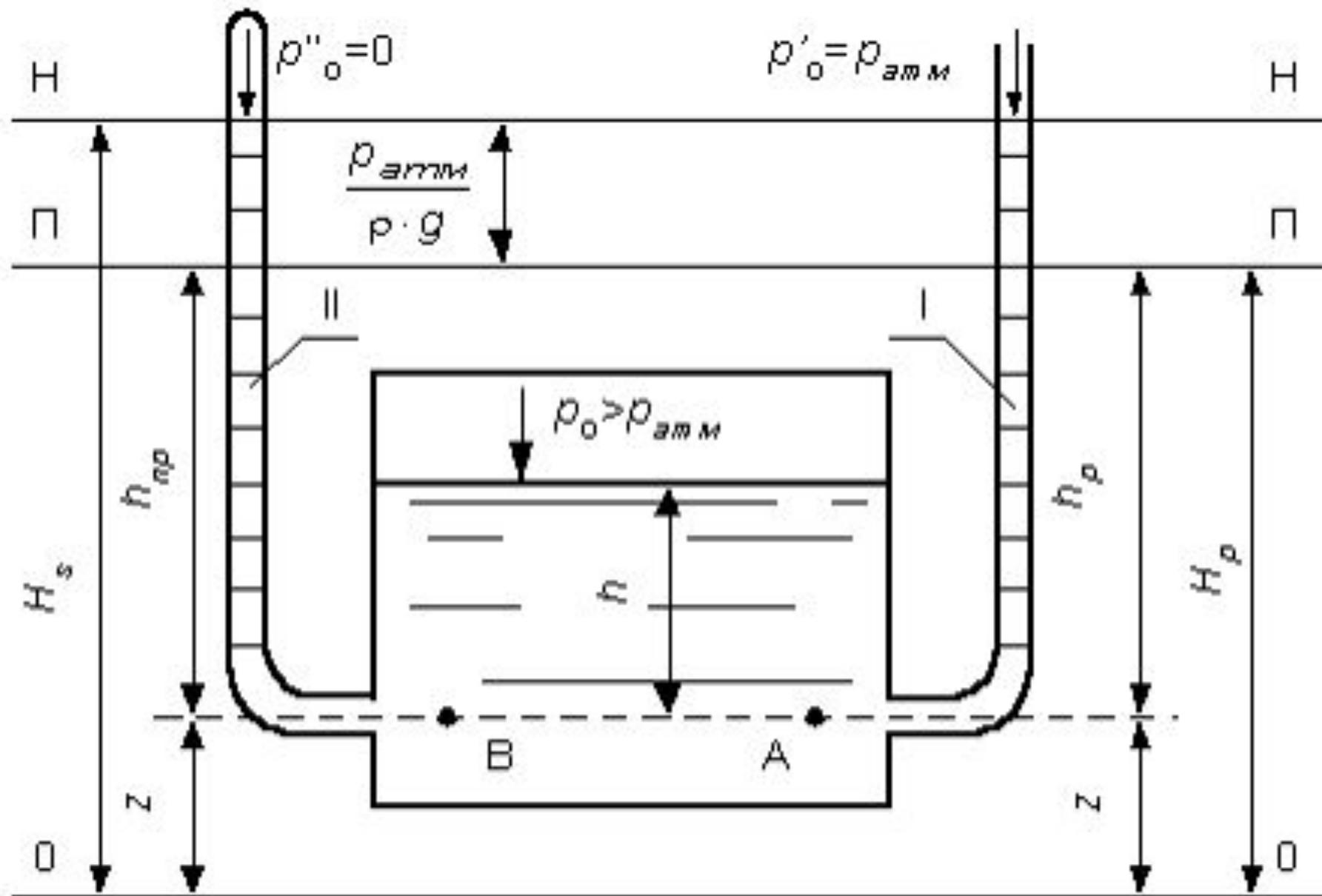


Рис. 9. Определение напора

Давление на свободной поверхности в сосуде больше атмосферного. Трубка I сверху открыта и давление на свободной поверхности в ней равно атмосферному. Трубка II сверху запаяна, из нее удален воздух, т.е. давление в ней равно нулю.

Для определения вертикальных координат точек A и B проведем на произвольной высоте горизонтальную плоскость 0-0. Эта плоскость называется плоскостью сравнения. Вертикальное расстояние от плоскости сравнения до рассматриваемой точки называется геометрической высотой точки по отношению к плоскости сравнения и обозначается буквой. За плоскость сравнения может быть принят уровень земли, пола.

Так как давление в сосуде на свободной поверхности жидкости больше атмосферного, то в пьезометрических трубках I и II жидкость поднимется на большую высоту, чем уровень жидкости в сосуде. Обозначим высоту поднятия жидкости в открытом пьезометре через h – пьезометрическая высота, а высоту поднятия жидкости в закрытом пьезометре через H – приведенная высота.

Пьезометрическая высота – мера манометрического давления в точке А. Приведенная высота – мера абсолютного давления в точке В. Разность высот, равна высоте столба жидкости, соответствующей атмосферному давлению т.е. 10 м.в.ст.

Сумма геометрической высоты и пьезометрической для любой точки жидкости будет величиной постоянной и называется пьезометрическим напором:

$$H_p = z + h_p = \text{const} \quad (1)$$

Но

$$h_p = \frac{p_M}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g} \quad (2)$$

Подставив это выражение в формулу (1)

получим:

$$H_p = \left(\frac{p_{абс}}{\rho \cdot g} - \frac{p_{атм}}{\rho \cdot g} \right) + z \quad (3)$$

ИЛИ

$$H_p = \left(\frac{p_{абс}}{\rho \cdot g} + z \right) - \frac{p_{атм}}{\rho \cdot g} \quad (4)$$

$$\left(\frac{p_{абс}}{\rho \cdot g} + z \right) -$$

это сумма приведенной высоты и геометрической высоты положения, называемая гидростатическим напором H_s .

Тогда:

$$H_p = H_s - \frac{p_{атм}}{\rho \cdot g} \quad (5)$$

В уравнении (5) $H_s = \text{const}$ для любой точки жидкости, а не $\frac{p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g}$ ЗАВИСИТ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ.

Значит:

(6)

$$H_p = H_s - \frac{p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g} = \text{const}$$

Поэтому, сколько бы мы пьезометров не подключили, во всех пьезометрах жидкость установится на одном уровне: плоскость, соответствующая уровню П–П, называется пьезометрической плоскостью, а уровню Н–Н – напорной плоскостью.

Пьезометрический напор является мерой удельной потенциальной энергии жидкости. Предположим, что вес частицы жидкости в точке А. равен G . о отношении к плоскости сравнения $O - O$ запас потенциальной энергии положения равен $G \cdot z$, где $-z$ высота от плоскости $O - O$ до точки А.

Под действием избыточного гидростатического давления P_m частица, находящаяся на глубине h , может подняться на высоту h_p , то есть она обладает потенциальной энергией давления равной $G \cdot h_p$. Полная потенциальная энергия частицы жидкости весом G равна $G \cdot z + G \cdot h_p$

Удельная потенциальная энергия, т.е. энергия приходящаяся на единицу веса частицы будет соответственно равна:

$$z + h_p = H_p$$

(7)

Аналогично, гидростатический напор H_s является также мерой удельной потенциальной энергии жидкости, но большей по сравнению H_p на величину удельной потенциальной энергии атмосферного давления.

$$z + h_p = H_s$$

(8)

5. Вакуум. Закон Паскаля

Вакуум — пространство, свободное от вещества. В технике и прикладной физике под вакуумом понимают среду, содержащую газ при давлении значительно ниже атмосферного. Вакуум характеризуется соотношением между длиной свободного падения молекул газа λ и характерным размером среды d . Под d может приниматься расстояние между стенками вакуумной камеры, диаметр вакуумного трубопровода и т. д. В зависимости от величины соотношения λ/d различают низкий, средний и высокий вакуум.



Рис. 10. Насос для демонстрации вакуума

Законом *Паскаля* в гидростатике называется следующее утверждение, сформулированное французским учёным *Блезом Паскалем*: давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях.



(Pascal, Blaise) (1623 1662)

На основе закона Паскаля работают различные гидравлические устройства: тормозные системы, гидравлические процессы и др.

В законе Паскаля речь идет не о давлениях в разных точках гидравлической системы, а о *возмущениях* давления в разных точках, поэтому закон справедлив и для жидкости в поле силы тяжести.

В случае движущейся несжимаемой жидкости можно условно говорить о справедливости закона Паскаля, ибо добавление произвольной постоянной величины к давлению не меняет вида уравнения движения жидкости, однако в этом случае термин *закон Паскаля* обычно не применяется. Для сжимаемых жидкостей (газов) закон Паскаля, вообще говоря, несправедлив.

6. Виды движения жидкости.

Виды движения жидкости бывают:

установившимся
(стационарным)

не
установившимся
(не
стационарным)

Неустановившимся – называют движение жидкости, все или некоторые характеристики которого изменяются во времени, т. е. давление и скорость зависят как от координат, так и от времени

$$p = f_1(x, y, z, t),$$

$$u = f_2(x, y, z, t),$$

Примерами неустановившегося движения являются опорожнение резервуаров, водохранилищ, движение воды в реках при переменном уровне (при паводках, сбросах воды через плотину) и т. д.



Рис. 12. Сброс воды через плотину

Установившимся – наз. движение жидкости неизменное во времени, при котором давление и скорость являются функциями только координат, но не зависят от времени

$$u = f_1(x, y, z); p = f_2(x, y, z).$$

Установившееся движение
подразделяется на:

равномерное

неравномерное

Равномерное движение характеризуется постоянством параметров по длине потока. Примерами такого движения являются движения в трубах постоянного сечения и в каналах правильной формы. Поле линий тока равномерного движения — семейство параллельных прямых.

При неравномерном движении скорость, глубина, площади сечений потока изменяются по его длине. Из неравномерных движений можно выделить так называемое плавно изменяющееся движение, которое характеризуется малой кривизной линий тока и малым углом расхождения линий тока .

В зависимости от причин, вызывающих движение, и условий, в которых оно происходит, различают:

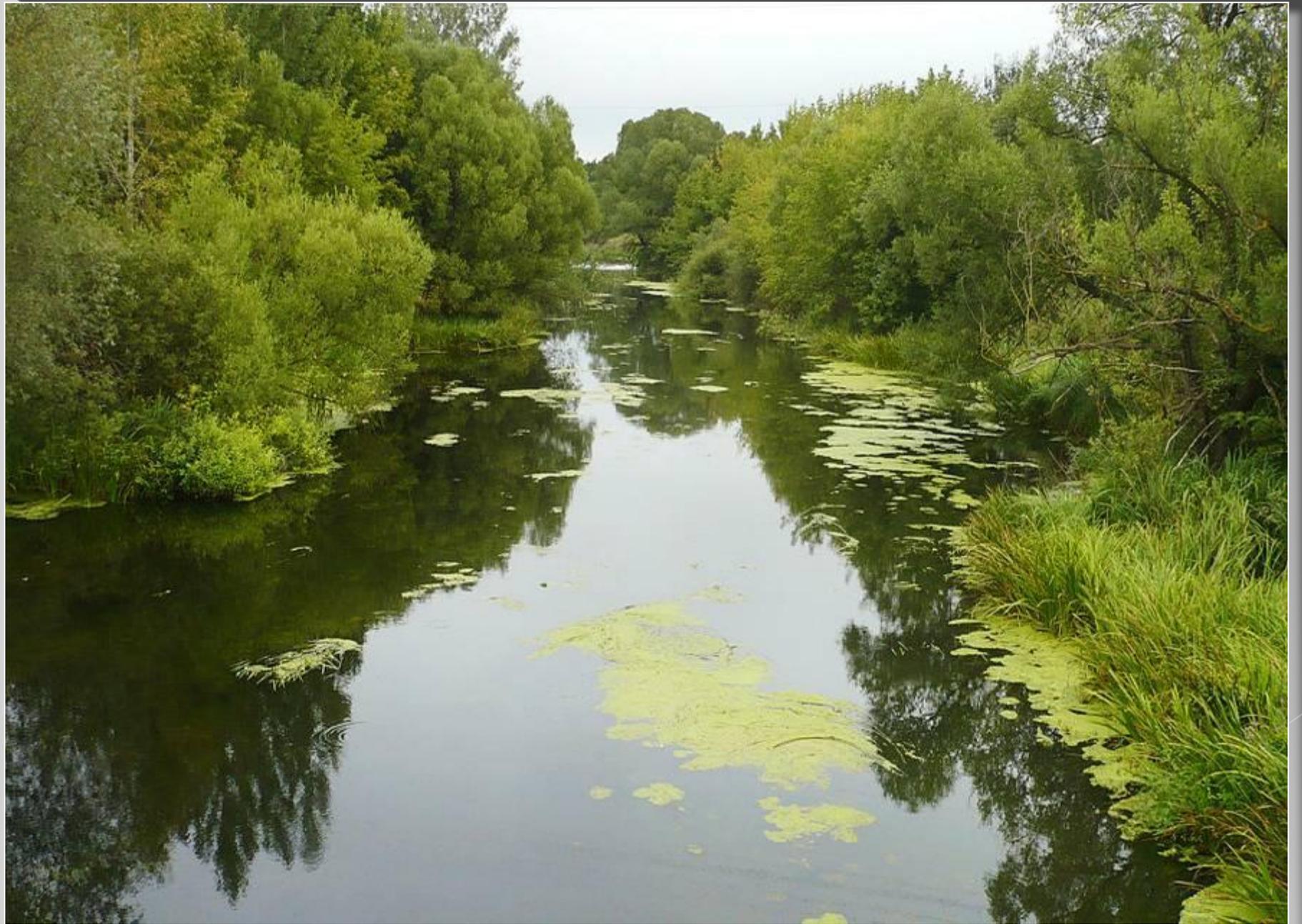
напорное движение

безнапорное движение

Напорное движение происходит в потоке, со всех сторон ограниченном твердыми стенками. Давление во всех точках потока отлично от атмосферного и может быть как больше, так и меньше последнего. Движение происходит под действием разности давлений по длине потока, которая может быть создана водонапорной башней, питающим баком, насосной установкой.



Безнапорное движение происходит под действием силы тяжести при наличии свободной поверхности жидкости. Примерами безнапорного движения является движение в реках, каналах и трубах, когда сечение последних не полностью заполнено жидкостью.



7. Гидродинамика.

Предметом изучения гидродинамики является движущаяся жидкость. Как было указано ранее, все без исключения физические и химические процессы, которые составляют основу промышленных технологических процессов, происходят в динамических условиях, в условиях движения текучих сред.

При движении жидкостей под воздействием внешних сил в потоках прежде всего формируются поля скоростей микро- и макрочастиц, которые определяют формирование температурных и полей концентраций веществ, что в конечном итоге обуславливает скорость протекания процессов.

На движущуюся жидкость, кроме сил, которые действовали на покоящуюся жидкость (поверхностные силы гидростатического давления и массовые силы: силы тяжести и внешние силы инерции), действуют дополнительные силы инерции и силы трения. В отличие от гидростатического давления, величина которого не зависит от ориентации поверхности, на которое оно действует, возникающее при движении гидродинамическое давление благодаря развитию напряжений сдвига (касательным силам), различно в направлении осей X , Y и Z .

Наличие сил внутреннего трения между движущимися частицами жидкости (в соответствии с законом внутреннего трения Ньютона) является первопричиной различия скоростей движения в различных точках по поперечному сечению канала. Характер этого различия, который обуславливается характером связи между давлением и скоростью движения частиц в любой точке потока. Это и является основной задачей теории гидродинамики.

8. Уравнение неразрывности потока.

Уравнение неразрывности потока отражает закон сохранения массы: количество втекающей жидкости равно количеству вытекающей. Например, на рис. 15 расходы во входном и выходном сечениях напорной трубы равны:

$$q_1 = q_2.$$

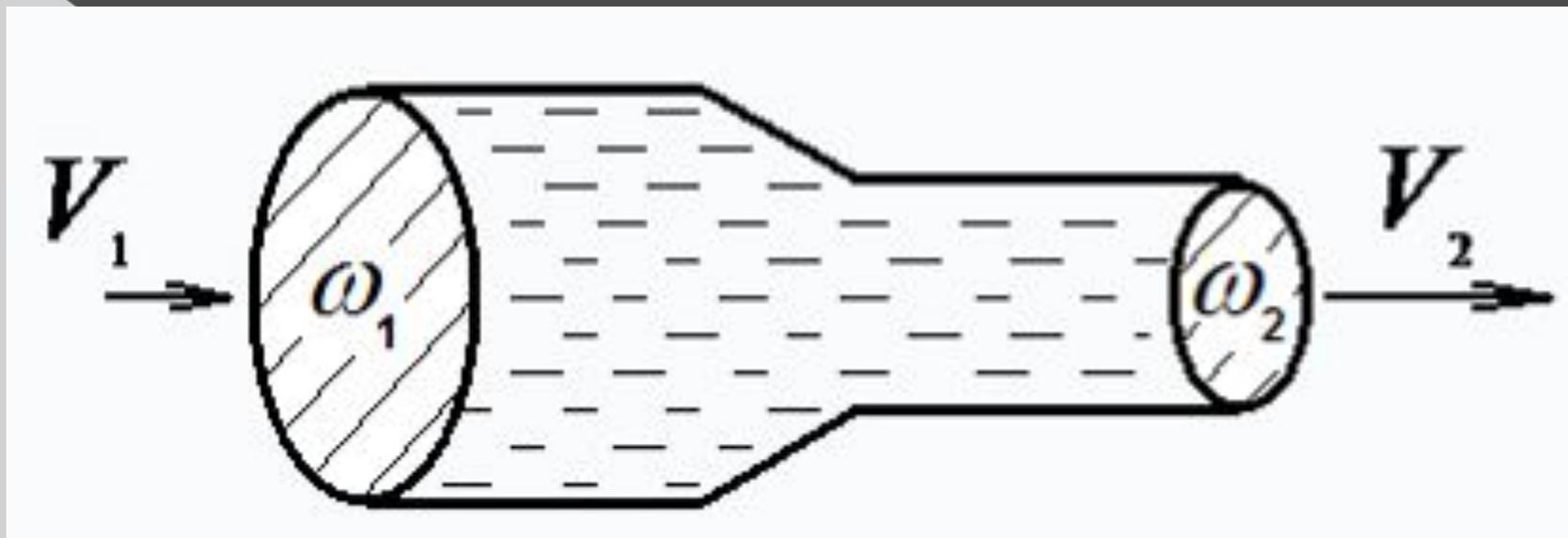


Рис. 15. Схема к уравнению неразрывности потока.

С учётом, что $q = Vw$, получим уравнение неразрывности потока:

$$V_1 w_1 = V_2 w_2$$

Если отсюда выразим скорость для выходного сечения:

$$V_2 = V_1 w_1 / w_2 ,$$

то легко заметить, что она увеличивается обратно пропорционально площади живого сечения потока. Такая обратная зависимость между скоростью и площадью является важным следствием уравнения неразрывности и применяется в технике, например, при тушении пожара для получения сильной и дальнобойной струи воды.

9. Ламинарный и турбулентный режим движения жидкости.

Наблюдения показывают, что в природе существует два разных движения жидкости:

- слоистое упорядоченное течение - ламинарное движение, при котором слои жидкости скользят друг друга, не смешиваясь между собой;
- турбулентное неурегулированное течение, при котором частицы жидкости движутся по сложным траекториям, и при этом происходит перемешивание жидкости.

От чего зависит характер движения жидкости, установил Рейнольдс в 1883 году путем. Эксперименты показали, что переход от ламинарного к турбулентному движению происходит при определенной скорости (критическая скорость), которая для труб различных диаметров неодинакова: при увеличении диаметра она увеличивается, критическая скорость так же увеличивается при увеличении вязкости жидкости. Рейнольдс вывел общие условия существования ламинарного и турбулентных режимов движения жидкости. По Рейнольдсу режима движения жидкости зависят от безразмерного числа, которое учитывает основные, определяющие это движение: среднюю скорость, диаметр трубы, плотность жидкости и ее абсолютную вязкость.

Это число называется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{cp} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{V_{cp} \cdot d}{\nu}$$

Число Рейнольдса, при котором происходит переход от одного режима движения жидкости в другой режим, называется критическим. $Re_{кр}$

При числе Рейнольдса $Re < Re_{кр}$ наблюдается ламинарный режим движения, при числе Рейнольдса $Re > Re_{кр}$ - турбулентный режим движения жидкости. Чаще критическое значение числа принимают равным $Re_{кр} = 2000$ это значение соответствует переходу движения жидкости от турбулентного режима к ламинарного.

При переходе от ламинарного режима движения жидкости к турбулентному критическое значение имеет большее значение. Критическое значение числа Рейнольдса $Re_{кр}$ увеличивается в трубах, сужаются, и уменьшается в тех, что расширяются. Это объясняется тем, что при сужении поперечного сечения скорость движения частиц увеличивается, поэтому тенденция к поперечного перемещения уменьшается.

10. Уравнение Бернулли.

Закон (уравнение) Бернулли является

следствием закона сохранения энергии для стационарного потока идеальной (то есть без внутреннего трения) несжимаемой жидкости:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}$$

Здесь:

ρ — плотность жидкости,

v — скорость потока,

h — высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости,

p — давление в точке пространства, где расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости,

g — ускорение свободного падения.

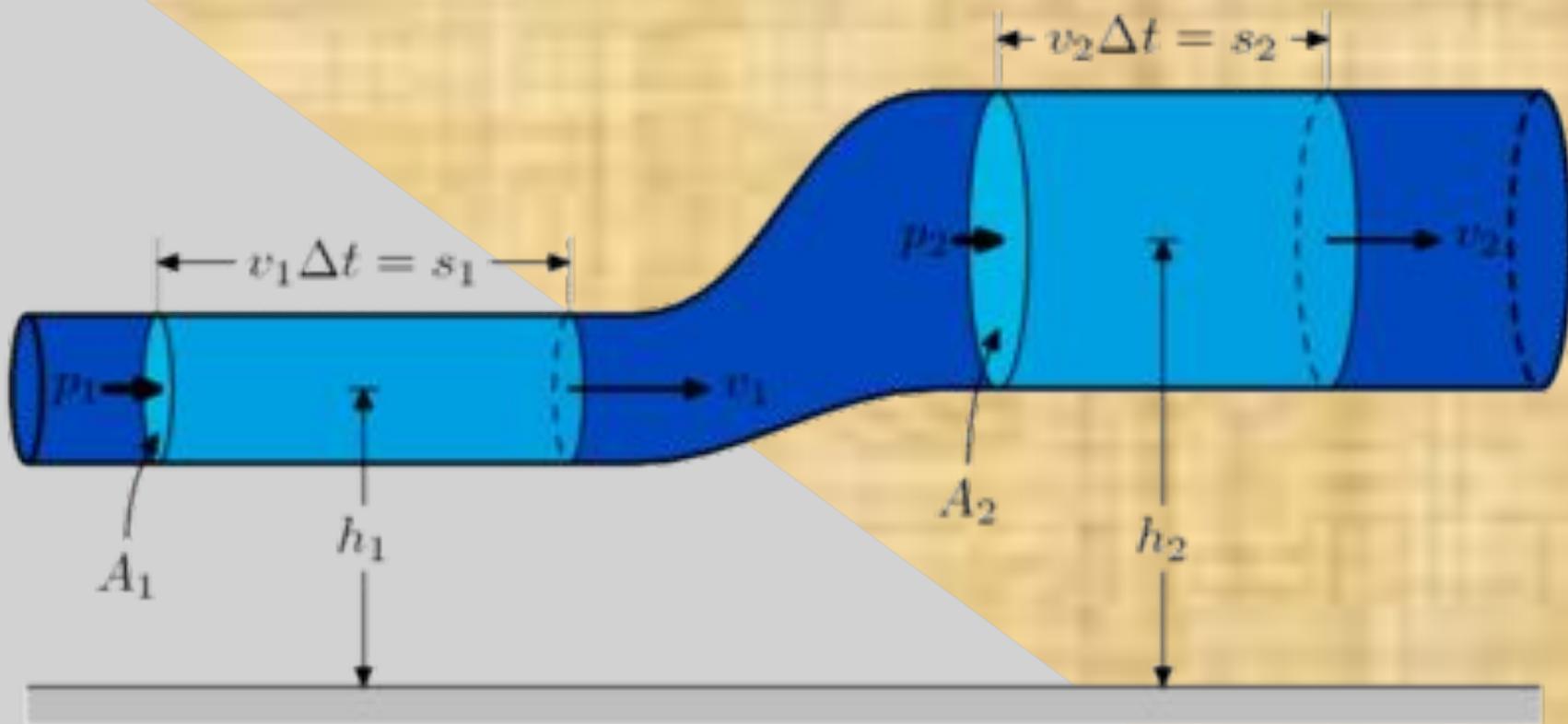
Константа в правой части часто называется *полным давлением* и зависит, в общем случае, от линии тока.

Размерность всех слагаемых — единица энергии, приходящаяся на единицу объёма жидкости. Первое и второе слагаемое в интеграле Бернулли имеют смысл кинетической и потенциальной энергии, приходящейся на единицу объёма жидкости. Следует обратить внимание на то, что третье слагаемое по своему происхождению является работой сил давления и не представляет собой запаса какого-либо специального вида энергии .

Соотношение,
близкое к приведенному
выше, было получено
в 1739 г. *Даниилом*
Бернулли, с именем
которого обычно
связывают *интеграл*
Бернулли. В современном
виде интеграл был
получен *Иоганном*
Бернулли около 1740
года.



Daniel Bernoulli, 1700–82 Bernoulli Johann 1667-1748



СВОЙСТВА ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ