

Коефіцієнт гідравлічного опору в трубах з однорідною зернистою шорсткістю

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.064>

Любов Волк

Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки
 Національний університет водного господарства та природокористування
 м. Рівне, Україна
l.r.volk@nuwm.edu.ua

Олександр Безусяк

Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки
 Національний університет водного господарства та природокористування
 м. Рівне, Україна
o.v.bezusyak@nuwm.edu.ua

Анотація—Представлено теоретичні дослідження коефіцієнта гідравлічного опору в трубах з однорідною зернистою шорсткістю. Результати дадуть змогу удосконалити залежності для практичних розрахунків трубопроводів.

Ключові слова—область доквадратичного опору; коефіцієнт гідравлічного опору.

I. ВСТУП

Гідравлічний розрахунок трубопроводу, зазвичай, проводиться для визначення втрат напору та економічного діаметра труб при заданій витраті рідини.

Коефіцієнт гідравлічного опору в координатах $lg(100\lambda) = f(lg Re)$ в залежності від діючих факторів та гідравлічного режиму в межах виділених областей приймає різні значення. Для визначення закономірностей впливу основних діючих факторів, в межах існуючих областей, на значення коефіцієнта гідравлічного опору, вітчизняними та зарубіжними вченими виконано великий обсяг експериментальних та теоретичних досліджень. Але загальної формули для визначення коефіцієнта гідравлічного опору λ на даний час не існує [1-5].

У 1932-33 рр. Й. Нікурадзе дослідив на гідравлічних установках вплив числа Рейнольдса на коефіцієнт гідравлічного опору в трубах з однорідною зернистою шорсткістю та в гідравлічно гладких трубах [2, 3]. Результати його дослідів з однорідною зернистою шорсткістю приведено на рисунку 1 у вигляді графіків в координатах $lg(100\lambda) = f(lg Re, r_0/k)$. Цінність цього рисунка, який називають графіком Нікурадзе, полягає в тому, що на ньому наглядно видно межі розташування ламінарного й турбулентного режимів та області гідравлічно-гладкого, доквадратичного та квадратичного опорів й зміну коефіцієнта гідравлічного опору в межах кожної області.

При ламінарному режимі коефіцієнт гідравлічного опору в координатах $lg(100\lambda) = f(lg Re)$ виражається графіком прямої лінії (рис. 1).

Залежність для визначення коефіцієнта гідравлічного опору

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1)$$

Ця залежність справедлива тільки при $Re \leq 2320$, тобто вона відповідає лінії ламінарного режиму (рис. 1). В звичайних координатах має форму гіперболи, а в логарифмічних – відображає пряму лінію.

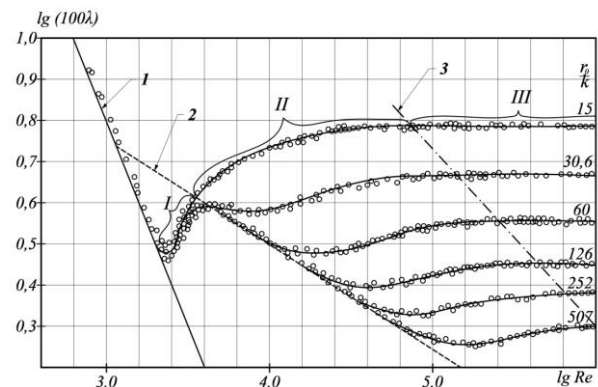


Рисунок 1. Графіки залежності коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса та гладкості внутрішньої поверхні трубопроводів (за даними Й. Нікурадзе): 1 – ламінарний режим руху потоку; 2 – область гідравлічно гладкого опору (Г. Блазіусе); 3 – межа між областями доквадратичного та квадратичного опорів; I – перехідна область між ламінарним режимом потоку та областю гідравлічно гладкого опору; II – область доквадратичного опору; III – область квадратичного опору

При турбулентному режимі рідина рухається на багато швидше, ніж при ламінарному. Це призводить до виникнення значних градієнтів швидкості між суміжними шарами потоку турбулентного ядра, що сприяє створенню вихрового руху рідини, й призводить до зростання гідравлічних опорів, якими при ламінарному режимі можна було знехтувати.

При турбулентному режимі руху рідини між турбулентним ядром потоку і внутрішньою поверхнею трубопроводу існує ламінарний шар. При цьому товщина ламінарного шару загального потоку більша висоти виступів шорсткості. В цьому випадку шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу майже не впливає на характер руху

турбулентного ядра і, відповідно, втрати напору не залежать від шорсткості.

Вітчизняними й зарубіжними вченими виконано великий об'єм експериментальних й теоретичних досліджень з метою отримання розрахункових формул для визначення коефіцієнта гідравлічного опору в залежності від основних діючих факторів.

II. МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ

Предметом наших теоретичних досліджень є отримання загальної математичної моделі для визначення коефіцієнта гідравлічного опору при турбулентному режимі.

Для розробки загального методу кількісного врахування втрат напору в потоці реальної рідини необхідно виявити залежність сил тертя на внутрішній поверхні стінки труби від основних діючих факторів. Такими основними факторами є густина рідини ρ , динамічна в'язкість μ , гідравлічний радіус потоку R , осереднена висота виступів шорсткості k та середня швидкість потоку \bar{u} .

III. РЕЗУЛЬТАТИ

Трубопроводи працюють при турбулентному режимі здебільшого в області доквадратичного опору. Але на даний час для труб з однорідною зернистою шорсткістю розрахункова залежність коефіцієнта гідравлічного опору для цієї області відсутня.

При візуальному аналізі графіків, які характеризують залежність коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса в межах доквадратичної області (рис. 1), очевидним є те, що між ними існує геометрична подібність. Це можна пояснюється тим, що технологія створення внутрішньої поверхні в цих трубах була однаковою. Вона в кожному випадку створювалась шляхом покриття її піском прийнятого діаметру [3]. При цьому в якості характеристики гладкості внутрішньої поверхні труб Й. Нікурадзе прийняв відношення геометричних величин r_0/k . З рисунка 1 видно, що відношення r_0/k й число Рейнольдса Re однозначно визначають форму і положення графіків $lg(100\lambda) = f(r_0/k, lg Re)$. При цьому необхідно зауважити, що дослідження Й. Нікурадзе

виконував на трубах різного діаметру і з різною середньою висотою виступів шорсткості k .

Всі графіки $lg(100\lambda) = f(r_0/k, lg Re)$ в області доквадратичного опору, окрім графіка з гладкістю труби $r_0/k = 15$, мають подібну форму й складаються з двох ділянок. Перша ділянка має увігнуту форму, а друга – випуклу. Початок кожного графіка відповідає стану потоку, при якому відбувається його перехід з гідравлічно-гладкого опору в доквадратичний.

При подальшому збільшенні числа Рейнольдса графік зростає й досягає свого максимального положення в точці з числом Рейнольдса $Re_{кв}$, яка відповідає переходу стану потоку з доквадратичного опору в квадратичний. Коефіцієнт гідравлічного опору $\lambda_{кв}$ при цьому стані потоку визначається в залежності від гладкості внутрішньої поверхні труби r_0/k за рівнянням Л. Прандтля

Для отримання загального методу кількісного врахування втрат напору в потоці реальної рідини на основі методу аналізу розмірностей, встановлено математичні залежності сил тертя на внутрішній поверхні стінки труби від основних діючих факторів, а саме шорсткості внутрішньої поверхні труби k/r_0 й ступеню турбулентності потоку, який визначається числом Рейнольдса. Результати дадуть змогу удосконалити залежності для практичних розрахунків трубопроводів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Хлапук М. М., Безусьяк О. В., Волк Л. Р. та ін. Теоретичні дослідження коефіцієнта гідравлічного опору в гідравлічно гладких трубопроводах. Вісник НУВГП. Технічні науки: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 4(92). С. 23–36.
- [2] Волк Л.Р., Безусьяк О.В. та ін. Удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем. Меліорація і водне господарство. 2021. Вип. 1. С. 98–106.
- [3] J. Nikuradse, "Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren," Forsch. Arb. Ing. Wes, vol. 356, 1932, pp. 1–36.
- [4] J. Nikuradse, "Strömungsgesetze in rauchen Röhren," Forsch. Ver. Dtsch. Ing, vol. 361, 1933, pp. 1–63.
- [5] M. Khlapuk, O. Bezusyak, L. Volk, and Z. Zhang. "Theoretical research of friction factor in hydraulically smooth pipes," Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (Kryvyi Rih, ICSF 2021). Vol. 280, 2021. pp. 1–6.