

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПРЯМОЛІНІЙНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ВСТАВКИ ПРИ ЗАМІНІ РАПТОВОГО РОЗШИРЕННЯ ТРУБОПРОВОДУ СТУПІНЧАСТИМ

Орел В.І., к. т. н., Шевчук В.О., студент

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

Показано [1], що, порівняно з різким, ступінчастий перехід від труби з діаметром d до труби з діаметром D при раптовому розширенні потоку, дає зменшення гідравлічного опору. При цьому утворюються два раптові розширення трубопроводу, з'єднані прямолінійною циліндричною вставкою.

Близько розташовані місцеві гідравлічні опори здійснюють один на другий взаємний вплив. Так, сумарний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору двох запірних пристроїв (наближено $L_v/D \leq 60$) при $Re > 500$ [2, с.37-38]

$$\zeta_{1-2} = k \cdot (\zeta_{кв1} + \zeta_{кв2}), \quad (1)$$

де $\zeta_{кв1}$, $\zeta_{кв2}$ – коефіцієнти першого та другого місцевих гідравлічних опорів у квадратичній зоні турбулентного режиму руху;

k – коефіцієнт взаємовпливу опорів, який залежить від відносної довжини L_v/D ділянки між двома місцевими гідравлічними опорами, на якій проявляється ефект їхнього взаємного впливу.

$$k = 1 - 0,5\beta. \quad (2)$$

Для проточних по ходу запірних пристроїв [2, с.38]

$$\beta_{\pi} = 22,2 \cdot 10^{-5} \cdot (L_v/D)^2 - 26,7 \cdot 10^{-3} \cdot L_v/D + 0,8, \quad (3)$$

для інших запірних пристроїв [2, с.38]

$$\beta_{\text{нп}} = 4,17 \cdot 10^{-5} \cdot (L_v/D)^2 - 5 \cdot 10^{-3} \cdot L_v/D + 0,15. \quad (4)$$

При цьому $k_{\pi} < k_{\text{нп}}$ у межах $0 \leq L_v/D < 60$ [3, табл.4.28].

Формули (1)–(4) можна використовувати для орієнтовних розрахунків і для інших місцевих гідравлічних опорів при їхньому взаємному впливі [2, с.38], наприклад, для раптового розширення трубопроводу.

Діаметр прямолінійної циліндричної вставки визначимо, скориставшись моделлю [4], в якій раптове розширення трубопроводу замінюється умовною циліндричною трубою з осередненим по об'єму діаметром $\bar{D}$. Показано [5], що з відносною похибкою не більше 8,1% замість діаметру $\bar{D}$ у розрахунках можна використовувати середній арифметичний між діаметрами d та D , тобто

$$D_{\text{сер}} = \frac{1}{2} \cdot (d + D). \quad (5)$$

Тоді вихідний ступінь розширення потоку від d до D

$$n = D^2/d^2 \quad (6)$$

можна записати як [6]

$$n = n_1 \cdot n_2, \quad (7)$$

де n_1 – ступінь розширення потоку від d до $D_{\text{сер}}$,

$$n_1 = \frac{D_{\text{сер}}^2}{d^2} = \frac{\left(1 + \frac{D}{d}\right)^2}{4} = \frac{(1 + \sqrt{n})^2}{4}; \quad (8)$$

n_2 – ступінь розширення потоку від $D_{\text{сер}}$ до D ,

$$n_2 = \frac{D^2}{D_{\text{сер}}^2} = \frac{4}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} = \frac{4}{\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right)^2}. \quad (9)$$

Відомо, що тенденція до несиметричного повторного приєднання струменя рідини при раптовому розширенні потоку тим більша, чим більший ступінь розкриття D/d (при збільшенні від 1,223 до 2,323) [7]. Тому відносну довжину $L_{\text{в}}/D_{\text{сер}}$ прямолінійної циліндричної вставки визначали з формул (3) та (4) з використанням формули (2). При цьому коефіцієнт взаємовпливу опорів k обчислювали за формулою (1) за відомого значення експериментального коефіцієнта раптового розширення трубопроводу $\zeta_{\text{exp}} = \zeta_{1-2}$. Значення коефіцієнтів ζ_1 та ζ_2 одержували для відповідного ступеню розширення потоку згідно з формулами (8) та (9) при коефіцієнті кінетичної енергії $\alpha_d = 1,0$ у трубі діаметром d за формулою [3, с.41]

$$\zeta_i = \alpha_d \cdot \left(1 - \frac{1}{n_i}\right)^2. \quad (10)$$

Розрахунок зведено в таблицю. Наведені у таблиці значення коефіцієнта ζ_{exp} відрізняються від обчислених за формулою (10) в межах до $\approx 10\%$.

Визначення $L_{\text{в}}/D_{\text{сер}}$ прямолінійної циліндричної вставки

Ч/ч	Ступінь n	Коефіцієнт $\zeta_{\text{exp}}(n)$	Діаметр $D_{\text{сер}}, \text{мм}$	Ступені		Коефіцієнти		Коефіцієнт k	$L_{\text{в}}/D_{\text{сер}}$
				n_1	n_2	$\zeta_1(n_1)$	$\zeta_2(n_2)$		
1.	1,593	0,1405	23,30	1,279	1,245	0,0476	0,0387	1,628	—
2.	1,860	0,2000	17,87	1,397	1,332	0,0808	0,0621	1,400	—
3.	2,045	0,2346	—	1,476	1,385	0,1040	0,0773	1,294	—
4.	2,469	0,34	18,00	1,653	1,494	0,1561	0,1093	1,281	—
5.	2,254	0,3100	12,60	1,564	1,441	0,1300	0,0937	1,386	—
6.	2,885	0,4500	28,20	1,821	1,585	0,2033	0,1362	1,325	—
7.	3,063	0,4385	11,00	1,891	1,620	0,2220	0,1465	1,190	—
8.	3,802	0,5644	14,75	2,175	1,748	0,2918	0,1831	1,188	—
9.	3,842	0,5389	—	2,191	1,754	0,2955	0,1848	1,122	—
10.	3,848	0,5516	38,50	2,193	1,755	0,2959	0,1851	1,147	—
11.	4,592	0,58	22,00	2,469	1,860	0,3540	0,2138	1,021	—
12.	5,898	0,67	24,00	2,939	2,007	0,4353	0,2517	0,975	44,713
									25,366
13.	8,163	0,75	27,00	3,719	2,195	0,5345	0,2964	0,903	30,361
									–8,234

Примітка: 1. Значення діаметрів d та D для позицій 1–3, 5–7, 9, 10 наведені в [6], для позицій 4, 11–13 — в [8], для позиції 8 – в [9].

2. Значення $L_{\text{в}}/D_{\text{сер}}$ як для проточних по проході запірних пристроїв наведено в чисельнику, як для інших – у знаменнику.

Як видно з таблиці, значення відносної довжини $L_v/D_{сер}$ вдалося визначити лише для двох останніх позицій.

Чисельний розрахунок показує, що $0 \leq L_v/D_{сер} < 53,237$ при обчисленні як для непрямотечійних запірних пристроїв при $6,000 \leq n \leq 8,225$ (тобто при $2,449 \leq D/d \leq 2,868$). При визначенні як для прямотечійних по проході запірних пристроїв $L_v/D_{сер} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$. Це підтверджує думку про несиметричність повторного приєднання струменя рідини при раптовому розширенні трубопроводу з великими ступінями розширення потоку.

Отже, зроблено висновок, що довжину ділянки між двома раптовими розширеннями трубопроводу, на якій проявляється ефект їхнього взаємного впливу, при $L_v/D < 60$ можна визначити тільки як для непрямотечійних по проході запірних пристроїв для ступенів розширення потоку $6,000 \leq n \leq 8,225$.

Література

1. Орел В.І. Коефіцієнт зміни гідравлічного опору за раптового розширення труб / В.І. Орел // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теорія і практика будівництва. – 2011. – № 697. – С.185-189.
2. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П.М. Степанов, Ю.А. Скобельцын. – М.: Колос, 1984. – 207 с.
3. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 343 с.
4. Иньков А.П. К расчету местных коэффициентов гидравлического сопротивления / А.П. Иньков, С.А. Ярхо // Науч. тр. Всес. заочн. машиностроит. ин-та. – 1973. – Вып.9. – С.167-176.
5. Орел Вадим. Втрати енергії на ділянках раптового розширення потоку у трубопровідних системах // Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля: VI міжнародна наук. конференція. Львів-Кошице-Жешув. Львів, 12-15 вересня 2001. – Ч.ІІ. Інженерія довкілля. – Львів, 2001. – С.105-110.
6. Орел В.І. Коефіцієнт взаємовпливу опорів у разі раптового розширення труб / В.І. Орел // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С.53-57.
7. Земаник. Местный теплообмен за участком резкого расширения круглого канала / Земаник, Дугалл // Теплопередача: Тр. Амер. об-ва инж.-мех. – 1970. – №1. – С.54-62.
8. Strzelecka Katarzyna. Rzeczywiste wartości współczynnika oporów miejscowych podczas przepływu wody przez skokowe rozszerzenie rury / Katarzyna Strzelecka, Krystyna Jeżowiecka-Kabsch // Ochrona środowiska. – 2008. – Vol.30, nr 2. – S.29-33. – Режим доступу: http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2008/Strzelecka_2-2008.pdf.
9. Пильгунов В.Н. Верификации математических моделей типовых местных гидравлических сопротивлений / В.Н. Пильгунов, К.Д. Ефремова // Инженерный вестник: Электронный научн.-техн. журн. – 2013. – №11. – С.29-56. – Режим доступу: <http://engbul.bmstu.ru/doc/645605.html>.