ПРОФІЛЮВАННЯ РАПТОВОГО ЗВУЖЕННЯ КРУГЛОЇ ТРУБИ ВСТАВКОЮ З ПРЯМОЛІНІЙНОЮ ЦИЛІНДРИЧНОЮ ТВІРНОЮ

Вадим Орел[1], Богдан Піцишин[2], Тетяна Коник[3]

Національний університет «Львівська політехніка»
12, вул С. Бандери, м. Львів, Україна, 79013
[1]канд. тех. наук, доцент, vadym.i.orel@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-3518-4597
[2]bohdan.s.pitsyshyn@lpnu.ua, orcid.org/0000-0001-9145-876X
[3]tetiana.konyk.bd.2017@lpnu.ua, https://orcid.org/0000-0002-8502-6423

DOI:10.32347/2524-0021.2021.36.48-55

Анотація. Заходи зі зменшення втрат енергії в системах трубопровідного транспорту необхідно впроваджувати вже на етапі проектування. Зокрема це стосується й місцевих гідравлічних опорів трубопроводів. Для симетричного раптового звуження труби одним з таких заходів є профілювання за допомогою вставок. У роботі розглянуто вставку з прямолінійною циліндричною твірною, яка порівняно з іншими має більші ділянки відриву потоку. Діаметр вставки обчислювали як середньоарифметичний між діаметрами, що утворюють вихідне раптового звуження труби. За наведеною в літературі методикою досліджено відносну довжину цієї вставки як ділянки впливу між двома симетричними раптовими звуженнями круглої труби при течії однофазного турбулентного потоку ньютонівської рідини. Коефіцієнт взаємовпливу цих місцевих гідравлічних опорів приймали за формулами для прямотечійних та непрямотечійних запірних пристроїв, що моделювало відповідно симетричну та несиметричну течії рідини після площини звуження. Розглянуто ступені звуження потоку від 0,064 до 0,696 включно, які утворені трубами з діаметрами, не меншими за порядок одиниць міліметрів. За результатами обчислень одержано відсутність взаємного впливу двох раптових звужень круглої труби. Це вказує на непридатність використання формул для запірних пристроїв у зазначеній методиці для визначення відносної довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною. Тому для з'ясування розглянутої проблеми на раптовому звуженні труби з різними ступенями звуження потоку пропонується провести фізичний експеримент. При математичному експерименті можна скористатися формули для визначення таких довжин: кінцевої та початкової ділянок місцевих гідравлічних опорів; вхідних ділянок у циліндричних трубах з пристроями, які турбулізують потік; ділянок стабілізації епюри швидкості після місцевих гідравлічних опорів.

Ключові слова: раптове звуження труби; ступінь звуження потоку; коефіцієнт місцевого гідравлічного опору; вставка з прямолінійною циліндричною твірною; відносна довжина.

ВСТУП

Турбулентні потоки крізь раптові звуження труб поширені у багатьох промислових сферах, включаючи трубопровідні системи, аеронавтику, транспортування шламу, формування та екструзію [1]. Ці місцеві гідравлічні опори (МГО) впливають на структуру потоку уверх та вниз за течією від площини звуження. Тому їх можна розглядати як джерело своєрідних збурень, які призводять до дестабілізації потоку [2, с.42].

За принципом дії раптові звуження труб належать до МГО, де відбувається зміна площі прохідного перерізу потоку транспортованого середовища, в яких затрати енергії на утворення кільцевих вирів є переважними у місцевих втратах напору [3].

© Орел В., Піцишин Б., Коник Т., 2021

Заходи, направлені на зменшення втрат енергії на раптовому звуженні круглої труби, мають бути ефективними при ступені звуження потоку $m = \frac{d^2}{D^2} \geq 0{,}250$ [4], де D, d – діаметри труб, які утворюють цей МГО. Для систем трубопровідного транспорту їх треба впроваджувати вже на етапі проектування.

Одним зі способів зменшення гідравлічного опору раптового звуження труби є профілювання за допомогою різних вставок. Вставка з прямолінійною циліндричною твірною (рис. 1), порівняно з іншими, має більші ділянки відриву потоку [5, с.26, Fig.2.4]. До того ж, для обчислення коефіцієнтів МГО раптового звуження труби з іншими вставками формули [6, діаграма 4.9; 7] та графіки [5, с.374] є відомими [8].

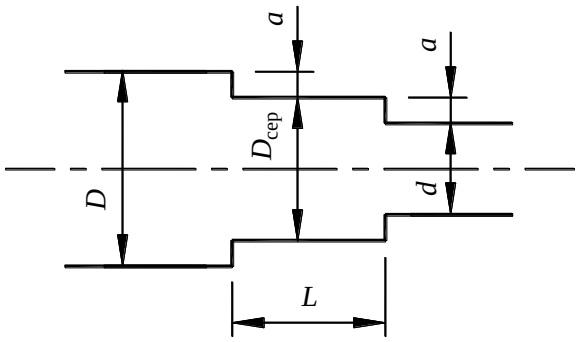

Рис. 1. Схема профілювання раптового звуження труби вставкою з прямолінійною циліндричною твірною

Fig. 1. Scheme of profiling of sudden contraction of circular pipe by the insert of sharp-edged pipe

Згідно з методикою, наведеною в [9], вихідний ступінь звуження потоку

$$m = m_1 \cdot m_2, \qquad (1)$$

де m_1, m_2 – ступені звуження потоку при використанні вставки з прямолінійною циліндричною твірною,

$$m_1 = \frac{D_{cep}^2}{D^2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2a}{D_{cep}}\right)^2}; \qquad (2)$$

$$m_2 = \frac{d^2}{D_{cep}^2} = \left(1 - \frac{2a}{D_{cep}}\right)^2, \qquad (3)$$

де $D_{сер}$ – діаметр вставки,

$$D_{cep} = \frac{D + d}{2}; \qquad (4)$$

a – амплітуда зміни діаметра труби [10],

$$a = \frac{D - d}{2}; \qquad (5)$$

Тоді діаметри, які утворюють раптове звуження труби, визначають як:

$$D = D_{cep} + 2a\ ; \qquad (6)$$

$$d = D_{cep} - 2a\ . \qquad (7)$$

Це відповідає трубі з лінійною зміною площі поперечного перерізу по довжині [11].

За відстані $\frac{L}{D_o} \geq 10...20$ [6, с.578], де D_o – діаметр ділянки між двома МГО, ці опори можуть здійснювати один на другий взаємний вплив. При цьому приділяється увага зменшенню гідравлічного опору таких МГО [12].

У літературі довжину ділянки впливу між МГО здебільшого наведено як функцію критерію Рейнольдса, що не завжди зручно в розрахунках для зони квадратичного опору турбулентного режиму руху рідини.

У [3] довжину ділянки впливу між МГО пропонується обчислювати як довжину шляху, на якому відновлюється стабілізований профіль повної швидкості після першого МГО та профіль швидкості в місці потенціального розташування другого МГО. До того ж, за згадані профілі швидкостей мають бути заданими. Проте, за фізичного моделювання це стосується, як правило, конкретного дослідження, а

за математичного – може не відповідати дійсності.

У [9] одержано формулу для визначення відносної довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною:

$$\frac{L}{D_{сер}} = 18{,}51 \cdot m, \qquad (8)$$

яка протирічить змісту залежності $\frac{L}{D_{сер}} = f(m)$.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даної роботи є уточнення довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною, згідно з методикою, наведеною в [9]. Використовуватимуться методи поєднання теоретичних основ гідравліки з постановкою гідравлічних експериментів [13].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Позаяк геометрична простота каналів, які симетрично звужуються, не призводить до симетричної течії [14], коефіцієнт взаємовпливу двох раптових звужень труби приймали як для запірних пристроїв [6, с.578; 15, с.46]:
– прямотечійних, при симетричній течії:

$$k_n = -11{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{L}{D_o}\right)^2 + 1335 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L}{D_o} + 0{,}6; \qquad (9)$$

– непрямотечійних, при несиметричній течії:

$$k_{нп} = -2085 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{L}{D_o}\right)^2 + 25 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{L}{D_o} + 0{,}925. \qquad (10)$$

При цьому $k_п < k_{нп}$ у межах $0 \le \frac{L}{D_o} < 60$ [15, табл.4.28].

При течії однофазного турбулентного потоку ньютонівської рідини крізь симетричне раптове звуження круглої труби експериментальні значення коефіцієнтів МГО ζ_{exp}, наведені в табл.1, в межах ступенів звуження потоку m = 0,064…0,696 з точністю до 5% включно [9] не перевищували значень, обчислених за так званою новою формулою Ідельчика [6, с.151]:

$$\zeta = 0{,}5 \cdot (1 - m)^{0{,}75}. \qquad (11)$$

Ця формула дуже добре узгоджується з формулами [16, 81]:

$$\zeta = 0{,}4 \cdot (1{,}25 - m) \text{ при } m < 0{,}715; \qquad (12,а)$$

$$\zeta = 0{,}75 \cdot (1 - m) \text{ при } m > 0{,}715. \qquad (12,б)$$

Формула (12,б) навіть краще описує ділянку залежності $\zeta = f(m)$ за формулою Альтшуля [15, с.42], яку використовують при m > 0,25:

$$\zeta = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2, \qquad (13)$$

де ε – коефіцієнт стиснення струменя рідини, $\varepsilon = f(m)$.

Наведені ступені звуження потоку m утворені трубами з діаметрами, не меншими за порядок одиниць міліметрів. Адже в мікротрубах з діаметрами порядку десятих міліметрів значення коефіцієнтів МГО не відповідають формулі (11) [17].

Одержані дані (рис. 2) можна описати формулами:
– при симетричній течії (R^2 = 0,8986)

$$\frac{L}{D_{сер}} = \frac{106{,}46}{m^{0{,}042}}; \qquad (14)$$

– при несиметричній течії (R^2 = 0,8967)

$$\frac{L}{D_{сер}} = \frac{166{,}68}{m^{0{,}060}}. \qquad (15)$$

Табл.1. Визначення відносної довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною
Table 1. Determining of the contraction length ratio

Ч/ч	Ступінь m	Коефіцієнт ζ_{exp}	Діаметр $D_{сер}$, мм	Ступені		Коефіцієнти		Коефіцієнт $k = \zeta_{exp}/(\zeta_1+\zeta_2)$	Довжина вставки $L/D_{сер}$
				m_1	m_2	$\zeta_1 = f_1(m_1)$	$\zeta_2 = f_2(m_2)$		
1.	0,064	0,490	64,550	0,392	0,162	0,344	0,438	0,626	118,29 / 193,87
2.	0,260	0,420	38,500	0,570	0,456	0,266	0,317	0,721	110,40 / 175,62
3.	0,628	0,228	23,300	0,803	0,781	0,148	0,160	0,740	108,66 / 171,61
4.	0,029	0,480	19,570	0,343	0,085	0,365	0,468	0,576	122,04 / 202,54
5.	0,130	0,445	10,785	0,463	0,281	0,314	0,390	0,632	117,82 / 192,79
6.	0,112	0,444	11,915	0,445	0,251	0,322	0,403	0,613	119,29 / 196,18
7.	0,696	0,197	6,800	0,841	0,827	0,126	0,134	0,758	106,96 / 167,67
8.	0,260	0,395	—	0,570	0,456	0,266	0,317	0,678	114,11 / 184,21

Примітка: значення $L/D_{сер}$ при симетричній течії наведено у чисельнику, при несиметричній течії – у знаменнику.

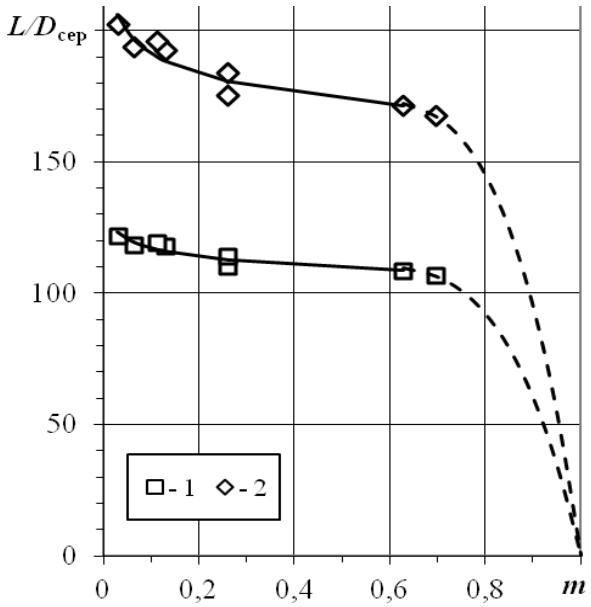

Рис. 2. Залежність відносної довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною від ступеня звуження потоку при симетричній (1) та несиметричній (2) течії

Fig. 2. Dependence of the contraction length ratio on contraction rate at symmetric (1) and asymmetric (2) flow

Взаємовплив МГО, згідно з формулами (9) та (10), ще залишається при $\left(\frac{L}{D_o}\right)_{\max} = 60$. Для такої відносної довжини при екстраполяції експериментальних даних до $m = 1{,}0$ поліномами 4 ступеня одержано $m > 0{,}900$ (симетрична течія) та $m > 0{,}943$ (несиметрична течія). Для таких ступенів звуження потоку втрати на тертя домінують над втратами на зміну форми [18; 19], коли розмір кільцевої вирової зони в трубі меншого діаметру наближається до нуля [20], тобто відсутнє стиснення потоку рідини в цій трубі. Тоді необоротна складова загальних втрат тиску на раптовому звуженні круглої труби прямує до нуля [20] та становить, згідно з [4], при симетричній течії 12,8%, при несиметричній течії – 3,0%, що є не істотним.

Попри те, що одержані дані (табл.1 та рис.2) відповідають змісту залежності $\frac{L}{D_{сер}} = f(m)$, за значень $\frac{L}{D_{сер}} > 60$ взаємовплив двох раптових звужень труби є відсутнім. Тому для обчислення втрат напору необхідно використовувати

принцип суперпозиції не тільки цих МГО, але й вставки між ними.

Оскільки використання формул для запірних пристроїв при обчисленні довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною в симетричному раптовому звуженні круглої труби за методикою, наведеною в [9], виявилося непридатним, треба провести фізичний, а не математичний експеримент. Необхідно зосередитися на дослідженні довжин так званих кінцевої та початкової ділянок відповідно перед та після МГО. Адже довжина кільцевих вирових зон корелює з довжиною ділянки взаємовпливу МГО [3]. Зокрема, це вхідні ділянки у циліндричних трубах з вхідними пристроями, які турбулізують потік, та ділянки стабілізації епюри швидкості після МГО. Довжини цих ділянок залежать від критерію Рейнольдса.

Крім того, для зменшення гідравлічного опору раптового звуження труби можна використовувати профілювання за допомогою вставок з криволінійною [5, 374; 6, діаграма 4.9] чи прямолінійною зрізаною під кутом [6, діаграма 4.9] твірними. Є також інші способи. Наприклад, встановленням кільцевої перешкоди перед перерізом зміни діаметру [21] чи підведення додаткової витрати рідини в радіальному напрямку по відношенню до основного потоку в області різкого звуження каналу [14].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У даній роботі показано, що використання формул для запірних пристроїв при обчисленні довжини вставки з прямолінійною циліндричною твірною в симетричному раптовому звуженні круглої труби за методикою, наведеною в літературі, є непридатним. Для визначення довжини цієї вставки рекомендується провести або фізичний експеримент, або математичний з використанням інших формул.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Palacios S. F., Machuca J., Franco T. A., Morales R. E. M.** Experimental and Numerical Study of Turbulent Newtonian Flow through an Axisymmetric Sudden Contraction: Proceedings of the ENCIT by ABCM, ENC10-0572, 2010 10 p. URL: https://www.abcm.org.br/anais/encit/2010/PDF/ENC10-0572.pdf. (дата звернення: 20.08.2021).
2. **Яхно О. М., Матиега В. М., Кривошеев В. С.** Гидродинамический начальный участок. Черновцы: Зелена Буковина, 2004. 144 с.
3. **Морецкий В. Ю., Жолобов В. В., Варыбок Д. И.** Влияние взаимного расположения технологического оборудования на гидравлическое сопротивление. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Москва, 2017. № 1(28). С. 53-61. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28777146. (дата звернення: 20.08.2021)
4. **Орел В. І.** Дослідження вкладу необоротних втрат у загальні втрати тиску при раптовому звуженні труби. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2013. Вип. 21. С. 181-190.
5. **Miller D. S.** Internal flow systems. 2nd ed. Cranfield, Bedford: BHRA (Information Services), 1990. URL: https://pdfslide.net/documents/miller-internal-flow-systempdf.html. (дата звернення: 22.08.2021)
6. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
7. **Rennels D. C., Hudson H. M.** Pipe Flow: A Practical and Comprehensive Guide. 1st edition. Hoboken, N.J: Wiley, 2012. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118275276.
8. **Fittings** pressure drop (fluids.fittings). URL: https://fluids.readthedocs.io/fluids.fittings.html#id79. (дата звернення: 20.08.2021)
9. **Орел В. І.** Зменшення гідравлічного опору раптового звуження трубопроводу за допомогою прямолінійної циліндричної вставки. Труды Второго международного научно-практического семинара «Повховские научные чтения» / под общ. ред. А.Б. Ступина. Донецк : ДонНУ, 2012. С. 28-33.
10. **Повх И. Л., Финошин Н. В.** Гидродинамика труб переменного сечения. Инж.-физ. журн. Минск, 1992. Т. 62, № 4. С. 525-533.
11. **Adamkowski A**. Analysis of Transient Flow in Pipes With Expanding or Contracting

Sections. Journal of Fluids Engineering-transactions of The Asme - J FLUID ENG, 2003 125. DOI: https://doi.org/10.1115/1.1593703.
12. **Ziganshin A. et al.** Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020. 890. 012146. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012146.
13. **Василенков В. Є.** Дослідження коефіцієнта місцевих опорів за напірного руху рідини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Техніка та енергетика АПК. Київ, 2017. Вип. 261. С. 250-256. URL: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/8902. (дата звернення: 22.08.2021)
14. **Nosko S., Ahaiev I.** Control of vortex structures of abnormally viscous fluids in the channels of the extrusion die. Technology Audit and Production Reserves, 2017. 2(1(40), 18-24. DOI: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128478.
15. **Большаков В. А., Константинов Ю. М., Попов В. Н., Даденков В. Ю.** Справочник по гидравлике / под ред. В. А. Большакова. Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1984. 343 с.
16. **Holland F. A., Bragg R.** Fluid Flow for Chemical Engineers. 2nd ed. London: Edward Arnold, 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-340-61058-9.X5000-2.
17. **Guo H., Wang L., Yu J. et al.** Local resistance of fluid flow across sudden contraction in small channels. Front. Energy Power Eng. China 4, 2010. 149–154. DOI: https://doi.org/10.1007/s11708-009-0060-7.
18. **Sreedhar I., Darshan A. Sai, Srivastava S., Jain V.** Complex Behavior of Polymers as Drag Reducing Agents Through Pipe Fittings. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2018. 11(2), 467-474. DOI: https://doi.org/10.29252/jafm.11.02.27332.
19. **Chernyuk V. V., Pitsishin B. S., Orel V. I. et al.** Influence of Polyacrylamide Additions on the Head Loss in Abrupt Contractions and Expansions of Pipes. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2002. 75, 910-919. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1020319219729.
20. **Тютчев И. И., Романенко Н. Т., Яхно О. М.** Особенности течения неньютоновских жидкостей в области внезапного сужения канала. Хим. машиностроение: Республ. межвед. н.-т. сб. Киев, 1975. № 22. С. 110-116.
21. **Ando T., Shakouchi T.** Flow characteristics over forward facing step and through abrupt contraction pipe and drag reduction. Res. Rep. Fac. Eng. Mie Univ., 2004. Vol.29. pp.1–8. URL: www.eng.mie-u.ac.jp/research/activities/29/29_1.pdf. (дата звернення: 20.08.2021)

REFERENCES

1. **Palacios, S. F., Machuca, J., Franco, T. A., & Morales, R. E. M. (2010).** Experimental and Numerical Study of Turbulent Newtonian Flow through an Axisymmetric Sudden Contraction: *Proceedings of the ENCIT by ABCM*, ENC10-0572. 10 p. Retrieved from https://www.abcm.org.br/anais/encit/2010/PDF/ENC10-0572.pdf.
2. **Jahno, O. M., Matiega, V. M., & Krivosheev V. S. (2004).** *Gidrodinamicheskij nachal'nyj uchastok*. Chernovcy: Zelena Bukovina. [in Russian]
3. **Moretskiy, V. Y., Zholobov, V. V., & Varybok, D. I. (2017).** Influence of mutual placement of technological equipment onto hydraulic resistance. *Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 1*(28). 53-61. Retrieved from https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28777146. [in Russian]
4. **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]
5. **Miller, D. S. (1990).** *Internal flow systems*. 2nd ed. Cranfield, Bedford: BHRA (Information Services). Retrieved from https://pdfslide.net/documents/miller-internal-flow-systempdf.html. (Retrieved August 22, 2021)
6. **Idelchik, I. E. (1992).** *Guide of hydraulic resistance* [Fourth 4th ed.] Begell House, Inc., New York, Connecticut, Wallingford (U.K.). Retrieved from https://dokumen.pub/handbook-of-hydraulic-resistance-fourth-4thnbsped-156700251x-9781567002515.html.
7. **Rennels, D. C., & Hudson, H. M. (2012).** Pipe Flow: A Practical and Comprehensive Guide. 1st edition. Hoboken, N.J: Wiley. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118275276.
8. **Fittings** pressure drop (fluids.fittings). Retrieved from

https://fluids.readthedocs.io/fluids.fittings.html#id79

9. **Orel, V. I. (2012).** Zmenshennia hidravlichnoho oporu raptovoho zvuzhennia truboprovodu za dopomohoiu priamoliniinoi tsylindrychnoi vstavky. *Proc. 2nd Int. sci.-pract. seminar 'Povhovskie nauchnye chtenija'.* Donetsk: Donetsk National University. 28-33. [in Ukrainian]

10. **Povkh, I. L., & Finoshin, N. V. (1992).** Hydrodynamics of tubes of varying cross section. *J Eng Phys Thermophys*, 62, 373-380. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00854948.

11. **Adamkowski, A. (2003).** Analysis of Transient Flow in Pipes With Expanding or Contracting Sections. *Journal of Fluids Engineering-transactions of The Asme* – J FLUID ENG. 125. DOI: https://doi.org/10.1115/1.1593703.

12. **Ziganshin A. et al. (2020).** Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 890*. 012146. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012146.

13. **Vasilenkov, V. E. (2017).** Study coefficient of local resistance when pressurized fluid motion. *Machinery & Energetics. 261*, 250–256. Retrieved from http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/8902. (Retrieved August 22, 2021)

14. **Nosko, S., & Ahaiev, I. (2017).** Control of vortex structures of abnormally viscous fluids in the channels of the extrusion die. *Technology Audit and Production Reserves*, *2*(1/40), 18-24. DOI: https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128478.

15. **Bolshakov, V. A., Konstantinov, Yu. M., Popov, V. N., & Dadenkov, V. Yu. (1984).** Hydraulics handbook. Kiev: Vyshcha Shkola, 343. [in Russian]

16. **Holland, F. A. & Bragg, R. (1995).** *Fluid Flow for Chemical Engineers*. 2nd ed. London: Edward Arnold. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-340-61058-9.X5000-2.

17. **Guo, H., Wang, L., Yu, J. et al. (2010).** Local resistance of fluid flow across sudden contraction in small channels. *Front. Energy Power Eng.* China 4, 149-154. DOI: https://doi.org/10.1007/s11708-009-0060-7.

18. **Sreedhar, I., Darshan, A. Sai, Srivastava, S., & Jain, V. (2018).** Complex Behavior of Polymers as Drag Reducing Agents Through Pipe Fittings. *Journal of Applied Fluid Mechanics 11*(2), 467-474. DOI: https://doi.org/10.29252/jafm.11.02.27332.

19. **Chernyuk, V. V., Pitsishin, B. S., Orel, V. I. *et al.* (2002).** Influence of Polyacrylamide Additions on the Head Loss in Abrupt Contractions and Expansions of Pipes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, *75*, 910-919. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1020319219729.

20. **Tjutchev, I. I., Romanenko, N. T., & Jahno, O. M. (1975).** Osobennosti techenija nen'jutonovskih zhidkostej v oblasti vnezapnogo suzhenija kanala. *Himicheskoe mashinostroenie.* 22, 110-116. [in Russian]

21. **Ando, T., & Shakouchi, T. (2004).** Flow characteristics over forward facing step and through abrupt contraction pipe and drag reduction. *Res. Rep. Fac. Eng. Mie Univ. 29*. 1-8. Retrieved from www.eng.mie-u.ac.jp/research/activities/29/29_1.pdf.

Profiling of sudden contraction of circular pipe by sharp-edged pipe insert

Vadym Orel, Bohdan Pitsyshyn, Tetiana Konyk

Abstract. Measures to reduce energy losses in pipeline transport systems must be implemented already at the design stage. In particular, this also applies to local resistances of pipelines. For symmetrical sudden pipe contraction, one of such measure is profiling using insert. The paper considers a sharp-edged pipe insert, which in comparison with others has larger areas of flow separation. The diameter of the insert was calculated as the arithmetic mean between the diameters forming the sudden pipe contraction. Using the methodology described in the literature, the contraction length ratio as the areas of influence between two symmetrical sudden contractions of a circular pipe during the flow of a single-phase turbulent flow of Newtonian fluid was investigated. The coefficient of mutual influence of these local resistances was determined by formulae for direct-flowing and non-direct-flowing locking devices, which simulated symmetrical and asymmetrical fluid flow after the constriction plane, respectively. The contraction rate from 0.064 to 0.696 inclusive are considered. According to the results of calculations, no mutual influence of two sudden contractions of circular pipe was found. This indicates the unsuitability of using formulae for locking devices in this methodology for determining the contraction length ratio. Therefore, to study this problem on the sudden pipe contraction with different contraction rates, it is proposed to conduct a physical experiment. In a mathematical experiment, you can use formulae to determine the following values: upstream recirculation length and downstream recirculation length; inlet length of cylindrical pipes with turbulized the flow devices; length of the velocity profile stabilization after local resistances.

Key words: sudden pipe contraction; contraction rate; coefficient of local resistance; sharp-edged pipe insert; contraction length ratio.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2021