

## ПРИКЛАДИ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ НАПІРНИХ ЗБІРНИХ І РОЗПОДІЛЬЧИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Андрій Кравчук<sup>1</sup>, Ольга Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037  
докт. техн. наук, професор, [kravchuk.am@kpi.ua](mailto:kravchuk.am@kpi.ua), [orcid.org/0000-0001-8732-9244](https://orcid.org/0000-0001-8732-9244)

<sup>2</sup>Національний транспортний університет  
1, вул. М. Омеляновича-Павленка, м. Київ, Україна, 01010  
[olgakravchuk56@gmail.com](mailto:olgakravchuk56@gmail.com), [orcid.org/0000-0003-2616-5455](https://orcid.org/0000-0003-2616-5455)

DOI: 10.32347/2524-0021.2018.30.31-35

**Анотація.** В даній роботі наведено приклади детального інженерного розрахунку напірних збірних і розподільчих перфорованих трубопроводів постійного діаметра з постійною за довжиною інтенсивністю перфорації бічних стінок. Розрахункові залежності, що пропонуються, отримані авторами на основі розв'язку системи вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в напірних каналах і умови проходження рідини через їх бічні стінки. В якості першого рівняння використовується диференціальне рівняння руху рідини зі змінною масою. В якості другого – рівняння нерозривності у формі рівняння витікання рідини через отвори або щілини перфорації. В першому прикладі розглянуто розрахунок збірних трубопроводів, які працюють з приєднанням рідини вздовж шляху. В другому – розподільчих труб, які роздають рідину через свою бічну поверхню. Запропоновані методики можна використовувати для розрахунку коротких, довгих труб і труб проміжної довжини. В результаті розрахунків знаходять витрати і напори в довільних перерізах труб. Окрім цього дані методики дозволяють визначити геометричні характеристики елементів розглядуваних труб (діаметр та довжину каналу, діаметр і кількість отворів перфорації), які зможуть забезпечити оптимальний технологічно заданий режим збору або розподілу рідини. В запропонованих методиках широко використані результати експериментальних досліджень роботи таких труб, виконаних особисто авторами. А саме, досить прості і зручні в користуванні емпіричні залежності, допоміжні графіки і таблиці для визначення величини гідравлічного коефіцієнта тертя і коефіцієнта витрати отворів перфорації для випадку руху рідини зі змінною витратою вздовж шляху. Результати розрахунків добре співпадають з існуючими експериментальними даними.

**Ключові слова:** витрата рідини; перфорований трубопровід; гідравлічний коефіцієнт тертя; коефіцієнт опору.

### ВСТУП

В даній роботі розглянуто конкретні розрахунки напірних перфорованих труб, що працюють без транзиту, мають незмінний діаметр і постійну інтенсивність перфорації своєї бічної поверхні. Такі труби широко використовуються для збору і розподілу води в очисних спорудах водопостачання та водовідведення таких як фільтри, відстійники, освітлювачі та ін.

### МЕТА І МЕТОДИ

Мета роботи дати проектантам приклад конкретних розрахунків збірних і розподільчих перфорованих трубопроводів, які працюють зі змінною витратою вздовж шляху. Методики розрахунку, які використані в даному випадку, розроблені нами раніше в роботах [1,2,3] при детальному аналізі вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рі-

дини зі змінною витратою вздовж шляху.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

### Збірні трубопроводи

**Приклад.** Розрахувати збірний сталевий трубопровід ( $\lambda_o = 0,022$ ) довжиною  $l = 5,0$  м для відводу води з резервуару з витратою в його кінцевому перерізі  $Q_k = 0,0131 \text{ м}^3/\text{с}$ . Глибина занурення труби під поверхнею води в резервуарі  $H_p = 1,5$  м, перепад напорів в кінці збірника  $z_k = 0,5$  м. Показник рівномірності збору води, який повинен забезпечуватися  $\chi = 0,8$ . Допустима швидкість в кінцевому перерізі збірника  $V_d \geq 1,2 \text{ м/с}$ . Діаметр отворів перфорації прийняти  $d_0 = 0,01$  м.

**Розрахунок.** При відомій витраті  $Q_k$  і допустимій швидкості  $V_d$  знаходимо діаметр трубопроводу:

$$D = 1,13 \sqrt{Q_k / V_d} = 1,13 \sqrt{0,0131 / 1,2} = 0,118 \text{ м.}$$

Приймаємо для встановлення найближчий найменший стандартний діаметр сталевого трубопроводу  $D = 0,1$  м. При цьому дійсна швидкість на виході з труби буде

$$V_k = 4Q_k / \pi D^2 = 4 \cdot 0,031 / 3,14 \cdot 0,1^2 = 1,67 \text{ м/с.}$$

Для визначення гідравлічного коефіцієнта збірного трубопроводу в першому

наближенні приймаємо значення поправочного коефіцієнта  $\beta_{зб} = 1,6$ , тоді

$$\lambda_{зб} = 1,6\lambda_o = 1,6 \cdot 0,022 = 0,035.$$

Знаходимо коефіцієнт опору за довжиною збірника

$$\zeta_{l,зб} = \lambda_{зб} l / D = 0,035 \cdot 5 / 0,1 = 1,75.$$

За табл. 1 при  $\chi = 0,8$  приймаємо значення параметрів  $A = 0,433$ ,  $B = 2,722$ ,  $C = 0,99$ . Коефіцієнт перфорації, при якому буде забезпечуватися відвід витрати  $Q_k$  при заданому показнику рівномірності збору, розраховуємо за залежністю

$$K_n = C / \sqrt{2 + \zeta_{l,зб} A} = 0,99 / \sqrt{2 + 1,75 \cdot 0,433} = 0,60.$$

Перевіряємо дійсне значення поправочного коефіцієнта  $\beta_{зб}$  за емпіричною формулою

$$\beta_{зб} = 1,62 K_n^{-0,37} = 1,62 \cdot 0,6^{-0,37} = 1,96.$$

Остання залежність рекомендується для користування при  $0,2 \leq K_n < 1,7$ . У випадку  $K_n \geq 1,7$ , маємо  $\beta_{зб} = 1,33$ .

Знаходимо нове значення розрахункових параметрів:

– гідравлічний коефіцієнт тертя збірника

$$\lambda_{зб} = 1,96\lambda_o = 1,96 \cdot 0,022 = 0,043;$$

**Табл. 1.** Розрахунок збірних трубопроводів  
**Tabl. 1.** Calculation of collecting pipelines

$\chi$	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
$A$	0,492	0,483	0,467	0,445	0,433	0,416	0,399
$B$	2,100	2,183	2,340	2,550	2,722	2,954	3,205
$C$	0,288	0,461	0,667	0,837	0,990	1,136	1,280

– коефіцієнт опору за довжиною

$$\zeta_{l.зб} = \lambda_{зб} l / D = 0,043 \cdot 5 / 0,1 = 2,15;$$

– коефіцієнт перфорації

$$K_n = C / \sqrt{2 + \zeta_{l.зб} A} = 0,99 / \sqrt{2 + 2,15 \cdot 0,433} = 0,58.$$

Кількість отворів перфорації визначаємо за формулою

$$n = K_n D^2 / d_0^2 = 0,58 \cdot 0,1^2 / 0,01^2 = 58 \text{ шт.}$$

Знаходимо коефіцієнт опору прийнятого збірною трубопроводу

$$\zeta_{зб} = B / K_n^2 = 2,722 / 0,58^2 = 8,09.$$

Визначаємо втрати напору у збірнику

$$h = \zeta_{зб} V_k^2 / 2g = 8,09 \cdot 1,67^2 / 2 \cdot 9,81 = 1,15 \text{ м.}$$

### Розподільчі трубопроводи

**Приклад.** Визначити конструктивні характеристики сталевого розподільчого трубопроводу ( $\lambda_o = 0,022$ ) довжиною  $l = 5,0$  м, який зможе розподілити витрату  $Q_n = 0,034 \text{ м}^3/\text{с}$ . При цьому необхідно забезпечити показник рівномірності розподілу  $\chi = 0,8$ . Допустима швидкість в початковому перерізі повинна забезпечуватись у межах  $V_o \geq 4,0 \text{ м/с}$ . Діаметр отворів перфорації прийняти  $d_0 = 0,01$  м.

**Розрахунок.** По відомій витраті  $Q_n$  і допустимій швидкості  $V_o$  за формулою підбираємо стандартний діаметр трубопроводу

$$D = 1,13 \sqrt{Q_n / V_o} =$$

$$= 1,13 \sqrt{0,034 / 4,0} = 0,103 \text{ м.}$$

Приймаємо для встановлення найближчий найменший стандартний діаметр сталевого трубопроводу  $D = 0,1$  м. При цьому швидкість в початковому перерізі труби буде

$$V_n = 4Q_n / \pi D^2 =$$

$$= 4 \cdot 0,034 / 3,14 \cdot 0,1^2 = 4,33 \text{ м/с.}$$

Для визначення гідравлічного коефіцієнта розподільчого трубопроводу в першому наближенні приймаємо значення поправочного коефіцієнта  $\beta_p = 1,2$ , тоді значення гідравлічного коефіцієнта тертя розподільника буде

$$\lambda_p = 1,2 \lambda_o = 1,2 \cdot 0,022 = 0,026.$$

Далі знаходимо коефіцієнт опору розподільника за довжиною

$$\zeta_{l.p} = \lambda_p l / D = 0,026 \cdot 5 / 0,1 = 1,3.$$

За табл. 2 (для відносно коротких розподільчих трубопроводів) при  $\chi = 0,8$  приймаємо значення параметрів  $A_k = 0,583$ ,  $C_k = 0,947$  (оскільки  $\zeta_{lp} = 1,3 < \frac{1,5}{0,583} = 2,57$ , то даний розподільчий трубопровід відноситься до відносно коротких).

Визначаємо коефіцієнт перфорації

$$K_n = C_k / \sqrt{1,7 - \zeta_{l.p} A_k} = 0,947 / \sqrt{1,7 - 1,3 \cdot 0,583} = 0,98.$$

**Табл. 2.** Розрахунок коротких розподільчих трубопроводів  
**Tabl. 2.** Calculation of short distributing pipelines

$\chi$	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
$A_k$	0,503	0,510	0,518	0,525	0,537	0,558	0,583	0,610	0,641
$C_k$	0,209	0,362	0,468	0,553	0,663	0,816	0,947	1,063	1,169

Перевіряємо дійсне значення поправочного коефіцієнта  $\beta_p$  за емпіричною формулою

$$\beta_p = 1,14K_n^{-0,32} = 1,14 \cdot 0,9^{-0,32} = 1,18.$$

Остання залежність справедлива в межах  $0,2 \leq K_n < 1,5$ . При  $K_n \geq 1,5$ , слід приймати  $\beta_p = 1$ .

Отримане значення поправочного коефіцієнта  $\beta_p$  практично співпадає з попередньо прийнятим, тому перерахунку розраховані параметри не потребують.

Далі знаходимо необхідну кількість отворів перфорації розподільчого трубопроводу ( $n$ )

$$n = K_n D^2 / d_0^2 = 0,98 \cdot 0,1^2 / 0,01^2 = 98 \text{ шт.}$$

Коефіцієнт опору і втрати напору для короткого розподільчого трубопроводу не визначаємо.

У випадку, коли для розрахунку конструктивних характеристик даних трубопроводів необхідно знати середні величини коефіцієнтів витрати отворів перфорації, то для їх знаходження слід використовувати формули:

– для збірних труб

$$\mu_{зб} = 0,85 - 0,156K_n,$$

яка справедлива при  $0,1 \leq K_n \leq 2,8$  і

$$\delta_* = \delta / d_o = 0,3 - 1,0, \text{ що відповідає реалічним водозбірним системам (тут } \delta, d_o \text{ –}$$

товщина стінки труби і діаметр отворів перфорації);

– для розподільчих труб

$$\mu_p = 0,72 - 0,065K_n.$$

Дана формула справедлива в межах  $0,1 \leq K_n \leq 2,2$  і  $\delta_* = \delta / d_0 = 0,3 \dots 1,4$ .

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі представлені конкретні розрахунки напірних перфорованих трубопроводів. Отримані результати задовільно співпадають з експериментальними даними і рекомендуються для використання в практиці проектування реальних трубопровідних систем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Василенко А.А., Кравчук А.М. Гидравлический расчет сборных трубопроводов в сооружениях водоснабжения и водоотведения. *Гидравлика и гидротехника*. 1991. № 52. С. 57 - 61.

2. Кравчук А.М. Расчет перфорированных распределительных трубопроводов произвольной длины. *Научный вестник строительства*. Харків: ХДТУБА. ХОТВ АБУ, 2003. №20. С. 72 - 78.

3. Кравчук А.М., Кравчук О.Я. До методики гідралічного розрахунку напірних розподільчих перфорованих трубопроводів систем водопостачання та водовідведення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. К.: КНУБА, 2015. Вип.25. С. 117-124.

## REFERENCES

1. Vasilenko A.A., Kravchuk A.M. (1991). Hydraulic calculation of collecting pipelines in water supply and wastewater disposal structures. *Hydraulics and Hydraulic Engineering*, 52, 57-61 [in Russian].

2. Kravchuk A.M. (2003). Calculation of perforated distribution pipelines of arbitrary length. *Scientific Herald of Construction*, 20, 72-78 [in Russian].

3. Kravchuk A.M., Kravchuk O.Y. (2015). To the method of hydraulic calculation of pressure distribution perforated pipelines in water supply and drainage systems. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 25, 117-124 [in Ukrainian].

## **The examples of hydraulic calculations of pressure collecting and distributing perforated pipelines**

*Andry Kravchuk, Olga Kravchuk*

**Abstract.** The examples of detailed engineering calculation of pressure collecting and distributing perforated pipelines with a constant diameter and with a constant intensity of perforation of the side walls along the length are presented in the article. The proposed calculation dependencies were obtained by the authors on the basis of solving a system of initial differential equations that describe the motion of a fluid with a variable flow rate in pressure channels and the conditions for the fluid passing through their side walls. The differential equation of fluid motion with a variable mass is used as the first equation. As the second, the equation of continuity in the form of the equation for the fluid outflow through holes or perforation slots. In the first example, the calculation of collecting pipelines that operate with fluid attachment along the path is considered. In the second – distributing pipelines, which distribute the liquid through its side surface. The proposed methods can be used to calculate short, long pipes and pipes of intermediate length. As the result of calculations, discharges and pressures are found in arbitrary sections of pipes. In addition, these methods allow to determine the geometric characteristics of the pipes elements under consideration (diameter and length of the channel, diameter and number of perforation holes) that can provide the optimal technologically specified mode of fluid collection or distribution. In the proposed methods, the results of experimental studies of such pipes operation, conducted personally by the authors, are widely used. Namely, the empirical dependencies, auxiliary graphs and tables for determining the magnitude of the hydraulic coefficient of friction and the perforation holes discharge coefficient for the case of fluid movement with variable flow along the path are quite simple and convenient to use. The calculation results are in good agreement with the existing experimental data.

**Key words:** liquid discharge; perforated pipeline; hydraulic coefficient of friction; resistance coefficient.

*Стаття надійшла до редакції 16.10.2018*