

Гидродинамика

Руководитель проекта:
**Рыбакова Людмила
Григорьевна,**
преподаватель КФДГПК

В производственных процессах технологии машиностроения используются и перемещаются разнообразные жидкости: эмульсии, нефтепродукты, вода, минеральные масла по различным гидросистемам.



Озвучивала: Симанова О. , гр. 124

Веб - режиссёр : Гребенников Д. гр. 024

Гидродинамика

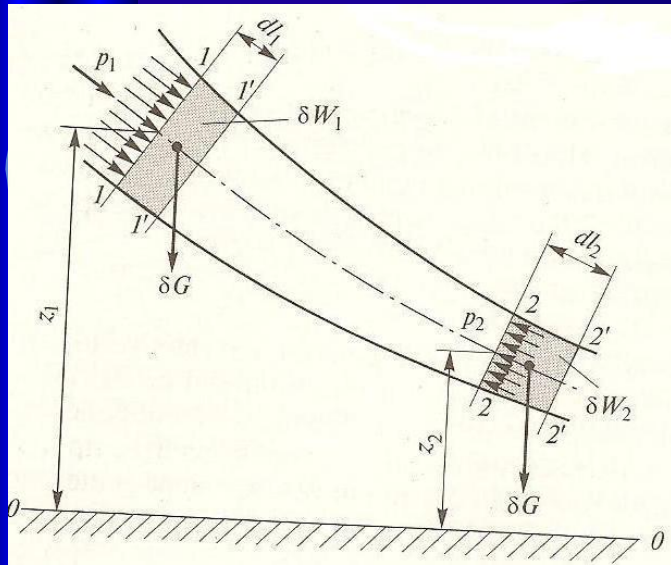


Схема струйки
идеальной жидкости

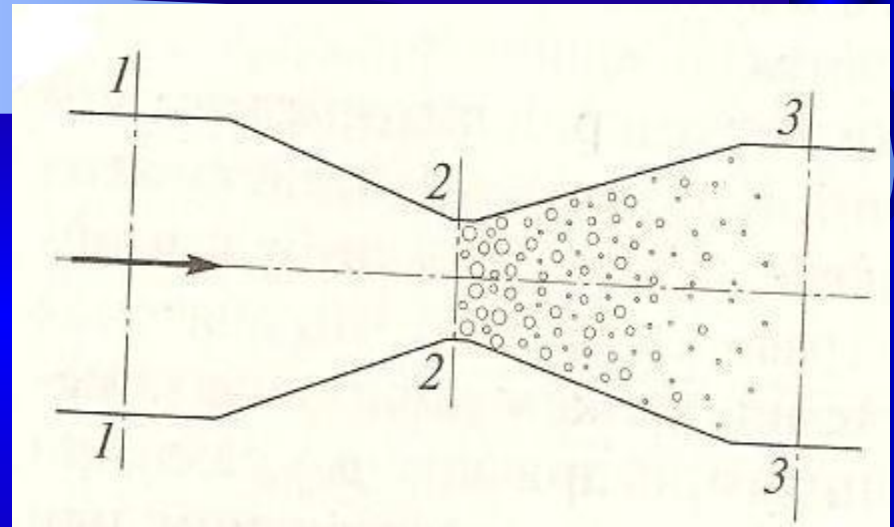
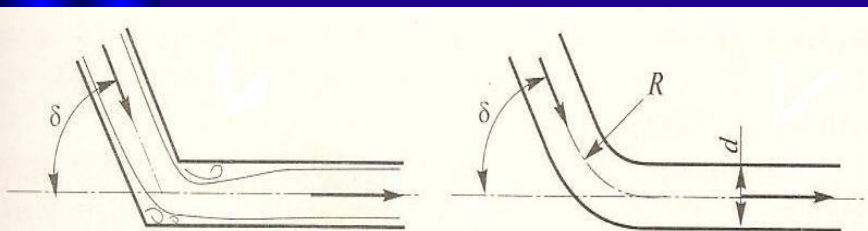



Схема кавитации в местном
сопротивлении



Местное
сопротивление

A quill pen is shown in an inkwell on the left side of the image. The quill is white with a dark tip and is positioned diagonally. The inkwell is a dark, rounded container. The background is a solid dark red color with a subtle gradient and a dark, curved shadow-like shape at the bottom.

Гидродинамика – это
раздел гидравлики в
котором изучается
движение жидкости под
действием
приложенных к ней
внешних сил.

Введение в гидродинамику

Поток жидкости – это движение массы жидкости, ограниченной полностью или частично какими – либо поверхностями.

Тема. Виды движения жидкости:

Установившееся



Неустановившееся



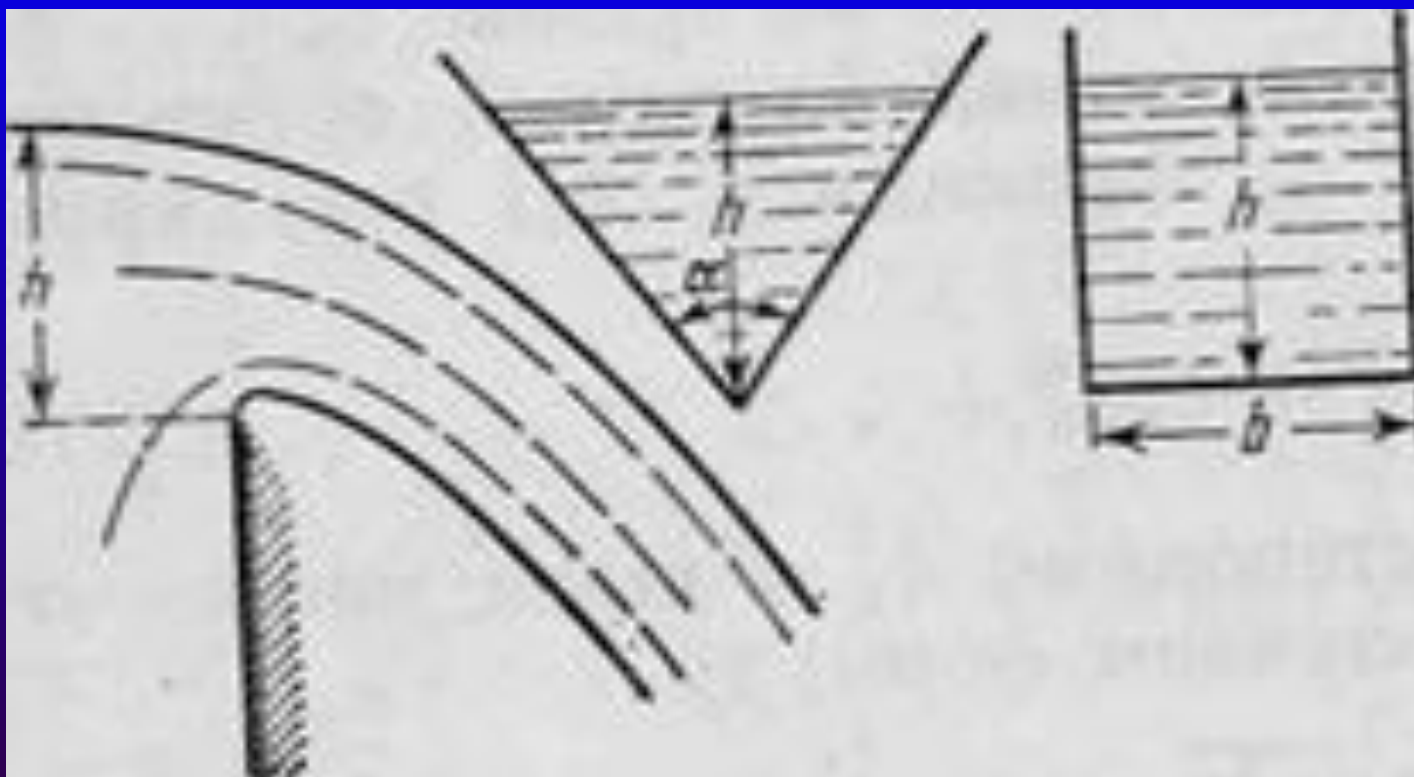
Установившееся движение – это движение, при котором скорость движения и давление потока жидкости в заданном сечении не изменяется с течением времени.

Наблюдается при постоянном напоре или уровне жидкости

$$h = \text{const}, \text{ т.е.}$$

КОЛИЧЕСТВА ПОСТУПАЮЩЕЙ В ЕМКОСТЬ И ВЫТЕКАЮЩЕЙ ИЗ НЕГО ЖИДКОСТИ ОДИНАКОВЫ.

Схема установившегося движения

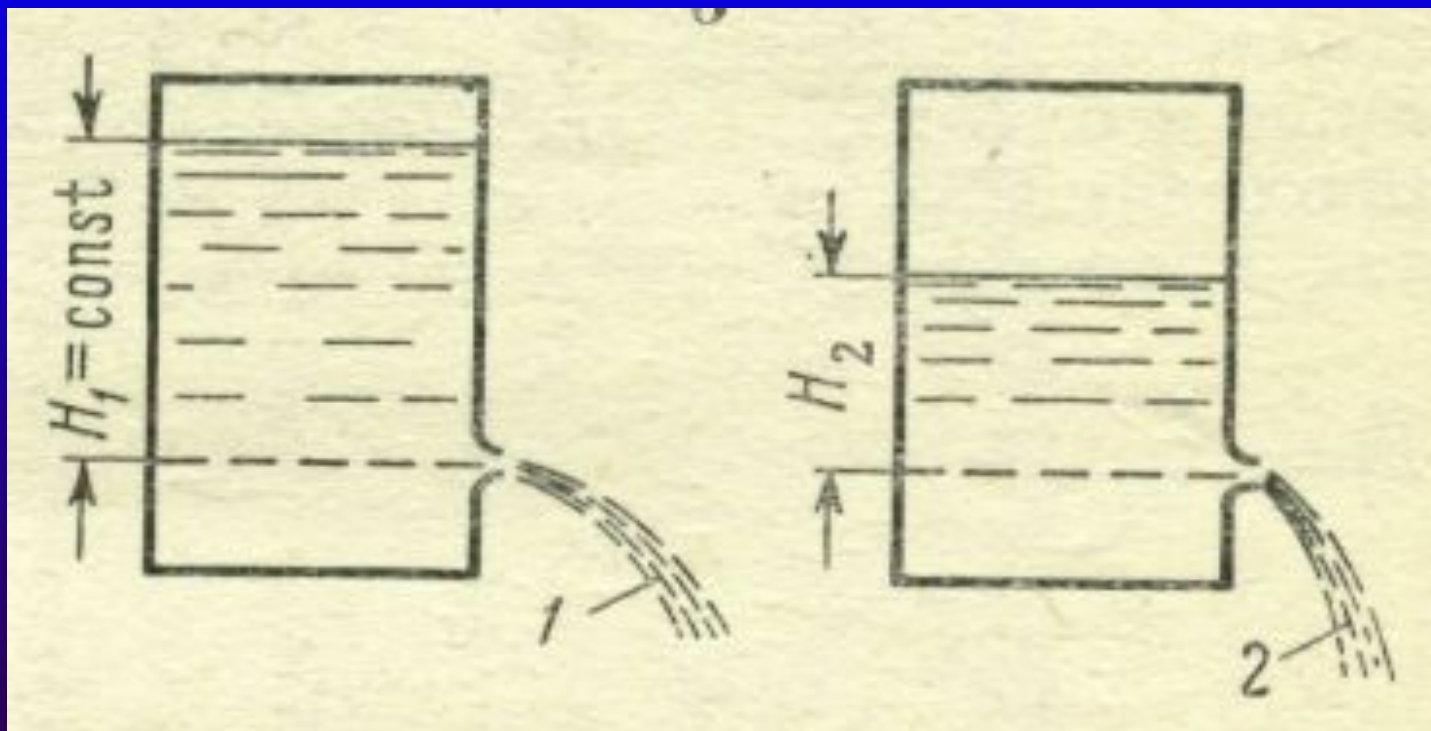


A fountain pen nib is shown in the upper left, pointing downwards. Below it is a glass inkwell. The background is a dark red color with a subtle gradient and some faint, light-colored lines.

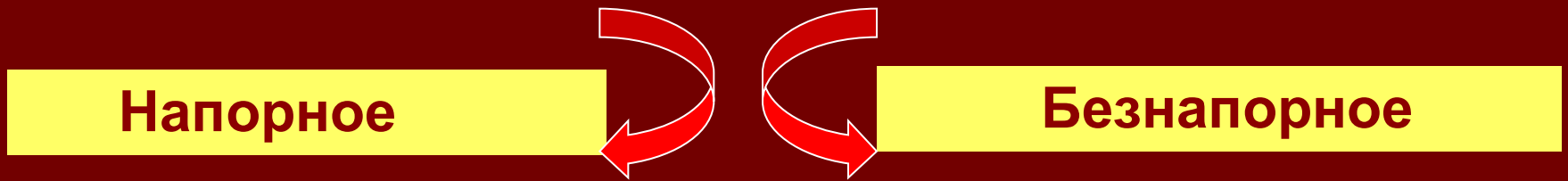
Неустановившееся движение – это движение при котором скорость движения и давление в заданном сечении изменяются с течением времени.

Такое движение будет в том случае, если уровень жидкости в емкости с течением времени будет изменяться, например понижаться по мере вытекания жидкости (H2)

Схема неустановившогося ДВИЖЕННЯ



Течения жидкости:



Напорным называется течение жидкости в закрытых руслах без свободной поверхности. Это течение в трубопроводах, гидросистемах.

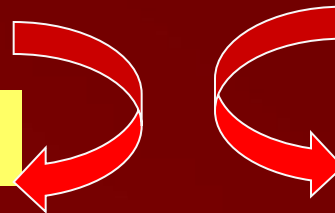


Безнапорным называется течение со свободной поверхностью. Это течение в реках, открытых каналах, водоёмах.



Движение жидкости может быть:

Равномерным



Неравномерным



Равномерное движение – то движение, при котором скорости движения в двух смежных сечениях потока жидкости равны между собой.
Это движение жидкости по цилиндрическому трубопроводу.

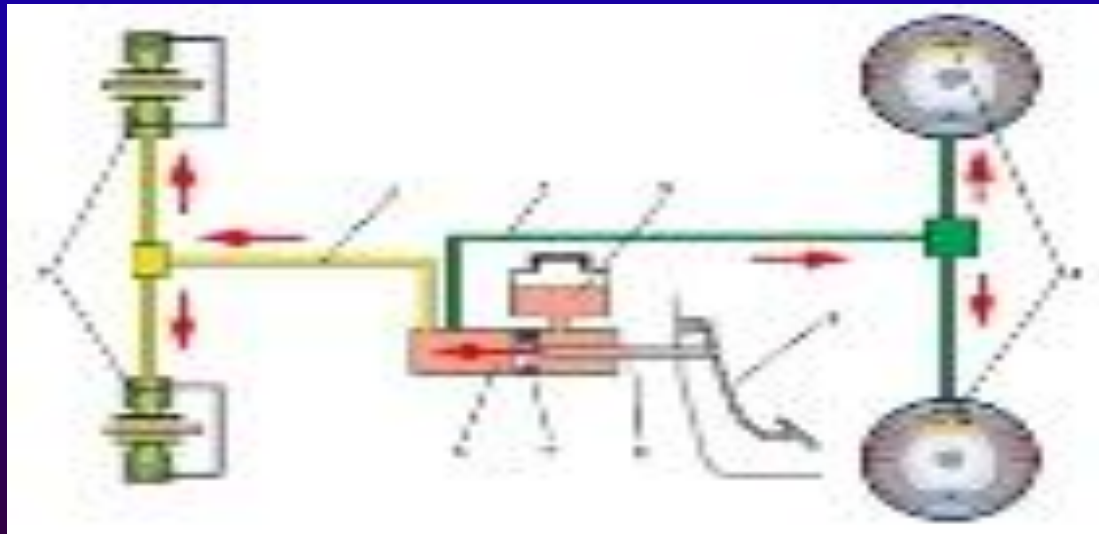
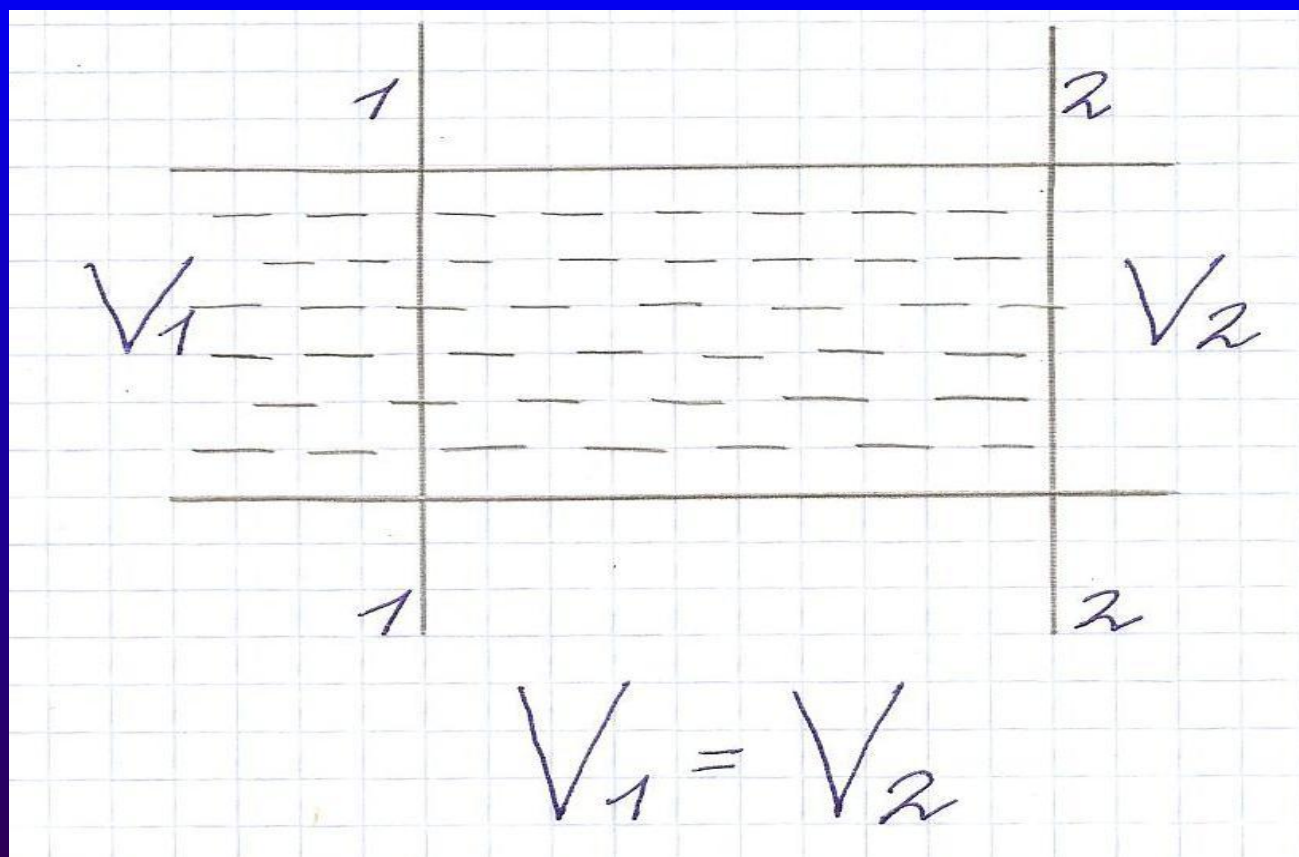
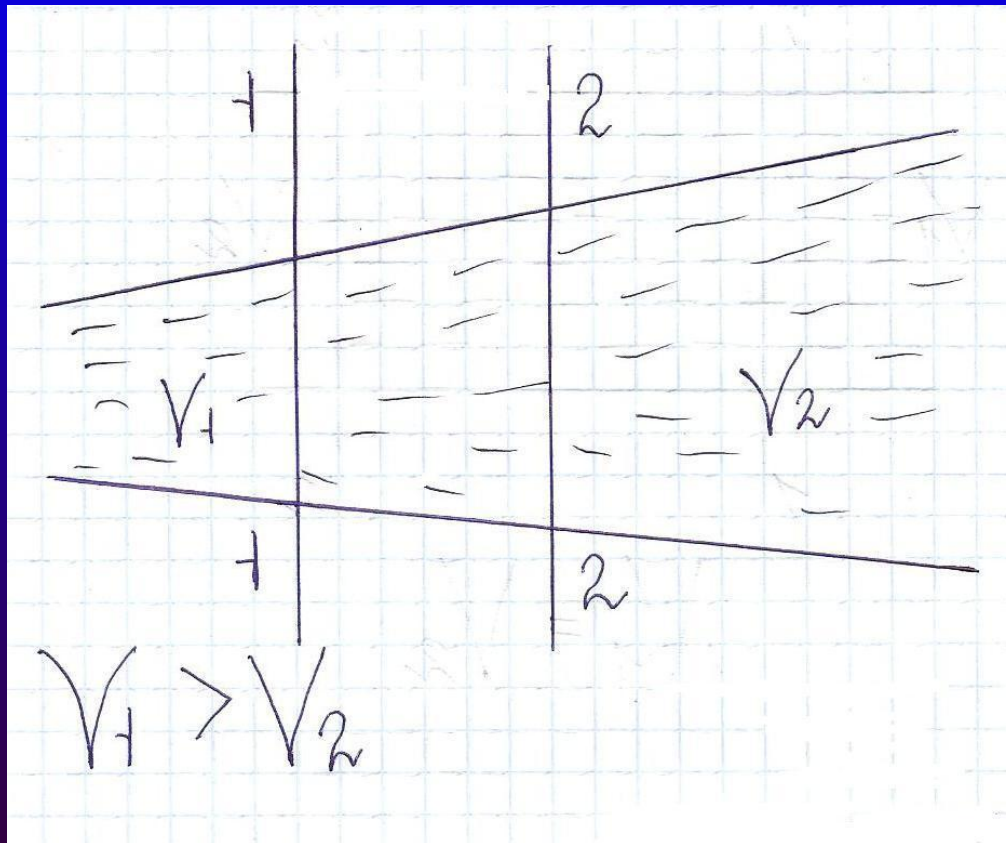


Схема равномерного движения



В противном случае движение будет неравномерным.



Такое движение характерно для движения через коническую трубку.

Тема. Режимы течения жидкости

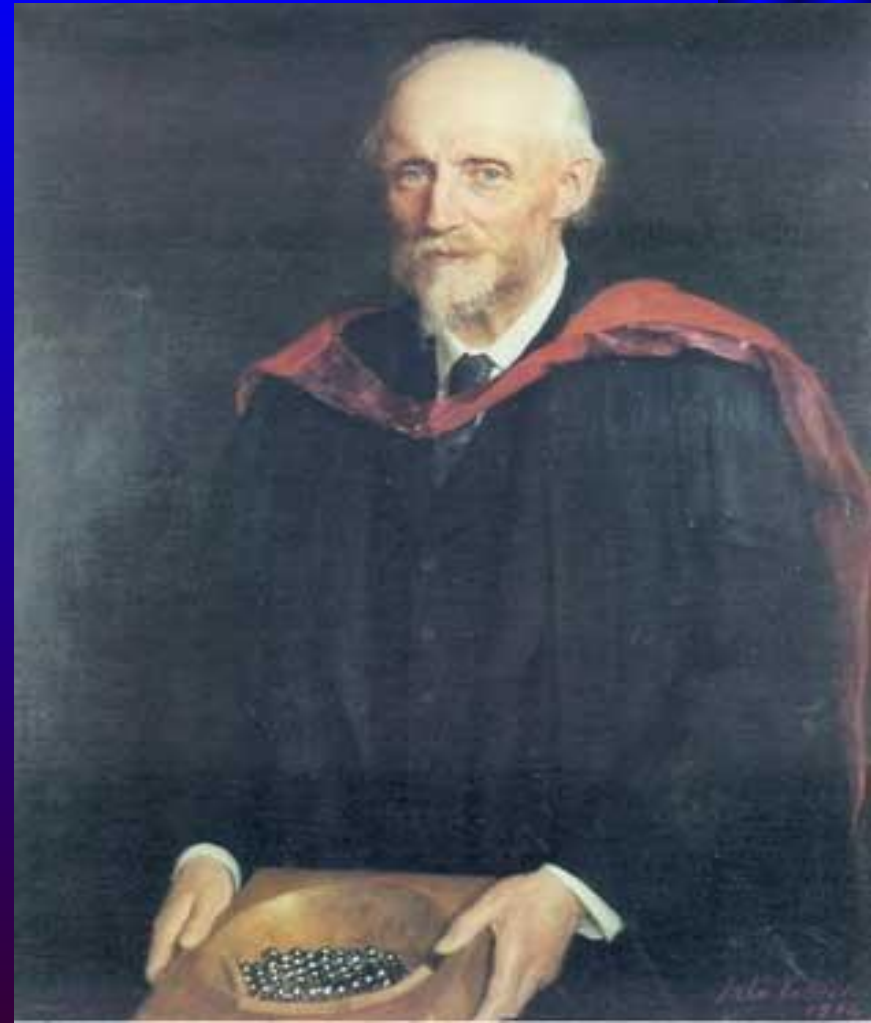
Предположение о существовании двух режимов течения жидкости было высказано русским учёным


Д.М. Менделеевым в 1880 г.

В 1883 г. это было экспериментально подтверждено английским учёным гидромехаником Осборном Рейнольдсом. Его исследования показали, что режим течения жидкости зависит от скорости движения жидкости, вязкости и размеров потока жидкости.

РЕЙНОЛЬДС, ОСБОРН (Reynolds, Osborne) (1842–1912)

- Английский инженер и физик. Родился в Белфасте 23 августа 1842 в семье священнослужителя.
- С 18 лет работал в механической мастерской, поступил в Кембриджский университет, где изучал математику и механику





Окончил университет в 1867.
С 1868 по 1905 – профессор
кафедры строительной механики
Манчестерского университета.
Работы Рейнольдса посвящены
механике, гидродинамике, теплоте,
электричеству, магнетизму.

В 1883 Рейнольдс установил, что ламинарное течение переходит в турбулентное, когда введенная им безразмерная величина (число Рейнольдса) превышает критическое значение.

Число Рейнольдса широко используется при решении задач гидро- и аэродинамики в случае малых и средних дозвуковых скоростей.



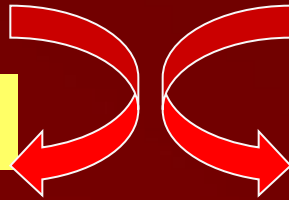
Сконструировал ряд турбин и
центробежных насосов.

Умер Рейнольдс в Уотчете (графство
Сомерсет) 21 февраля 1912 года.

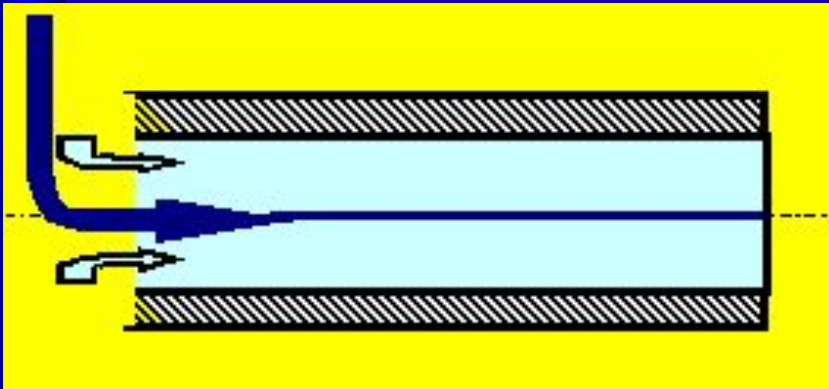
Режимы течения жидкости:

Ламинарное

Турбулентное



Ламинарный режим – это режим, при котором слои жидкости движутся параллельно не перемешиваясь друг с другом.

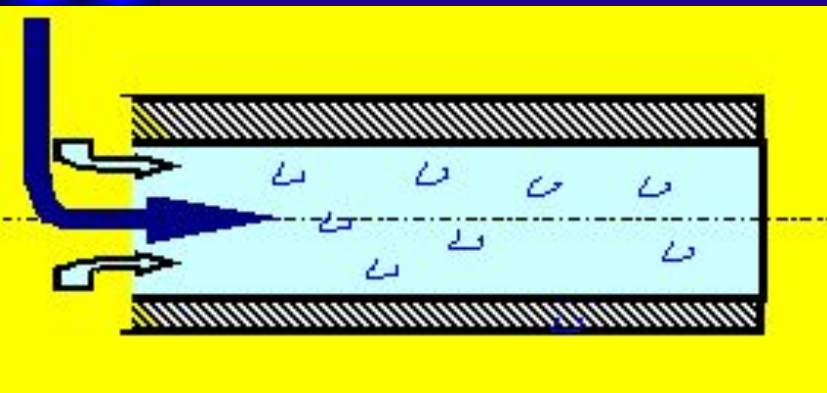


Струйка краски параллельна оси трубы. Слои жидкости не перемешиваются.

Ламинарное движение (от латинского lamina – слой)

Турбулентный режим – частицы жидкости

движутся беспорядочно по не определённым траекториям, а само движение сопровождается как продольным, так и поперечным перемещением слоёв жидкости.



Струйка краски распалась на отдельные вихри. Слои жидкости перемешиваются в поперечном направлении.
Турбулентное движение (от латинского *turbulentus* – хаотический, беспорядочный)

Число Рейнольдса Re

Число Рейнольдса Re – безразмерное соотношение, которое определяет ламинарный или турбулентный режим течения жидкости или газа.

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Число (критерий) Рейнольдса.

η - динамический коэффициент вязкости

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ - кинематический коэффициент вязкости

Резюме. Режим течения жидкости зависит от скорости движения, вязкости и размера потока жидкости.

Критическое число Рейнольдса

$Re_{кр}$

Число Рейнольдса, при котором ламинарный режим сменяется турбулентным

$Re_{кр} = 2300$

Если число $Re > Re_{кр}$

Режим
турбулентный

Если число $Re < Re_{кр}$

Режим
ламинарный

Тема. Гидравлический удар в трубопроводе

Явление гидравлического удара открыл в
1898г. Н.Е. Жуковский.

На основании
экспериментальных и
теоретических исследований Н.
Е. Жуковский вывел формулу
для расчета увеличения
давления при гидравлическом
ударе.

Николай Егорович Жуковский

5 [17] января 1847, с. Орехово (ныне Владимирской области) — 17 марта 1921, с. Орехово (ныне Владимирской области) — 17 марта 1921 1847, с. Орехово (ныне Владимирской области) — 17 марта 1921, Москва 1847, с. Орехово (ныне Владимирской области) — 17 марта 1921, Москва) — русский учёный, создатель аэродинамики как науки.

Заслуженный



Гидравлический удар - скачок
давления в гидросистеме ,
вызванный мгновенным
изменением скорости потока
жидкости за очень малый
промежуток времени.

Вредное влияние гидроудара

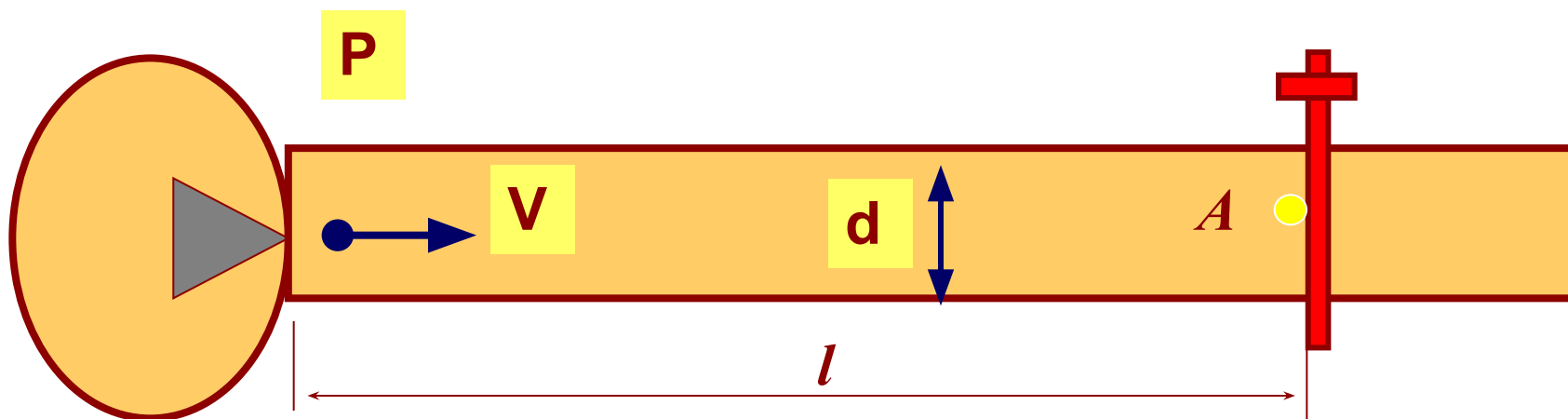
Гидравлический удар способен:

- **вызывать образование продольных трещин в трубах, что может привести к их расколу;**
- **приводить к повреждению мест соединений отдельных труб (стыки, фланцы, раструбы);**

продолжение

- **разрыву стенок трубопровода;**
- **повреждению насосов или других элементов трубопровода.**
- **особенно опасен для длинных трубопроводов;**

Сущность гидроудара



Гидравлический удар – резкое увеличение давления в трубопроводе при внезапной остановке движущейся в нем жидкости.

При этом сначала остановится слой жидкости непосредственно у крана. Вследствие перехода кинетической энергии в потенциальную давление в этом слое увеличится. Так как жидкость сжимаема, то остановки всей её массы в трубопроводе не происходит мгновенно.

Гидроудар представляет собой затухающий колебательный процесс чередования резкого повышения и понижения давления.

Стадии гидроудара

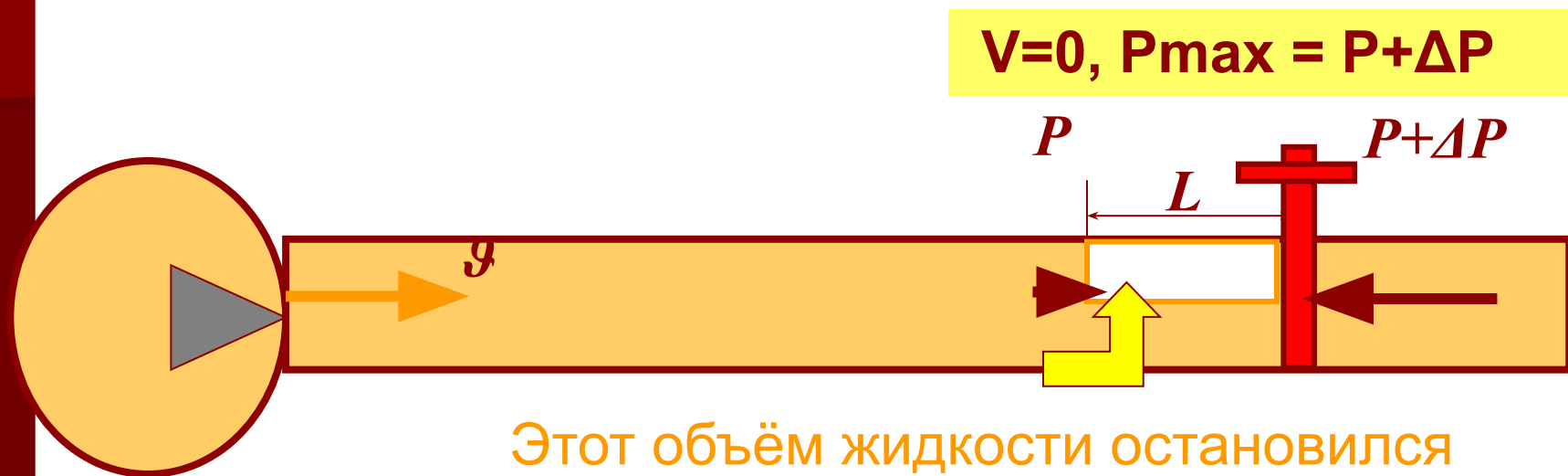
Полный гидроудар

Прямой гидроудар

Обратный гидроудар

Отраженная волна пониженного давления

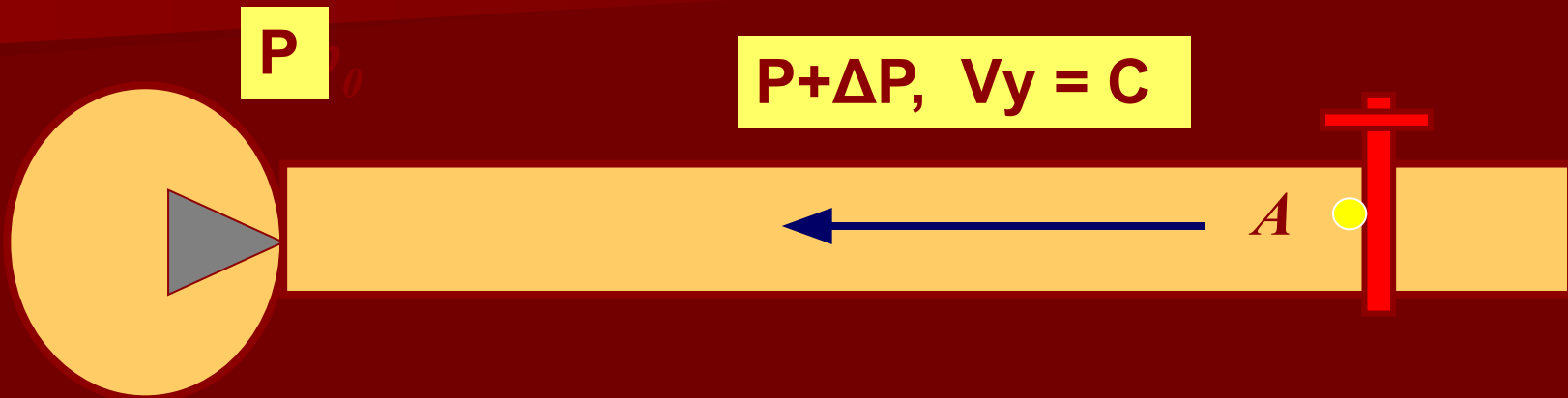
Полный гидравлический удар



Этот объём жидкости остановился за время t

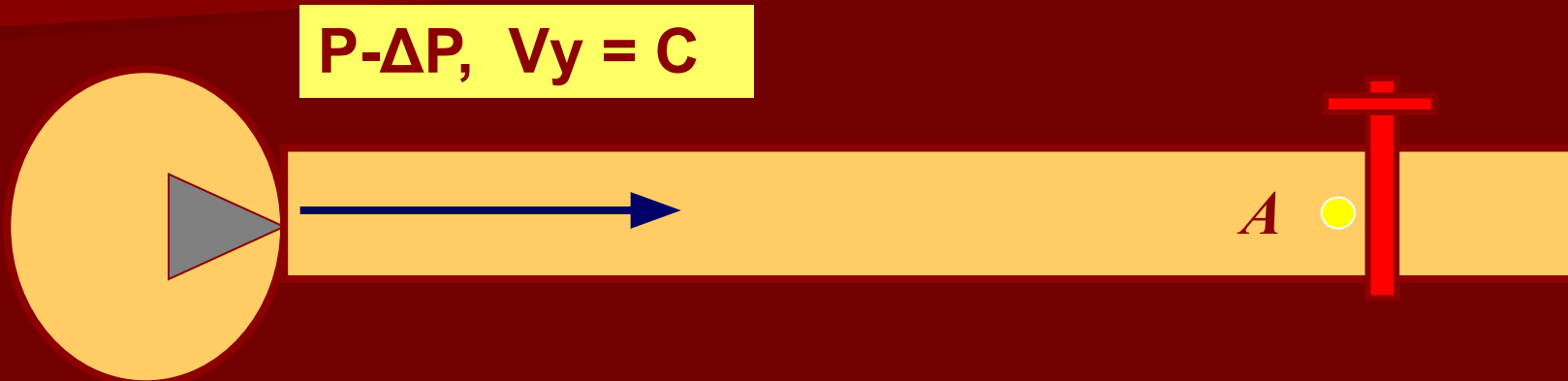
Максимальное увеличение давления при внезапной остановке жидкости у задвижки, $V=0, P_{\max} = P + \Delta P$. Кинетическая энергия движения жидкости преобразуется в потенциальную энергию давления.

Прямой гидравлический удар



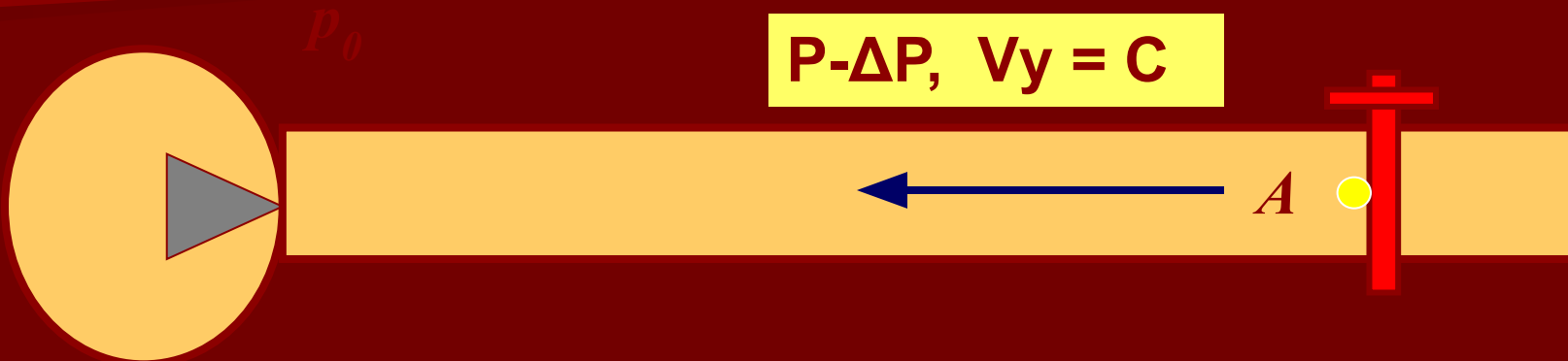
Распространение ударной волны
повышенного давления от задвижки
к началу трубопровода со скоростью
распространения ударной волны

Обратный гидравлический удар



Распространение ударной волны пониженного давления от насоса к задвижке со скоростью распространения ударной волны.

Отраженная волна пониженного давления



Распространение ударной волны пониженного давления от задвижки к насосу со скоростью распространения ударной волны.

Резюме

1. Гидроудар сопровождается резким скачком давления у крана при быстром его закрытии.
2. Гидроудар – затухающий колебательный процесс чередования резкого повышения и понижения давления, который благодаря вязкости жидкости и местного сопротивления трубопроводов быстро затухает.

Скорость распространения ударной волны

$$\tilde{N} = \frac{l}{t_0}$$

$$c_{\text{зв.}} = 10^3 \text{ м/с}$$

Скорость ударной волны равна \approx скорости распространения звука в жидкости (для воды 1200 м/с)

$$t_0 = \frac{l}{c}$$

Скорость распространения ударной волны

Скорость звука

Время, за которое волна повышенного давления достигнет начала трубопровода от задвижки

Фаза гидравлического удара

Фаза гидроудара – время, за которое ударная волна дойдет до насоса (емкости) и вернется обратно.

$$T = 2t_0 = \frac{2l}{c}$$

Фаза гидроудара

Повышение давления при гидроударе

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v$$

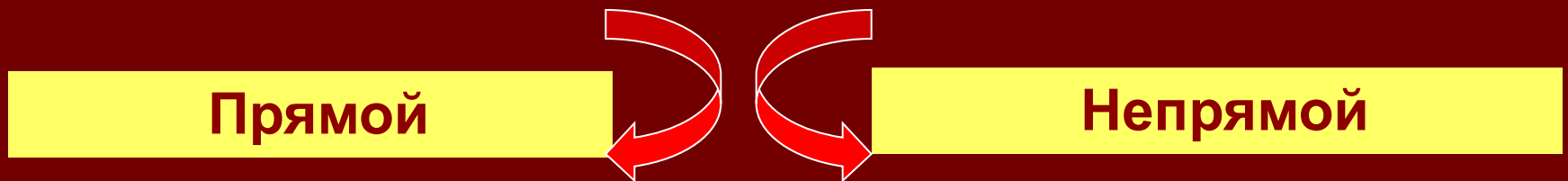
Формула Н.Е. Жуковского

Пример. Если скорость движения жидкости (воды) равна $V=5$ м/с

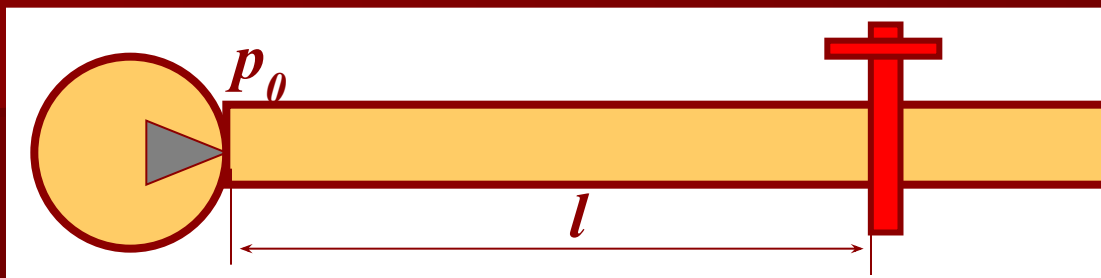
$$\Delta p = 1000 \cdot 1200 \cdot 5 = 6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 6 \text{ МПа}$$

Виды гидравлических ударов

В зависимости от времени распространения ударной волны т.е. времени перекрытия задвижки (заслонки, клапана, иного местного сопротивления) t , в результате которого возник гидроудар, можно выделить 2 вида ударов:



Прямой гидроудар



$t_{\text{ед}}$

Время закрытия крана

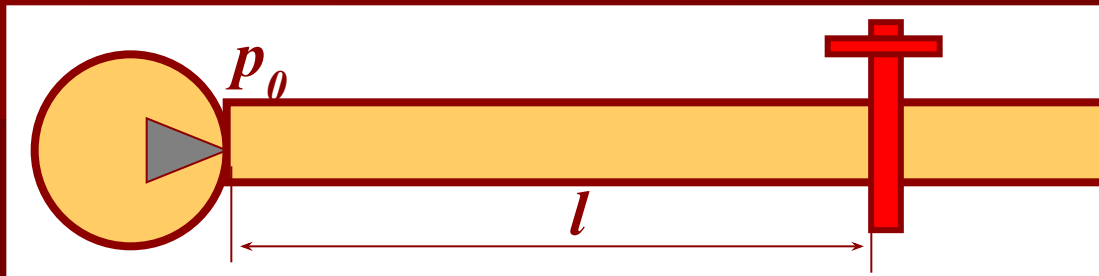
$t_{\text{кр}} < T$

Прямой гидроудар (волна дошла до насоса, вернулась, а кран уже закрыт)

$\Delta p = \rho \cdot \tilde{v} \cdot \vartheta$

Максимальное повышение давления

Непрямой гидроудар



Время закрытия крана

$t_{\text{эд}}$

$t_{\text{кр}} > T$

Непрямой гидроудар (волна дошла до насоса, вернулась, а кран еще не закрыт)

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot g \frac{T}{t_{\text{кр}}} = \frac{2l \cdot \rho \cdot g}{t_{\text{кр}}}$$

Повышение давления меньше, чем при полностью закрытом кране

Резюме

Формула Н.Е. Жуковского показывает, что гидравлический удар зависит:

- от скорости закрытия вентиля;
- плотности жидкости;
- скорости потока жидкости;
- длины трубопровода;

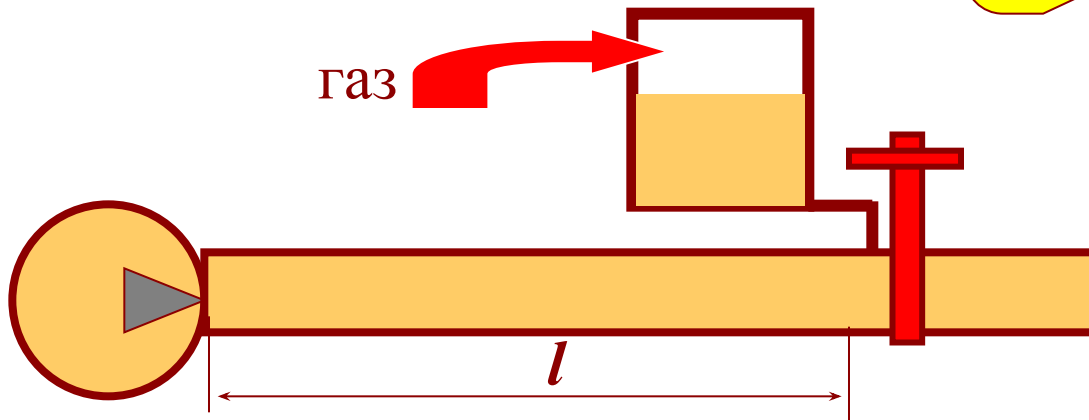
Причины возникновения гидроудара

- Резкое закрытие крана
- Внезапная остановка насоса
- Пуск насоса при открытом кране на насосной линии

Меры борьбы с гидроударом

Применение воздушно-гидравлических колпаков – гасителей ударов

Воздушно-гидравлический колпак



При закрытии крана повышение давления одинаково распространяется на жидкость в трубе и в гидравлический колпак. Так как газ легко сжимается, он и воспринимает это увеличение давления, а повышение давления в жидкости оказывается незначительным. Когда по трубе идет волна пониженного давления, газ отдает накопленную энергию.

Превращение прямого удара в непрямой – медленное закрытие крана

Кран устанавливать в начале трубы

Уменьшать скорость движения жидкости за счет увеличения внутреннего диаметра трубы при заданном расходе

Контрольные вопросы

- Определение гидравлического удара
- Сущность гидроудара
- Вредное влияние гидроудара
- Стадии гидравлического удара
- Полный гидроудар
- Прямой гидроудар
- Обратный гидроудар
- Отраженная волна гидроудара

Продолжение

- Фаза гидроудара
- Формула Н.Е. Жуковского
- Виды гидроударов
- Прямой гидроудар
- Непрямой гидроудар
- Зависимость между временем закрытия вентиля и фазой гидроудара

Продолжение

- От чего зависит гидроудар ?
- Причины возникновения гидроудара
- Меры борьбы с гидроударом

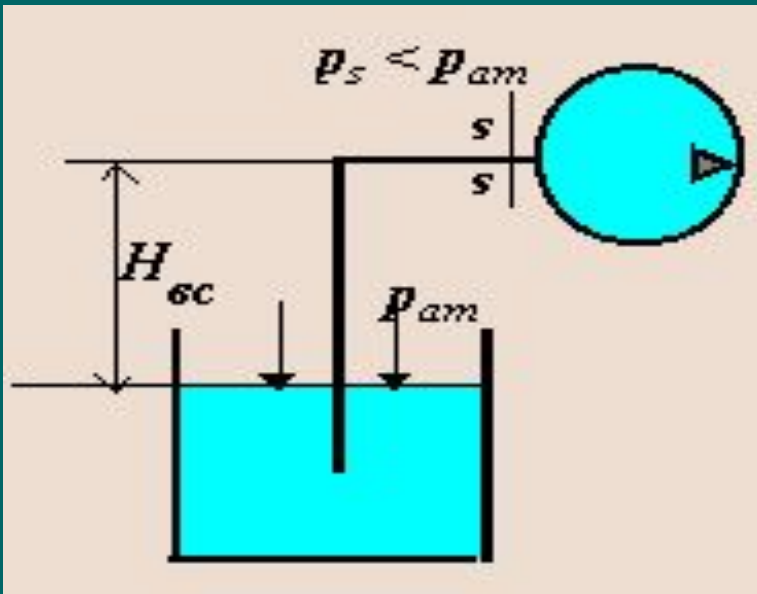
Использованная литература

- А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин «Гидравлические и пневматические системы», М. 2007г., стр. 81.
- Е.З. Рабинович «Гидравлика», М. 1977г., стр.243.
- О.В. Черняк, Г.Б. Рыбчинская «Основы теплотехники и гидравлики», М. 1979г., стр. 51.

Кавитация

Кавитация — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением, кавитационный пузырек схлопывается, излучая при этом ударную волну.

Кавитация



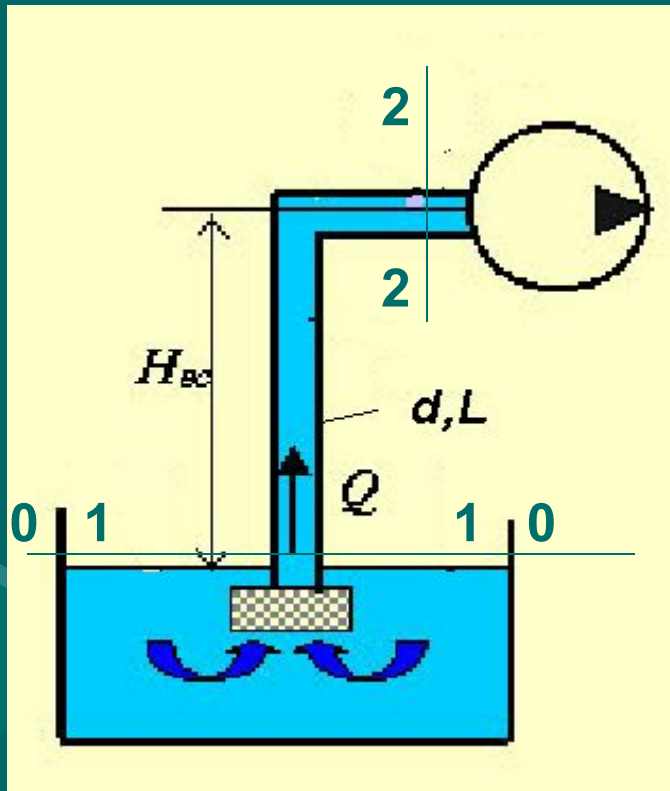
$$p_s < p_{ат}$$

Условие появления
кавитации

Кавитация – явление кипения жидкости при нормальных температурах (10° , 20° , 30° , ...), при давлениях меньших атмосферного и равных давлению насыщенного пара.

В закрытых объёмах кавитация сопровождается схлопыванием пузырьков в областях повышенного давления

Кавитация

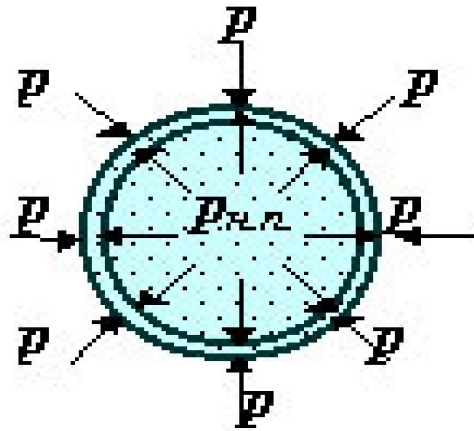


$p_2 \geq p_{н.п.} \Rightarrow$ условие
отсутствия кавитации

Сущность кавитации

Образование пузырька

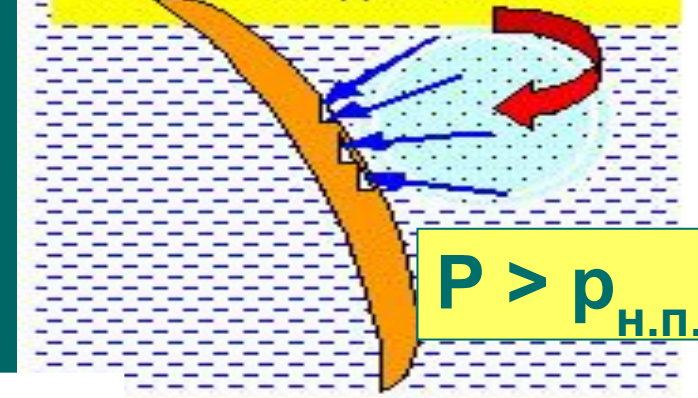
$$- p = p_{\text{н.п.}}$$



Есть связи между молекулами

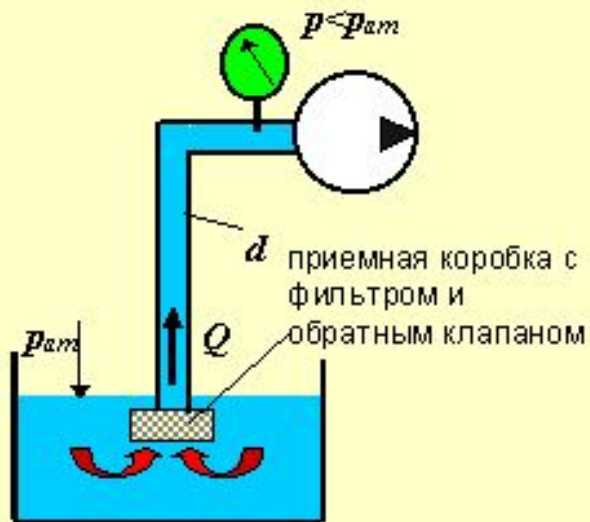
Схлопывание пузырька на лопатке насоса

гидроудары - давление возрастает до 100 МПа

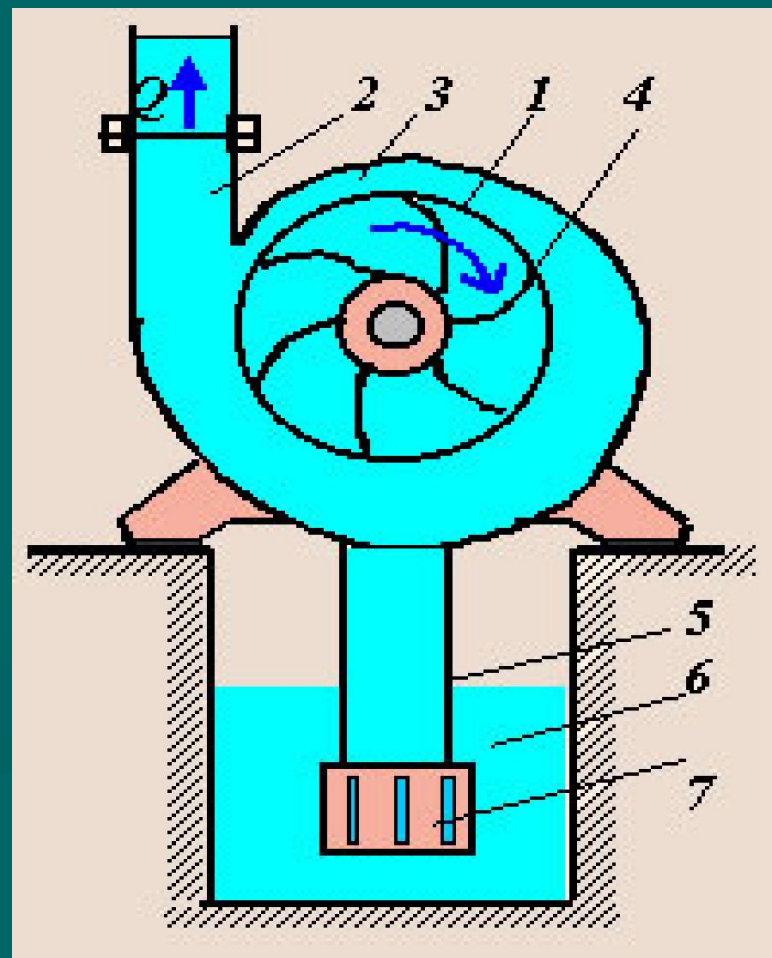


Пузырек разрывает межмолекулярные связи и процесс всасывания в насос прекращается

Кавитация и центробежный насос



- 1-рабочее колесо;
- 2-нагнетательная линия;
- 3- спиральная камера;
- 4- криволинейные лопатки;
- 5- всасывающий трубопровод;
- 6- резервуар; 7-приёмная коробка



Вредные последствия

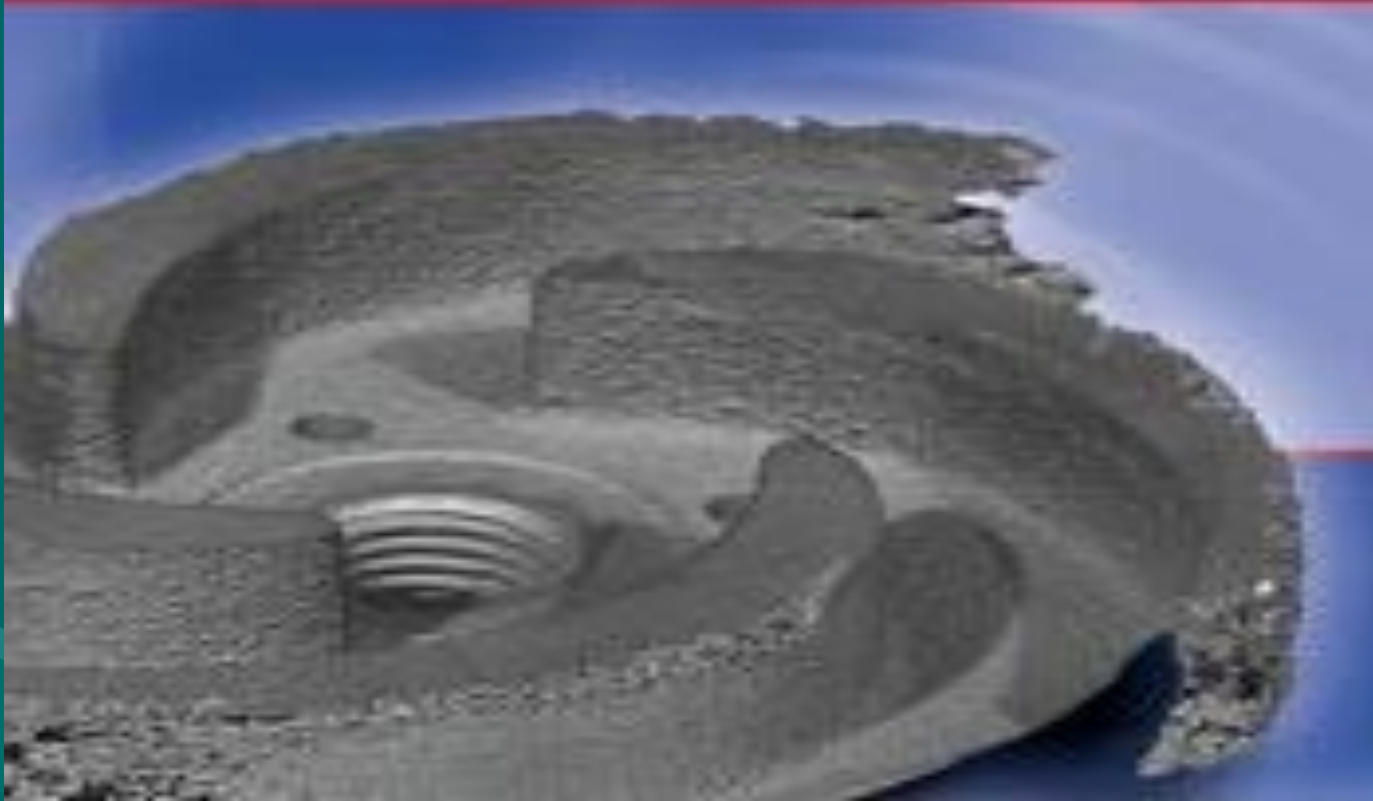
- Кавитация во многих случаях нежелательна. Например, она вызывает разрушение гребных винтов судов, рабочих органов насосов, гидротурбин и т.п.
- Кавитация вызывает шум, вибрации и снижение эффективности работы гидросистем.
- Когда разрушаются кавитационные пузыри, энергия жидкости сосредотачивается в очень небольших объемах. Тем самым, образуются места повышенной температуры и возникают ударные волны, которые являются источниками шума. Шум, создаваемый кавитацией, является особой проблемой на подводных лодках (субмаринах), так как из-за шума их могут обнаружить.

Вредные последствия



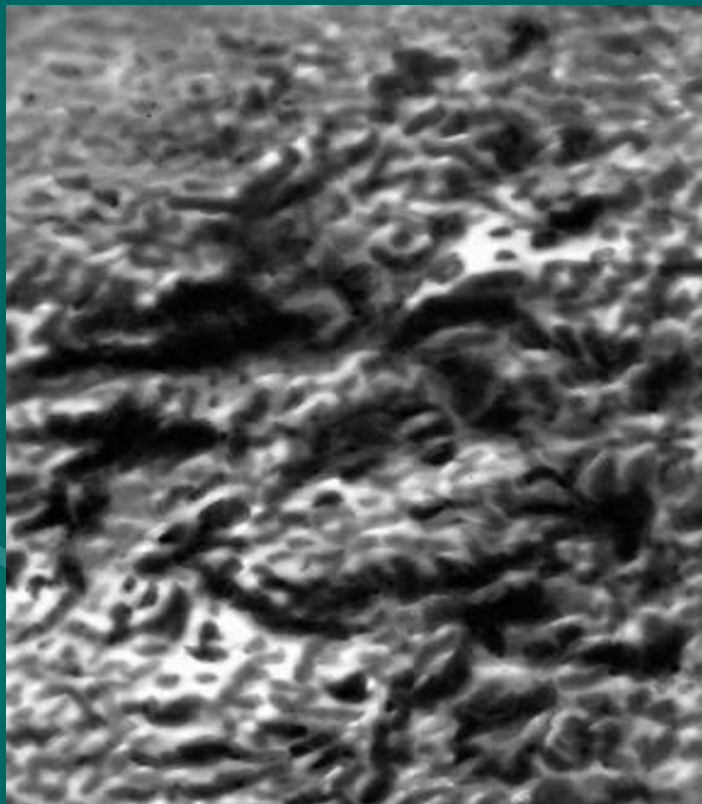
**повреждения наносимые эффектом
кавитации (часть насоса)**

Вредные последствия

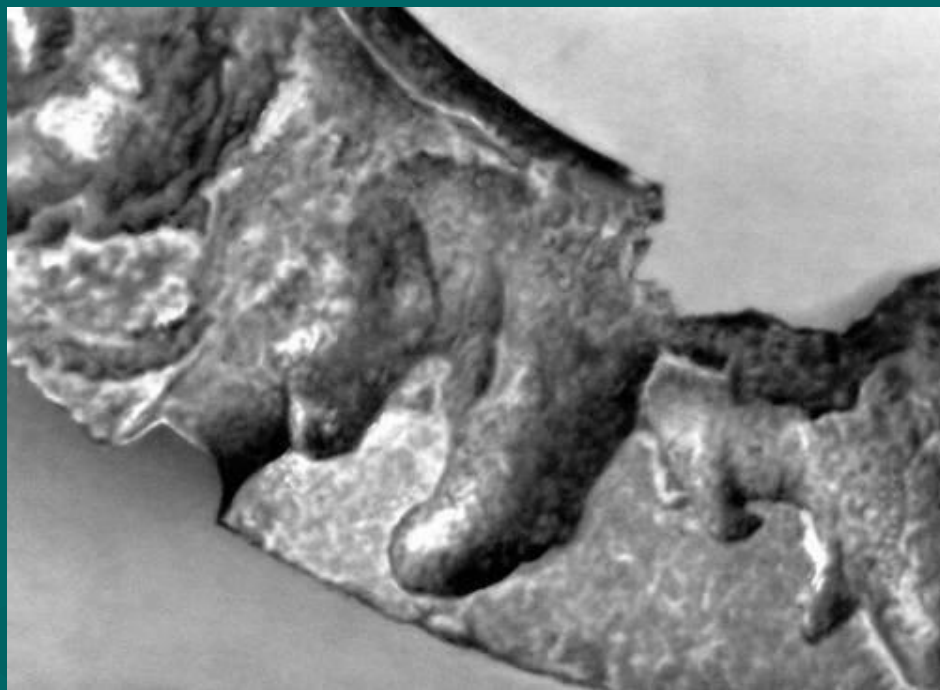


**повреждения наносимые эффектом
кавитации (часть насоса)**

Вредные последствия



Участок разрушенной поверхности гребного винта.



Всасывающий патрубок насоса, выполненный из чугуна, со следами кавитационной эрозии.

КАК ИСПРАВЛЯТЬ КАВИТАЦИЮ

- Чтобы избежать кавитации при всасывании, надо подсчитать общий динамический напор.
- Для коррекции кавитации на напорной линии может потребоваться уменьшение напора или увеличение подачи жидкости.
- В некоторых случаях может помочь уменьшение или увеличение скорости движения жидкости.

Даниил БЕРНУЛЛИ

Daniel Bernoulli, 1700–1782

Швейцарский математик, физик и физиолог. Родился в Гронингене (Нидерланды) в семье потомственных математиков и интеллектуалов.

Первоначально получил медицинское образование, и в 1725 году принял приглашение Петербургской академии наук и занял пост профессора кафедры физиологии.



Продолжение биографии

- Обнаружив в этой области множество нерешенных задач из области теоретической физики и, в частности, динамики движения жидкости (крови) в сосудах, вернулся к математическому описанию физических процессов и в 1730 году возглавил кафедру чистой математики Петербургской академии.

Продолжение биографии

- В 1733 году вернулся на родину в Базель, где возглавил кафедру анатомии и ботаники местного университета, а с 1750 года — кафедру экспериментальной физики, которой и руководил до своей смерти.
- В результате изучения гидродинамических зависимостей сформулировал так называемый принцип Бернулли и на столетие предвосхитил зарождение молекулярно-кинетической теории газов.

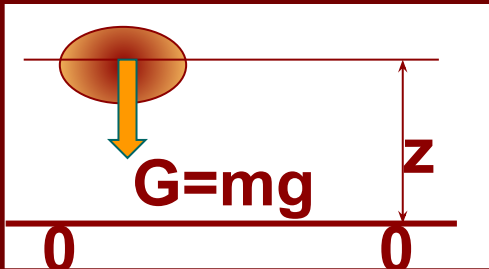
Виды энергии

Энергия жидкости

потенциальная

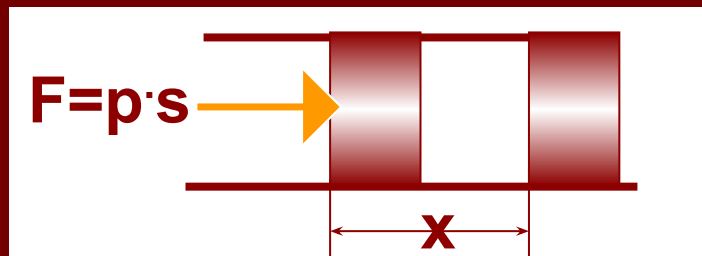
положения E_z

$$E_z = mgz$$

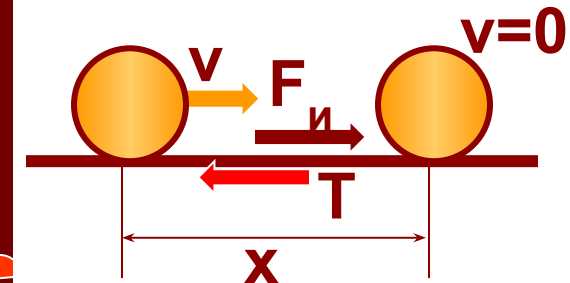


давления E_p

$$E_p = Fx = p \cdot s \cdot x = pW = mp/\rho$$



кинетическая



$$E_k = T \cdot x = F_{и} \cdot x \\ = m a \cdot x = m \cdot v/t \cdot \\ v/2 \cdot t = mv^2/2$$

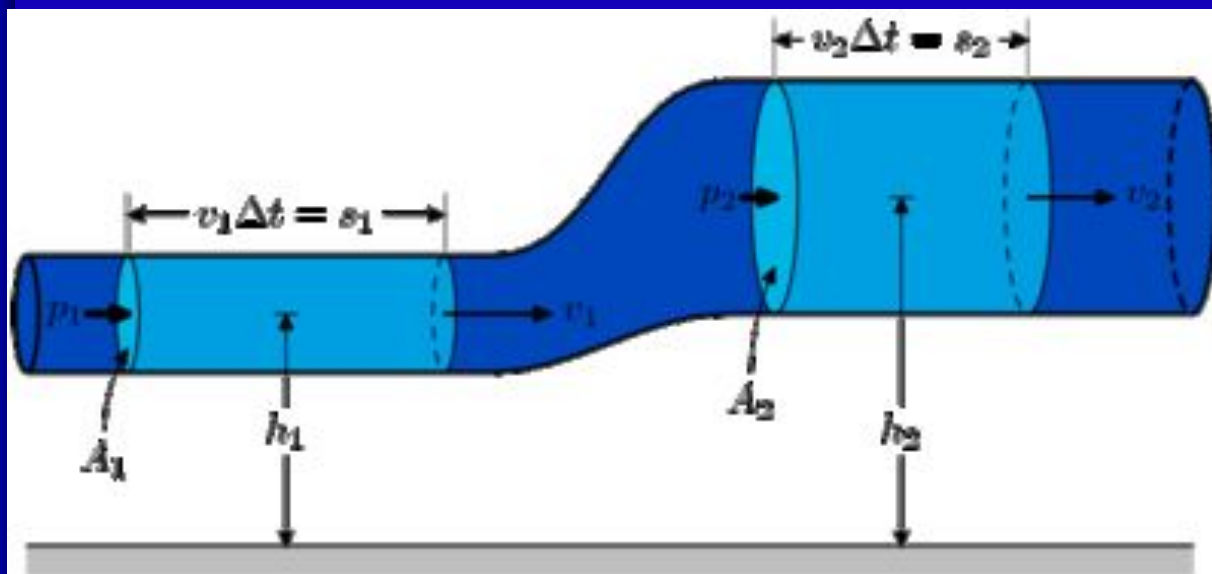
Закон сохранения энергии

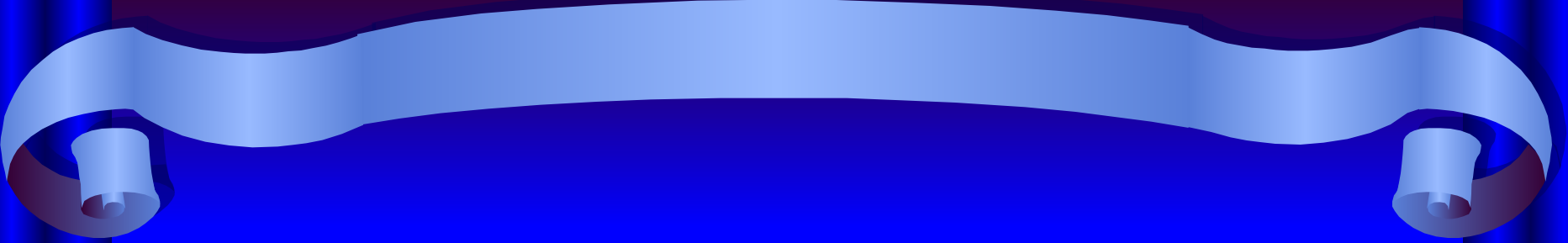
- **Механическая энергия движущегося потока жидкости при установившемся движении, представляет собой сумму потенциальной энергии положения, давления и кинетической энергии и является величиной постоянной.**

$$Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$$

Уравнение Бернулли

$$Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$$





**Уравнение Бернулли
представляет собой запись
закона сохранения
механической энергии
движущегося потока
жидкости при
установившемся движении.**