

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗВУЖЕННЯ ТРУБИ НА ВТРАТИ НАПОРУ В НАПІРНОМУ КОРОТКОМУ ТРУБОПРОВОДІ

Тарас Сидор¹, Вадим Орел²

Національний університет «Львівська політехніка»

12, вул С. Бандери, м. Львів, Україна, 79013

¹ taras.a.sydor@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-4717-4257

² канд. тех. наук, доцент, vadyim.i.orel@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-3518-4597

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.49.53-60

Анотація. Трубопроводи зі звуженнями застосовують у водопостачанні, водовідведенні, вентиляції, енергетиці тощо. Загалом, для напірної гідравлічної системи розімкненого типу за витрати рідини $Q = \text{const}$ регульовальна характеристика напору за заходів, необхідних для змінювання втрат енергії в трубопроводі напірної гідравлічної системи, та без них залежить від гідравлічного опору рідини регульованого та нерегульованого відділів трубопроводу. Розглядали короткий трубопровід, в якому рухається вода без змін властивостей, за відсутності впливу на його нерегульований відділ. Регульований відділ являв собою ділянку звуження труби. При цьому зменшення площі поперечного перерізу може бути у вигляді плавного (конфузор) і різкого звуження. Функція регулювання містить співвідношення коефіцієнтів втрат напору для цих місцевих гідравлічних опорів. До того ж, перший з них розглядали з використанням заходів, необхідних для змінювання втрат енергії в трубопроводі напірної гідравлічної системи, а другий без них. Формула для обчислення коефіцієнта втрат напору за своєю структурою відображає лише зміну геометрії труби. Причому для першого випадку коригувальний множник є змінним і залежить від кута звуження конфузора та довжини конфузурної ділянки. Проте, коефіцієнт втрат напору для першого випадку є завжди меншим ніж для другого. Від'ємні значення функції регулювання вказують на зменшення втрат напору на звуженні трубопроводу при використанні вищезазначених заходів, додатні – на збільшення втрат напору. Показано, що зміна геометричних параметрів ділянки звуження напірного трубопроводу напірної гідравлічної системи впливає на втрати напору як у трубопроводі, так загалом і в усій системі.

Ключові слова: звуження труби, напірний короткий трубопровід, втрати напору, функція регулювання, гідравлічний опір.

ВСТУП

Трубопроводи зі звуженнями застосовують у водопостачанні, водовідведенні, вентиляції, енергетиці тощо.

За ДСТУ Б EN 12845:2011, автоматична спринклерна система є стаціонарною системою пожежогасіння, яку призначено для виявлення пожежі та її гасіння водою на різних стадіях або стримування розвитку пожежі для забезпечення можливості її гасіння за допомогою інших засобів. Її фрагмент зображено на рис. 1 [1].

Телескопічні водозабірні споруди забирають воду з верхніх шарів водойми (рис. 2). Такий водозабір працює в автоматичному режимі відповідно до зміни глибини джерела води. Для забезпечення автоматично руху в нижній частині сполучних елементів встановлено пружини [2].

Для уникнення накопичення в завантаженні швидкого фільтра залишкових забруднень після його промивання висхідним потоком води застосовують верхнє промивання фільтра за допомогою спеціального пристрою. Такі пристрої використовують

при пом'якшенні та знезалізненні питної та технічної води [3, 150]. Кожне з двох плечей горизонтального обертового трубопроводу пристрою для верхнього промивання швидкого фільтра (рис. 3) має декілька труб з різною площею поперечного перерізу (рис. 4).

Для напірної гідравлічної системи розімкненого типу за зміни швидкості руху рідини по довжині $dV/dx = 0$ регульовальна характеристика напору в трубопроводі при витіканні рідини з нього [4]:

$$\frac{H_{зм}}{H} \approx 1 + \alpha_{**} + (\zeta_{нер})_{**} + (\zeta_{рег})_* \cdot f(рег) \quad (1)$$

де $H_{зм}$, H – напір у трубопроводі відповідно за заходів, необхідних для змінювання втрат енергії, та без них; α_{**} – коефіцієнт, який враховує зміну корективу кінетичної енергії потоку рідини,

$$\alpha_{**} = \frac{\alpha_{зм} - \alpha}{(\zeta_{пр})_{рег} + (\zeta_{пр})_{нер} + \alpha}; \quad (2)$$

$\alpha_{зм}$, α – коректив кінетичної енергії потоку рідини відповідно за заходів, необхідних для змінювання втрат енергії, та без них; $(\zeta_{пр})_{рег}$, $(\zeta_{пр})_{нер}$ – коефіцієнт приведенного гідравлічного опору відповідно регульованої та нерегульованої ділянки трубопроводу;

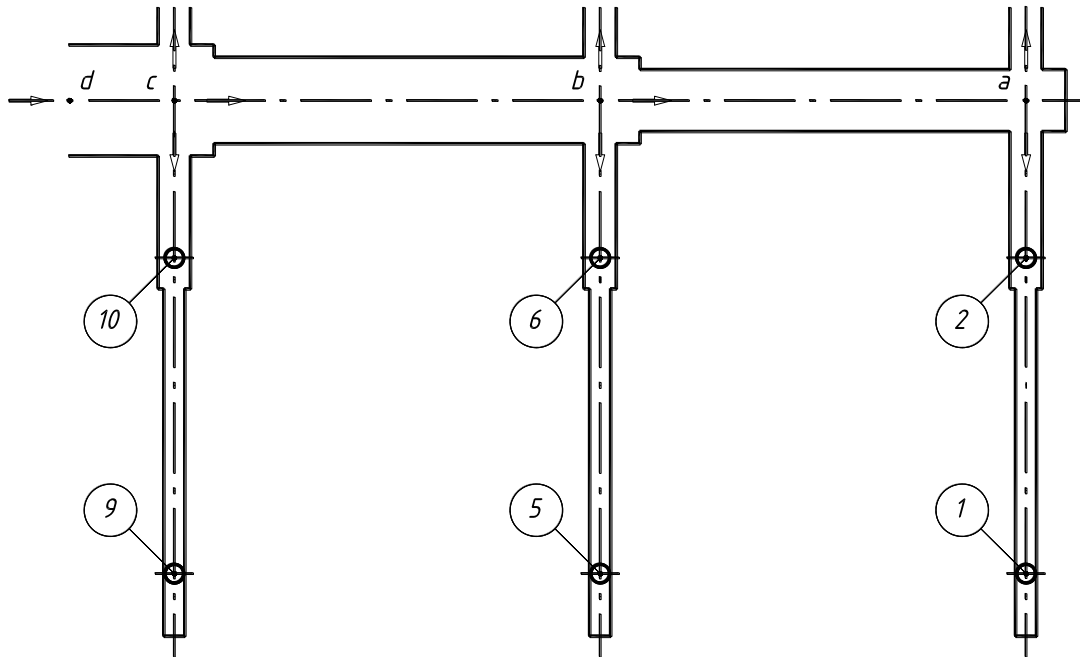


Рис. 1. Фрагмент відгалуження живильного трубопроводу автоматичної спринклерної системи: 1–10 – спринклерний зрошувач; 1–2, 2–а, 5–6, 6–б, 9–10, 10–с – ділянки розподільного трубопроводу 1–а, 5–б, 9–с відповідно; а–д – відгалуження живильного трубопроводу (ліва частина фрагменту є симетричною відносно осі трубопроводу а–д)

Fig. 1. Schematic diagram of fragment of distribution pipe spur of automatic sprinkler system: 1–10 – sprinkler head; 1–2, 2–а, 5–6, 6–б, 9–10, 10–с – sections of 1–а, 5–б, 9–с range pipe, respectively; а–д – distribution pipe spur (left side of the fragment is symmetrical to its right side about а–d pipeline axis)

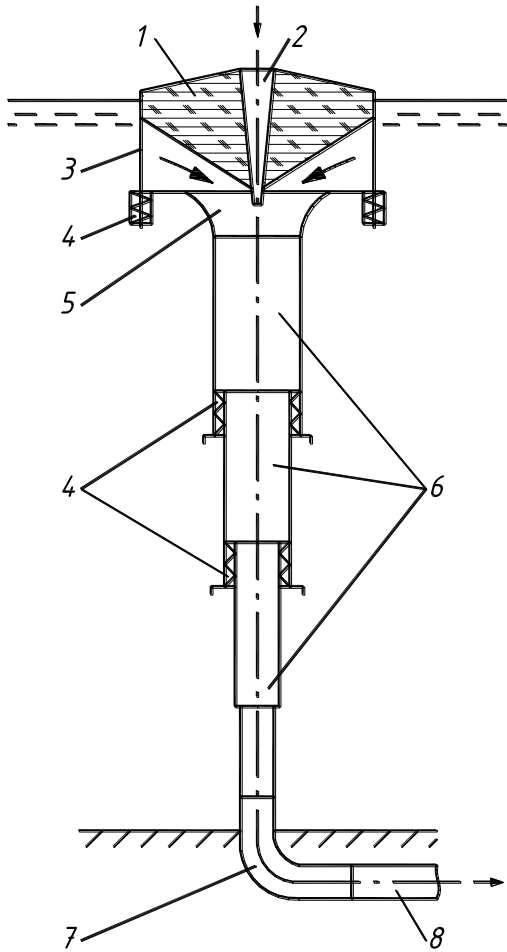


Рис. 2. Схема телескопічного водозабору: 1 – поплавок; 2 – конічна трубка подачі повітря; 3 – сполучний елемент; 4 – пружина; 5 – вхідна лійка; 6 – телескопічно з'єднані труби; 7 – коліно; 8 – відвідна труба;

Fig. 2. Schematic diagram of the telescopic water intake: 1 – float; 2 – conical air supply tube; 3 – connecting element; 4 – spring; 5 – inlet funnel; 6 – telescopically connected pipes; 7 – elbow; 8 – discharge pipe

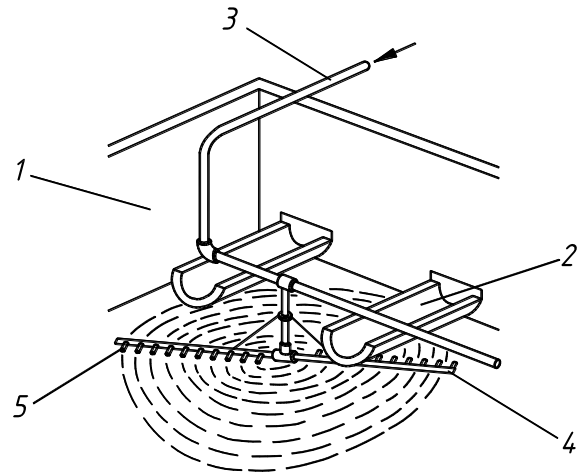


Рис. 3. Схема обертового пристрою для верхнього промивання швидкого фільтра: 1 – стінка фільтра; 2 – жолоб для відведення промивної води; 3 – розподільний трубопровід; 4 – горизонтальний обертовий трубопровід; 5 – конусна насадка

Fig. 3. Schematic diagram of a rotating device for top rinse of a rapid sand filter: 1 – wall of the rapid sand filter; 2 – drainage gutter for rinse water disposal; 3 – distributive pipeline; 4 – horizontal revolving pipeline; 5 – conical nozzle

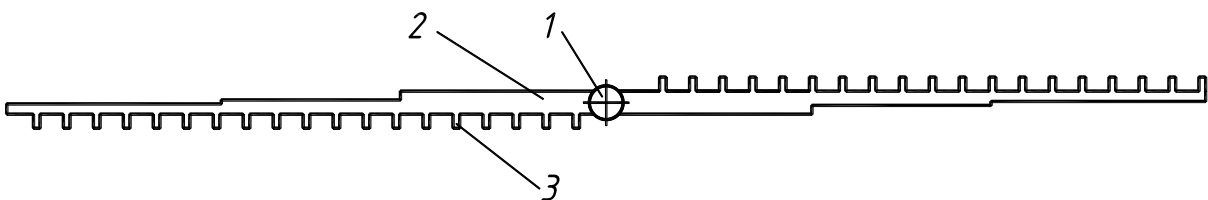


Рис. 4. Схема горизонтального обертового трубопроводу з бічними насадками (вид зверху): 1 – горизонтальна обертова труба; 2 – розподільний трубопровід; 3 – конусна насадка

Fig. 4. Schematic diagram of horizontal revolving pipeline with side nozzles (top view): 1 – horizontal revolving pipe; 2 – distributive pipeline; 3 – conical nozzle

$$\zeta_{\text{пр}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} + \Sigma \zeta; \quad (3)$$

$\lambda \cdot \frac{L}{d}$ – коефіцієнт гідравлічного опору;
 λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;
 L, d – відповідно довжина та діаметр трубопроводу;
 $\Sigma \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевого гідравлічного опору;
 $(\zeta_{\text{нер}})**$ – коефіцієнт регулювання, що визначає змінювання коефіцієнта приведенного гідравлічного опору на нерегульованій ділянці трубопроводу,

$$(\zeta_{\text{нер}})** = \frac{[(\zeta_{\text{пр}})_{\text{нер}}]_{\text{зм}} - (\zeta_{\text{пр}})_{\text{нер}}}{(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}} + (\zeta_{\text{пр}})_{\text{нер}} + \alpha}; \quad (4)$$

$(\zeta_{\text{рег}})*$ – коефіцієнт регулювання, що визначає глибину регулювання на регульованій ділянці трубопроводу,

$$(\zeta_{\text{рег}})* = \frac{(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}}}{(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}} + (\zeta_{\text{пр}})_{\text{нер}} + \alpha}; \quad (5)$$

$f(\text{рег})$ – функція регулювання, яка враховує заходи, необхідні для змінювання втрат енергії в трубопроводі напірної гідравлічної системи.

За використання заходів, необхідних для змінювання втрат енергії в трубопроводі [5, 249–250, 270]:

$$\begin{aligned} [(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}}]_{\text{зм}} &= \\ &= (\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}} \cdot [1 + f(\text{рег})], \end{aligned} \quad (6)$$

формула (1) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{H_{\text{зм}}}{H} &\approx \\ &\approx 1 + \alpha_{**} + (\zeta_{\text{нер}})** + (\zeta_{\text{рег}})** \end{aligned}, \quad (7)$$

де $(\zeta_{\text{рег}})**$ – коефіцієнт регулювання, що визначає змінювання коефіцієнта приведенного гідравлічного опору на регульованій ділянці трубопроводу,

$$(\zeta_{\text{рег}})** = \frac{[(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}}]_{\text{зм}} - (\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}}}{(\zeta_{\text{пр}})_{\text{рег}} + (\zeta_{\text{пр}})_{\text{нер}} + \alpha}. \quad (8)$$

МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є обчислити значення функції регулювання для конкретного випадку. Використовуватимуться емпіричні методи дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Загальні втрати напору в трубопроводах з послідовним з'єднанням ділянок труб різних діаметрів, значення яких зменшуються за рухом рідини, становлять суму втрат напору на окремих ділянках (рис. 5) [6, 38]. У короткому трубопроводі ці втрати напору можна зменшити в місцях з'єднання труб з різною площею поперечного перерізу. Так, розподільний трубопровід (рис. 4) можна запроектувати як колектор змінного перерізу (рис. 6). Проте, для телескопічного трубопроводу без відгалуження рідини треба пропонувати інші заходи.

Заходи, необхідні для змінювання втрат енергії на різкому звуженні круглої труби, мають бути ефективними при ступені звуження потоку $m = d^2/D^2 \geq 0,250$ [7], де D, d – діаметри труб, які утворюють цей місцевий гідравлічний опір.

Уважаємо, що існують заходи, які перетворюють різке звуження труби (рис. 7, а) в плавне, а саме: в конфузори з прямолінійною твірною (рис. 7, б). Отже, розглядаємо звуження труби як регульовану ділянку в трубопроводі. Тому заходи, необхідні для змінювання втрат енергії в трубопроводі, є дієвими тільки на цій ділянці.

Тоді формули (1) та (7) можна переписати як:

$$\begin{aligned} \frac{H_{\text{зм}}}{H} &\approx 1 + (\zeta_{\text{рег}})** = \\ &= 1 + (\zeta_{\text{рег}})* \cdot f(\text{рег}) \end{aligned}. \quad (8)$$

При цьому для розглядуваного випадку функція регулювання

$$f(\text{рег}) = \frac{(\zeta_{\text{рег}})_{\text{зм}}}{\zeta_{\text{рег}}} - 1, \quad (9)$$

або з урахуванням [6, формула (7.30)]

$$f(\text{рег}) = k - 1, \quad (10)$$

де k – коефіцієнт пом'якшення, який враховує зменшення втрат енергії в конфузурі порівняно з втратами енергії на різкому звуженні труби [8, 147],

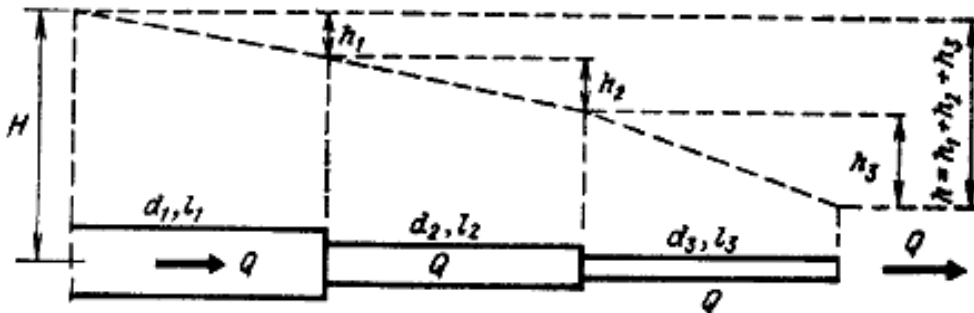


Рис. 5. Схема послідовного з'єднання рукавів систем пожежогасіння: H – напір, який створює насос; h_1, h_2, h_3 – втрати напіру на ділянках довжиною l_1, l_2, l_3 та діаметром d_1, d_2, d_3 відповідно; h – загальні втрати напіру; Q – витрата рідини

Fig. 5. Schematic diagram of serial connection of the fire system hoses: H – pump head; h_1, h_2, h_3 – head losses in sections with lengths l_1, l_2, l_3 and diameters d_1, d_2, d_3 , respectively; h – total head losses; Q – flow rate

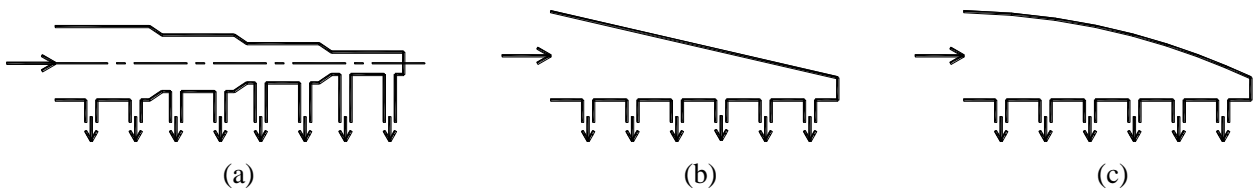


Рис. 6. Схема колекторів змінного перерізу: а – зі ступінчастою зміною перерізу [9, 499]; б – з кінчною бічною стінкою [10]; с – з профільованою бічною стінкою [9, 499]

Fig. 6. Schematic diagram of pressure distributive pipeline of variable cross section: a – with stepwise change in the section with sharp branching [9, 499]; b – with a tapered side wall [10]; c – with a shaped side wall [9, 499]

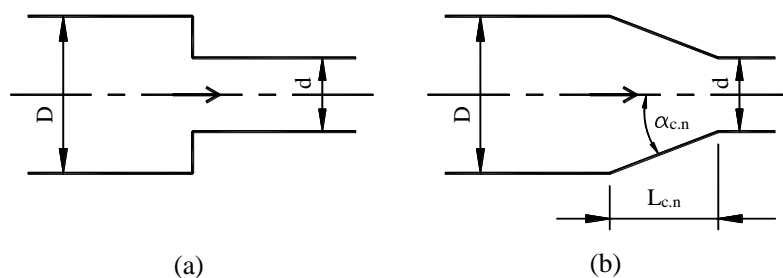


Рис. 7. Схема течії потоку за звуження поперечного перерізу: а – різке звуження [9, діаграма 4.9; 14, 26]; б – плавне звуження (конфузор) [9, діаграма 5.23; 14, 26]

Fig. 7. Schematic diagram of flow at a contraction of the cross-sectional area: a – sudden contraction with sharp edges [9, Diagram 4.9; 11, 26]; b – converging nozzle with rectilinear boundary walls [9, Diagram 5.23; 11, 26]

$$k = \frac{(\zeta_{\text{per}})_{\text{зм}}}{\zeta_{\text{per}}} \quad (11)$$

$$k = \frac{\zeta_{\text{с.п}}}{\zeta} \quad (12)$$

Коефіцієнт місцевого гідравлічного опору конфузора з прямолінійною твірною (рис. 7, б) залежить від кута звуження $\alpha_{\text{с.п}}$ та ступеню звуження потоку m (і відповідно від відносної довжини $L_{\text{с.п}}/d$) [9, 331].

У конфузорі за достатньо великих кутів ($\alpha_{\text{с.п}} > 10^\circ$) та ступенів звуження потоку ($m < 0,3$) після переходу від ділянки, яка звужується, до прямої частини труби потік відривається від стінок. Це й зумовлює в основному місцеві втрати тиску (без втрат тиску на гідравлічне тертя). Що більше кут $\alpha_{\text{с.п}}$ та менший ступінь звуження m , то більшим є відрив потоку та відповідно більшими є втрати тиску в конфузорі [9, 331]. Коли кут звуження дуже малий ($\alpha_{\text{с.п}} < 10^\circ$), потік не відривається від стінок труби в місці переходу до прямої частини труби, і втрати тиску дорівнюють втратам тиску на гідравлічне тертя на ділянці, яка звужується [9, 332].

Як приклад розглянемо трубопровід, зображений на рис. 1, значення діаметрів якого наведено в табл. 1.

Обчислюватимемо коефіцієнт пом'якшення, згідно з формулою (11), як

де $\zeta_{\text{с.п}}$, ζ – коефіцієнт місцевого гідравлічного опору конфузора та різкого звуження труби відповідно.

Коефіцієнт місцевого гідравлічного опору різкого звуження труби обчислювали за формулами (13) [9, 234] та (14) [12, 81]:

$$\zeta = 0,5 \cdot (1 - m)^{0,75}; \quad (13)$$

$$\zeta = 0,4 \cdot (1,25 - m) \quad \text{за } m < 0,715. \quad (14)$$

Ці формули дуже добре узгоджуються між собою [13].

Коефіцієнт місцевого гідравлічного опору конфузора з прямолінійною твірною [8, 146]:

$$\zeta_{\text{с.п}} = \zeta' \cdot (1 - m), \quad (15)$$

де ζ' – коефіцієнт, $\zeta' = f(\alpha_{\text{с.п}}, L_{\text{с.п}}/d)$ [8, 147].

Табл. 1. Значення функції регулювання при заміні різкого звуження труби конфузором

Table 1. Values of the regulation function when replacing a pipe sudden contraction with a converging nozzle

Трубопровід	Ділянка	Діаметр труби, мм		Товщина стінки труби, мм	Ступінь m	Коефіцієнт ζ за формулою:		Коефіцієнт $\zeta_{\text{с.п}}$	Функція $f(\text{per})$
		зовнішній	внутрішній			(12)	(13)		
Розподільний трубопровід									
1-a	1-2	26,0	21,0	2,5	—	—	—	—	—
	2-a	38,0	32,0	3,0	0,431	0,328	0,328	0,057	-0,826
5-b	5-6	27,0	22,0	2,5	—	—	—	—	—
	6-b	42,0	36,0	3,0	0,3735	0,352	0,351	0,063	-0,821
9-c	9-10	27,0	22,0	2,5	—	—	—	—	—
	10-c	42,0	36,0	3,0	0,3735	0,352	0,351	0,063	-0,821
Живильний трубопровід									
a-d	a-b	57,0	50,0	3,5	—	—	—	—	—
	b-c	70,0	62,0	4,0	0,650	0,227	0,240	0,035	-0,946
	c-d	89,0	81,0	4,0	0,586	0,258	0,266	0,041	-0,930

За $L_{\text{с.п}}/d > 0,5$ коефіцієнт $\zeta' = \psi(\alpha_{\text{с.п}})$ [8, 147], тоді його можна обчислити за

[8, рис. 7.8]. Приймали значення коефіцієнта $\zeta' \approx 0,1$ є при куті звуження $\alpha_{\text{с.п}} \approx 50^\circ$.

Отримано зменшення втрат напору при заміні різкого звуження труби конфузором. Отже, втрати напору в напірному короткому трубопроводі зменшуватимуться.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

За рахунок того, що місцевого гідравлічного опору для конфузора є завжди меншим ніж для різкого звуження труби, отримано від'ємні значення функції регулювання. Це вказує на зменшення втрат напору на звуженні трубопроводу при заміні різкого звуження труби конфузором.

Показано, що зміна геометричних параметрів ділянки звуження напірного трубопроводу напірної гідравлічної системи впливає на втрати напору як у трубопроводі, так загалом і в усій системі.

Необхідно розробити заходи, які перетворюють різке звуження труби в плавне.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Фролов В., Лазарев С., Павлова С.** Гидромеханика систем пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность, 2009, т. 18, № 3, 67–78.
2. **Lipin A.** Regulation of telescopic water intake operations // Slovak Journal of Civil Engineering, 2022, Vol. 30, No. 3, pp. 27–32. <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0018>
3. **Кожин В. Ф.** Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты: Учеб. пособие для вузов. Москва : ООО «БАСТЕТ», 2008. 304 с.
4. **Sydor T., Orel V.** Variation of hydraulic resistance in pressure pipelines of an open-type hydraulic system // Energy Engineering and Control Systems, 2024, Vol. 10, No. 1, pp. 13–18. <https://doi.org/10.23939/jeecs2024.01.013>
5. **Щербинин Э. В.** Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле. Рига : Зинатне, 1973. 304 с.
6. **Антипов І., Кулешов М., Петухова О.** Протипожежне водопостачання. Підручник. Харків : Академія цивільного захисту України, 2004. 255 с.
7. **Орел В. І.** Дослідження вкладу необоротних втрат у загальні втрати тиску при раптового звуженні труби // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2013, вип. 21. С. 181–190.

8. **Альтшуль А. Д.** Гидравлические сопротивления. Москва : Недра, 1982. 224 с.
9. **Idelchik I. E.** Guide of hydraulic resistance. 4th ed. Begell House, Inc., New York, Connecticut, Wallingford (U.K.), 1992.
10. **Hassan, J. M., Mohamed, T. A., Mohammed, W. S., Alawee, W. H.** Modeling the uniformity of manifold with various configurations // Journal of Fluids, 2014, 8 pp. <https://doi.org/10.1155/2014/325259>
11. **Miller D. S.** Internal flow systems. 2nd ed. Cranfield, Bedford : BHRA (Information Services), 1990.
12. **Holland, F.A. & Bragg, R.** Fluid Flow for Chemical Engineers. 2nd ed. London : Edward Arnold, 1995. <https://doi.org/10.1016/B978-0-349-61058-9.X5000-2>.
13. **Орел В., Піцишин Б., Коник Т.** Профілювання раптового звуження круглої труби вставкою з прямолінійною циліндричною твірною // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2021. Вип.36. С.48–55. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.36.48-55>.

REFERENCES

1. **Frolov V. N., Lazarev S. M., Pavlova S. V. (2009).** Gidromekhanika sistem pozharotusheniya. *Fire and Explosion Safety*, 18(3), 67–78. [in Russian]
2. **Lipin, A. (2022).** Regulation of telescopic water intake operations. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 30(3), 27–32. <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0018>
3. **Kozhinov, V. F. (2008).** *Ochistka pitevoy i tekhnicheskoy vody*. Primery i raschety: Uchebnoe posobiye dlya vuzov. 4th ed., preprint. BASTET Ltd., Moskva. [in Russian]
4. **Sydor, T., & Orel, V. (2024).** Variation of hydraulic resistance in pressure pipelines of an open-type hydraulic system. *Energy Engineering and Control Systems*, 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.23939/jeecs2024.01.013>
5. **Shcherbinin, E. V. (1973).** Struynye techeniya вязкой жидкости v magnitnom pole. Zinatne, Riga. [in Russian]
6. **Antipov, I. A., Kulieshov M. M., & Petukhova O. A. (2004).** *Protypozhezhne vodopostachannia. Pidruchnyk*. Academy of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv. [in Ukrainian]

7. **Orel, V. I. (2013).** Investigation of the proportion of irreversible losses in total pressure losses at the sudden narrowing of pipe. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 21, 181–190. [in Ukrainian]
8. **Altshul A. D. (1982).** *Gidravlicheskiye soprotivleniya*. Nedra, Moskva. [in Russian]
9. **Idelchik, I. E. (1992).** *Guide of hydraulic resistance*. 4th ed. Begell House, Inc., New York, Connecticut, Wallingford (U.K.).
10. **Hassan, J. M., Mohamed, T. A., Mohammed, W. S., & Alawee, W. H. (2014).** Modeling the uniformity of manifold with various configurations. *Journal of Fluids*. 2014. 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/325259>
11. **Miller, D. S. (1990).** *Internal flow systems*. 2nd ed. Cranfield, Bedford : BHRA (Information Services).
12. **Holland, F.A. & Bragg, R. (1995).** *Fluid Flow for Chemical Engineers*. 2nd ed. London: Edward Arnold. <https://doi.org/10.1016/B978-0-349-61058-9.X5000-2>.
13. **Orel, V., Pitsyshyn, B., & Konyk, T. (2021).** Profiling of sudden contraction of circular pipe by sharp-edged pipe insert. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulics*, (36), 48–55. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.36.48-55>.

Influence of geometric parameters of pipe narrowing on pressure losses in a pressure short pipeline

Taras Sydor, Vadym Orel

Abstract. Pipelines with contraction are used in water supply, sewage, ventilation, energy, and other fields. In general, for an open-type pressure hydraulic system with a liquid flow rate $Q = \text{const}$, the pressure regulation characteristic, with and without measures necessary to change energy losses in the pipeline of the pressure hydraulic system, depends on the hydraulic resistance of the liquid in the regulated and unregulated sections of the pipeline. There was considered a short pipeline in which water flows without changes in properties, without affecting its unregulated section. The regulated section represented a segment of the pipe contraction. In this case, the reduction in cross-sectional area could be in the form of a gradual contraction (converging nozzle) or a pipe sudden contraction. The regulation function includes the relationship of pressure loss coefficients for these local hydraulic resistances. Moreover, the first was considered using measures necessary to change energy losses in the pipeline of the pressure hydraulic system, while the second was considered without them. The formula for calculating the pressure loss coefficient structurally reflects only the change in the geometry of the pipe. For the first case, the correction factor is variable and depends on the cone angle of the converging nozzle and the length of the converging section. However, the pressure coefficient for the first case is always less than that for the second. Negative values of the regulation function indicate a reduction in pressure losses at the pipeline contraction when using the aforementioned measures, while positive values indicate an increase in pressure losses. It has been shown that changes in the geometric parameters of the contraction section of the pressure pipeline in a pressure hydraulic system affect head losses both in the pipeline and, overall, throughout the entire system.

Key words: pipe contraction, short pressure pipeline, pressure losses, regulation function, hydraulic resistance.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2025