

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКУ РІДИНИ

В. Є. ВАСИЛЕНКОВ, кандидат технічних наук

А. В. ЧУПРИНА, студент магістратури

e-mail: wasil14@ukr.net

***Анотація.** Досліджено енергетичні характеристики потоку рідини з побудовою лінії питомої потенційної і повної питомої енергії потоку при напірному русі рідини в трубопроводі змінного поперечного перерізу.*

***Ключові слова:** потік рідини, енергія потоку, п'єзометрична лінія, напірний рух рідини, питома енергія*

При вивченні течії рідин у каналах чи трубопроводах важливою є не лише залежність швидкості потоку від площі живого перерізу, але й зв'язок між швидкістю та тиском у потоці. Зв'язок між цими величинами встановлюється за рівнянням Д. Бернуллі, основним рівнянням енергетичної оцінки потоку рухомої рідини. В усіх випадках руху обмежених твердими стінками рідин або газів у потоці, руху твердого тіла в рідині або газі та інших технічних задачах рівняння Бернуллі незмінно пояснює характер руху й дає змогу одержати основні статичні, кінематичні та динамічні параметри потоку або тіла, що рухається [1, 2].

Для двох перерізів потоку в'язкої реальної рідини при усталеному стаціонарному плавномітному русі рівняння Д. Бернуллі має вигляд:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V^2_1}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V^2_2}{2g} + h_v \quad (1)$$

де z – відстань від центру тяжіння перерізу до площини порівняння;

p – тиск;

ρ – густина рідини;

g – прискорення вільного падіння;

α – коефіцієнт Коріоліса;

V – середня швидкість потоку в перерізі;

h_v – втрати питомої енергії.

Рівняння (1) застосовується для розв'язання практичних задач за умов:

а) рух рідини повинен бути усталеним;

б) потік повинен бути плавноміливим, безінерційним і безвихровим;

в) рух рідини здійснюється без енергообміну із зовнішнім середовищем.

Заслуговує на увагу розгляд геометричного (гідравлічного) й енергетичного (фізичного) змісту всіх складових рівняння, що дасть відповідь на енергетичні характеристики потоку рідини [3].

Мета досліджень – визначення енергетичних характеристик потоку рідини з використанням рівняння Бернуллі.

Матеріали і методика досліджень. Рух рідини в трубопроводі змінного перерізу. Графічне зображення членів рівняння Бернуллі.

Результати досліджень. Графічне зображення членів рівняння Бернуллі показано на рисунку.

Геометрична (гідравлічна) інтерпретація рівняння Бернуллі

Сума трьох складових рівняння, як і кожна складова окремо, має лінійну розмірність метр. Ця сума H стала й називається повною висотою або повним напором.

Перша складова z – висота положення центра тяжіння перерізу, що розглядається, до вибраної горизонтальної площини порівняння. Якщо трубопровід виготовлений із прозорого матеріалу, за цю площину зручно прийняти вільну поверхню води при частковому його заповненні. Друга складова $\frac{P}{\rho g}$ – п'езометрична висота. Сума цих двох висот $\left(z + \frac{P}{\rho g} \right)$ –

п'езометричний або статичний напір. Третя складова $-\frac{\alpha V^2}{2g}$ – швидкісний

напір, де α – коефіцієнт Коріоліса, який враховує нерівномірність розподілу швидкості по живому перерізу потоку. Він завжди більший за одиницю, але для спрощення з допустимою похибкою при вирішенні інженерних задач, може бути прийнятим рівним одиниці. При звуженні потоку збільшується швидкість руху v , як наслідок, швидкісний напір. Це призводить до зменшення п'езометричної висоти (а отже, і гідродинамічного тиску) та зниження п'езометричної лінії. Розширення потоку, навпаки – зменшує швидкість і швидкісний напір, тиск же і п'езометрична висота збільшуються, а п'езометрична лінія зростає. Це явище широко використовується в техніці. На ньому заснована робота інжекторів, ежекторів, гідроелеваторів та інших пристроїв.

Під час руху нев'язкої (ідеальної) рідини лінія повного гідродинамічного напору H буде горизонтальною. Лінія, що з'єднує рівні п'езометричного напору, називається п'езометричною лінією.

Під час руху в'язкої (реальної) рідини повний гідродинамічний напір, вздовж потоку завжди буде зменшуватись, оскільки частина напору втрачається на подолання опору сил в'язкості рідини і сил тертя об стінки, а лінія повного напору буде знижуватися.

П'езометричний, швидкісний і повний напір можна виміряти за допомогою трубки Піто-Прандтля. П'езометрична висота визначається за рівнем рідини в п'езометрі, а швидкісний напір – різницею рівнів у трубці Піто та п'езометричній трубці.

Під час руху в'язкої (реальної) рідини повний гідродинамічний напір, вздовж потоку завжди буде зменшуватись, оскільки частина напору втрачається на подолання опору сил в'язкості рідини і сил тертя об стінки, а лінія повного напору буде знижуватися.

П'езометричний, швидкісний і повний напір можна виміряти за допомогою трубки Піто-Прандтля. П'езометрична висота визначається за

рівнем рідини в п'єзометрі, а швидкісний напір – різницею рівнів у трубці Піто та п'єзометричній трубці.

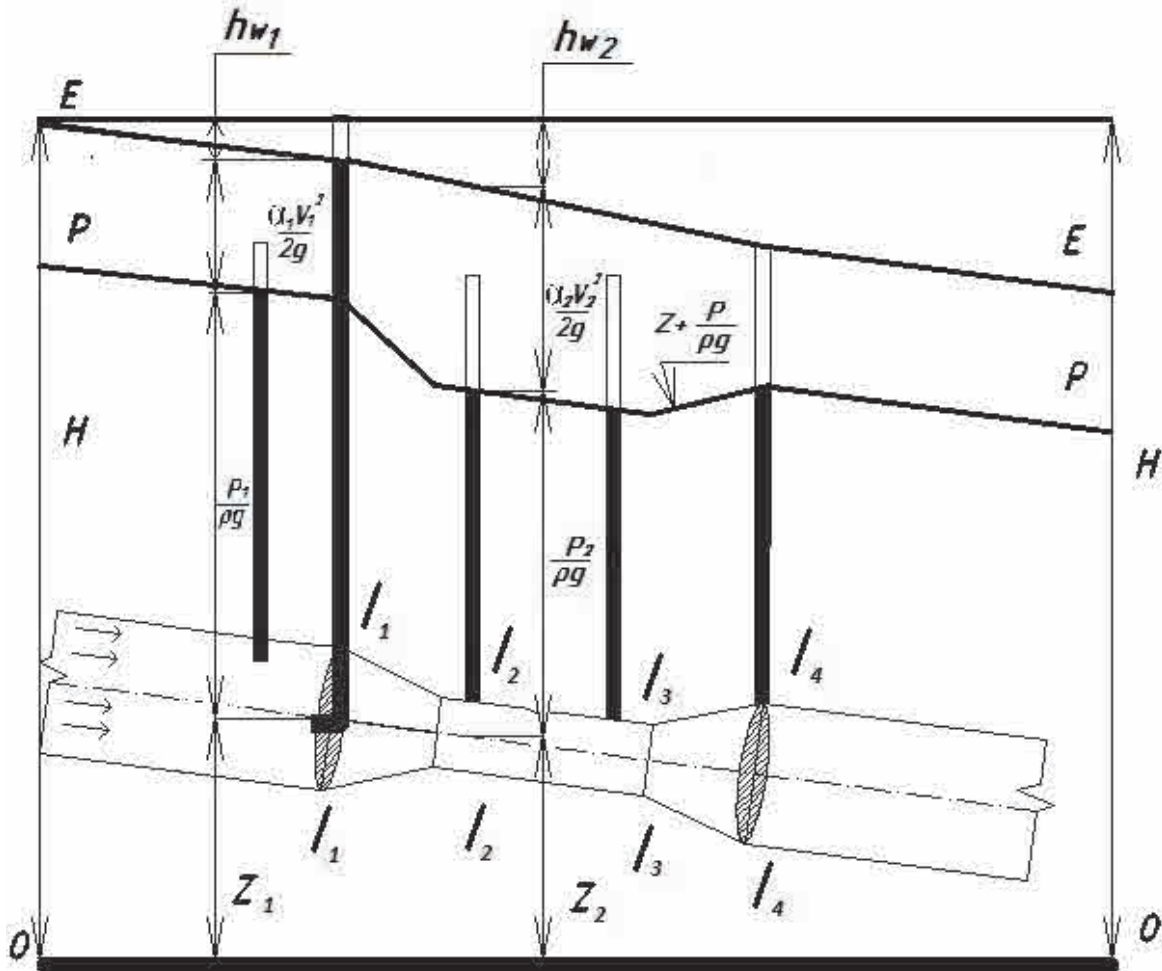


Схема до рівняння Бернуллі

Слід відзначити, що різниця рівнів у трубках являє собою швидкісний напір не за середньою швидкістю потоку $\frac{V^2}{2g}$, а за осередненою миттєвою максимальною швидкістю $\frac{U_{MAX}^2}{2g}$ оскільки приймачі п'єзометра і трубки Піто встановлені на осі робочої ділянки прямокутного трубопроводу, де миттєва швидкість має максимальне значення U_{MAX} .

Енергетичне тлумачення рівняння Бернуллі

З енергетичної точки зору, складові рівняння означають:

z – питома (що відноситься до одиниці маси) потенційна енергія положення ;

$\frac{P}{\rho g}$ – питома потенційна енергія тиску;

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ – питома кінетична енергія;

$Z + \frac{P}{\rho g}$ – питома потенційна енергія рідини в перерізі потоку, що розглядається.

Сума всіх трьох складових $\left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)$ і є повна питома енергія рідини в даному перерізі.

З енергетичної точки зору, лінія $E - E$ (рис.1) називається лінією повної питомої енергії, а лінія $P - P$ лінією питомої потенційної енергії.

При досягненні достатньо великої швидкості, наприклад, за рахунок звуження живого перерізу потоку, тиск може знизитися настільки, що виявиться меншим за атмосферний, і в трубопроводі за наявності отвору, буде засмоктуватися навколишнє повітря.

Зменшення повної питомої енергії (повного напору), віднесене до довжини ділянки, на якій відбувається її зменшення, називається середнім гідравлічним ухилом, тобто

$$I_{I_B} = \frac{E_1 - E_2}{L_{B1-2}} = \frac{h_{V(1-2)}}{L_{1-2}} \quad (2)$$

де E_1 і E_2 – повна питома енергія потоку відповідно в перерізах 1 і 2;

$h_{V(1-2)}$ – втрати напору (енергії) між перерізами 1 і 2 ;

L_{1-2} – довжина ділянки між перерізами 1 і 2.

Для реальної рідини втрат напору при її русі неможливо уникнути, отже, гідравлічний ухил завжди буде зі знаком плюс.

Зменшення питомої потенційної енергії (п'єзометричного напору), віднесене до довжини ділянки, на якій відбувається це зменшення, називається середнім п'єзометричним ухилом:

$$I_P = \frac{\left(z + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z + \frac{P_2}{\rho g} \right)}{L_{1-2}}, \quad (3)$$

Оскільки п'єзометрична лінія може знижуватись (при збільшенні швидкості) або підвищуватись (при зменшенні швидкості потоку), то п'єзометричний ухил може бути, відповідно, додатним (рис.1, перерізи 1-1 і 2-2) або від'ємним (перерізи 3-3 і 4-4).

Якщо середня швидкість на ділянці, що розглядається, не змінюється, то напірна і п'єзометрична лінії будуть паралельні, а гідравлічний ухил дорівнюватиме п'єзометричному ($I_c = I_p$).

Висновки

Отримані енергетичні характеристики потоку рідини, а саме: п'єзометрична лінія (лінія питомої потенційної енергії) побудована за показами п'єзометрів, а також лінія повного напору (повної питомої енергії), яка підрахована за середньою та максимальною швидкостями і будуть лежати вище п'єзометричної лінії на величину відповідних швидкісних напорів. На ділянках, де живий переріз трубопроводу не змінюється, величина швидкісного напору постійна, п'єзометрична лінія буде

паралельною до лінії повного напору. При звуженні трубопроводу швидкість і швидкісний напір збільшуються, а при розширенні – зменшуються (потенційна енергія потоку переходить у кінетичну та навпаки). Лінія повного напору може тільки знижуватись, оскільки при русі реальної рідини завжди будуть втрати напору.

Список літератури

1. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Найманов А. Я. Водоснабжение / Найманов А. Я., Никиша С. Б. – Донецк : Норд-прес, 2004. – 649 с.
3. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко. – К. : Кондор, 2009. – 288 с.
4. Тугай А. М. Водопостачання та водовідведення : підруч. / Тугай А. М., Орлов В. О., Орлова А. М. – К. : Знання, 2011. – 359 с.

References

1. Zapolskyi, A. K. (2005). Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody. [Water supply, sanitation and water quality]. Kyiv: Vyshcha shkola, 671.
2. Naymanov, A. Y., Nikisha, S. B. (2004). Vodosnabzheniye [Water supply]. Donetsk: Nord-pres, 649.
3. Kravchenko, V. S. (2009). Vodopostachannya ta kanalizatsiya [Water supply and sewerage]. Kyiv.: Kondor, 288.
4. Tuhai, A. M., Orlov, V. O., Orlova, A. M. (2011). Vodopostachannya ta vodovidvedennya: pidruchnyk [Water and wastewater]. Kyiv: Znannia, 359.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ЖИДКОСТИ

**В. Е. Василенков,
А. В. Чуприна**

Аннотация. *Исследованы энергетические характеристики потока жидкости с построением линии удельной потенциальной и полной удельной энергии потока при напорном движении жидкости в трубопроводе переменного поперечного сечения.*

Ключевые слова: *поток жидкости, энергия потока, пьезометрическая линия, напорное движение жидкости, удельная энергия*

STUDY OF ENERGY CHARACTERISTICS OF FLUID FLOW

**V. Vasilenkov,
A. Chuprina**

Abstract. *Investigations of energy from the fluid flow characteristics of the specific construction of the line and the total specific flow of energy when the pressure fluid flows in the conduit with a variable cross section.*

Keywords: *fluid flow, energy flow, piezometric line, pressurized fluid motion, specific energy*