

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРАНЗИТНОЇ ВИТРАТИ

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037

¹докт. техн. наук, kravchuk.am@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8732-9244

²канд. техн. наук, kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6578-8896

DOI: 10.32347/2524-0021.2021.37.42-46

Анотація. В даній роботі на основі проведеного аналізу диференційних рівнянь, що описують рух рідини зі змінною витратою в напірних збірних дренажних трубопроводах, запропоновано методику розрахунку похибки, яка виникає при визначенні витрати в кінцевому перерізі трубопроводу при пропуску ним транзитної витрати. Аналіз представлено в безрозмірному вигляді. Вплив транзитної витрати на основний потік оцінено за допомогою величин коефіцієнта опору дренажного трубопроводу ζ і узагальненого параметра збірної дрени A , який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики. Отримані розрахункові формули досить прості і легкі в користуванні. Запропонована методика дозволяє виконувати розрахунки дренажних трубопроводів, які працюють при наявності транзитної витрати, за методикою розрахунку даних труб, що відводять дренажні води без пропуску транзиту. При цьому визначається можлива похибка, яка вноситься в результати розрахунку. Для ілюстрації отриманих залежностей в роботі наведено відповідні графіки. Результати проведеного аналізу дозволяють визначити границі, в яких можна користуватись спрощеною методикою розрахунку даних труб і оцінити похибку, що виникає при цьому.

Ключові слова: збірний дренажний трубопровід; гідравлічний коефіцієнт тертя; коефіцієнт фільтрації; фільтраційний опір; транзитна витрата рідини; змінна витрата рідини.

ВСТУП

Основними конструктивними елементами меліоративних комплексів є система збірних дренажних трубопроводів [1-3]. За характером роботи дані трубопроводи можуть працювати як при наявності, так і при відсутності транзитної витрати. Розробці методики гідравлічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють без транзиту, в даний час приділено досить багато уваги [4-6]. Отримані дані з різним ступенем точності описують зміну характеристик потоку при зміні його витрати вздовж шляху [7, 8]. У випадку наявності транзитної витрати методика розрахунку

таких труб потребує суттєвого вдосконалення. При цьому важливим питанням є визначення впливу транзитної витрати на характеристики основного потоку в трубі.

В реальних умовах дренажні трубопроводи часто можуть працювати при наявності транзиту. В цьому випадку на першій ділянці відповідний трубопровід працює без транзиту, а на всіх інших – при наявності транзитної витрати.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою роботи є розробка надійної методики оцінки впливу транзитної витрати на основні гідравлічні характеристики напірних збірних дренажних трубопроводів, а

також визначення похибки, яка при цьому вноситься в результати розрахунків. При виконанні роботи застосовувались методи математичного аналізу приведених до безрозмірного вигляду вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в даному випадку.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Схема роботи збірного дренажного трубопроводу при наявності транзитної витрати приведена на рис.1.

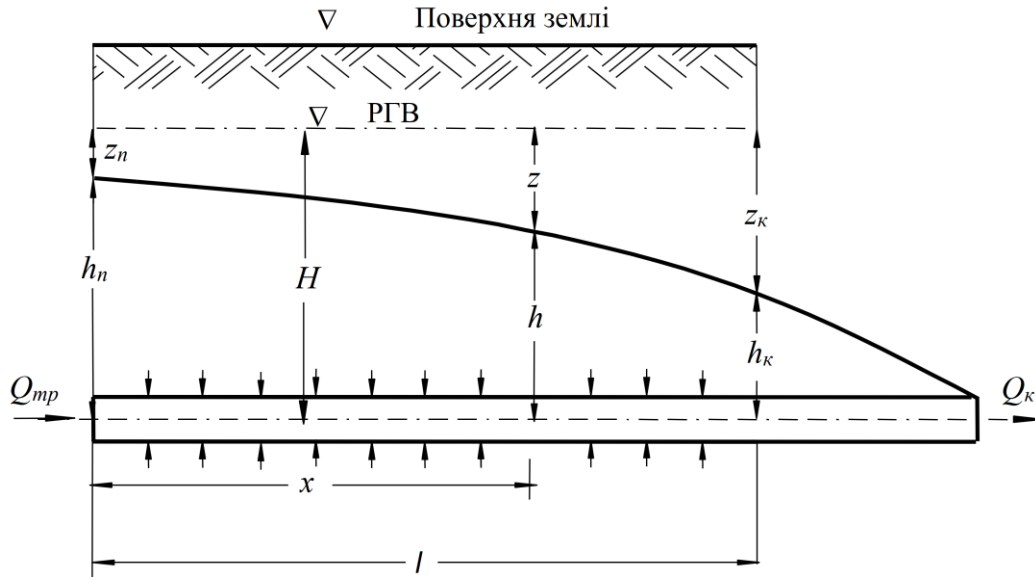


Рис. 1. Схема роботи збірного дренажного трубопроводу при наявності транзитної витрати
Fig. 1. Scheme of the perforated drainage pipeline operation in the presence of transit flow

Як відомо [9, 10], рух рідини в напірному збірному дренажному трубопроводі відбувається зі змінною витратою вздовж шляху і в загальному випадку може бути описаний системою двох диференціальних рівнянь, а саме, рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2)

$$\frac{dh}{dx} + \frac{2}{g\Omega^2} Q \frac{dQ}{dx} + \frac{\lambda_{зб}}{2gD\Omega^2} Q^2 = 0, \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{d(\Omega V)}{dx} = k_{\phi} \frac{z}{\Phi}, \quad (2)$$

де H – глибина занурення осі трубопроводу від рівня ґрунтових вод (рис. 1); h – п'єзометричний напір в трубі; $z = H - h$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід; Q, V, D, Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку труби; Q_{mp} – транзитна витрата; Φ – фільтраційний опір дрени;

k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; $\lambda_{зб}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя дренажного трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

Другий член в рівнянні (1) враховує втрати напору, які пов'язані з ефектом зміни витрати вздовж шляху, третій – з втратами на гідравлічне тертя [11, 12].

Аналіз умов роботи реальних збірних трубопроводів і математичної моделі (1), (2) для випадку наявності транзитної витрати і без неї, здійснений в роботах [13-15], показав їх суттєву відмінність між собою. При цьому не було визначено границі, при яких вплив транзитної витрати на основний потік при розрахунках даних трубопроводів можна не враховувати.

Приведена в роботі [16] методика розрахунку збірних дренажних трубопроводів рекомендується для застосування при довірливих величинах і співвідношеннях транзитної Q_{mp} і шляхової $Q_{ш}$ витрат, що проходять по напірному каналу. Чим більша величина Q_{mp} в порівнянні з $Q_{ш}$, і більше її внесок в

загальну величину витрати в кінцевому перерізі Q_k , тим її вплив на характеристики течії відчутніше. І, відповідно, чим менше Q_{mp} , тим менше це відображається на гідравлічних параметрах збірною трубопроводу. Безумовно, повинна існувати гранична величини $Q_{mp,gr}$, не перевищуючи яку, впливом останньої на роботу збірника можна знехтувати.

Як визначаючи, прийемо витрату в кінцевому перерізі труби. Будемо вважати вплив транзитної витрати на характеристики каналу несуттєвим (таким, що можна знехтувати), якщо при цьому величина кінцевої витрати змінюється в межах прийнятої похибки точності вимірювань і розрахунків. Тобто, коли виконується співвідношення

$$Q_{k,mp} \leq Q_k(1+\delta), \quad (3)$$

де $Q_{k,mp}$ – витрата в кінці збірного дренажного трубопроводу при наявності в ньому транзиту; Q_k – те ж саме при відсутності транзиту; δ – задана допустима похибка (долі одиниці), якою можна знехтувати при визначенні кінцевої витрати при наявності транзиту, у порівнянні з кінцевою витратою без нього.

Для аналізу представимо вихідне рівняння (1) в безрозмірному вигляді ввівши нові змінні

$$\bar{V} = \frac{Q}{\Omega \sqrt{gz_k}}; \quad \bar{V}_{mp} = \frac{Q_{mp}}{\Omega \sqrt{gz_k}}. \quad (4)$$

З урахуванням цього залежність (3) буде

$$\bar{V}_{k,mp} \leq \bar{V}_k(1+\delta), \quad (5)$$

де $\bar{V}_{k,mp}$ – відносна швидкість (витрата) в кінцевому перерізі збірного дренажного трубопроводу при пропуску ним транзитної витрати; \bar{V}_k – відносна швидкість (витрата) в кінцевому перерізі цього ж трубопроводу при відсутності транзиту.

В роботі [16] показано, що відносна швидкість (витрата) в кінцевому перерізі нескінченно довгого збірного напірного дренажного трубопроводу, який працює при наявності транзитної витрати може бути визначена за залежністю

$$\bar{V}_{k,mp} = \sqrt[3]{\bar{V}_k^3 + \bar{V}_{mp}^3}, \quad (6)$$

де $\bar{V}_k = \sqrt[3]{\frac{3}{\zeta_{l_{зб}} A}}$; $\zeta_{l_{зб}} = \lambda_{зб} \frac{l}{D}$ – коефіцієнт

опору збірного дренажного трубопроводу;

$A = \frac{\Omega \Phi}{2k_{\phi} l} \sqrt{\frac{g}{z_k}}$ – узагальнений параметр збірної дрени, який враховує її конструктивні і

фільтраційні характеристики.

Прирівнявши вирази (5) і (6), отримуємо залежність

$$\bar{V}_k(1+\delta) \geq \sqrt[3]{\bar{V}_k^3 + \bar{V}_{mp}^3}, \quad (7)$$

з якої отримуємо співвідношення, яке визначає максимальну відносну транзитну швидкість (витрату), якою в межах прийнятої похибки розрахунків, можна не враховувати при розрахунках збірних дренажних трубопроводів

$$\bar{V}_{mp} \leq \bar{V}_k \sqrt[3]{(1+\delta)^3 - 1}. \quad (8)$$

Графік, який відображає залежність (8) приведений на рис.2.

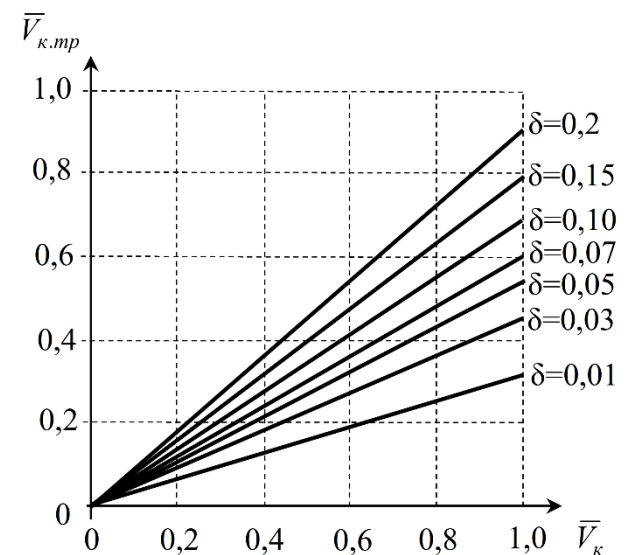


Рис. 2. Оцінка допустимої величини похибки δ , яка вноситься в розрахунки при нехтуванні швидкістю транзитного потоку \bar{V}_{tr}

Fig. 2. Estimation of the admissible error value δ which is included in calculations at a transit flow rate \bar{V}_{tr} neglect

На ньому показано величину відносної швидкості потоку, якою можна знехтувати в порівнянні з швидкістю в кінцевому перерізі збірника і яка похибка при цьому виникає.

При цьому величина похибки, яка виникає при нехтуванні швидкістю транзитного потоку при розрахунках швидкості в кінцевому перерізі збірного дренажного трубопроводу визначається за залежністю

$$\delta = \frac{\bar{V}_k + \bar{V}_{mp}}{\bar{V}_k} - 1. \quad (9)$$

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі на основі проведеного аналізу вихідних диференціальних рівнянь, що описують рух рідини в напірних збірних дренажних трубопроводах, отримано достатньо прості залежності для розрахунку величини похибки при визначенні кінцевої витрати, яка виникає при пропуску по трубопроводу транзиту. Для оцінки отриманих результатів приведено відповідні графіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Дмитриев А. Ф., Безусьяк А. В., Хлапук Н. Н.** Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. Львів: Світ, 1992. 175 с.
2. **Smedema L. K., Abdel-Dayem S., Ochs W. J.** Drainage and agricultural development // *Irrigation and Drainage Systems*, 2000. 14. P. 223-235.
3. **Schultz B., De Wrachien D.** Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century // *Irrigation and Drainage*. 2002. Vol. 51, No 4. P. 311-327.
4. **Олейник А. Я., Поляков В. Л.** Дренаж переувлажненных земель. К.: Наукова думка, 1987. 279 с.
5. **Ивицкий А. И.** Основы проектирования расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем. Минск: Наука и техника, 1988. 311 с.
6. **Кравчук О. А.** До гідравлічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі // *Комунальне господарство міст*. 2021. Вип. 163. С. 68-74.
7. **Майборода В. О.** Гидравлический расчет дрен и коллекторов закрытых осушительно-увлажнительных систем // *Гидравлика и гидротехника*. 1985. Вып. 41. С. 16-19.
8. **Мурашко А. И.** Пластмассовый дренаж. Минск: Урожай, 1969. 195с.

9. **Кравчук А. М., Кочетов Г. М., Кравчук О. А.** Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2020. Вип. 33. С. 34-40.
10. **Мурашко А. И., Климов В. Т., Сапожников У. Г.** Указания по фильтрационным расчетам горизонтального трубчатого дренажа. Минск: БелНИИМиВХ, 1977. 44 с.
11. **Кравчук О. А., Кравчук О. Я.** Оцінка впливу різного роду втрат напору на характеристики роботи збірних трубопроводів // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2020. Вип. 34. С. 19-24.
12. **Чернюк В. В.** Метод розрахунку напірних трубопроводів-збирачів // *Промислова гідравліка і пневматика*. 2017. № 1 (55). С. 3-15.
13. **Кравчук А. М., Чернишев Д. О., Кравчук О. А.** Гідравліка напірних перфорованих трубопроводів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення: монографія. Київ: КНУБА, 2021. 204 с.
14. **Kravchuk O. A.** Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines // *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2021. No. 83, p. 130-138
15. **Кравчук А., Кочетов Г., Кравчук О.** Визначення коефіцієнтів Бусінеска і Коріоліса для трубопроводів, що працюють з приєднанням витрати вздовж шляху // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2021. Вип. 36. С. 11-17.
16. **Кравчук А. М., Кравчук О. А.** Спеціальні питання гідравліки систем водопостачання і водовідведення: навч. посібник. Київ: КНУБА, 2020. 175 с.

REFERENCES

1. **Dmitriev, A. F., Bezusyak, A. V. & Khlapuk, N. N. (1992).** *Improvement of drying and moisturizing systems*. Lviv, Ukraine: Svit, 175. [in Russian]
2. **Smedema, L. K., Abdel-Dayem, S., & Ochs, W. J. (2000).** Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*, 14. 223-235. <https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>
3. **Schultz, B., & De Wrachien, D. (2002).** Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, Vol. 51, 4. 311-327. <https://doi.org/10.1002/ird.67>
4. **Oleynik, O. Ya., & Poliakov, V. L. (1987).** *Drainage of wetlands*. Kiev, USSA: Naukova dumka, 279. [in Russian]
5. **Ivitskiy, A. I. (1988).** *Basics of designing calculations for drying and drying-humidifying*

systems. Minsk, USSR: Nauka i tehnika, 311. [in Russian]

6. **Kravchuk, O. (2021)**. To the hydraulic calculation of pressure drainage pipelines, operating in distribution regime. *Municipal Economy of Cities*, 3(163). 68-74. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-68-74>

7. **Mayboroda, V. O. (1985)**. Hydraulic calculation of drains and collectors of closed drainage and humidification systems. *Hydraulics and Hydrotechnics*, 41. 16-19. [in Russian]

8. **Murashko, A. I. (1969)**. *Plastic drainage*. Minsk, USSR: Urozhay. 195. [in Russian]

9. **Kravchuk, A., Kochetov, G., & Kravchuk, O. (2020)**. Pipelines designing for steady water collection along the path. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 33. 34-40. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40>

10. **Murashko, A. I., Klimov, V. T., & Sapozhnikov, U. G. (1977)**. *Guidelines for filtration calculations of horizontal tubular drainage*. Minsk, USSR: BelNIIMiVKh. 44. [in Russian]

11. **Kravchuk, O. A., & Kravchuk, O. Ya. (2020)**. Evaluation of the impact of different head loss types on the collecting pipelines working characteristic. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 34, 19-24. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.19-24>

12. **Cherniuk, V. V. (2017)**. Method of calculation of pressure pipelines-collectors. *Industrial hydraulic accounting and pneumatics*, 1(55). 3-15. [in Ukrainian]

13. **Kravchuk, A. M., Chernyshev, D. O., & Kravchuk, O. A. (2021)**. *Hydraulics of pressure perforated pipelines of treatment facilities of water supply and water disposal systems: monograph*. Kyiv, Ukraine: KNUCA. 204. [in Ukrainian]

14. **Kravchuk, O. A. (2021)**. Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 83. 130-138.

<https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>

15. **Kravchuk, A., Kochetov, G., & Kravchuk, O. (2021)**. Determination of Boussinesq and Coriolis coefficients for pipelines operating with discharge connection along the pass. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 36. 11-17. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.36.11-17>

16. **Kravchuk, A. M., & Kravchuk, O. A. (2020)**. *Special issues of hydraulics of water supply and water sewerage systems: tutorial*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 175. [in Ukrainian]

Analysis of the results of perforated drainage pipelines calculation in the presence of transit flow rate

Andriy Kravchuk, Oleksandr Kravchuk

Abstract. A method of calculating the error that occurs when determining the flow rate in the final section of the pressure perforated drainage pipeline when it passes transit flow rate, based on the analysis of differential equations describing the fluid motion with variable flow rate in such pipelines is proposed in the paper. The analysis is presented in dimensionless form. The impact of transit flow on the main flow is estimated using the values of the drainage pipeline resistance coefficient ζ_l and the generalized parameter of the perforated drain A , which takes into account its constructive and filtration characteristics. The obtained calculation formulas are quite simple and easy to use. The proposed method allows to perform calculations of drainage pipelines that operate in the presence of transit flow rate, according to the method of these pipes calculation that dispose drain water without passing transit. Herewith, the possible error, which includes in the calculation results, determines. To illustrate the obtained dependences, the corresponding graphs are given in the paper. The results of the analysis allow to determine the limits within which a simplified method of calculating these pipes can be used and the error, that occurs, can be estimated.

Keywords: collecting drainage pipeline; hydraulic friction factor; hydraulic conductivity; filtration resistance; transit flow rate; variable flow rate.

Стаття надійшла до редакції 21.11.2021