

DOI: 10.32347/2076-815x.2023.82.213-219

УДК 532.5 : 631.62

д.т.н., професор **Кравчук А.М.**,
kravchuk.am@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8732-9244,
к.т.н., доцент **Кравчук О.А.**,
kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6578-8896,
Ломако А.О., lomako_ao@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3679-4610,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
Кравчук О.Я., olgakravchuk56@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2616-5455,
Національний транспортний університет, м. Київ

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНЗИТНОЇ ВИТРАТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

На основі проведеного аналізу диференційних рівнянь, що описують рух рідини зі змінною витратою в напірних розподільчих дренажних трубопроводах, запропоновано методика розрахунку похибки, яка виникає при визначенні витрати в початковому 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_1 і узагальненого параметра розподільчої дрени A , який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики. Отримані розрахункові формули досить прості і зручні у використанні. Запропонована методика дозволяє виконувати розрахунки дренажних трубопроводів, які працюють при наявності транзитної витрати, за методикою розрахунку даних труб, що розподіляють воду 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: розподільчий дренажний трубопровід; гідравлічний коефіцієнт тертя; коефіцієнт фільтрації; фільтраційний опір; транзитна витрата рідини; змінна витрата рідини.

Постановка проблеми. Розподільчі дренажні трубопроводи є одними з основних конструктивних елементів меліоративних систем. При їх експлуатації часто виникає ситуація коли розподільчі дренажні трубопроводи працюють в режимі одночасного пропуску шляхової і транзитної витрати. Очевидно, що наявність транзитної витрати повинна суттєво впливати на гідравлічні

характеристики таких труб, і їх визначення представляє досить складну інженерну і технічну задачу.

Тому, з нашої точки зору, важливим питанням, яке виникає перед проектувальниками, є питання визначення границь, коли при розрахунках даних мереж трубопроводів впливом транзитної витрати на кінцевий результат можна знехтувати, а також використання спрощеної методики розрахунку. Іншим важливим моментом є можливість оцінки похибки, яка виникає в результаті цього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню умов роботи і розрахунку розподільчих дренажних трубопроводів, які працюють без транзиту, присвячена досить велика кількість робіт [1-4]. При цьому розглядаються випадки роботи даних труб з рівномірною [5] і нерівномірною [6,7] роздачею рідини вздовж шляху. Отримані аналітичні залежності для розрахунку характеристик таких труб досить добре співпадають з експериментальними даними. Випадок роботи розподільчих дренажних труб в режимі одночасного пропуску шляхової і транзитної витрати вивчено значно менше [8]. Аналіз представлених методик розрахунку характеристик розглядуваних труб для обох режимів експлуатації показав їх суттєву відмінність. Причому, можна стверджувати, що наявність транзитної витрати в трубі суттєво ускладнює і збільшує об'єм необхідних розрахунків.

Метою представленої роботи є розробка надійної методики оцінки впливу транзитної витрати на основні гідравлічні характеристики напірних розподільчих 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 їх обґрунтування. Схема роботи розподільчого дренажного трубопроводу при наявності транзитної витрати приведена на рис.1.

Вихідна система диференціальних рівнянь, які описують течію в цьому випадку складається з рівняння гідравліки змінної витрати (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2) [9,10]:

$$\frac{dh}{dx} + \frac{2}{g} V \frac{dV}{dx} + \frac{\lambda_p}{2gD} V^2 = 0, \quad (1)$$

$$q = -\frac{d(V\Omega)}{dx} = -k_\phi \frac{h}{\Phi}, \quad (2)$$

де H – змінний за довжиною п'єзометричний напір в трубопроводі, h_{cp} – постійний вздовж труби напір води в середовищі, в яке відбувається

витікання (висота підняття ґрунтових вод в порівнянні з відміткою осі трубопроводу); h – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається витікання рідини з трубопроводу в навколишнє середовище; Q , V , D , Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку труби; Q_{mp} – транзитна витрата; $\bar{\Phi}$ – фільтраційний опір дрени; k_f – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; λ_p – гідравлічний коефіцієнт тертя розподільчого дренажного трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

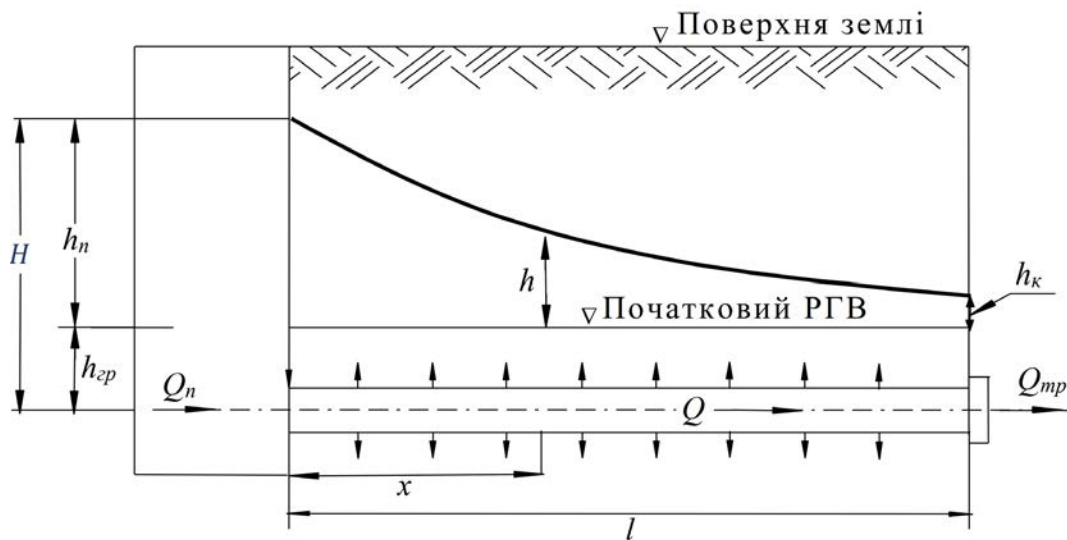


Рис. 1. Схема роботи розподільчого дренажного трубопроводу при наявності транзитної витрати.

В якості параметра, за величиною якого здійснено порівняння отриманих результатів, в роботі прийнято витрату в початковому перерізі розподільчого трубопроводу для випадку його роботи в двох режимах експлуатації. Як показано в роботі [11], швидкість в початковому перерізі розподільчого трубопроводу при одночасному пропуску транзитної витрати, може бути визначена із співвідношення:

$$V_{n.mp} = \sqrt[3]{V_n^3 + V_{mp}^3} \quad (3)$$

де V_n – середня швидкість потоку в початковому перерізі розподільчої труби, яка працює без транзиту; V_{mp} – швидкість в початковому перерізі при пропуску тільки транзитної витрати.

В той же час витрату в початковому перерізі при пропуску транзитної витрати можна представити у вигляді:

$$V_{n.mp} = V_n (1 + \delta), \quad (4)$$

де δ – частина величини швидкості в початковому перерізі, яка враховує вплив транзитної витрати в ньому.

Величину δ також можна трактувати як задану допустиму похибку (доля одиниці), якою можна знехтувати при визначенні швидкості в початковому перерізі при наявності транзиту, у порівнянні з початковою швидкістю без нього.

Будемо вважати вплив транзитної витрати на характеристики трубопроводу несуттєвим (таким, що ним можна знехтувати), якщо при цьому величина швидкості в початковому перерізі знаходиться в межах прийнятої похибки точності вимірювань і розрахунків δ . Тобто, коли виконується співвідношення:

$$V_{n.mp} \leq V_n(1 + \delta), \quad (5)$$

або, з урахуванням (3):

$$\sqrt[3]{V_n^3 + V_{mp}^3} \leq V_n(1 + \delta). \quad (6)$$

Для аналізу представимо витрати в безрозмірному вигляді:

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gh_n}}; \quad \bar{V}_{mp} = \frac{V_{mp}}{\sqrt{gh_n}}. \quad (7)$$

Тоді залежність (6) буде мати вигляд:

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

де $\bar{V}_{n.mp}$ – відносна швидкість в початковому перерізі розподільчого трубопроводу при пропуску ним транзитної витрати; \bar{V}_n – те ж саме при відсутності транзиту, $\bar{V}_n = \sqrt[3]{\frac{3}{\zeta_{lp} A}}$; \bar{V}_{mp} – те ж саме при наявності тільки транзитної витрати; $\delta \geq \frac{\bar{V}_{n.mp}}{\bar{V}_n} - 1$ – допустима відносна похибка розрахунків;

h_n – напір в початковому перерізі трубопроводу; $\zeta_{lp} = \lambda_p \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору розподільчого дренажного трубопроводу; $A = \frac{\Omega \Phi}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{h_n}}$ – узагальнений параметр розподільчої дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Із залежності (8) для розподільчих дренажних трубопроводів нескладно отримати співвідношення, яке визначає максимальну транзитну витрату, якою в межах прийнятої похибки можна знехтувати при розрахунку даних труб:

$$\bar{V}_{mp} \leq \bar{V}_n \sqrt[3]{(1 + \delta)^3 - 1} = \sqrt[3]{\frac{3}{\zeta_{lp} A} [(1 + \delta)^3 - 1]}. \quad (9)$$

Відповідний графік приведений на рис. 2.

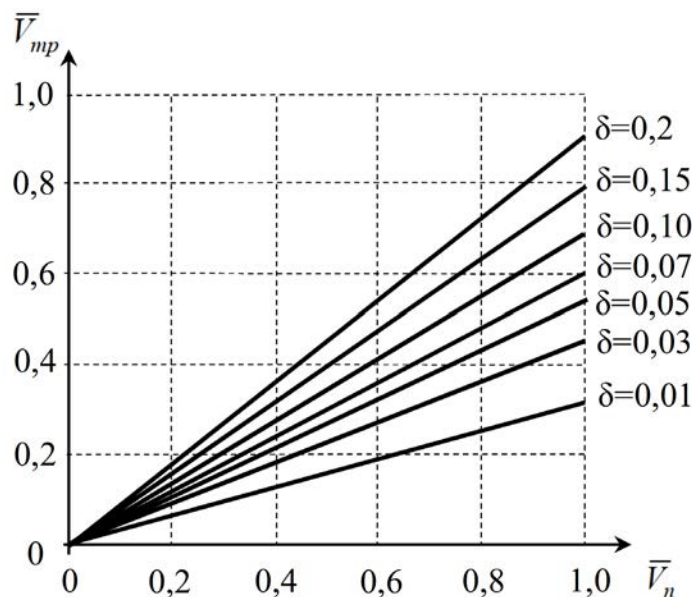


Рис.2. Оцінка допустимої величини похибки δ , яка вноситься в розрахунки при нехтуванні транзитною витратою.

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

Величину похибки, яка виникає при нехтуванні швидкістю транзитного потоку при розрахунках швидкості в початковому перерізі розподільного дренажного трубопроводу визначається із залежності (9):

$$\delta = \frac{\sqrt[3]{\bar{V}_n^3 + \bar{V}_{mp}^3}}{\bar{V}_n} - 1. \quad (10)$$

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

Література

1. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. Київ: Наукова думка, 1987. 279 с.
2. Smedema L.K., Abdel-Dayem S., Ochs W J. Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*. 2000. No 14. P. 223–235. <https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>
3. 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. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>

4. Cherniuk V., Hnativ R., Kravchuk O., Orel V., Bihun I., Cherniuk M. The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6, No 7 (114). P. 93–103. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
5. Дмитриев А.Ф. О гидравлическом расчете дренажных трубопроводов. *Гидротехника и мелиорация*. 1980. Вып. 11. С. 57–59.
6. Безусьяк А.В., Дмитриев А.Ф., Пивовар Н.Г. Гидравлический расчет коллекторов-распределителей. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1987. № 67. С. 52–59.
7. Liu H., Zong Q., Lv H., Jin J. Analytical equation for outflow along the flow in a perforated fluid distribution pipe. *PLoS ONE*. 2017. No 12(10): e0185842. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185842>
8. 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.
9. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Київ: Наукова думка, 1981. 284 с.
10. Кравчук О.А. До гідравлічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі. *Комунальне господарство міст*. 2021. № 163. С. 68–74. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-68-74>
11. Кравчук А.М., Кравчук О.А. Визначення характеристик розподільчих дренажних трубопроводів при пропуску транзитної витрати. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2021. Т. 105, №3. С. 123–129. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-123-129>

Doctor of Technical Sciences, Professor **Kravchuk Andriy**,
Ph.D., Associate Professor **Kravchuk Oleksandr**,
Lomako Artem, Kyiv National University of Construction and Architecture,
Senior Lecturer **Kravchuk Olga**, National Transport University, Kyiv

EVALUATION OF THE IMPACT OF TRANSIT FLOW RATE ON THE DISTRIBUTION DRAINAGE PIPELINES CHARACTERISTICS

The method of calculating the error that occurs when determining the flow rate in the initial section of the pressure distribution drainage pipeline when it passes transit flow rate is proposed in the paper. It is based on the analysis of differential equations describing the fluid motion with variable flow rate in such pipelines. 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 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 distribute water without passing transit flow. 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 the distribution drainage pipelines can be used and the error, that occurs, can be estimated.

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

REFERENCES

1. Oleynik, O.Ya. & Poliakov, V.L. (1987). *Drenazh pereuvlazhnennyih zemel*. Kyiv: Naukova dumka, 279. {in Russian}
2. Smedema, L.K., Abdel-Dayem, S. & Ochs, W. J. (2000). Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*, 14. 223-235. {in English} <https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>
3. 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. {in English} <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>
4. Cherniuk, V., Hnativ, R., Kravchuk, O., Orel, V., Bihun, I. & Cherniuk, M. (2021). The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, 7 (114). 93-103. {in English} <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
5. Dmitriev, A.F. (1980). O gidravlicheskom raschete drenaznyh truboprovodov. *Gidrotehnika i melioratsiya*, 11. 57-59. {in Russian}
6. Bezusyak, A.V., Dmitriev, A.F. & Pivovar, N. G. (1987). Gidravlicheskiy raschet kollektorov-raspredeleiteley. *Melioratsiya i vodnoe hozyaystvo*, 7. 52-59. {in Russian}
7. Liu H., Zong Q., Lv H. & Jin J. (2017). Analytical equation for outflow along the flow in a perforated fluid distribution pipe. *PLoS ONE*, 12(10): e0185842. {in English} <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185842>
8. 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: KNUCA. 204. {in Ukrainian}
9. Oleynik, O.Y. (1981). Geogidrodinamika drenazha. Kyiv: Naukova dumka, 279. {in Russian}
10. 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>
11. Kravchuk, A.M., Kravchuk, O.A. (2021). Determination of distribution drainage pipelines characteristics when passing transit flow. *Scientific Bulletin of Civil Engineering*, Vol. 105, 3. 123-129. {in Ukrainian} <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-123-129>