



Тема 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУДОПРОВОДОВ

УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 1. Истечение жидкостей.**
- 2. Гидравлический расчет трубопроводов.**
- 3. Гидравлический удар.**
- 4. Кавитация.**

1. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Истечением называют движение жидкости с ускорением или замедлением через относительно короткие каналы, сопровождающиеся изменением давления

Типы каналов

Отверстие

Канал, *длина* которого *меньше трех максимальных размеров его сечения* (диаметра, высоты)

$$l < 3d$$

Насадок

Канал, *длина* которого, *больше трех и меньше четырех максимальных размеров его сечения* (диаметра, высоты)

$$3d \leq l \leq 4d$$

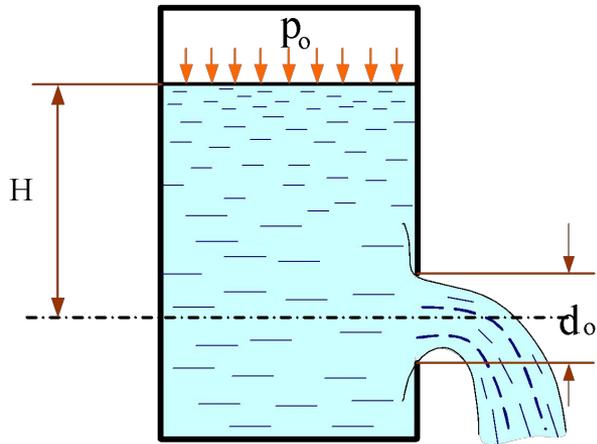
Трубопровод

Канал, *длина* которого *превышает его максимальный размер сечения* (диаметр, высоту), *более, чем в четыре раза*

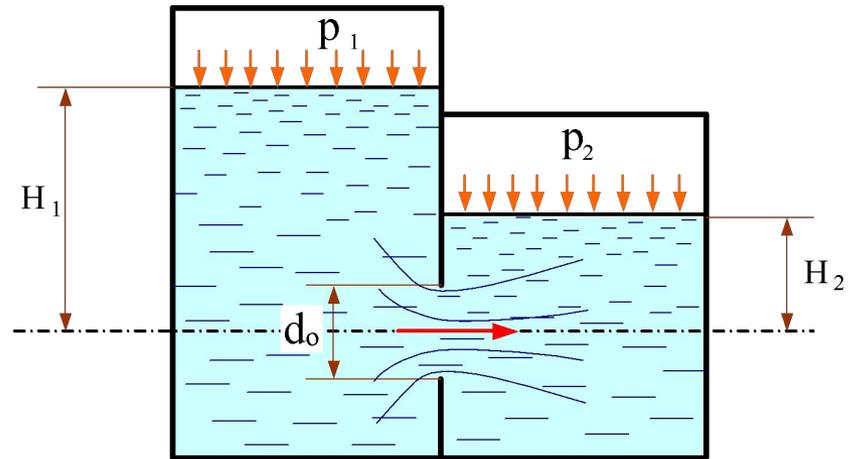
$$4d < l$$

Типы отверстий

Незатопленное



Затопленное



Незатопленными называют отверстия (или насадки), из которых капельная жидкость вытекает в атмосферу или другую газовую среду

Затопленными называют отверстия (или насадки), из которых капельная жидкость вытекает под уровень другой (или той же) капельной жидкости

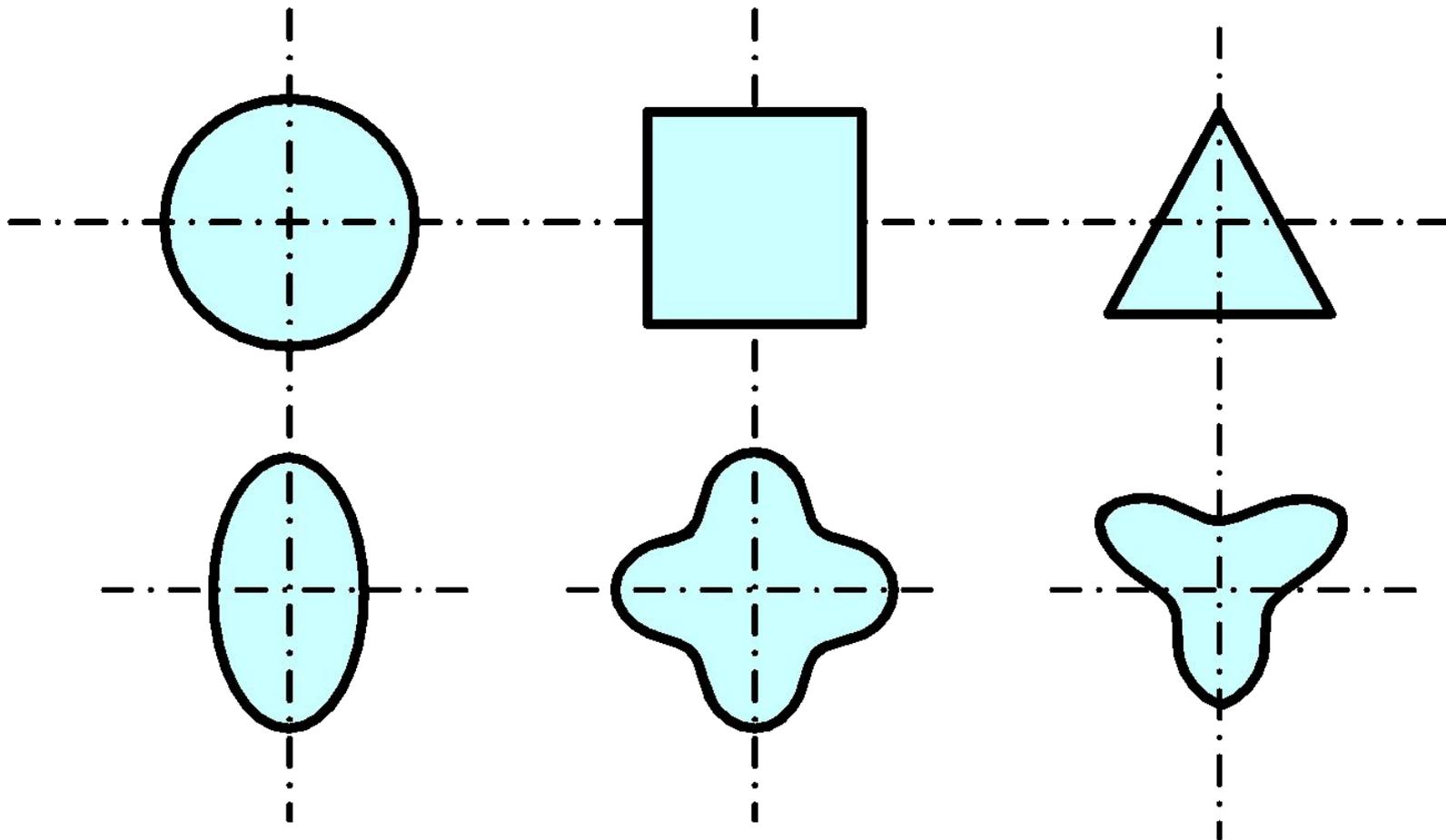
Малое

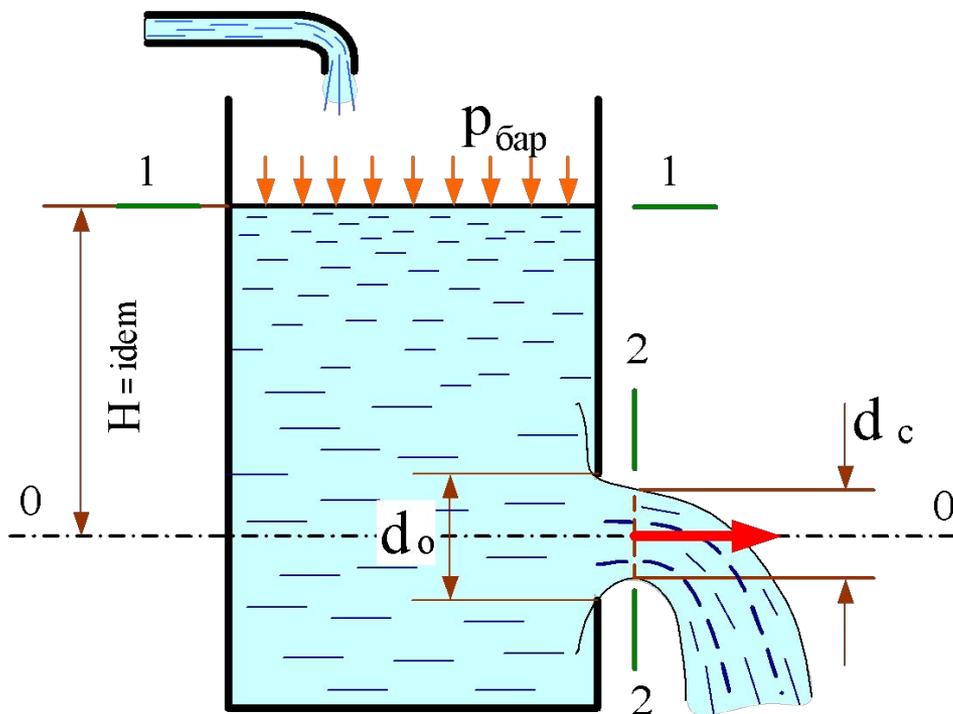
$$d_0 \leq 0,1 H$$

Большое

$$d_0 > 0,1 H$$

Явление инверсии





Скорость истечения

$$u = \varphi \sqrt{2gH}$$

Объемный расход

$$Q_V = \mu S_o \sqrt{2gH}$$

Коэффициенты истечения

Коэффициент сжатия струи

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_o} = \frac{d_c^2}{d_o^2} \quad (0,64)$$

Коэффициент скорости

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_M}} = \frac{u_d}{u_{ид.ж.}} \quad (0,97)$$

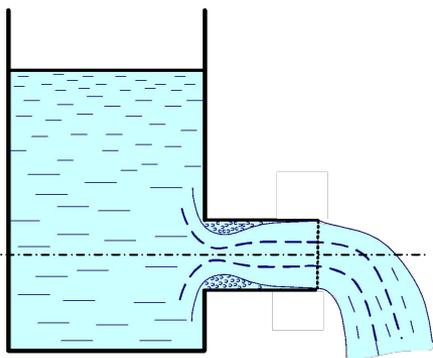
Коэффициент расхода

$$\mu = \varepsilon \varphi = \frac{Q_d}{Q_{ид.ж.}} \quad (0,62)$$

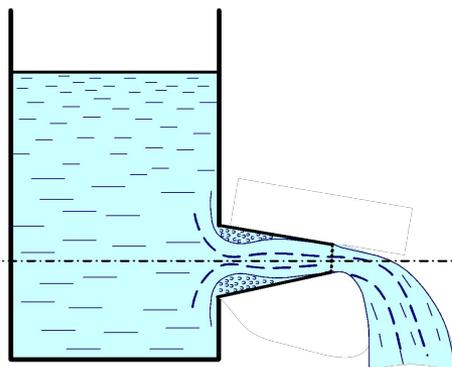
Истечение через насадки

Типы насадков

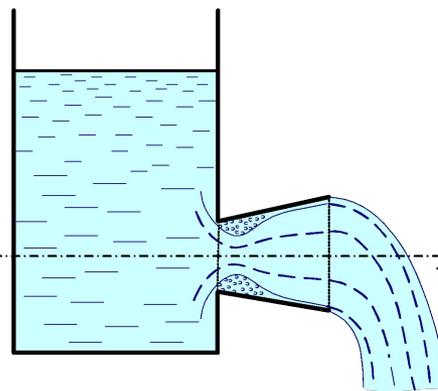
Цилиндрические



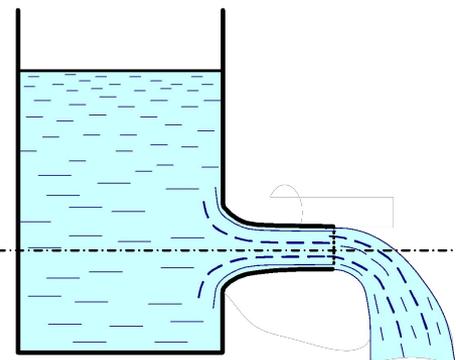
Конические
сходящиеся



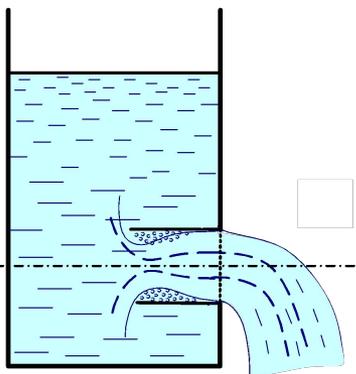
Конические
расходящиеся



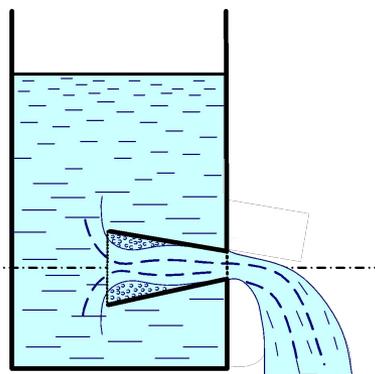
Коноидальные



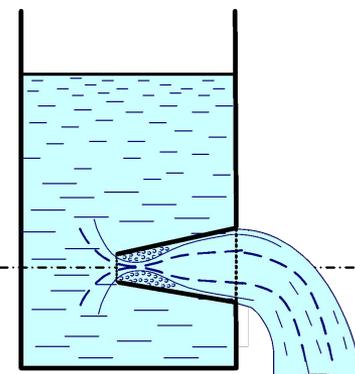
Наружные



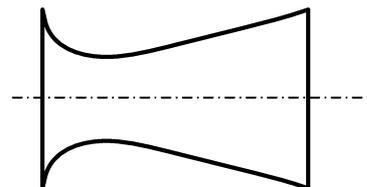
Наружные



Наружные



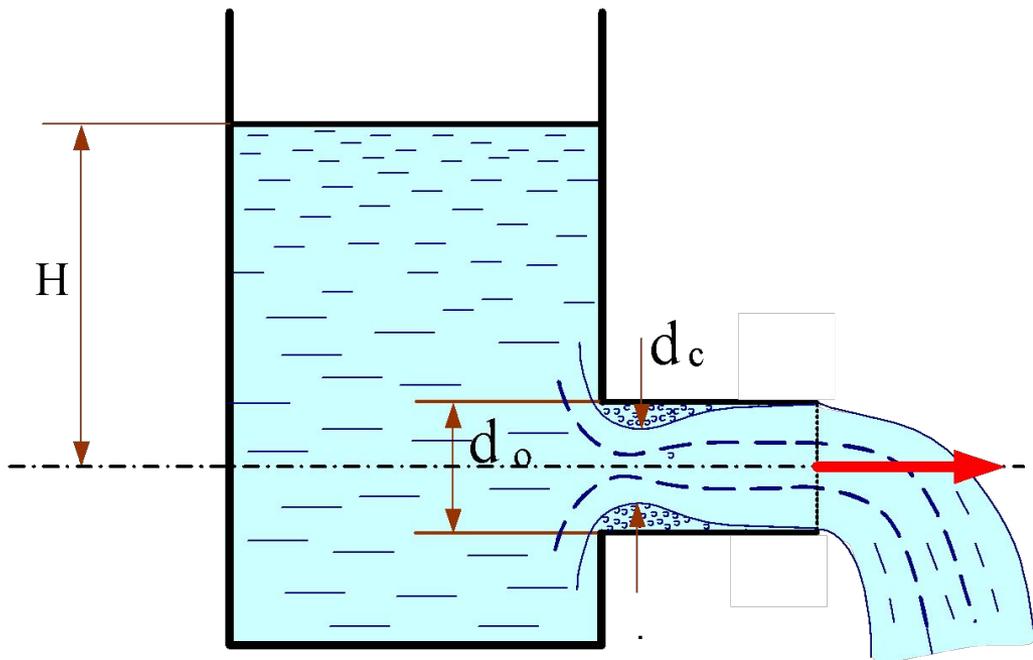
Сопло
Лавая



Внутренние

Внутренние

Внутренние



Скорость истечения

$$u = \varphi \sqrt{2gH}$$

Объемный расход

$$Q_V = \mu S_o \sqrt{2gH}$$

Средние значения коэффициентов истечения через насадки для воды

Вид насадка	ϵ	ξ_m	φ	μ
Цилиндрический наружный	1,00	0,50	0,82	0,82
внутренний	1,00	0,55	0,71	0,71
Конический. сходящийся	0,98	0,16	0,97	0,95
расходящийся	1,00	3,94	0,45	0,45
Коноидальный	1,00	0,06	0,98	0,98

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Типы трубопроводов

Короткие

Трубопроводы, в которых местные потери напора превышают 5 % общих потерь

Длинные

Трубопроводы, в которых потери напора по длине превышают 5 % общих потерь

Простые

Трубопроводы, не имеющие ответвлений

Сложные

Трубопроводы, имеющие ответвления

Самотечные

Трубопроводы, все элементы которых располагаются ниже уровня жидкости, находящейся в резервуаре, из которого жидкость вытекает

Тупиковые

Трубопроводы, по которым жидкость подается в одном направлении

Сифонные

Короткие трубопроводы, по которым жидкость движется из питающего резервуара в приемный за счет разности уровней жидкости в этих резервуарах

Замкнутые(кольцевые)

Трубопроводы, по которым жидкость может подаваться в заданную точку по двум или более линиям

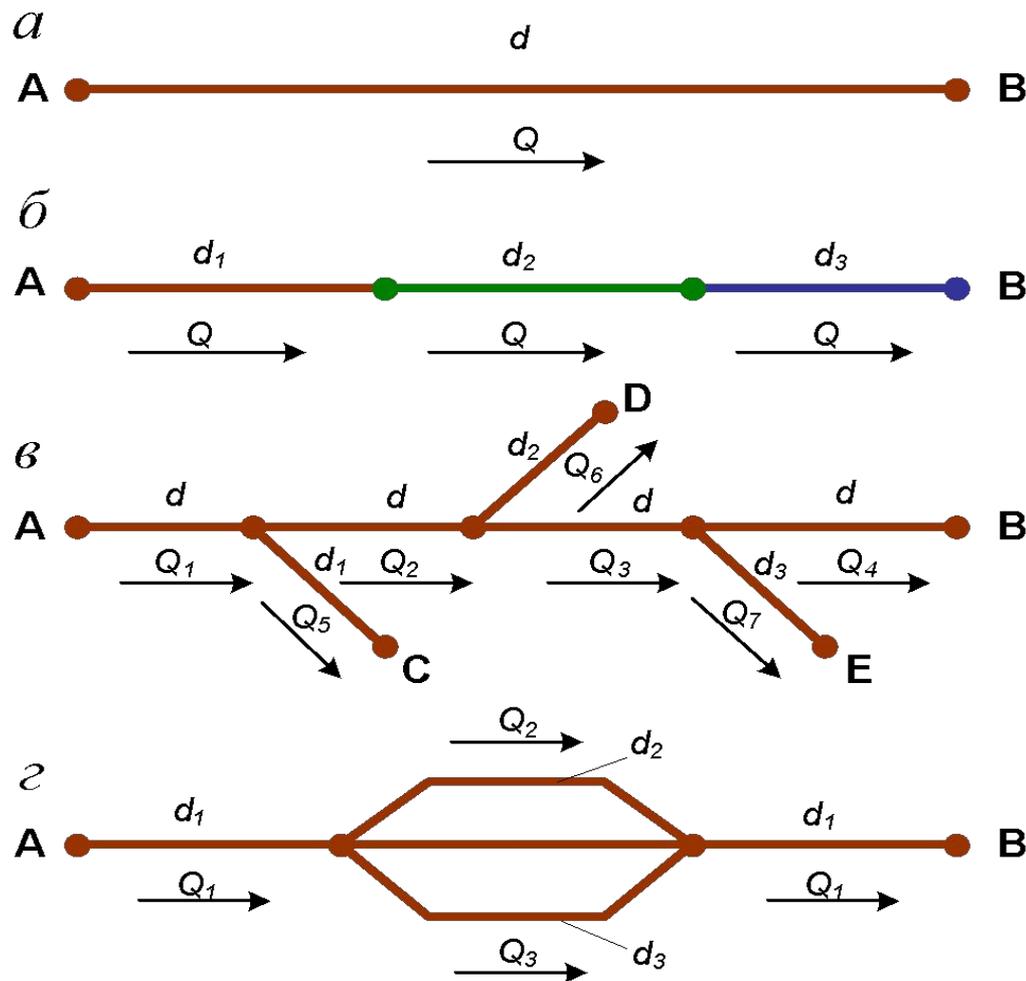
*С транзитным
расходом*

*С путевым
расходом*

**Трубопроводы, в
которых расход
жидкости не
меняется по всей
их длине**

**Трубопроводы, в
которых по пути
движения жидкости
происходит ее разда-
ча и расход является
переменной
величиной**

Примеры трубопроводов различных типов

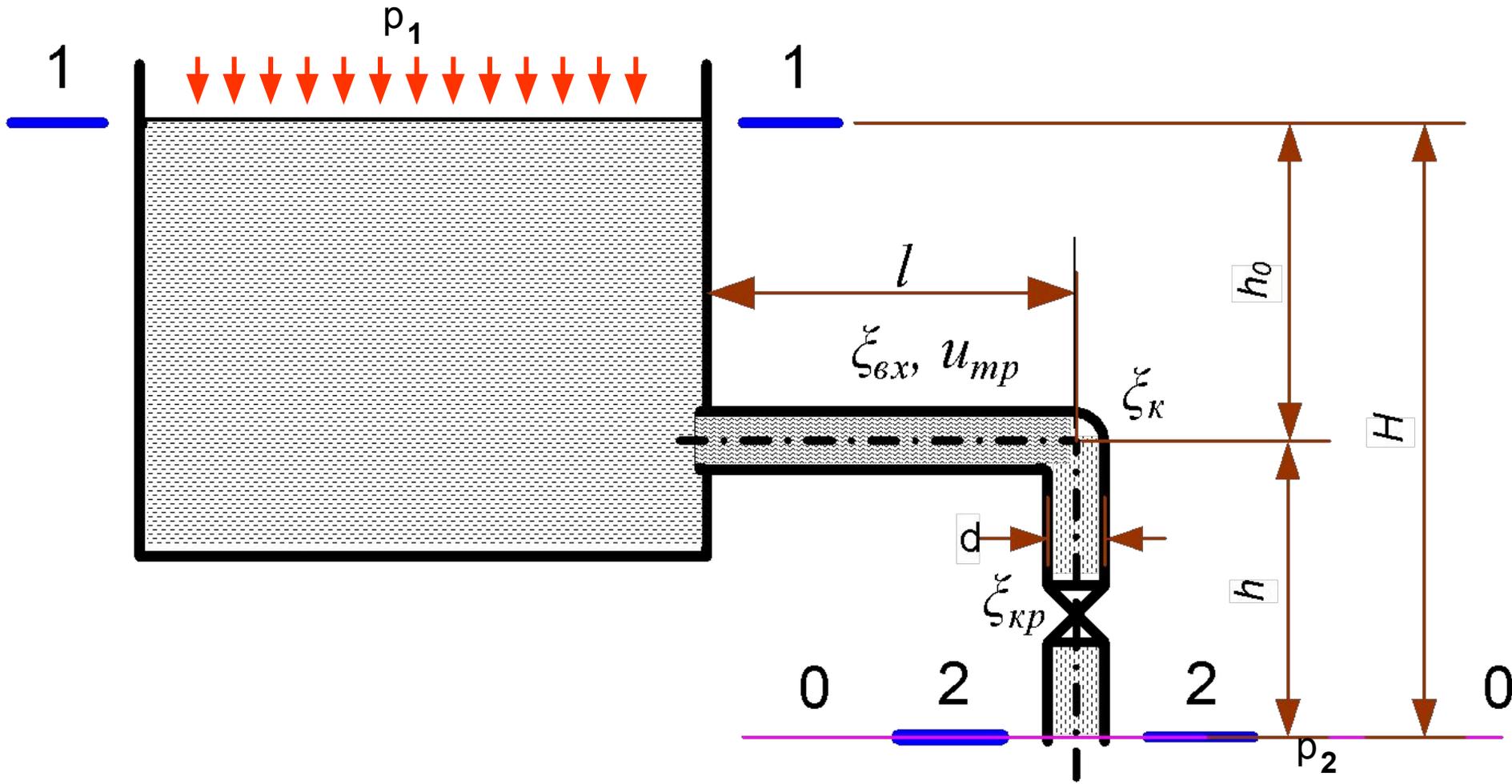


a, б - простые, тупиковые, с транзитным расходом; *в* - сложный, тупиковый, с путевым расходом; *г* - сложный, замкнутый, с транзитным расходом

Расчет трубопроводов

А. Расчет простого самотечного трубопровода

Простой самотечный трубопровод – это трубопровод, все элементы которого расположены ниже уровня жидкости в емкости, откуда она вытекает



$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \sum h_M + h_{\text{тр}}$$

$$h_M = \sum_{i=1}^n h_{Mi} = \sum (\xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{к}} + \xi_{\text{кр}}) \frac{u_{\text{тр}}^2}{2g} = \sum \xi \frac{u_{\text{тр}}^2}{2g}$$

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{\boxtimes}{d} \cdot \frac{u_{\text{тр}}^2}{2g}$$

$$h_0 + h + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{u_{\text{тр}}^2}{2g} \left(\alpha + \lambda \cdot \frac{\boxtimes + h}{d} + \sum \xi \right)$$

Заменяя величину скорости из уравнения неразрывности потока ($u_{\text{тр}} = Q/S_{\text{тр}}$), получим

$$h_0 + h = \frac{Q^2}{S_{\text{тр}}^2 \cdot 2g} \left(\alpha + \lambda \frac{\boxtimes + h}{d} + \sum \xi \right) - \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

$$h = \frac{\frac{Q^2}{S_{Tp}^2 \cdot 2g} \cdot \left(\alpha + \lambda \frac{\boxtimes}{d} + \Sigma \xi \right) - \frac{p_1 - p_2}{\rho g} - h_0}{1 + \lambda \frac{\boxtimes}{d} \cdot \frac{Q^2}{S_{Tp}^2 \cdot 2g}}$$

$$u_{Tp} = \frac{\sqrt{2g \left(h_0 + h + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \right)}}{\sqrt{\alpha + \lambda \cdot \frac{\boxtimes + h}{d} + \Sigma \xi}}$$

$$Q = u_{Tp} \cdot S_{Tp} = S_{Tp} \cdot \frac{\sqrt{2g \left(h_0 + h + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \right)}}{\sqrt{\alpha + \lambda \frac{\boxtimes + h}{d} + \Sigma \xi}}$$

$$Q = u_{\text{Tp}} \cdot S_{\text{Tp}} = S_{\text{Tp}} \cdot \frac{\sqrt{2g \left(h_0 + h + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \right)}}{\sqrt{\alpha + \lambda \frac{\Delta + h}{d} + \Sigma \xi}}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$$

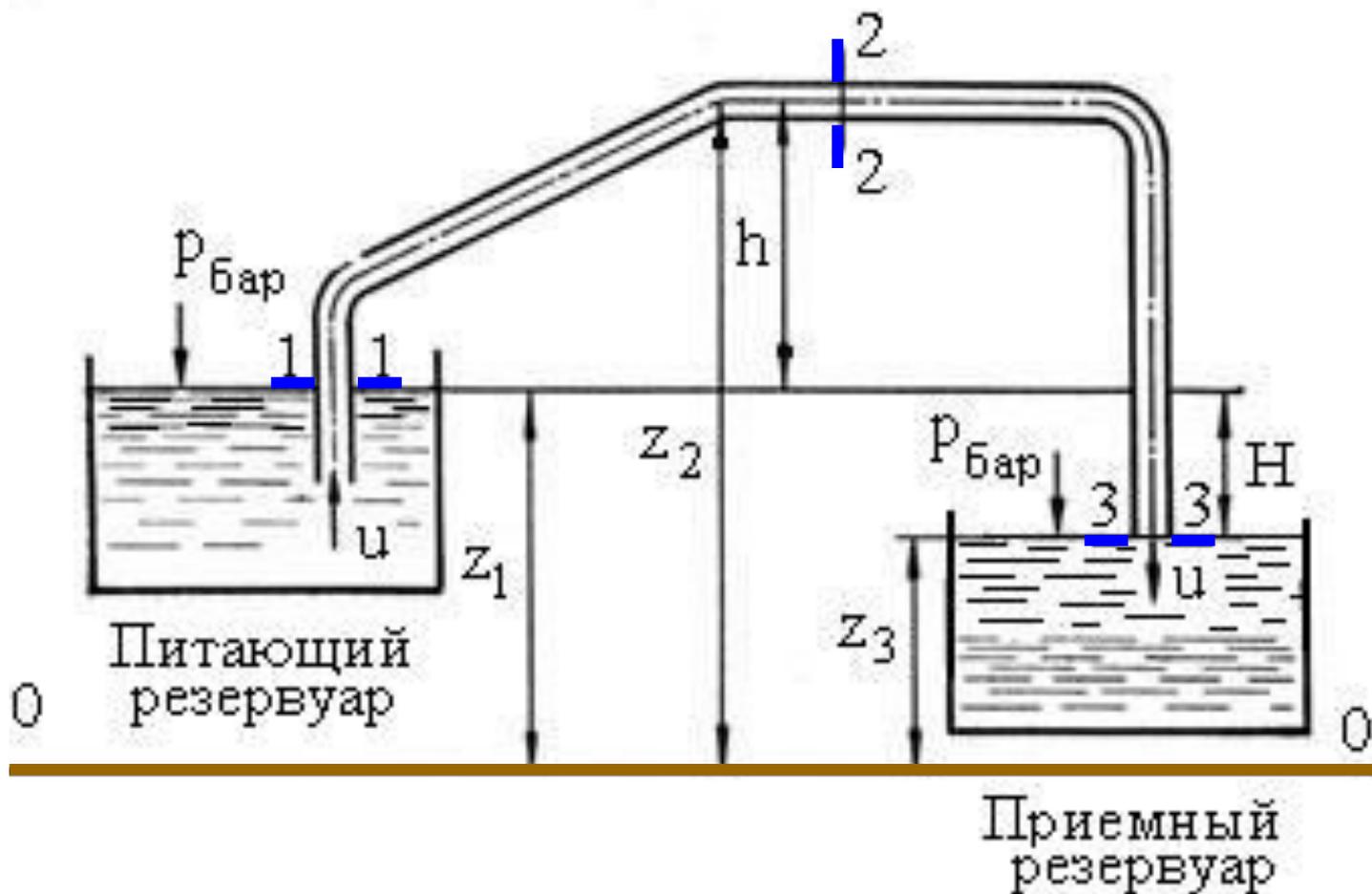
$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,316 \cdot \text{Re}^{-0,25}$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

Б. Расчет простого сифонного трубопровода (сифона)

Сифон - это короткий трубопровод, по которому жидкость движется из питающего резервуара в приемный за счет разности уровней жидкости в этих резервуарах



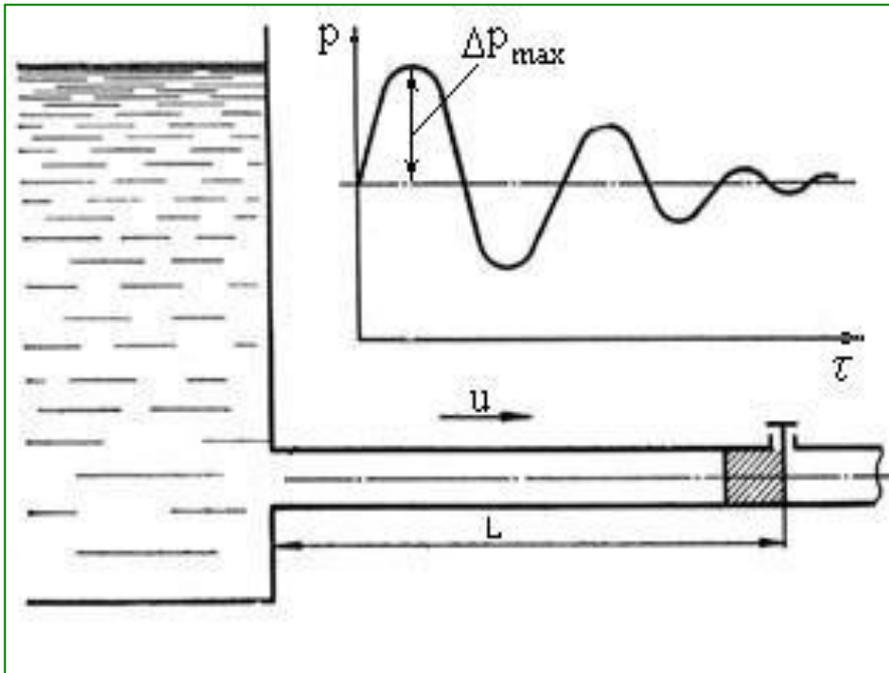
$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \cdot u_2^2}{2g} + h_n,$$

Так как $\frac{p_{\text{бар}}}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = h_{\text{вак}}$, то $h_{\text{вак}} = z_2 - z_1 + h_n$

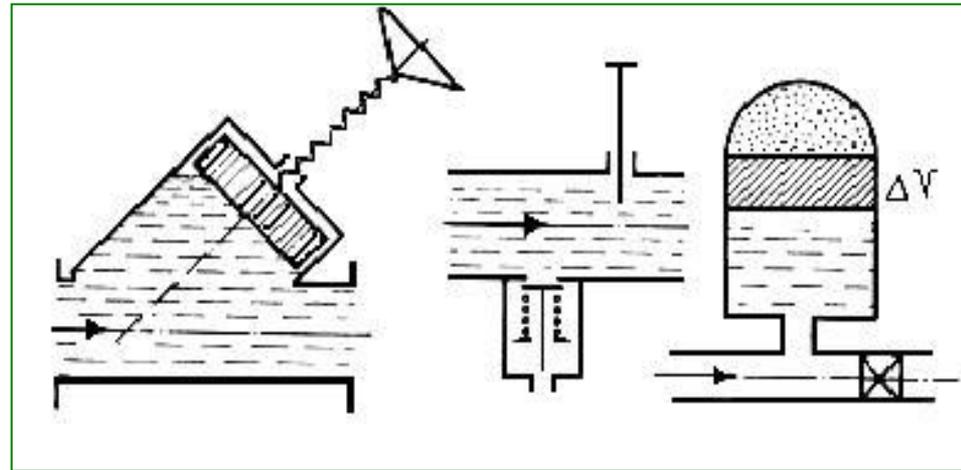
Высота сифона равна $h = h_{\text{вак}} - h_n$.

3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР

Гидравлическим ударом называют резкое повышение давления в трубопроводе при внезапной остановке движущейся капельной жидкости



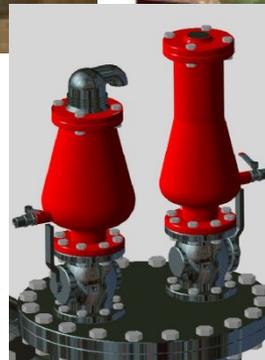
$$\Delta p_{\max} = \rho \cdot u \cdot c, \text{ МПа}$$



Устройства для предотвращения гидравлического удара

Устройства для
предотвращения гидравлического
удара

Волковская водопроводная станция



Южная водопроводная станция. Воздушный клапан D-020



4. КАВИТАЦИЯ

Кавита́ция (от латинского *cavita* — пустота) — процесс парообразования и последующей конденсации («схлопывания») пузырьков пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости или растворенных в ней газов.

Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом ударную волну высокого давления.

Ведущую роль в образовании пузырьков при кавитации играют газы, выделяющиеся внутри образующихся пузырьков. Эти газы всегда содержатся в жидкости, и при местном снижении давления начинают интенсивно выделяться внутрь указанных пузырьков.

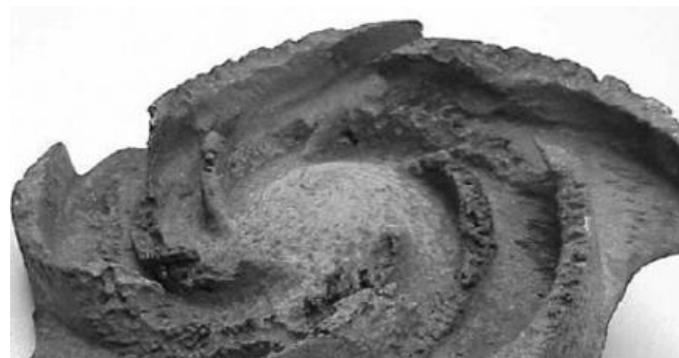
Поскольку под воздействием переменного местного давления жидкости пузырьки могут резко сжиматься и расширяться, то температура газа внутри пузырьков колеблется в широких пределах, и может достигать нескольких сот градусов по Цельсию. Имеются расчётные данные, что температура внутри пузырьков может достигать 1500 °С. Следует также учитывать, что в растворённых в жидкости газах содержится больше кислорода в процентном отношении, чем в воздухе, и поэтому газы в пузырьках при кавитации химически более агрессивны, чем атмосферный воздух — вызывают в итоге окисление (вступление в реакцию) многих обычно инертных материалов.

Явление кавитации носит локальный характер и возникает только там, где есть условия. Перемещаться в среде возникновения не может. Кавитация разрушает поверхность гильз цилиндров поршневых двигателей внутреннего сгорания, гидравлических насосов, рабочих колес гидромуфт, гидротрансформаторов, гидротурбин и др.

Примеры повреждений, наносимых эффектом кавитации



Кавитационные повреждения гильзы цилиндра поршневого ДВС



Кавитационные повреждения рабочих колес гидронасосов