

ПРО МЕТОДИКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ У НАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Олена Гіжа

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037
канд. техн. наук, доцент, gizha.oo@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4878-6850

DOI: 10.32347/2524-0021.2020.33.19-25

Анотація. При проведенні аналізу існуючих залежностей по розрахунку опорів у напірних трубопроводах при турбулентному режимі було виявлено суттєві недоліки цих рекомендацій. Було показано, що прийняті на даний момент розрахункові формули дають значні відхилення від експериментальних даних, що в свою чергу призводить до помилок у визначення гідравлічного коефіцієнта тертя (до 40%). Це говорить про неможливість застосування деяких загально прийнятих залежностей для визначення втрат напору, оскільки це також впливає на неточності у розрахунках пропускної здатності трубопроводів. Порівнюючи велику кількість експериментальних даних з існуючими розрахунковими залежностями і аналізуючи їхні недоліки, було запропоновано використовувати деякі базові фактори (такі, як гідравлічний коефіцієнт тертя у квадратичній області опору $\lambda_{\text{кв}}$ і відносне число Рейнольдса $Re/Re_{\text{кв}}$), які більш точно характеризують гідравлічний коефіцієнт тертя. А це суттєво позначається на точності визначення втрат напору. В роботі показано відповідні графіки для вказаних базових факторів і запропоновано аналітичні залежності для їхнього розрахунку для різних типів труб. Проведені дослідження характеризують новий підхід до визначення гідравлічних опорів в напірних трубопроводах, а удосконалена методика дозволяє більш точно розраховувати трубопроводи різного призначення при русі різних рідин з різною температурою.

Ключові слова: гідравлічний коефіцієнт тертя; втрати напору; відносне число Рейнольдса; базові фактори.

ВСТУП

При розрахунках напірних трубопроводів важливо правильно визначити гідравлічний коефіцієнт тертя (або втрати напору), що суттєво впливає на його пропускну здатність.

Існуючі рекомендації [1, 2, 3, 7, 8] дають значні розбіжності з експериментальними даними.

В роботах Ф.А. Шевелева [2, 3] наведено значний об'єм результатів експериментів по дослідженню опорів у різних

трубах (сталевих, азбестоцементних, чавунних). Але залишається ще багато нез'ясованих питань щодо гідравлічного коефіцієнта тертя, методів його визначення, розрахунків втрат напору і пропускної здатності трубопроводів.

На рис.1 показано результати експериментів Шевелева стосовно гідравлічного коефіцієнта тертя λ для азбестоцементних труб $D_1 = 50,7$ мм і $D_2 = 141,3$ мм, а також нових чавунних труб (рис. 2) для $D_2 = 301$ мм.

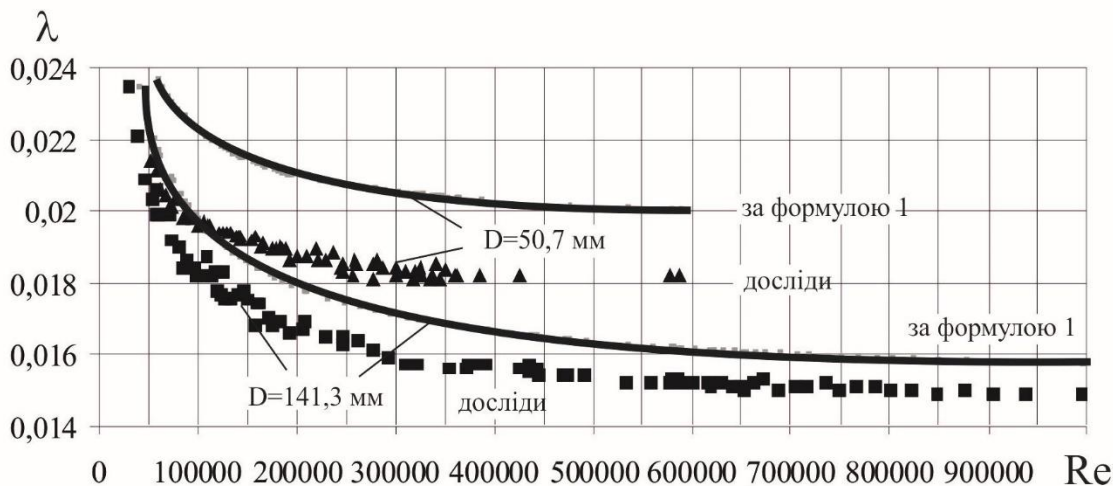


Рис. 1. Значення λ для азбестоцементних труб ($\Delta_{\text{екв}} = 0,05\text{мм}$) с діаметрами $D_1 = 50,7\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 343328$) і $D_2 = 141,3\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 842535$)

Fig. 1. Values λ for asbestos-cement pipes ($\Delta_{\text{екв}} = 0,05\text{ мм}$) with diameters $D_1 = 50,7\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 343328$) and $D_2 = 141,3\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 842535$)

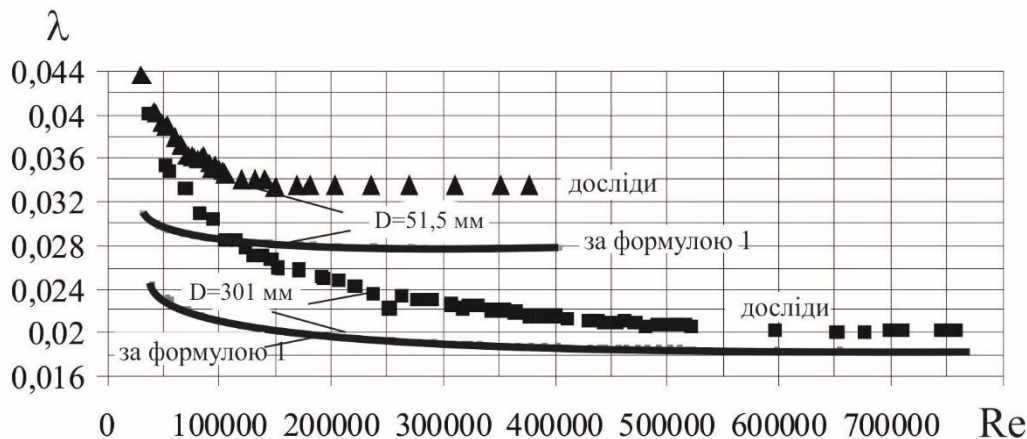


Рис. 2. Значення λ для чавунних труб ($\Delta_{\text{екв}} = 0,2\text{ мм}$) с діаметрами $D_1 = 51,5\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 146950$) і $D_2 = 301\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 681529$)

Fig. 2. Values λ for cast iron pipes ($\Delta_{\text{екв}} = 0,2\text{ мм}$) with diameters $D_1 = 51,5\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 146950$) and $D_2 = 301\text{ мм}$ ($Re_{\text{кв}} = 681529$)

На графіках $\lambda = f(Re)$ поряд з дослідними точками Шевелєва показана для порівняння крива 1, що побудована за формулою А.Д. Альтшуля [1] для перехідної області опорів

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{екв}}}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (1)$$

В цій формулі значення відносної еквівалентної шорсткості $\Delta_{\text{екв}}/D$ при відомих з дослідів значеннях $\lambda_{\text{кв}}$ у квадратичній області опору були визначені за формулою Б.Л. Шифрінсона [1]

$$\lambda_{\text{кв}} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{екв}}}{D} \right)^{0,25} \quad (2)$$

де $\Delta_{\text{екв}}$ – еквівалентна шорсткість труби у цих формулах, значення якої для різних труб можуть змінюватися у дуже великому діапазоні і це призводить до помилок до 40...45% у визначенні λ .

Аналіз показує, що формули (1) і (2) для чавунних труб (рис. 2) призводять до занижених значень λ у квадратичній області до 17% для труб $D_1 = 51,5\text{ мм}$ і до 10% для труб $D_2 = 301\text{ мм}$. Ще більші

відхилення спостерігаються у перехідній області опорів. Це говорить про фактично неможливість застосування формули Альтшуля для чавунних труб.

Що стосується азбестоцементних труб (рис. 1), то формули (1) і (2), навпаки призводять до завищених значень λ (до 10%) у квадратичній області і трохи менше – у перехідній.

В роботах [5, 6] було показано, що в перехідній області опору втрати напору залежать не від абсолютних чисел Рейнольдса і деяких числових коефіцієнтів [1, 2, 3], а від гідравлічного коефіцієнта тертя у квадратичній області $\lambda_{\text{кв}}$ і відношення числа Re до його значення у квадратичній області, тобто $\frac{Re}{Re_{\text{кв}}}$.

Таким чином, можна вважати, що параметри $\lambda_{\text{кв}}$ і $Re_{\text{кв}}$ є базовими факторами, які більш точно описують гідравлічний коефіцієнт тертя, а вказані раніше формули Альтшуля, Шевелєва та інші не враховують цього, що суттєво позначається на точності визначення втрат напору.

На основі відповідної обробки експериментальних даних для різних типів труб і запропоновану методику було отримано розрахункові залежності $\lambda = f(D)$ (рис. 3) і $Re = f(D)$ (рис. 4) у вигляді

$$\lambda_{\text{кв}} = \frac{K}{D^\tau}, \quad (3)$$

$$Re_{\text{кв}} = ND^\eta, \quad (4)$$

де параметри K , τ , N і η залежать від матеріалу труби наводяться у таблиці 1.

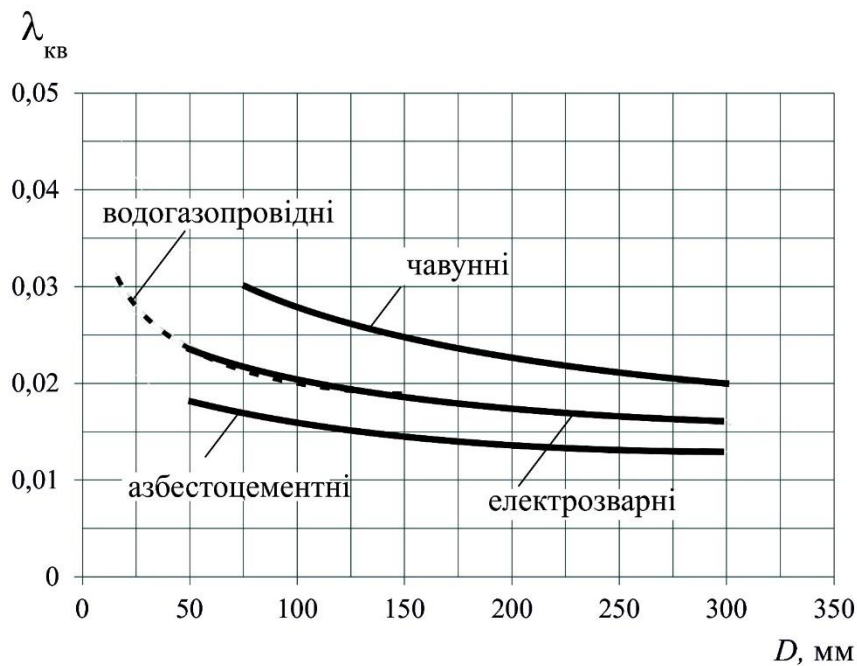


Рис. 3. Розрахункові графіки $\lambda_{\text{кв}} = f(D)$ для труб з різних матеріалів

Fig. 3. Estimated graphs $\lambda_{\text{кв}} = f(D)$ for pipes of different materials

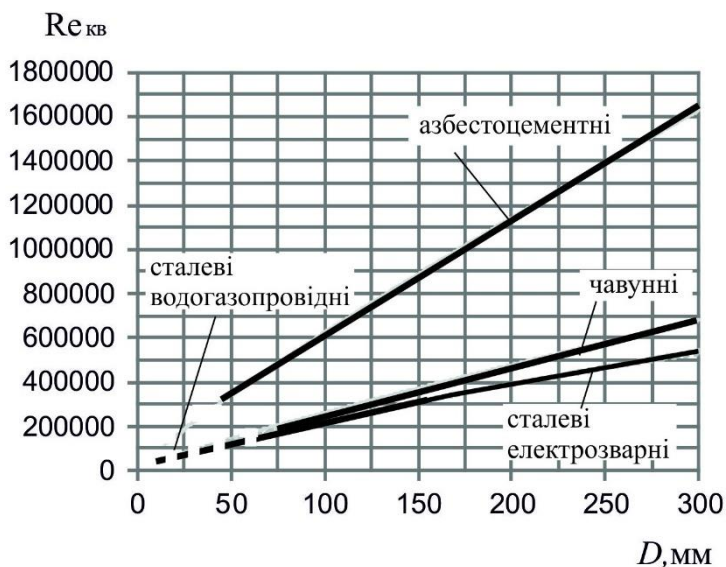


Рис. 4. Розрахункові графіки $Re_{kv} = f(D)$ для різних типів труб

Fig. 4. Calculation graphs $Re_{kv} = f(D)$ for different types of pipes

Таблиця 1. Значення параметрів K, τ, N, η залежно від матеріалу труби

Table 1. The values of the parameters K, τ, N, η depending on the material of the pipe

Тип труб	K	τ	N	η
Сталеві водогазопровідні	0,0597	0,2337	5112	0,819
Сталеві електрозварні	0,053	0,2076	7315	0,75
Чавунні	0,1036	0,2864	4782	0,869
Азбестоцементні	0,0384	0,191	11017	0,876

Дослідні дані щодо визначення λ оброблялися згідно з методикою, що викладена у роботі [5], і показані у вигляді

$$\lambda = \lambda_{kv} A \left(\frac{Re}{Re_{kv}} \right)^B, \quad (5)$$

Коефіцієнти A і B показані у роботі [5]. Встановлено, що для кожного типу труб ці величини є сталими.

В якості прикладу на рис. 5 представлено результати експериментів [2, 3] для азбестоцементних труб різних діаметрів поряд із кривими, які підраховані за формулою (5).

З графіків бачимо, що базові фактори λ_{kv} і Re_{kv} та формула (5) цілком ґрунтовно описують особливості зміни

гідравлічного коефіцієнта тертя в залежності від відносного числа Рейнольдса. Наведені в літературі формули цього не враховують і тому дають суттєві помилки у розрахунках.

Слід підкреслити також, що при $Re < Re_{kv}$ у перехідній області опору гідравлічний коефіцієнт тертя можна визначати за залежністю

$$\lambda = k_{п} \lambda_{kv}, \quad (6)$$

де $k_{п}$ – коефіцієнт збільшення λ у перехідній області, що дорівнює

$$k_{п} = A \cdot \left(\frac{Re}{Re_{kv}} \right)^B. \quad (7)$$

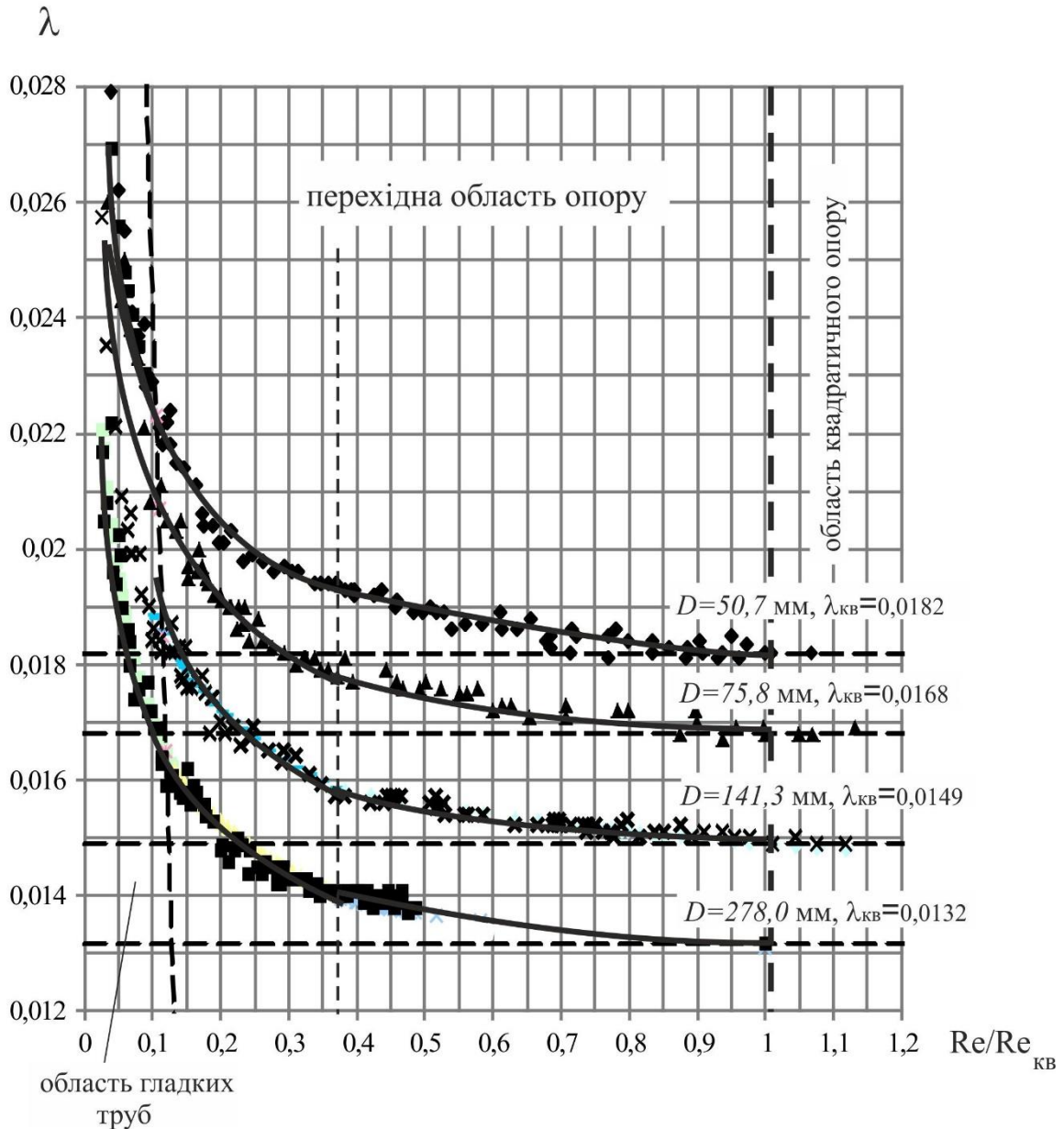


Рис. 5. Залежності $\lambda = f(Re/Re_{кв})$ за формулою (7) і дані експериментів для азбестоцементних труб $D = 50,7$ мм (\blacklozenge), $D = 75,8$ мм (\blacktriangle), $D = 141,3$ мм (\blacktimes), $D = 278,0$ мм (\blacksquare)

Fig. 5. Dependencies $\lambda = f(Re/Re_{кв})$ according to formula (7) and experimental data for asbestos-cement pipes $D = 50,7$ мм (\blacklozenge), $D = 75,8$ мм (\blacktriangle), $D = 141,3$ мм (\blacktimes), $D = 278,0$ мм (\blacksquare)

Для труб сталевих водогазопровідних і електрозварних та азбестоцементних k_n майже однаковий і тому можна використовувати усереднені значення, які показані у [5]. Що стосується чавунних труб, то у цьому випадку значення k_n є значно більшими.

У гідравлічній літературі не наводяться дані експериментів щодо вивчення гідравлічних опорів для інших типів

труб. Але згідно із пропозиціями [2, 3], характер опорів для деяких інших труб є подібним до опорів в азбестоцементних трубах. Тоді у формулу (6) слід додавати ще коефіцієнт, тобто $k'_n = \theta k_n$.

Для металевих труб з внутрішнім полімерним покриттям, що нанесено методом центрифугування $\theta = 1$.

Для труб залізобетонних центрифугуваних і металевих з внутрішнім

цементнопіщаним покриттям, що нанесено методом центрифугування, $\theta = 1,26$.

Для залізобетонних віброгідропресованих труб, а також для металевих з внутрішнім полімерним покриттям, що нанесено методом набризгування з загладжуванням, $\theta = 1,43$.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Запропоновано нову методику розрахунку гідравлічного коефіцієнта тертя у різних трубопроводах, що базується на базових факторах $\lambda_{\text{кв}}$ і $Re_{\text{кв}}$, які більш ґрунтовно описують гідравлічний коефіцієнт тертя і краще відповідають експериментальним даним. Це може бути використано у системах промислового і комунального водопостачання при розрахунках труб.

Для визначення узагальнених більш точних рекомендацій пропонується проводити експериментальні дослідження для труб із інших матеріалів, враховуючи різну шорсткість та внутрішнє покриття трубопроводів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М.: «Недра», 1982. 224 с.
2. Шевелев Ф. А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. М.: «Госстройиздат», 1953. – 208 с.
3. Шевелев Ф. А. Гидравлический расчет асбестоцементных труб. М.: Госстройиздат, 1954. 68 с.
4. Шевелев Ф. А., Шевелев А. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. М.: ООО «Бастет», 2007. 350 с.
5. Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Сучасний підхід до визначення гідравлічних опорів в трубопроводах / Ю. М. Константинов, О. О. Гіжа// Наук.-техн. зб. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки». К.; КНУБА, 2013, вип. 21. С. 155-164.

6. Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Розрахунки напірних трубопроводів за швидкісними і витратними характеристиками / Ю. М. Константинов, О. О. Гіжа// Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА, 2015, вип. 25. С. 104-112.
7. Piquet J. Mécanique des Fluides Appliquée. By P. L. Viollet, J. P. Chabard, P. Esposito & D. Laurence. *Journal of Fluid Mechanics*, 2000, 413. P. 379-381.
8. Hager W. H. *Wastewater hydraulics: theory and practice*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
9. Lencastre A. *Hydraulique générale*. Edition Eyrolles, Paris, 1996. 633.

REFERENCES

1. Altshul A. D. (1982). *Hydraulic resistance*. Moscow: Nedra [in Russian].
2. Shevelev F. A. (1953). *Study of the basic hydraulic laws of turbulent motion in pipes*. Moscow: Gosstroyizdat [in Russian].
3. Shevelev F. A. (1954). *Hydraulic calculation of asbestos-cement pipes*. Moscow: Gosstroyizdat [in Russian].
4. Shevelev F. A., & Shevelev A. A. (2007). *Tables for hydraulic calculation of water pipes*. Moscow: LLC "Bastet" [in Russian].
5. Konstantinov Yu. M., & Gizha O. O. (2013). The modern approach to determining hydraulic resistance in pipelines. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 21, 155-164. [in Ukrainian].
6. Konstantinov Yu. M., & Gizha O. O. (2015). Calculations of pressure pipelines for speed and consumable characteristics. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 25, 104-112. [in Ukrainian].
7. Piquet J. (2000). *Mécanique des Fluides Appliquée*. By P. L. Viollet, J. P. Chabard, P. Esposito & D. Laurence. *Journal of Fluid Mechanics*, 413, 379-381. doi:10.1017/s0022112000008739.
8. Hager W. H. (2010). *Wastewater hydraulics: theory and practice*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-11383-3.
9. Lencastre A. (1996). *Hydraulique générale*. Edition Eyrolles, Paris.

**About the method of research of hydraulic coefficients
friction in pressure pipelines**

Olena Gizha

Abstract. When analyzing the existing dependences for the calculation of resistances in pressure pipelines in turbulent mode, significant shortcomings of these recommendations were identified.

It was shown that the currently accepted calculation formulas give significant deviations from the experimental data, which in turn leads to errors in determining the hydraulic coefficient of friction (up to 40%). This indicates the impossibility of using some common dependencies to determine the pressure loss, as it also affects the inaccuracies in the calculations of pipeline capacity.

Comparing a large amount of experimental data with existing design dependencies and analyzing their shortcomings, it was proposed to use some basic factors (such as hydraulic coefficient of friction in the quadratic resistance region λ_{sq} and the relative Reynolds number Re/Re_{sq}) that more accurately characterize the hydraulic coefficient of friction. And this significantly affects the accuracy of determining the pressure loss. The paper shows the corresponding graphs for these basic factors and proposes analytical dependences for their calculation for different types of pipes.

The conducted research characterizes a new approach to determination of hydraulic resistances in pressure pipelines, and the improved technique allows to calculate more precisely pipelines of different function at movement of different liquids with different temperature.

Keywords: hydraulic coefficient of friction; pressure loss; Reynolds relative number; basic factors.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2020