

# Гидравлика

Лекция 9

**Расчет трубопроводов**

# Назначение и классификация трубопроводов

Трубопроводы служат для перемещения жидкостей и газов.

По виду материала трубы бывают из: стали, чугуна, бетона, пластмассы, асбоцемента, стекла и др.

Бывают **напорные** и **безнапорные**, **короткие** и **длинные**, **простые** и **сложные**.

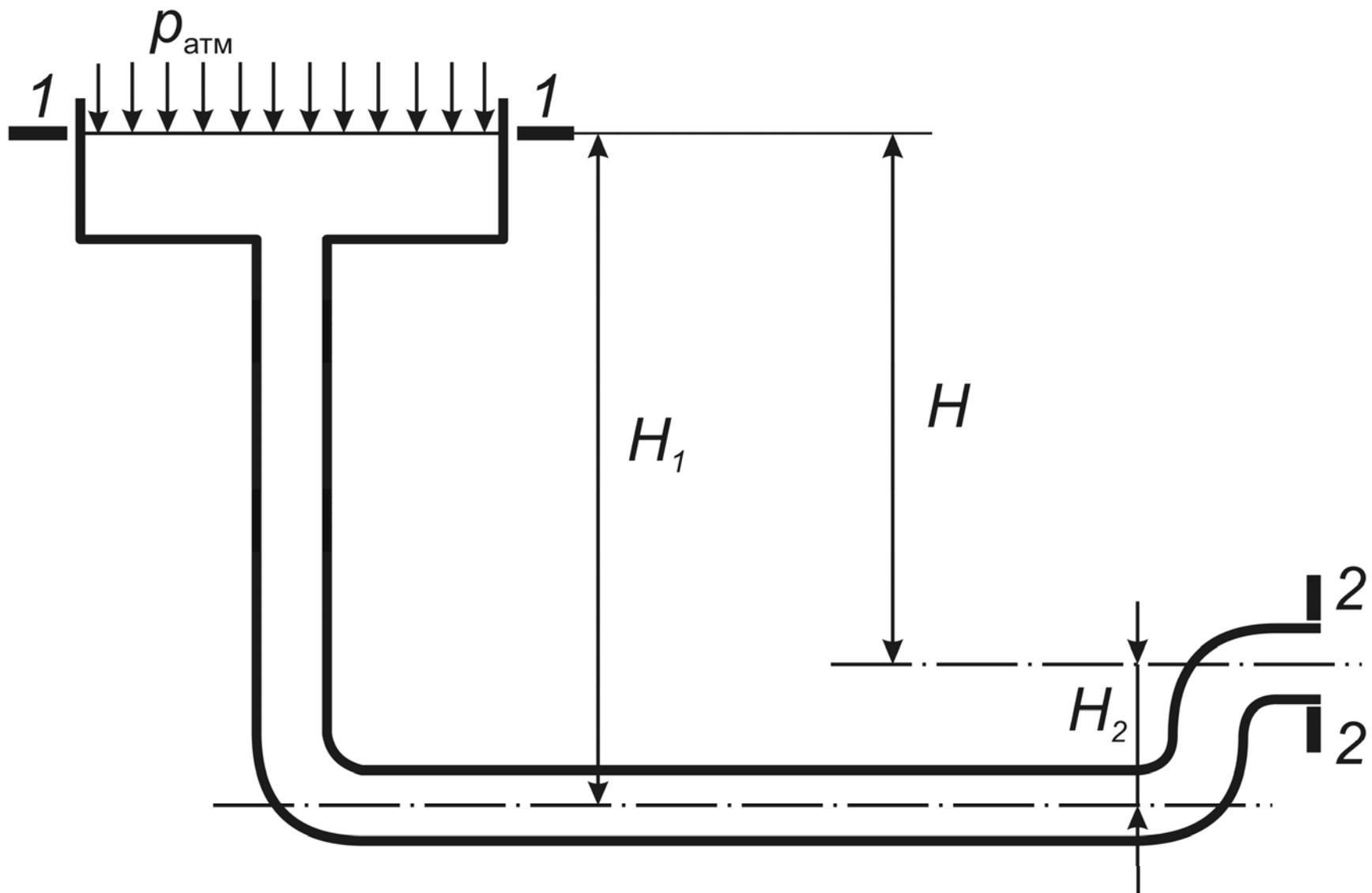
**Короткие трубопроводы** — это трубопроводы малой длины, с большим числом местных сопротивлений, потери в которых превышают 10% потерь напора по длине.

**Длинные трубопроводы** — это трубопроводы большой протяженности, в которых потери напора на преодоление местных сопротивлений менее 10% потерь напора по длине.

**Простые трубопроводы** — это трубопроводы из труб одного или нескольких диаметров без ответвлений и без раздачи расхода по пути движения жидкости.

**Сложные трубопроводы** — это трубопроводы из сети труб различного диаметра с магистральными линиями и с ответвлениями (тупиковые, кольцевые).

# Расчет короткого трубопровода



$$H_1 + \frac{p_{\text{атм}}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_{\text{атм}}}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{пот}}$$

$$H = H_1 - H_2 \quad \frac{v_1^2}{2g} \approx 0$$

$$H = \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{пот}}$$

$$h_{\text{пот}} = \left( \lambda \frac{\ell}{d} + \zeta_{\text{м}} \right) \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H = \left( 1 + \lambda \frac{\ell}{d} + \zeta_{\text{M}} \right) \frac{v_2^2}{2g} \rightarrow H = \left( 1 + \lambda \frac{\ell}{d} + \zeta_{\text{M}} \right) \frac{v^2}{2g}$$

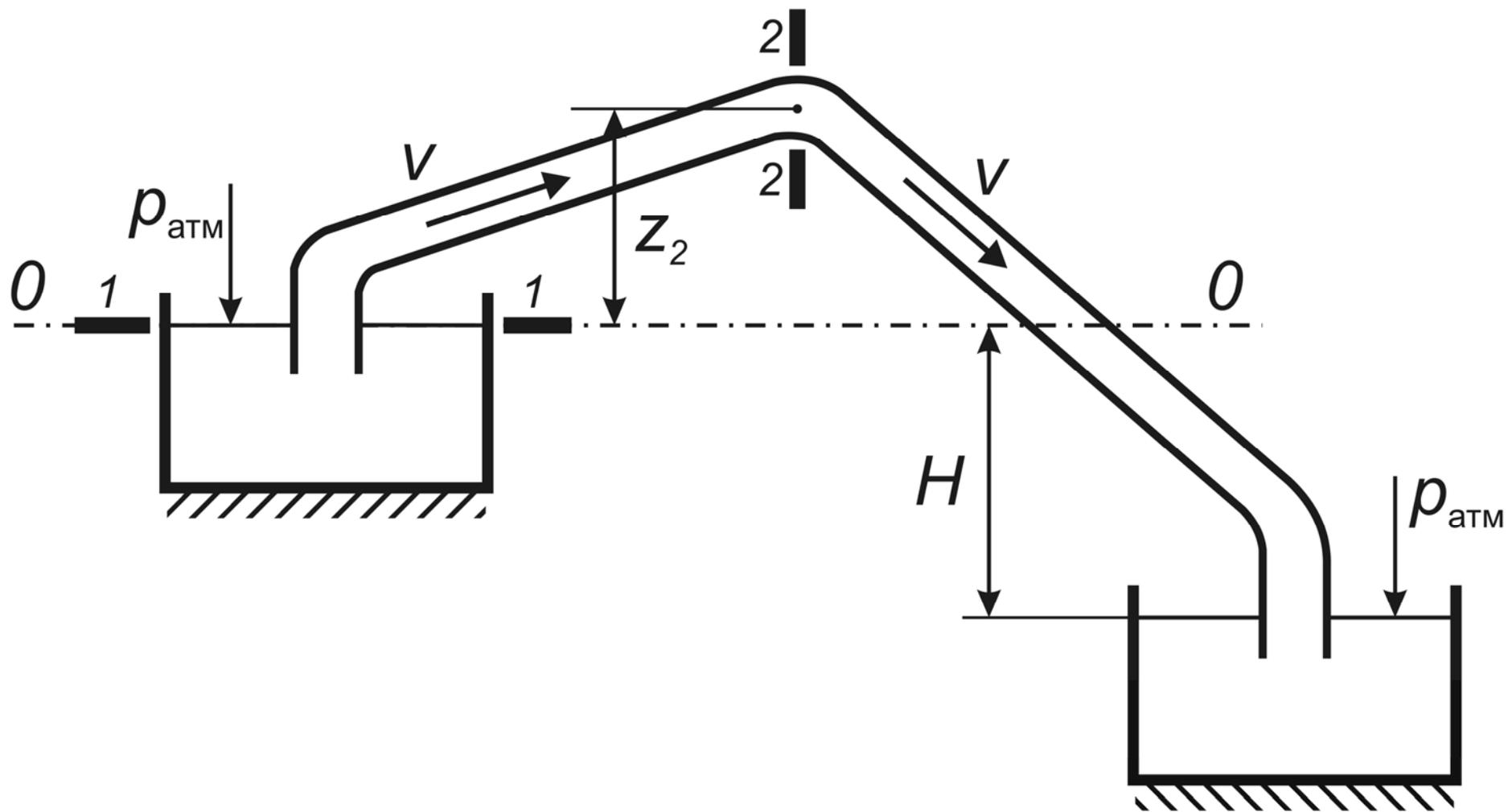
$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{\ell}{d} + \zeta_{\text{M}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{c}}}},$$

где  $\zeta_{\text{c}}$  — коэффициент сопротивления системы.

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода системы.

# Расчет сифона



Расход через сифон определяется также как в коротком трубопроводе:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$$

$$z_1 + \frac{p_{\text{атм}}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_{\text{м}} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$z_1 = 0; \quad \frac{v_1^2}{2g} = 0; \quad \frac{p_{\text{атм}}}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h_{\text{вак}}$$

$$z_2 = h_{\text{вак}} - \left( 1 + \lambda \frac{\ell}{d} + \zeta_{\text{м}} \right) \frac{v_2^2}{2g}$$

$h_{\text{вак}} \leq 7$  м, при превышении возможно нарушение неразрывности потока и полное прекращение движения жидкости.

## Расчет длинного трубопровода

Рассчитывают потери по длине и обычно добавляют 10% на местные потери.

При точном расчете пользуются формулой Дарси-Вейсбаха:

$$h = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Для круглой трубы:  $v = \frac{4q}{\pi d^2},$

где  $q$  – расчетный расход, м<sup>3</sup>/с.

Диаметр трубы определяется в зависимости от расхода и экономической скорости жидкости:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v_{\text{ЭК}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{q}{v_{\text{ЭК}}}}.$$

Полученный диаметр приводят в сторону ближайшего стандартного, большего по величине.

Затем уточняют действительную скорость:

$$v_{\text{д}} = \frac{4q}{\pi d^2}.$$

Потери напора:

$$h = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{4^2 q^2}{2g\pi^2 d^4} = A\ell q^2;$$

$$A = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5},$$

где  $A$  – удельное сопротивление 1 м трубопровода, выбирают по справочнику.

При  $v < 1,2$  м/с потери определяются с поправочным коэффициентом:

$$h = K_n A\ell q^2$$

## Последовательное соединение трубопроводов

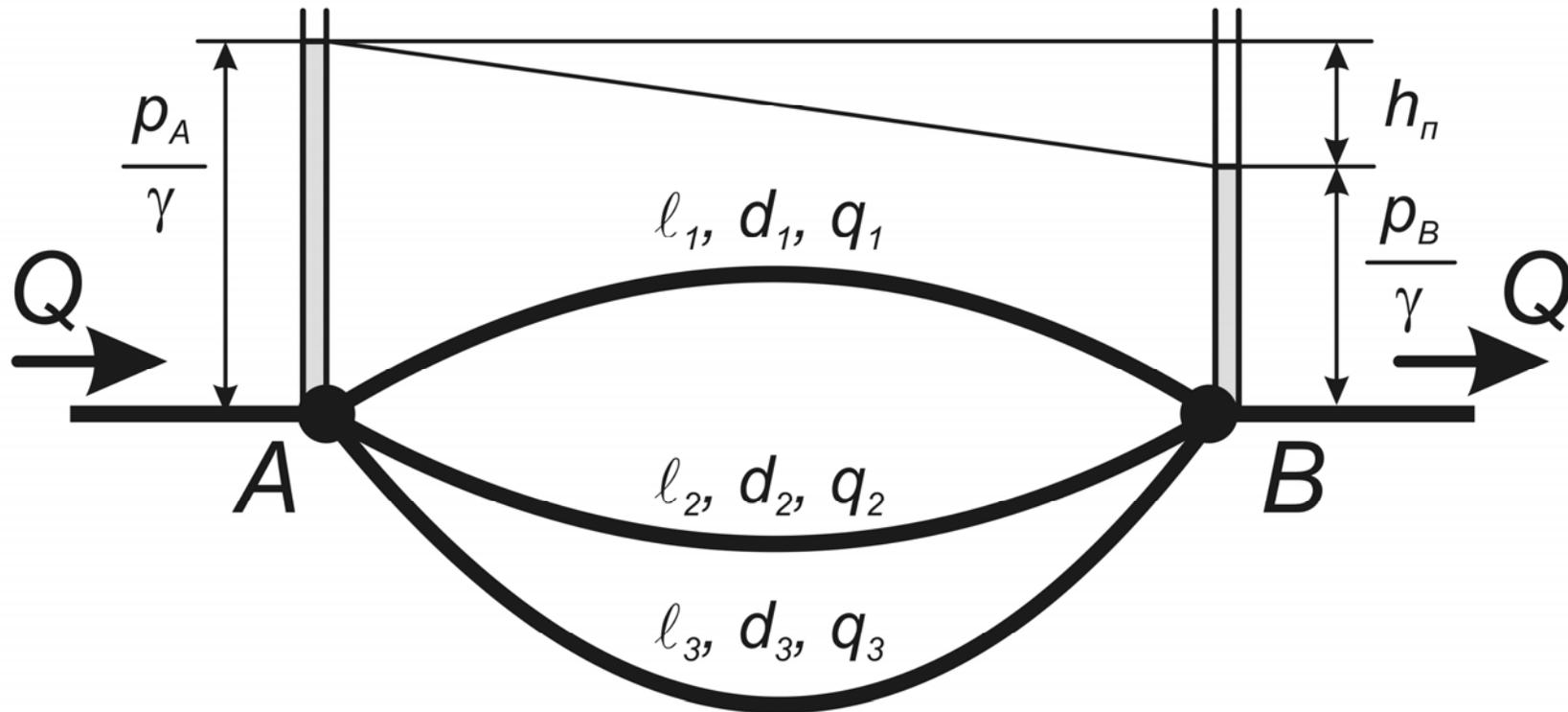
$$\sum h = h_1 + h_2 + \dots + h_n.$$

$$\sum h = (A_1 \ell_1 + A_2 \ell_2 + \dots + A_n \ell_n) Q^2.$$

Если весь напор  $H$  тратится на преодоление сопротивлений, то расход:

$$Q = \sqrt{H / (A_1 \ell_1 + A_2 \ell_2 + \dots + A_n \ell_n)}.$$

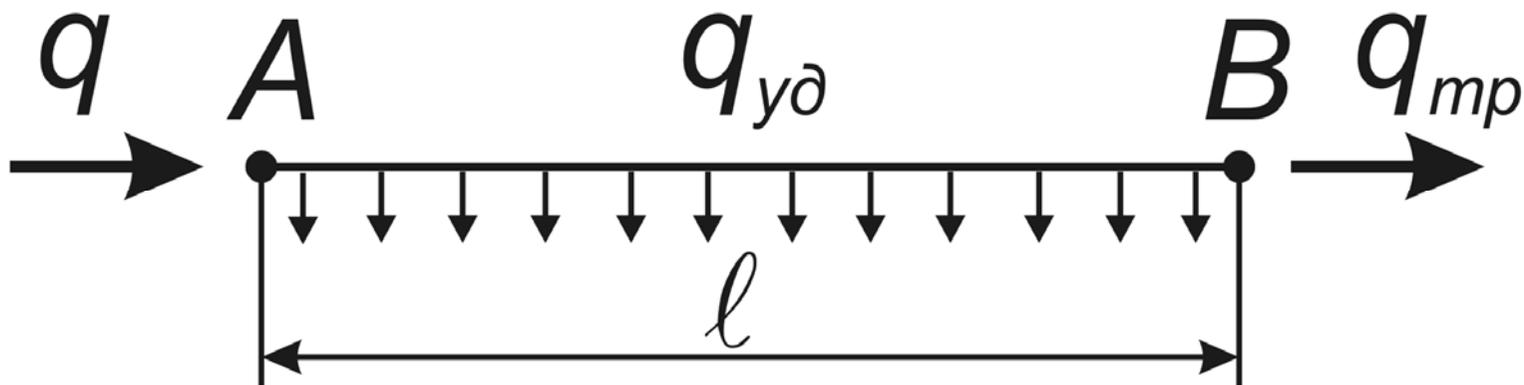
# Параллельное соединение трубопроводов



$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \quad h_1 = h_2 = h_3 = h_n$$

$$q_i = \sqrt{h_i / (K_i A_i l_i)}$$

## Трубопровод с равномерным водопотреблением



$q_{уд} = \frac{q_{пут}}{l}$ , где  $q_{уд}$  — удельный путевой расход;  
 $q_{п}$  — путевой расход на участке АВ;  
 $l$  — длина участка.

$q = q_{тр} + q_{уд}l$ , где  $q_{тр}$  — транзитный расход.

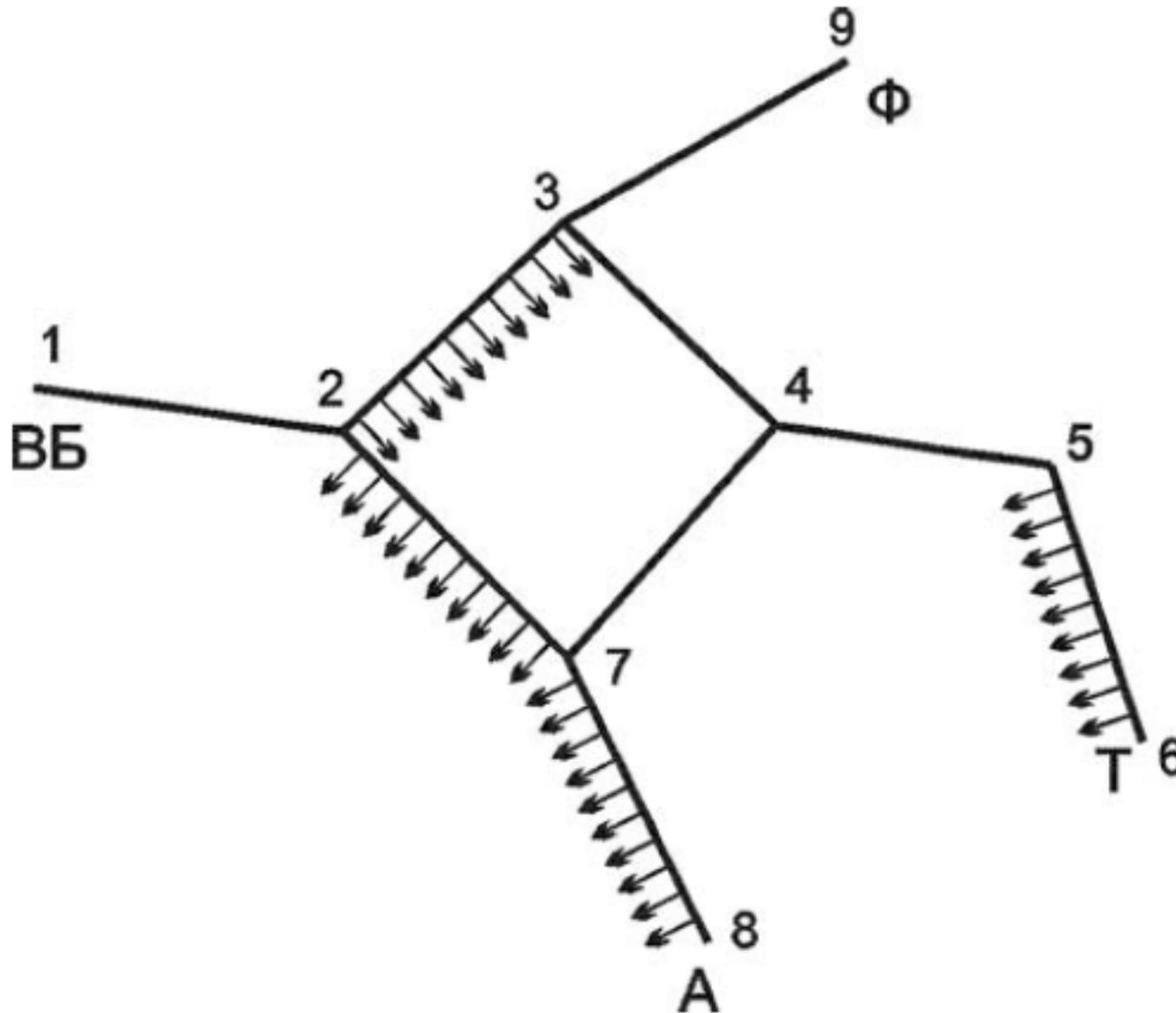
Путевой расход заменяем сосредоточенным:



$$q_A = q_B = 0,5q_{пут} = 0,5q_{уд}l.$$

$$q_{расч} = q_{тр} + 0,5q_{пут} = q_{тр} + 0,5q_{уд}l.$$

# Расчет кольцевого участка



Удельный путевой расход:

$$q_{уд} = \frac{q}{l_{2-3} + l_{2-7} + l_{7-8} + l_{5-6}},$$

где  $q$  — максимальный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды.

Путевые расходы на отдельных участках:

$$q_{пут.2-3} = q_{уд} l_{2-3}, \quad q_{пут.2-7} = q_{уд} l_{2-7},$$

$$q_{пут.7-8} = q_{уд} l_{7-8}, \quad q_{пут.5-6} = q_{уд} l_{5-6}.$$

Заменяем путевые расходы на участках кольца  
сосредоточенными:

$$q_2 = 0,5q_{\text{пут.2-3}} + 0,5q_{\text{пут.2-7}},$$

$$q_3 = 0,5q_{\text{пут.2-3}},$$

$$q_7 = 0,5q_{\text{пут.2-7}}, \quad q_4 = 0.$$

Расчетные расходы на ответвлениях от кольца:

$$Q_{расч.5-6} = Q_T + Q_{пут.5-6} + Q_{пож},$$

$$Q_{расч.4-5} = Q_T + Q_{пут.5-6} + Q_{пож},$$

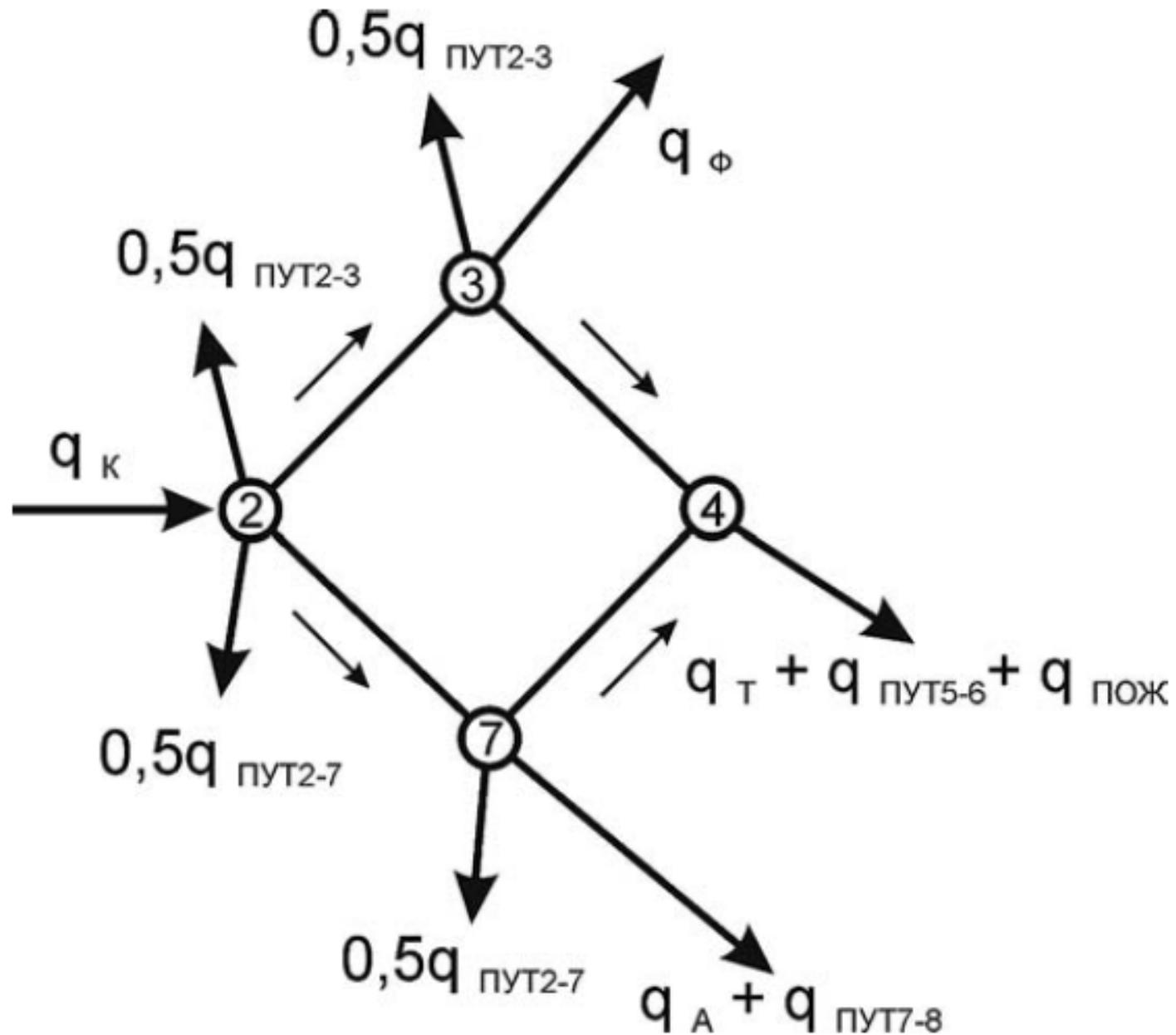
$$Q_{расч.7-8} = Q_A + Q_{пут.7-8},$$

$$Q_{расч.3-9} = Q_{\Phi}.$$

Количество воды, поступающей в кольцо:

$$Q_k = Q_{\text{пут.2-3}} + Q_{\text{пут.2-7}} + Q_{\text{пут.7-8}} + \\ + Q_{\text{пут.5-6}} + q_T + q_A + q_\Phi + q_{\text{пож}}$$

# Распределение воды в кольце



Необходимо соблюдать правила:

1. Потери по ветвям кольца одинаковы, разница  $\leq 0,5$  м.
2. Сколько в узел втекло, столько должно и вытечь.

Назначаем направление движения воды и распределяем расходы по ветвям кольца.

Расчетные расходы на участках кольца:

$$q_{2-3} = q_{2-7} = 0,5(q_{\kappa} - 0,5q_{\text{нум.2-3}} - 0,5q_{\text{нум.2-7}}),$$

$$q_{3-4} = q_{2-3} - 0,5q_{\text{нум.2-3}} - q_{\Phi},$$

$$q_{7-4} = q_{2-7} - 0,5q_{\text{нум.2-7}} - q_{\text{нум.7-8}} - q_A.$$

Диаметр трубы определяем в зависимости от расчетного расхода на участке кольца и экономической скорости воды ( $V_{\text{ЭК}}=0,9-1,2$  м/с) на примере участка 2-3:

$$d_{2-3} = \sqrt{\frac{4q_{2-3}}{\pi v_{\text{ЭК}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{q_{2-3}}{v_{\text{ЭК}}}}.$$

Полученный диаметр приводим в сторону ближайшего стандартного, большего по величине. Уточняем действительную скорость:

$$v_{\text{д}} = \frac{4q_{2-3}}{\pi d_{2-3}^2}.$$

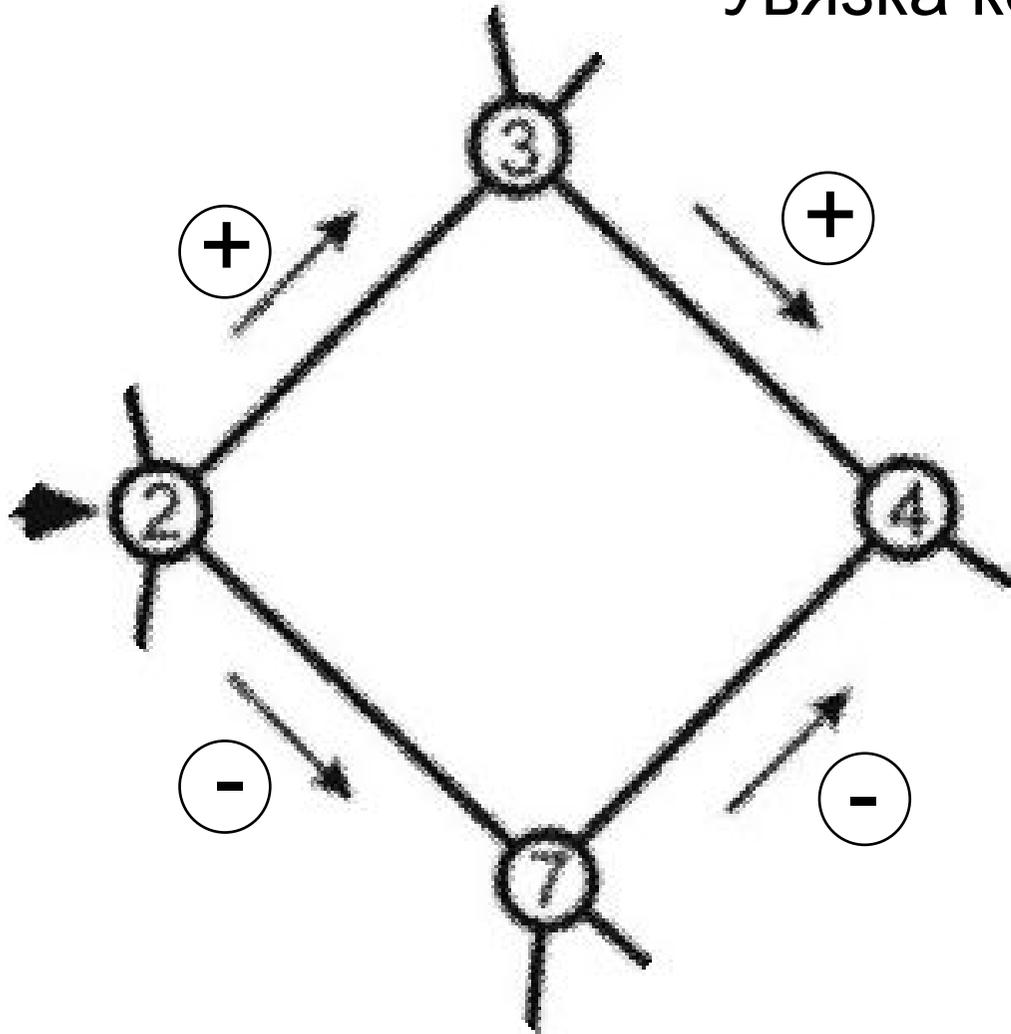
Если  $v_{\partial} \geq 1,2$  м/с, то  $K_n = 1$ , в других случаях рассчитываем  $K_n$ :

$$K_n = 0,852 \left( 1 + \frac{0,867}{v_{\partial}} \right)^{0,3}.$$

Потери напора на участках кольца:

$$h_{2-3} = K_n A_{2-3} q_{2-3}^2 \ell_{2-3}.$$

## Увязка кольца



$$(h_{2-3} + h_{3-4}) - (h_{2-7} + h_{7-4}) \leq 0,5 \text{ м}$$