Гідравліка, гідро та пневмоприводи

Лекція 6

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ. ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР У ТРУБАХ

Викладач: доцент кафедри МІтаАТ
к.т.н. Степчин Я.А.

Гідравлічний розрахунок трубопроводів

Залежно від з'єднання окремих ділянок трубопроводи поділяють на прості та складні. **Прості** трубопроводи складаються з однієї нитки труб без бокових гілок. **Складний** трубопровід містить декілька простих, з'єднаних послідовно, паралельно або розгалужених ділянок труб.

Залежно від кількості місцевих опорів розрізняють короткі та довгі трубопроводи. У **короткому** трубопроводі втрати напору від місцевих опорів становлять більше ніж 8 % від втрат за довжиною, в **довгому** – менше ніж 8 % (під час розрахунку таких трубопроводів місцеві втрати не враховують).

Залежно від джерела енергії руху рідини **трубопроводи** поділяють на **насосні** (рідину переміщує насос) та **самопливні** (рідина рухається завдяки власній вазі з розміщеного вище резервуара).

2

Гідравлічний розрахунок простого трубопроводу дозволяє вирішити декілька завдань:

а) визначити потрібний напір і вибрати насос;
б) знайти витрату рідини Q;
в) обчислити діаметр трубопроводу d.

Перерізи 1 і 2 розгляду простого трубопроводу та умовна горизонтальна площина порівняння 0-0. Для розрахунку трубопроводу використовують рівняння суцільності витрати та Бернуллі, формули для визначення числа Рейнольдса, коефіцієнта Дарсі, поздовжніх і місцевих втрат напору.

Для перерізів 1 і 2 записується рівняння Бернуллі:

і визначаються умови його спрощення:

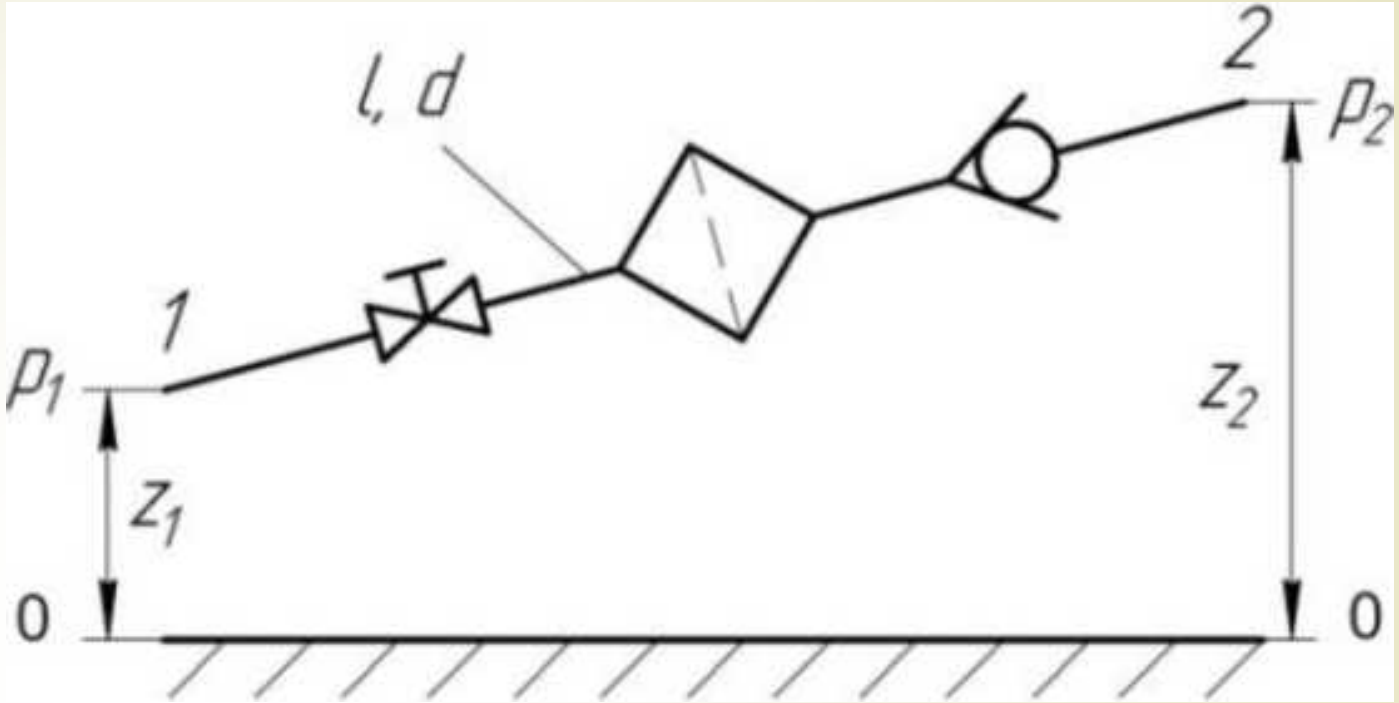


Рис. 1. Схема простого трубопроводу постійного перерізу довжиною L, діаметром d, що містить ряд місцевих опорів: вентиль, фільтр, зворотний клапан

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$

швидкості в перерізах будуть однаковими: $V_1 = V_2$ (d = const) і $a_1 = a_2$.

3

Після перетворень значення потрібного напору $H_П$ на початку трубопроводу:

$$H_П = \frac{P_1}{\rho g} = (z_2 - z_1) + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h_{1-2},$$ або $$H_П = H_{СТ} + \sum h_{1-2},$$

Де $$H_{СТ} = \Delta z + \frac{P_2}{\rho g}$$ – статичний напір, значення якого не залежить від витрати рідини Q.

Сумарні втрати напору h_{1-2} складаються із втрат на тертя за довжиною $h_{тр}$ і втрат у місцевих опорах $h_м$:

$$\sum h_{1-2} = h_{тр} + \sum h_м = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = (\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta) \frac{V^2}{2g} = (\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4},$$

де $\sum \zeta$ – сумарний коефіцієнт місцевих втрат.

Залежність потрібного напору $H_п$ від витрати рідини Q - це **характеристика потрібного напору**: $H_п = f(Q)$ (рис. 2). За нею, для будь-якої витрати рідини можна визначити потрібний напір $H_п$ або, навпаки, для заданого значення потрібного напору обчислити витрату рідини.

Характеристикою трубопроводу (рис. 3) називають залежність сумарних втрат напору ∑h від витрати рідини Q: $\sum h = f(Q)$.

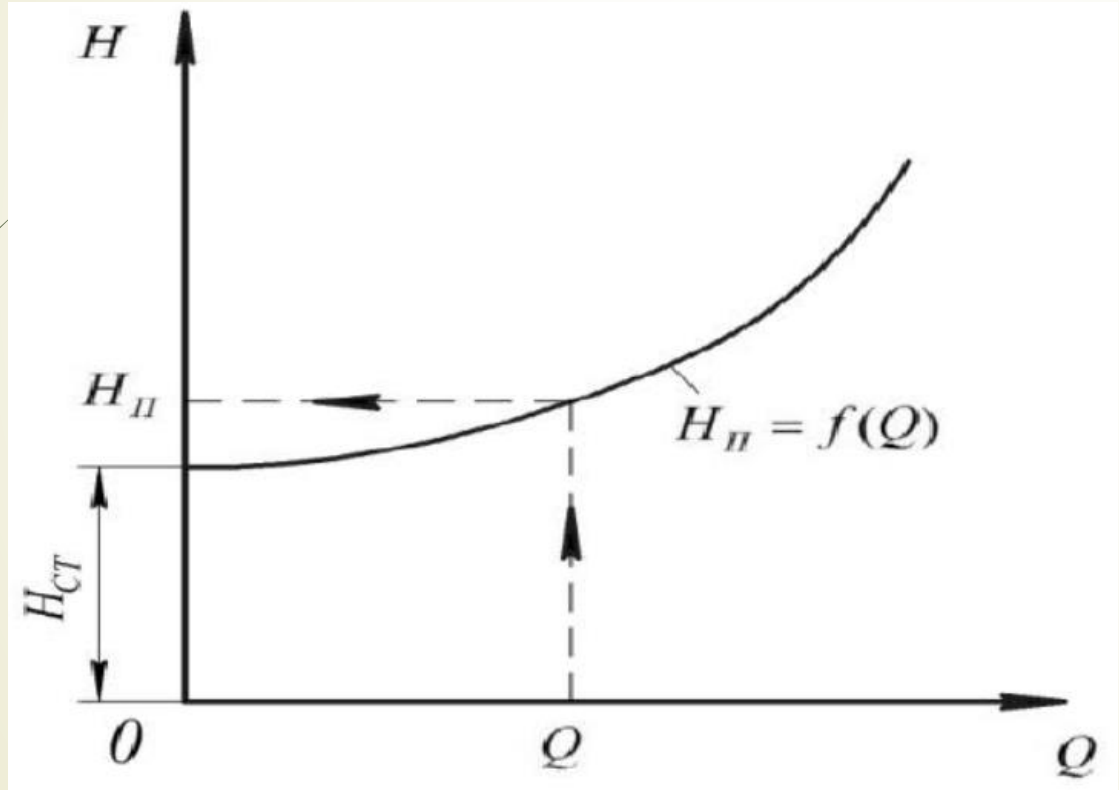


Рис. 2. Характеристика потрібного напору

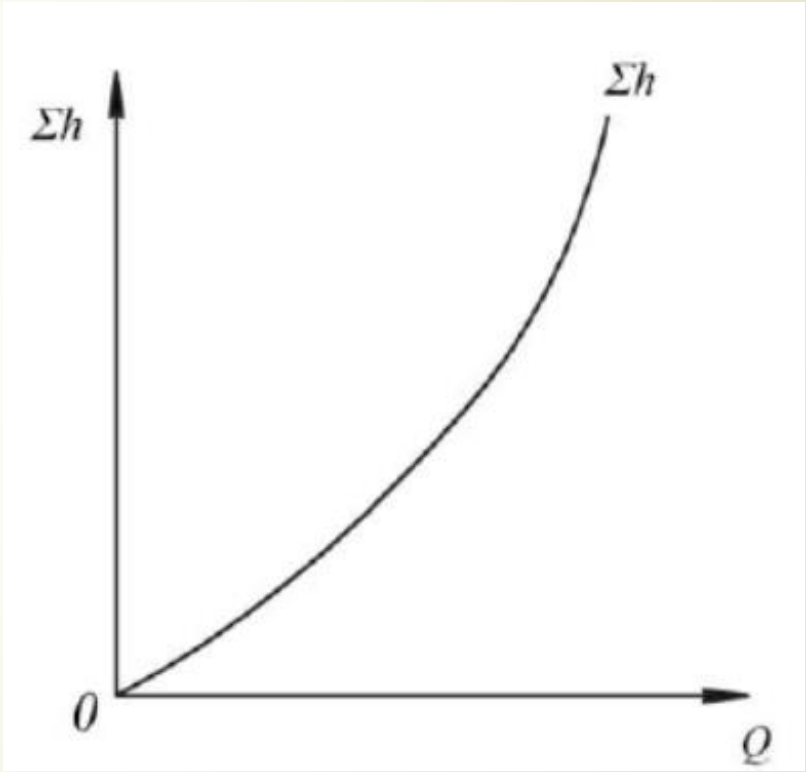


Рис. 3. Характеристика трубопроводу

Характеристика трубопроводу збігається з характеристикою потрібного напору за умови, що $H_{ст} = 0$: трубопровід лежить у горизонтальній площині, а протитиск у системі відсутній.

Послідовне і паралельне з'єднання простих трубопроводів

Візьмемо декілька труб різної довжини й діаметра, які мають різні місцеві опори. З'єднаємо їх послідовно (рис. 4).

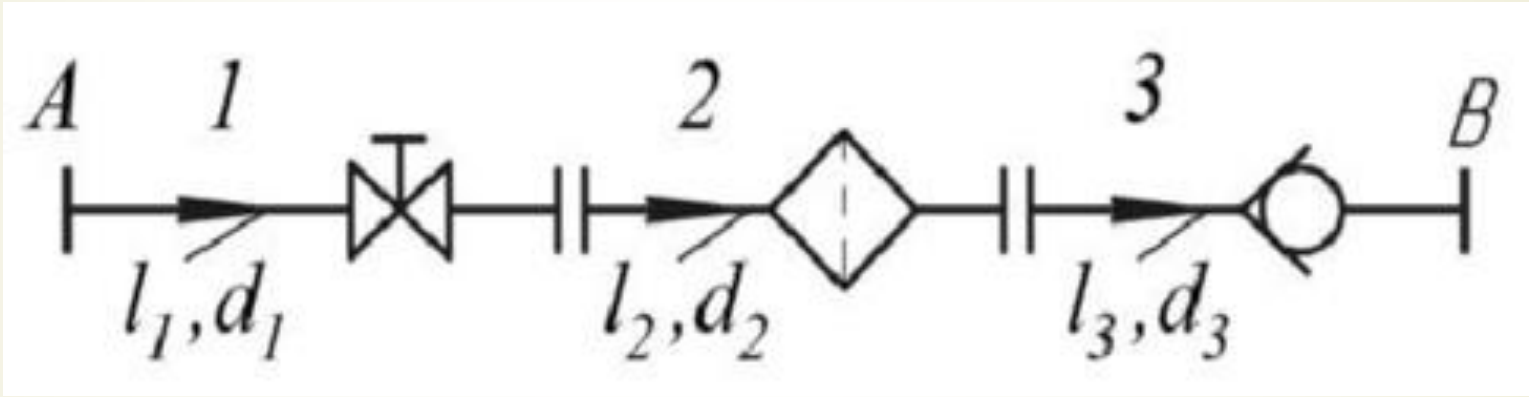


Рис. 4 Схема послідовного з'єднання трубопроводів

В усіх трубах витрата рідини буде сталою (Q = const), а сума втрат напору h_{AB} між точками А і В буде дорівнювати сумі втрат напору на кожній послідовно з'єднаній трубі:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q,$$

$$\sum h_{AB} = \sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3.$$

Формули визначають умови побудови характеристики послідовного з'єднання труб (рис. 5): складаються втрати напору ∑h за однакових витрат Q, тобто ординати всіх трьох кривих за рівних абсцис.
Характеристика з'єднання дає можливість визначати втрати напору ∑h як на окремих ділянках, так і загалом трубопроводі за будь-якої витрати рідини.

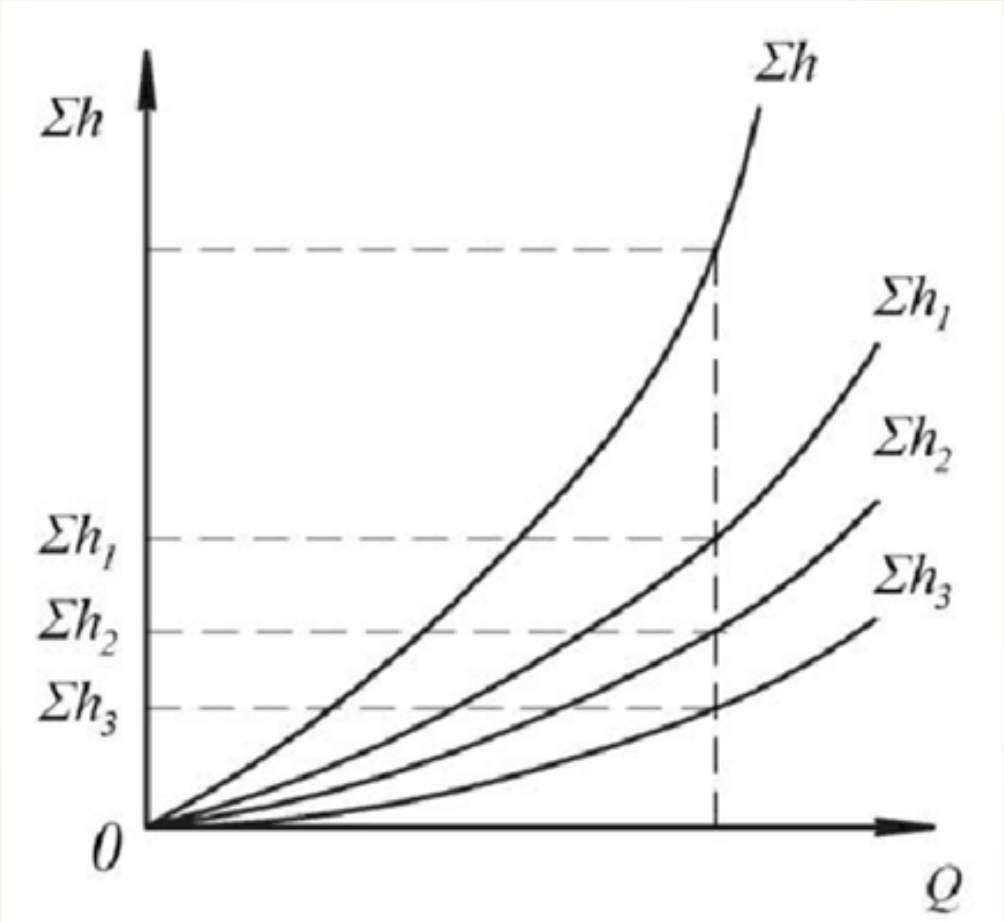


Рис. 5. Характеристика послідовного з'єднання труб

Для схеми паралельного з'єднання простих трубопроводів (рис. 6) трубопроводи лежать в одній горизонтальній площині.

Повні напори в точках А і В – H_A і H_B, витрата рідини в основній магістралі – Q, в паралельних трубопроводах – Q_1, Q_2, Q_3, а втрати напору в них – $\sum h_1$, $\sum h_2$, $\sum h_3$.

Витрата рідини в центральній магістралі буде дорівнювати сумі витрат на паралельних ділянках:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Втрати напору на кожній ділянці визначаються як різниця повних напорів у точках А і В:

$$\sum h_1 = H_A - H_B, \sum h_2 = H_A - H_B, \sum h_3 = H_A - H_B.$$

Звідки: $\sum h_1 = \sum h_2 = \sum h_3.$

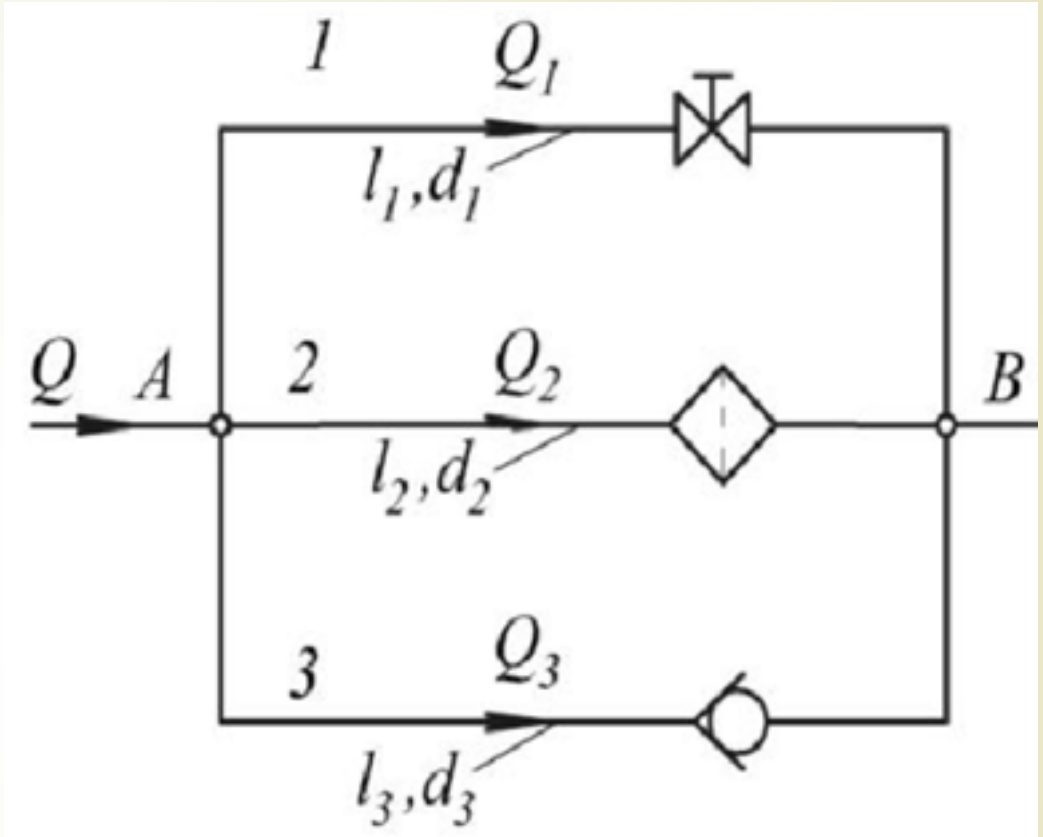


Рис. 6. Схема паралельного з'єднання трубопроводів

Втрати напору на паралельних ділянках трубопроводу однакові.

Для побудови характеристики паралельного з'єднання труб (рис. 7) необхідно скласти абсциси (витрати) всіх трубопроводів за однакових ординат (втрат напору ∑h). Характеристика з'єднання дає можливість визначати витрати рідини в паралельних трубопроводах за умови, якщо відомі витрати в основній магістралі Q і всі розміри трубопроводів.

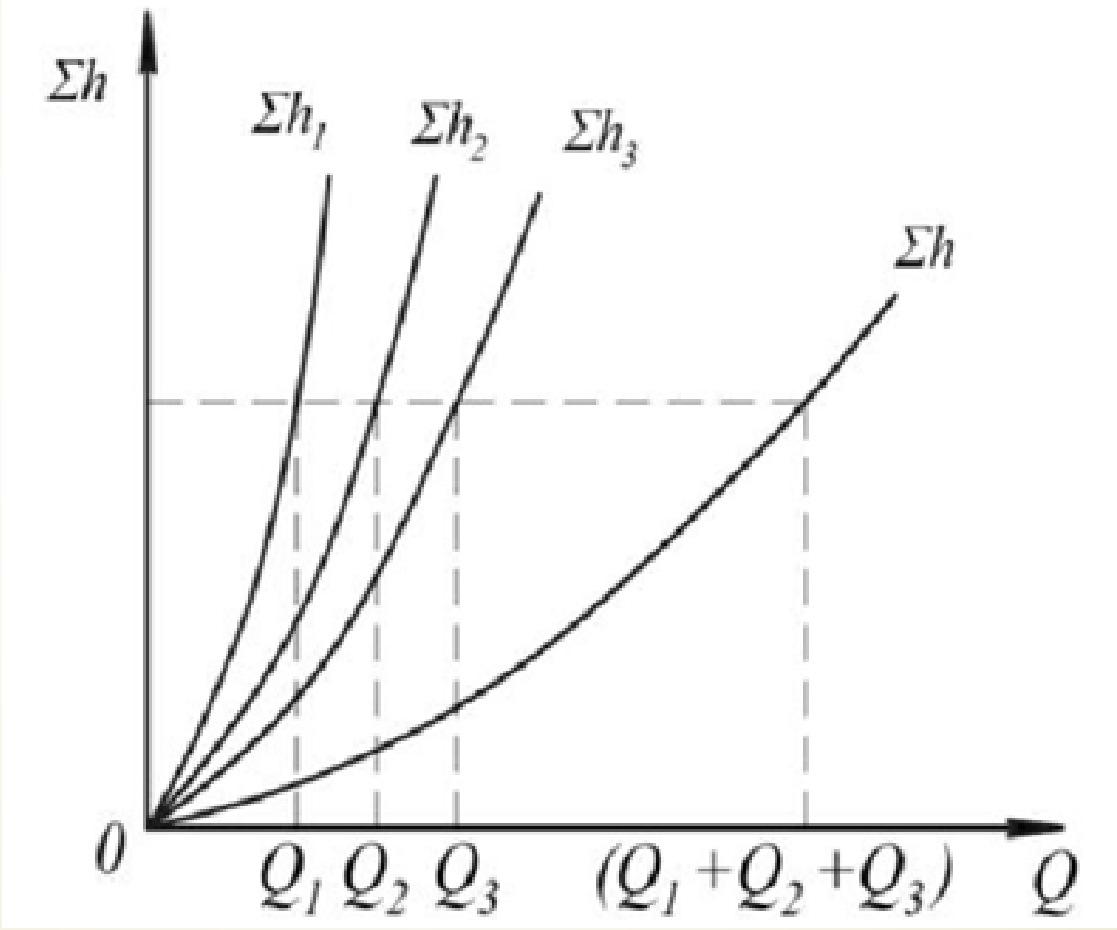


Рис. 7. Характеристика паралельного з єднання труб

Гідравлічний розрахунок простих трубопроводів в об'ємному трубопроводі полягає у визначенні втрат напору ∑h або тиску Δp. Втрати напору ∑h визначають як для гідравлічно коротких труб, тобто з урахуванням втрат за довжиною трубопроводу і втрат у місцевих опорах. При розрахунках трубопроводів використовують рівняння Бернуллі:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}$$

Втрати напору обчислюють за формулами:

$$h_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \text{ і } h_м = \zeta_м \frac{V^2}{2g}$$

Якщо режим руху рідини ламінарний, то гідравлічний коефіцієнт тертя розраховують за формулою $\lambda_л = 64/Re$, якщо режим турбулентний і число Рейнольдса знаходиться в межах $2320 < Re < 10000$, застосовують формули Блазіуса й Альтшуля:

$$\lambda_т = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \text{ і } \lambda_т = 0,11\left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_e}{d}\right)^{0,25},$$

де Δe – еквівалентна шорсткість труби.

Якщо швидкість руху рідини в трубопроводі зменшується раптово, то виникає гідравлічний удар – коливальний процес – різкі підвищення і зниження тиску із поступовим зменшенням його амплітуди.

На початку рідина в трубопроводі (рис. 8) протікає із середньою швидкістю V і при перекритті крану рідина перед ним зупиняється. Відбувається перехід кінетичної енергії потоку в потенціальну, що призводить до різкого збільшення тиску на деяку величину Δp.

Від крана по трубопроводу підвищення тиску зі швидкістю ударної хвилі C (швидкості звуку в рідині: 800 – 1 400 м/с. Підвищення тиску Δp обчислюють за формулою Жуковського:

$$\Delta p = \rho C V_0 ,$$

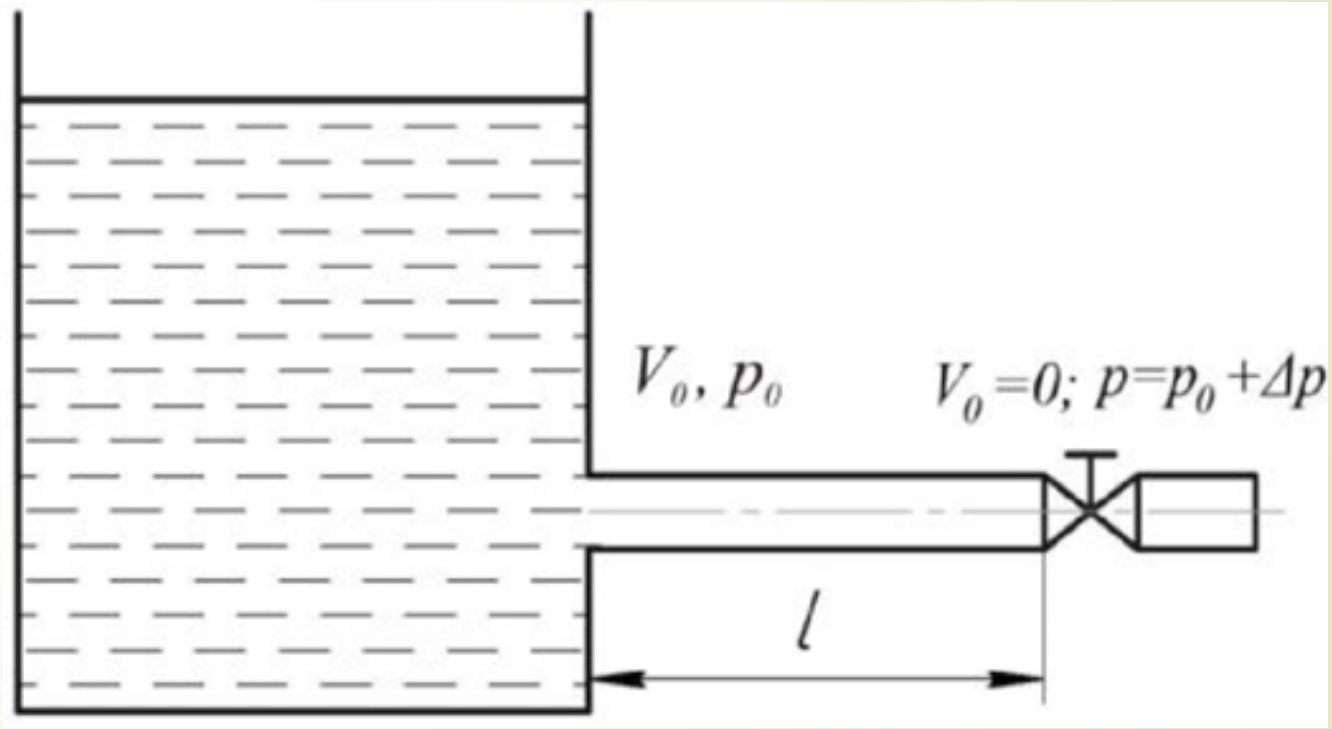


Рис. 8 Схема виникнення гідравлічного удару

Час проходження ударної хвилі в прямому і зворотному напрямках називають фазою гідравлічного удару $T_ф$,
яку визначають за формулою:

$$T_ф = \frac{2l}{C},$$

де l – довжина трубопроводу;
C – швидкість ударної хвилі.
Якщо час закривання крана $t_з$ менший від фази гідравлічного удару $t_з < T_ф$, то відбувається прямий гідравлічний удар, за якого підвищення тиску дорівнює:

$$\Delta p = \rho C V_0,$$

де V_0 – швидкість до перекриття крана.
За непрямого удару, тобто коли $t_з > T_ф$ підвищення тиску буде меншим:

$$\Delta p = \rho C V_0 \frac{T_ф}{t_з}.$$

Якщо кран перекривається не повністю, і рідина продовжує рухатися з меншою швидкістю V_1, то виникає неповний гідравлічний удар, за якого збільшення тиску буде:

$$\Delta p = \rho C (V_0 - V_1).$$

Для попередження гідравлічного удару необхідно:

1) збільшити час спрацювання гідравлічних пристроїв (засувки або вентиля);
2) установити на трубопроводах вирівнювальні резервуари (повітряні ковпаки) або гідроакумулятори (рис. 9);
3) зменшити довжину трубопроводу або збільшити його діаметр;
4) збільшити міцність трубопроводу;
5) на насосних станціях на початку напірного трубопроводу встановити протиударні апарати з клапанами зливу.

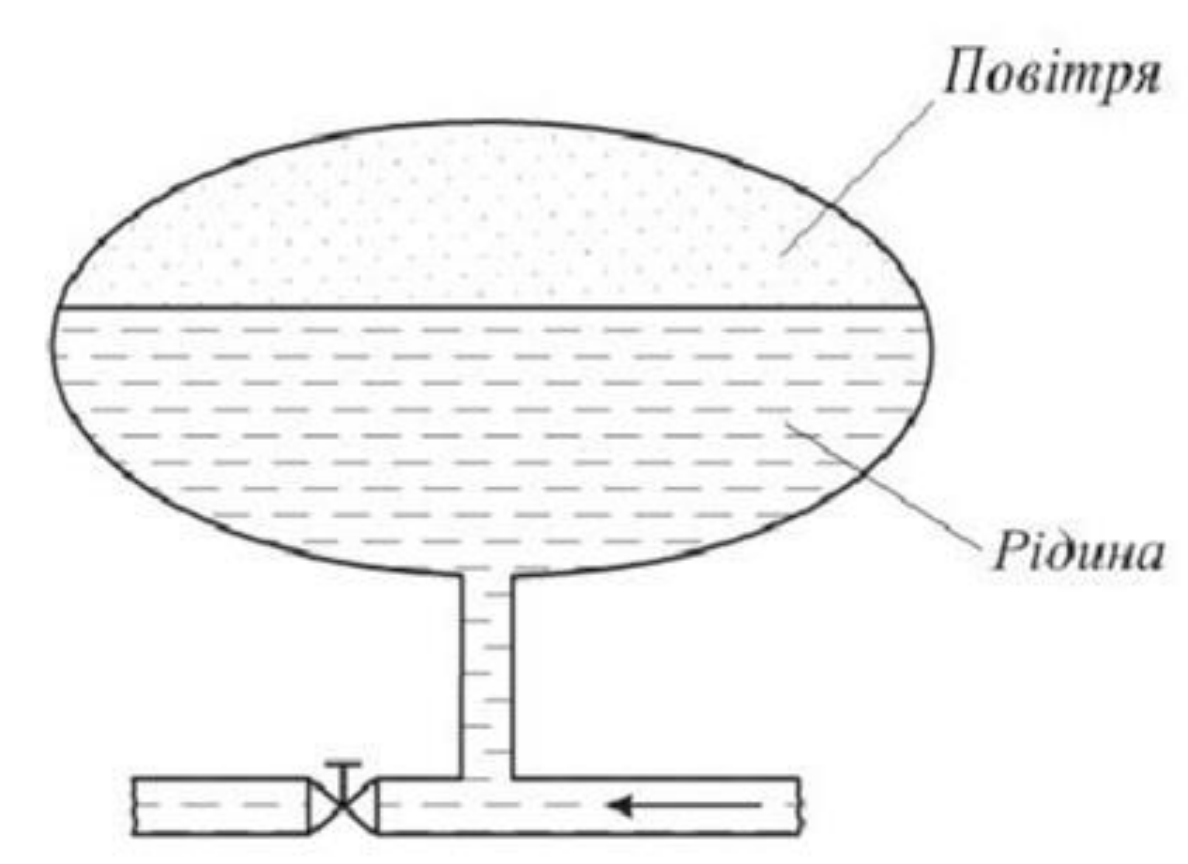


Рис. 9. Повітряний ковпак для зменшення тиску в трубі