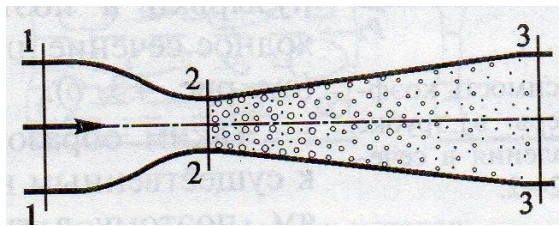


### Кавитация.

В потоках реальной жидкости возможно образование условий, при которых изменяется её агрегатное состояние: она частично превращается в пар или из неё выделяется растворённый газ.



в нём начнётся кипение капельной жидкости, т.е. начнёт образовываться множество парогазовых пузырьков (кавитация).

В современных гидравлических турбинах, центробежных насосах, гребных винтах в отдельных местах рабочих лопаток и лопастей создаются очень большие скорости движения жидкости, также благоприятствующие возникновению кавитации.

**Кавитация** (от латин. *kavitas* – пустота) - нарушение сплошности внутри текущей жидкости в результате образования пузырьков пара или растворённого в жидкости газа. Кавитация может привести к образованию в потоке жидкости «воздушных пробок» и, как следствие, к нарушению нормальной работы гидроустройства.

Далее пузырьки пара из сечения (2-2) выносятся вместе с потоком жидкости в участок между сечениями (2-2) и (3-3), где происходит увеличение давления. В результате пузырьки попадают в область давлений  $p > p_{\text{нт}}$  и поэтому пары жидкости начинают конденсироваться (т.е. схлопываться).

Рассмотренный процесс очень быстротечен и сопровождается местными гидравлическими ударами (т.е. значительное местное повышение давления). Опытами установлено, что давление в точке схлопывания возрастает до тысячи атмосфер, а иногда и выше. Поэтому кавитация сопровождается характерным шумом.

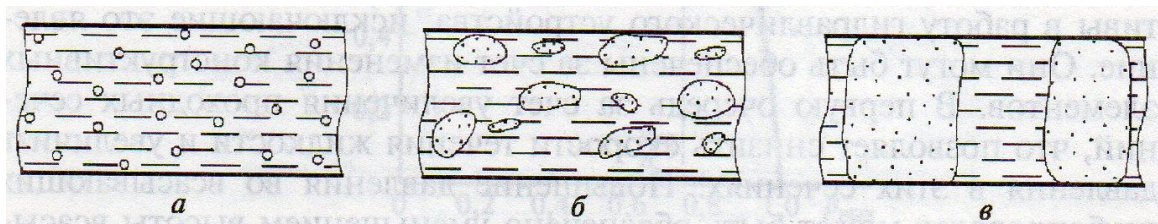
Если парогазовый пузырёк схлопывается вблизи от стенки, то это приводит к разрушению её поверхности – кавитационной эрозии. Чем больше жёсткость материала, тем быстрее разрушается поверхность стенки. Это связано с тем, что молекулы жидкости выбивают из кристаллической решётки молекулы материала стенки.

Кавитация также сопровождается резким возрастанием потерь на движение жидкости через местное сопротивление.

Таким образом, кавитация приводит к существенным негативным последствиям, поэтому в гидросистемах её допускать не следует.

Наиболее вероятно возникновение кавитации в МГС, где есть сужения потоков с последующим их расширением (задвижки, диафрагмы, вентили и др.).

Кавитация может возникнуть в трубопроводах низкого давления. Это в первую очередь относится к всасывающим трубопроводам. Поток в этом случае становится двухфазным. При этом газовая фаза м.б. – незначительной (а), существенной (б), а может сопровождаться образованием парагазовых пробок.



Поэтому для элементов гидросистем, в которых есть опасность её возникновения, проводят специальные кавитационные расчёты.

В случае возникновения кавитации необходимо внести коррективы в работу гидроустройства, чтобы по возможности исключить это явление (например, лопатки и лопасти спроектировать в форме слабо изогнутых профилей со скругленными входными и выходными кромками, увеличить проходные сечения, ограничить температуру рабочей жидкости и др.).

## Гидравлический удар в трубопроводе.

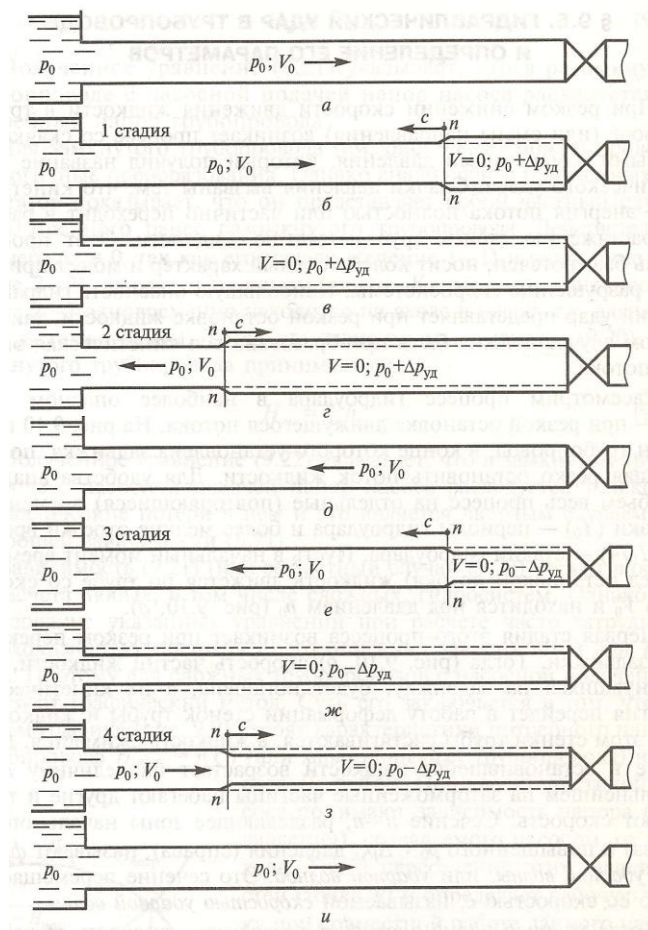
Процесс резкого снижения скорости движения жидкости в трубопроводе (или смена направления) при скачкообразном изменении давления получил название гидравлического удара. Этот процесс быстротечен, носит колебательный характер и может привести к разрушению гидросистемы.

Наибольшую опасность гидравлический удар представляет при резкой остановке движущегося потока (если в конце трубопровода установить задвижку).

На рисунке приведён трубопровод, в конце которого установлена задвижка. Для удобства анализа весь процесс в трубопроводе разбит на повторяющиеся временные отрезки ( $T_0$ ) – периоды гидроудара и более мелкие отрезки времени ( $T_0/4$ ) стадии гидроудара.

Пусть в начальный момент времени (перед остановкой потока) жидкость движется по трубе со скоростью  $V_0$  и находится под давлением  $p_0$  (рис. а).

**Первая стадия** – резкое перекрытие задвижки (рис. б). Скорость частиц жидкости будет погашена, а их кинетическая энергия перейдёт в работу деформации стенок трубы и жидкости (стенки трубы растягиваются, а жидкость сжимается). Давление возрастёт на величину  $\Delta p_{уд}$ . В дальнейшем на заторможенные частицы набегает другая и тоже теряет скорость.



(n-n) - сечение, разделяющее начальную и повышенную зону давлений называется фронтом ударной волны (или ударной волной).

$c$  – скорость ударной волны.

Когда ударная волна достигнет резервуара, жидкость окажется остановленной и сжатой во всей трубе давлением  $(p_0 + \Delta p_{уд})$ , а стенки трубы – растянуты (рис. в).

Начнётся вторая стадия гидроудара.

**Вторая стадия** (рис. г) – частицы жидкости под действием повышенного давления  $(p_0 + \Delta p_{уд})$  устремятся из трубы в резервуар, а сечение  $(n-n)$  начнёт перемещаться в обратном направлении со скоростью «с», оставляя за собой в жидкости давление  $p_0$  (при этом жидкость и стенки трубы возвращаются к начальному состоянию). Работа деформации вновь переходит в кинетическую энергию, и жидкость в трубе приобретает первоначальную скорость  $V_0$ , но направленную в противоположную сторону.

Когда фронт ударной волны (n-n) достигнет задвижки, заканчивается вторая стадия гидроудара. В этот момент весь объём жидкости в трубе имеет скорость  $V_0$ , направленную влево, и стремится оторваться от задвижки (рис. д).

Начинается третья стадия гидроудара.

В начале третьей стадии у задвижки возникает зона с пониженным давлением ( $p_0 - \Delta p_{y\delta}$ ) (рис. е). Затем она увеличивается за счёт новых слоёв жидкости. Кинетическая энергия жидкости вновь переходит в работу деформаций, но противоположного знака (стенки сжимаются, а жидкость расширяется).

Когда фронт ударной волны (n-n) достигнет резервуара, заканчивается третья стадия гидроудара (рис. ж). В этот момент жидкость в трубе неподвижна и имеет пониженное давление ( $p_0 - \Delta p_{y\delta}$ ).

Вновь наступает неравновесное состояние, и поэтому начинается четвёртая стадия гидроудара.

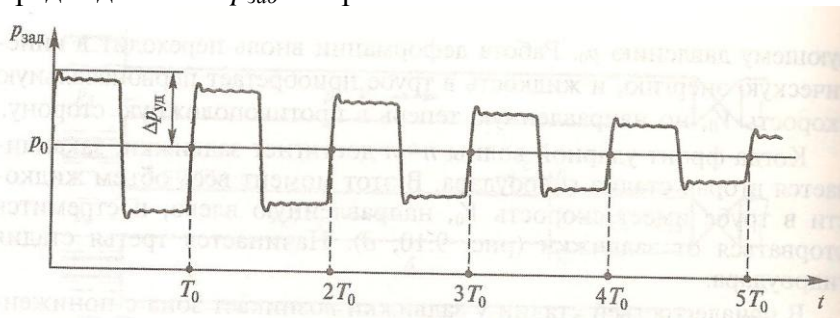
В процессе четвёртой стадии из-за пониженного давления в трубе ( $p_0 - \Delta p_{y\delta}$ ) и более высокого давления в резервуаре  $p_0$  (рис. з) жидкость устремляется в трубу и последовательно заполняет её. Ударная волна (n-n) перемещается вправо.

Когда фронт ударной волны (n-n) достигнет задвижки, заканчивается четвёртая стадия гидроудара и первый период гидроудара. (рис. и).

Поэтому весь рассмотренный цикл начинается вновь (начинается второй период гидроудара), но с меньшей интенсивностью и т.д. – колебательный процесс затухает.

Теоретическое и экспериментальное исследование гидравлического удара в трубах было впервые выполнено Н.Е. Жуковским. Им было зарегистрировано до 12 полных циклов с постепенным уменьшением ударного давления.

Для иллюстрации процесса гидроудара на рисунке представлен экспериментальный график изменения давления перед задвижкой  $p_{зад}$  по времени.



Анализ графика позволяет сделать вывод, что наибольшая опасность для трубопровода (максимум давления) имеет место в начале гидроудара.

Н.Е. Жуковским была впервые получена формула для определения величины ударного давления:

$$\Delta p_{y\delta} = \rho V_0 c.$$

**При необходимости можно использовать следующие способы смягчения гидроудара:**

- увеличение времени закрытия (или открытия) задвижки;
- уменьшение скорости жидкости в трубопроводе (за счёт увеличения внутреннего диаметра трубы при заданном расходе);
- установка перед задвижкой специальных устройств (гидроаккумуляторы, предохранительные клапаны-гасители), которые автоматически открываются при повышении давления против допустимого, сбрасывается часть РЖ из трубопровода, тем самым снижая высокое давление в трубе.

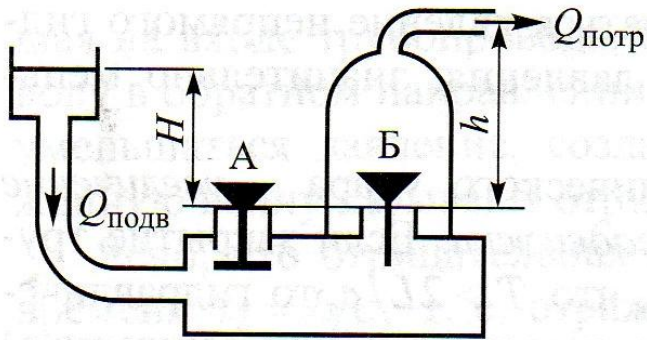
### Гидравлический таран.

Примером использования гидравлического удара для полезных целей является гидравлический таран, схема которого представлена на рисунке (водоподъемное устройство ударного действия, работающее за счет напора  $H$ ).

Гидравлический таран состоит из подводящего напорного трубопровода длиной **10...20 м**, рабочей камеры с двумя клапанами: ударным **А** и нагнетательным **Б**, воздушного колпака и нагнетательного трубопровода. При этом ударный клапан, опускаясь под действием силы тяжести, открывает выходное отверстие, а нагнетательный, наоборот, закрывает отверстие.

**Гидравлический таран действует следующим образом.**

Вода, поступающая в рабочую камеру по подводящему трубопроводу, начинает вытекать наружу через открытый клапан *А*. Вытекающей водой клапан *А* поднимается и нижней пластиной перекрывает клапанное отверстие выходной канал этого клапана *А*. В результате внезапной остановки потока в рабочей камере происходит гидравлический удар с резким повышением уровня давления, под влиянием которого открывается клапан *Б*, и часть воды выталкивается из рабочей камеры под воздушный колпак, а оттуда в нагнетательный трубопровод.



Повышенное давление в рабочей камере, вызванное гидравлическим ударом, быстро падает, вследствие чего закрывается клапан *Б*, и под действием силы тяжести откроется клапан *А*. Вода из рабочей камеры снова станет вытекать наружу через клапан *А* и закроет его.

В рабочей камере снова произойдет **гидравлический удар и т. д.**

Таким образом, гидравлический таран работает автоматически и, затрачивая большую часть всего расхода  $Q_{\text{подв}}$ , поступающего по подводящему трубопроводу, на излив наружу через клапан *А*, меньшая часть — подача потребителю  $Q_{\text{потр}}$  поднимается по нагнетательному трубопроводу на высоту  $h$ , значительно превышающую высоту  $H$ .

Предельная высота подъема воды  $h$  зависит от величин  $H$  и  $Q_{\text{подв}}$ , от величины гидравлических сопротивлений тарана и от прочности колпака.

Нормально высота подъема воды гидравлическим тараном в **10 раз** превышает напор  $H$  ( $h \approx 10H$ ).

Расход  $Q_{\text{потр}}$  воды в нагнетательной трубе гидравлического тарана связан с расходом  $Q_{\text{подв}}$  в подводящем трубопроводе зависимостью

$$\eta Q_{\text{подв}} H = Q_{\text{потр}} h,$$

где  $\eta$  — КПД тарана, который в зависимости от отношения  $h/H$  имеет следующие значения:

$h/H$	2	3	5	8	10
$\eta$	0,85	0,78	0,69	0,58	0,52

Гидравлические тараны применяются в водоснабжении и орошении при подаче небольшого количества воды на большую высоту из водотока, имеющего значительный расход. Гидравлический таран работает без двигателя, прост и надежен в эксплуатации, а поэтому может найти широкое применение в гидромелиоративном деле.