Гідравліка, гідро та пневмоприводи

Лекція 7

ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ

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

Витікання рідини через малий отвір за сталого напору. Коефіцієнти стиснення, швидкості й витрати

Часто розглядувана у машинобудівній гідравліці задача витікання через малий отвір, (розміри якого набагато менші, ніж значення напору і в усіх точках отвору геометричний напір практично однаковий).

2

Отвір у тонкій стінці (рис. 1), краї якого мають гостру кромку і товщина стінки не впливає на форму й умови витікання рідини.

Під час витікання рідини з отвору після відриву від стінки струмінь стискається (переріз С-С) і на відстані, що дорівнює приблизно діаметру, набирає циліндричної форми.

Ступінь стиснення враховують коефіцієнтом стиснення **ε**.

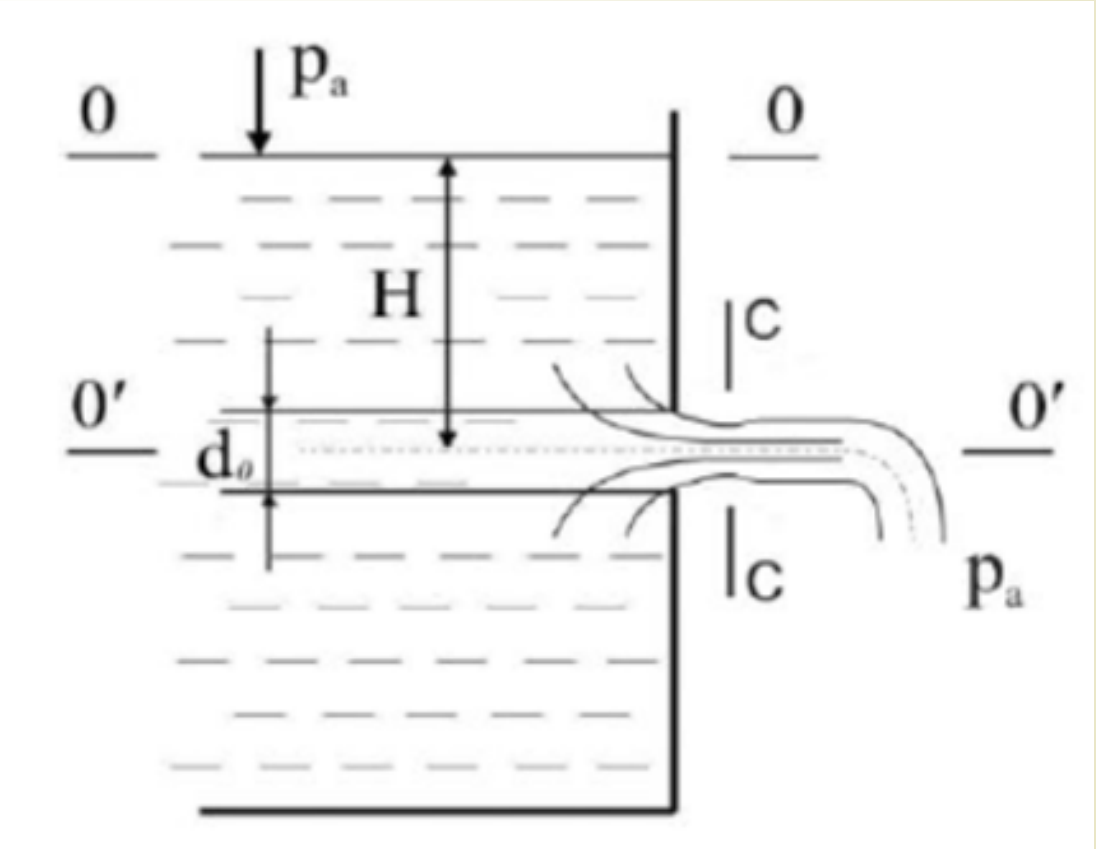


Рис. 1. Витікання рідини через малий отвір

Ступінь стиснення враховують **коефіцієнтом стиснення ε**:

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_0} = \left(\frac{d_c}{d_0}\right)^2,$$

де d_c і S_c – діаметр і площа струменя в перерізі С-С;
d_0 і S_0 – діаметр і площа отвору.
Рівняння Бернуллі для перерізів 0-0 і С-С:
У перерізі 0-0: швидкість
$V_0 = 0$, $z_o = H$, $p_0 = p_c = p_a$,
координата центра
перерізу С-С $z_c = 0$.
Швидкість рідини у перерізі С-С – V.
Тоді, після підстановки:

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = z_c + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + \xi \frac{V_c^2}{2g}.$$

$$H + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c V^2}{2g} + \xi \frac{V^2}{2g}.$$

Якщо припустити, що $a_o = a_c \sim 1$ (коеф. Коріоліса)
після перетворень:

$$H = (\alpha + \xi)\frac{V^2}{2g},$$

де α – коефіцієнт кінетичної енергії;
ζ – коефіцієнт місцевого гідравлічного опору отвору;
H – повний напір, під дією якого витікає рідина.

Тоді швидкість:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}\sqrt{2gH}.$$

Коефіцієнт швидкості φ, що залежить від виду отвору:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}.$$

Після заміни – швидкість витікання рідини з малого отвору:

$$V = \varphi\sqrt{2gH}.$$

Витрата рідини, яка є добутком площі повного перерізу струменя S_c на швидкість V у перерізі С-С:

Добуток коефіцієнтів ε і φ називають **коефіцієнтом витрати μ:**

$$\mu = \varphi\varepsilon.$$

Тоді:

$$Q = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gH}.$$

Коефіцієнти **стиснення ε, швидкості φ та витрати μ** залежать від числа Рейнольдса. Для малов'язких рідин (вода, бензин, гас та ін.) беруть середні значення цих коефіцієнтів:
ε = 0,64; φ = 0,97; μ = 0,62.

4

фізичний зміст коефіцієнтів швидкості φ та витрати μ:
Для φ - це відношення дійсної швидкості V до швидкості витікання ідеальної рідини $V_{ід}$:

$$\varphi = \frac{V}{V_{ід}}.$$

Для μ – це відношення дійсної витрати рідини Q до такої витрати Q_i, за якої відсутні стиснення рідини та опір отвору:

$$\mu = \frac{Q}{Q_i}$$

Насадки. Витікання рідини через насадки

Насадка – це коротка труба, прикріплена до отвору довжиною від 3 до 5 діаметрів. Залежно від форми насадки бувають різних типів (рис. 2).

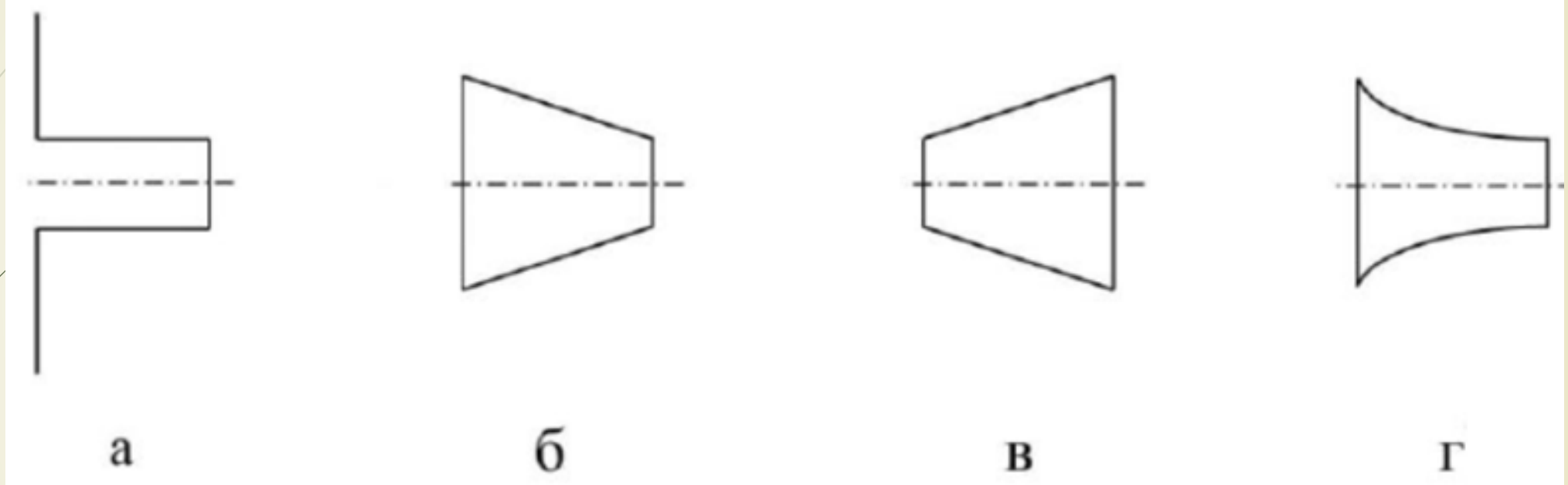


Рис. 2. Схеми насадок: а – зовнішня циліндрична; б – конічна збіжна; в – конічна розбіжна; г – коноїдальна

Якщо розглянути зовнішню циліндричну насадку (рис. 3), яка найбільш широко використовується на практиці в гідротехнічних спорудах (греблях, водоспусках, трубах під насипами доріг та ін.)

Сумарний коефіцієнт гідравлічних втрат насадки складається із суми втрат на її окремих ділянках:

$$\sum \xi = \xi_{рз} + \xi_{рр} + \xi_{тр},$$

де $\zeta_{рз}$ – коефіцієнт втрат за раптового входу рідини в насадку;

$\zeta_{рр}$ – коефіцієнт гідравлічного опору за різкого розширення

$\zeta_{тр}$ – коефіцієнт втрат на тертя.

Витікання рідини через насадку розраховують аналогічно витіканню її через отвір.

Але для насадок коефіцієнт стиснення $\varepsilon = 1$, (рідина витікає повною площею).

Швидкість V витікання рідини з насадки

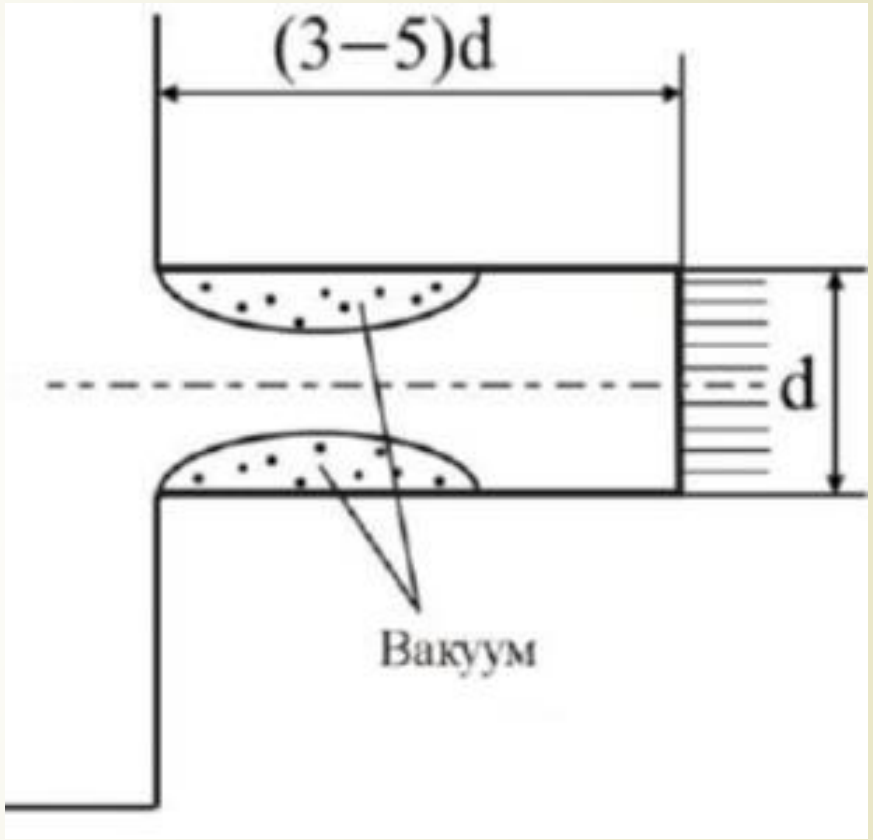


Рис. 3 Схема зовнішньої циліндричної насадки

Швидкість V витікання рідини з насадки:

$$V = \varphi\sqrt{2gH},$$

ф – коефіцієнт швидкості для насадки:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\sum\xi}}$$

H – повний напір, під дією якого витікає рідина.

Витрата з насадки:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2gH},$$

де μ – коефіцієнт витрати;

S – площа насадка на виході.

Для циліндричних насадок коефіцієнти **стиснення, швидкості і витрат** відповідно:

ε = 1, ф = 0,82, μ = 0,82.

Насадки застосовують для збільшення витрати рідини під час її витікання: для зовнішньої циліндричної насадки витрати на 30% більші, ніж для отвору:

$$\frac{\mu_н - \mu_0}{\mu_0} = \frac{0,82 - 0,62}{0,62} \approx 0,3.$$

Швидкість витікання через цю насадку на 15% менша, ніж через отвір:

$$\frac{\varphi_0 - \varphi_н}{\varphi_0} = \frac{0,97 - 0,82}{0,97} = 0,15$$