

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ПЕРФОРАЦІЇ ПОВЕРХНІ СТІНОК ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, проспект Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна

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

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.47.29-34

Анотація. В даній роботі розглянуто особливості роботи збірного напірного трубопроводу, у якого надходження витрати за довжиною відбувається через отвори і щілини в турбулентному режимі, і напірного дренажного трубопроводу, у якого приєднання рідини здійснюється через бічні стінки у фільтраційному режимі. На основі порівняння аналітичних залежностей, за допомогою яких описують закон надходження витрати у трубопроводи в кожному випадку, отримано досить прості і зручні для застосування розрахункові залежності для визначення необхідного ступеня перфорації бічних стінок дренажного трубопроводу, який би забезпечував при цьому надходження у збірник заданої витрати води. Під ступенем перфорації S в роботі розуміється відношення площі отворів (щілин) перфорації бічних стінок дренажного трубопроводу до загальної площі його бічної поверхні. При аналізі роботи розглянутих труб використано параметр A , який комплексно враховує конструктивні і фільтраційні характеристики дренажних трубопроводів. Представлено відповідні аналітичні залежності і графік для його визначення. За запропонованими формулами проведена серія розрахунків по визначенню ступеня перфорації даних труб. Показано, що на її величину в загальному випадку впливають як конструктивні характеристики самого трубопроводу, так і фільтраційні особливості навколишнього ґрунту і самої поверхні дренажних труб.

Ключові слова: збірний дренажний трубопровід, отвори і щілини перфорації, ступінь перфорації, коефіцієнт фільтрації, фільтраційний опір, змінна витрата рідини.

ВСТУП

В сучасному світі аграрний сектор відіграє дедалі важливішу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та економічного розвитку багатьох країн. Зростання населення планети та збільшення попиту на продовольство стимулює розширення сільськогосподарських угідь і використання нових територій для вирощування сільськогосподарських культур. [1, 2]. Одночасно з цими процесами, зміни клімату стають однією з найважливіших проблем сучасності, суттєво впливаючи на кількість опадів, температуру і режим ґрунтових вод у різних регіонах [3].

Меліоративні системи відіграють важливу роль у сільському господарстві,

забезпечуючи контроль за рівнем ґрунтових вод і попереджаючи їх надмірне накопичення [4]. Одним з ключових елементів таких систем є дренажні трубопроводи, які забезпечують відведення надлишкової води через спеціальні отвори в їх стінках.

Визначення оптимального ступеня перфорації стінок дренажних труб є важливим для забезпечення їх стабільної та надійної роботи у різних гідрологічних умовах. Недостатня перфорація може призводити до зниження ефективності водовідведення та збільшення ризику підтоплення, а надмірна – до використання труб більшого діаметра.

Не зважаючи на велику кількість робіт з даної тематики [5-9], на сьогоднішній день

відсутні достатньо універсальні і зручні для практичного застосування розрахункові залежності, що дозволяють визначати оптимальний ступінь перфорації дренажних трубопроводів для різних умов роботи. Тому виникає необхідність у створенні аналітичних методик розрахунку, які враховують як конструктивні характеристики трубопроводу, так і фільтраційні властивості ґрунту, для забезпечення максимальної ефективності роботи дренажних систем.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою роботи є розробка надійної методики розрахунку ступеня перфорації бічних стінок напірних збірних дренажних трубопроводів, які забезпечують надходження в них і відведення з майданчика у визначені терміни заданої витрати води. А також оцінка впливу фільтраційних і конструктивних характеристик бічної поверхні дрени і навколишнього ґрунту на режим роботи даних систем.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Як показано в багатьох роботах [10, 11] рух рідини зі змінною витратою в напірному трубопроводі описується системою диференціальних рівнянь, першим з яких є рівняння гідравліки змінної маси. Другим рівнянням приймається рівняння, яке описує умови надходження рідини в напірний збірний трубопровід. Для випадку, коли вода надходить з резервуару на одиницю довжини напірного перфорованого збірного трубопроводу, рівномірно перфорованого отворами, витрата визначається за залежністю [12]:

$$q = \frac{dQ}{dx} = \mu_{3\phi} \alpha_n \sqrt{2gz}, \quad (1)$$

де $\mu_{3\phi}$ – середній коефіцієнт витрати отворів перфорації збірника; $\alpha_n = \frac{\sum \omega_o}{l}$ – площа отворів (щілин) перфорації на одиниці довжини труби; ω_o – площа перерізу одного отвору; z – перепад напорів в розглядуваному перерізі.

В той же час витрата, що втікає з навколишнього ґрунту в напірний дренажний трубопровід променевого водозабору або

трубопроводу меліоративних систем, розраховується за формулою [11]:

$$q = \frac{dQ}{dx} = \frac{k_\phi (H - h)}{\bar{\Phi}} = k_\phi \frac{z}{\bar{\Phi}}, \quad (2)$$

де H – глибина занурення осі трубопроводу від рівня ґрунтових вод; h – п'єзометричний напір в дренажній трубі; $z = H - h$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід; Q – витрата потоку на відстані x від початку труби; $\mu_{3\phi}$ – коефіцієнт витрати отворів перфорації; $\bar{\Phi}$ – безрозмірний фільтраційний опір дрени (його визначення представляє окрему фільтраційну задачу [13]); k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо дренажної труби; g – прискорення вільного падіння.

При цьому вважається, що коефіцієнт фільтрації бічної поверхні дренажного трубопроводу вважається на порядок більшим від коефіцієнта фільтрації навколишнього ґрунту і його впливом нехтуємо.

У випадку, коли інтенсивність приєднання рідини в обох випадках однакова, можна записати:

$$\mu_{3\phi} \alpha_n \sqrt{2gz} = k_\phi \frac{z}{\bar{\Phi}}. \quad (3)$$

Звідки слідує, що безрозмірний фільтраційний опір в даному перерізі збірного дренажного трубопроводу визначиться за залежністю:

$$\bar{\Phi} = \frac{k_\phi \sqrt{z}}{\mu_{3\phi} \alpha_n \sqrt{2g}}. \quad (4)$$

З (4) після нескладних перетворень легко отримати:

$$\bar{\Phi} = \frac{k_\phi \sqrt{z}}{\mu_{3\phi} \pi D S \sqrt{2g}}, \quad (5)$$

де D – діаметр трубопроводу; $S = \frac{\sum \omega_o}{\pi D l}$ –

відношення сумарної площі отворів перфорації в дренажному трубопроводі до загальної площі бічної поверхні дрени (при рівномірній перфорації стінок трубопроводу – те ж саме на одиниці довжини труби).

Прийнявши в середньому для всієї труби $\mu_{3\phi} = 0,62$ з (5) можна записати:

$$\bar{\Phi} = 0,36 \frac{k_{\phi}}{DS} \sqrt{\frac{z}{g}}. \quad (6)$$

З виразу (6) легко визначити величину відносної перфорації стінок дренажного трубопроводу, яка буде забезпечувати надходження необхідної витрати в дренажний трубопровід:

$$S = 0,36 \frac{k_{\phi}}{D\bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z}{g}}. \quad (7)$$

В загальному випадку, при проектуванні збірних дренажних трубопроводів різних інженерних систем, в залежності від проектного завдання, розглядаються різні задачі.

Зазвичай, коли при проектуванні дренажних трубопроводів меліоративних систем відомими є: необхідна швидкість V_k (витрата Q_k) в кінці труби; довжина трубопроводу l ; його діаметр D ; коефіцієнт фільтрації навколишнього ґрунту k_{ϕ} ; перепад напорів в кінці трубопроводу z ; фільтраційний опір дрени $\bar{\Phi}$; гідравлічний коефіцієнт тертя λ_{op} . Необхідний ступінь перфорації стінок трубопроводу для цього випадку рекомендується визначати за залежністю (7).

В роботі [14] отримано, що в загальному випадку відносна швидкість в кінці збірного трубопроводу \bar{V}_k , рекомендується визначати за залежністю:

$$\bar{V}_k = \bar{V}_{k,\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty}} \right)^2} \right]. \quad (8)$$

де $A = \frac{\Omega\bar{\Phi}}{2k_{\phi}l} \sqrt{\frac{g}{z_k}}$ – узагальнений параметр

збірної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики;

$\bar{V}_k = \frac{V_k}{\sqrt{gz_k}}$; $\bar{V}_{k,\infty} = 3 \sqrt{\frac{12k_{\phi}}{\lambda\pi D\bar{\Phi}}} \sqrt{\frac{z_k}{g}}$ – відносна

швидкість в кінці умовного нескінченно довгого дренажного трубопроводу (відносна швидкість в кінці збірника, яка відповідає максимальній витраті на виході нескінченно довгого дренажного трубопроводу такого ж діаметру).

В ситуації, коли в результаті розрахунку треба визначити фільтраційний опір дрени $\bar{\Phi}$ при відомих значеннях відносної швидкості (витрати) в кінцевому перерізі дрени \bar{V}_k реального трубопроводу рекомендується, використовувати графік на рис. 1.

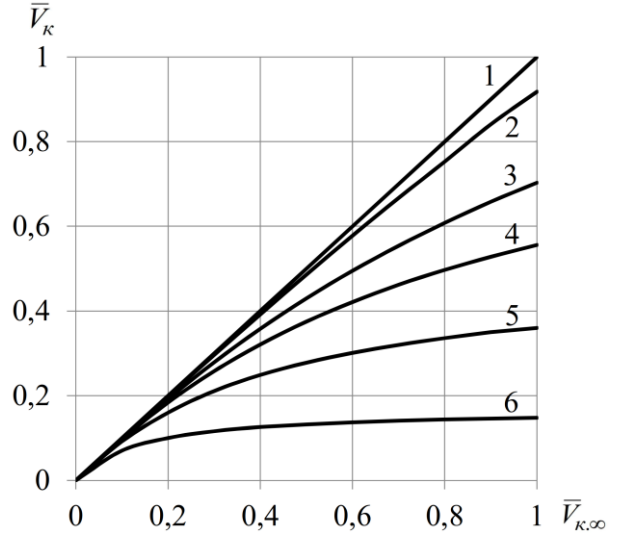


Рис. 1. Співвідношення між відносною швидкістю в кінцевому перерізі умовного нескінченно довгого $\bar{V}_{k,\infty}$ і реального трубопроводів \bar{V}_k при різних значеннях конструктивного параметра A : 1 – $A = 0$; 2 – $A = 0,1$; 3 – $A = 0,3$; 4 – $A = 0,5$; 5 – $A = 1,0$; 6 – $A = 3$

Fig. 1. The ratio between the relative velocity in the final cross section of the conditional infinitely long pipelines $\bar{V}_{f,\infty}$ and real pipelines \bar{V}_f at different values of the generalized parameter A : 1 – $A = 0$; 2 – $A = 0,1$; 3 – $A = 0,3$; 4 – $A = 0,5$; 5 – $A = 1,0$; 6 – $A = 3$

Як слідує з представленого графіку, конкретним значенням \bar{V}_k одночасно можуть відповідати декілька різних співвідношень між значеннями $\bar{V}_{k,\infty}$ і конструктивного параметра A . Тобто задана витрата в кінці розглядуваного трубопроводу може бути забезпечена при різних значеннях пари співвідношень між $\bar{V}_{k,\infty}$ і A . Вибравши конкретні, найбільш реальні значення вказаних величин, за приведеною вище схемою визначають інші необхідні характеристики збірного трубопроводу.

Прийнявши для трубопроводів з ефективними конструктивними характеристиками ($z = z_k$), з (7) відносну ступінь перфорації бічних стінок трубопроводу рекомендується визначати за формулою:

$$S = 0,14 \frac{D}{Al} \quad (9)$$

Загальна площа отворів (щілин) у бічних стінках дренажного трубопроводу складе (m^2):

$$\sum \omega_o = S \cdot \pi \cdot D \cdot l = 0,14 \frac{\pi D^2}{A} \quad (10)$$

Задавшись діаметром одного отвору d_o , визначаємо їх загальну кількість на всій довжині дренажного трубопроводу:

$$N = 0,56 \frac{D^2}{d_o^2 A} \quad (11)$$

Тоді, за умови прийняття рівномірної перфорації вздовж шляху, кількість отворів на одному погонному метрі труби складе:

$$n = \frac{N}{l} \quad (12)$$

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Вихідні дані до розрахунку: необхідна витрата води, яку необхідно відвести з майданчика $Q = 1020 \text{ м}^3/\text{добу} = 0,0118 \text{ м}^3/\text{с}$; задана швидкість руху в кінці дрени $V_k = 1,5 \text{ м/с}$; перепад напорів в кінцевому перерізі $z_k = 1 \text{ м}$; довжина ділянки (дрени) $l = 50 \text{ м}$.

Приклад розрахунку

1. Визначаємо необхідний діаметр дрени, який при пропуску витрати Q , забезпечить необхідну швидкість V_k :

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_k}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0118}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,1 \text{ м.}$$

2. Розраховуємо безрозмірну швидкість:

$$\bar{V}_k = \frac{V_k}{\sqrt{gz_k}} = \frac{1,5}{\sqrt{9,81 \cdot 1}} = 0,48.$$

3. З графіка на рис. 1 при $\bar{V}_k = 0,48$ знаходимо $A = 0,3$ при $\bar{V}_{k,\infty} = 0,6$.

4. Визначаємо ступінь перфорації бічних стінок трубопроводу:

$$S = 0,14 \frac{D}{Al} = 0,14 \frac{0,1}{0,3 \cdot 50} = 0,00093.$$

5. Загальна площа отворів перфорації на всьому трубопроводі становить:

$$\sum \omega_o = S \cdot \pi D l = 0,00093 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 50 = 0,0146 \text{ м}^2.$$

6. Приймавши діаметр отворів перфорації $d_o = 0,005 \text{ м}$, площа кожного складе:

$$\omega_o = \frac{\pi d_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,005^2}{4} = 0,0000196 \text{ м}^2.$$

7. Загальна кількість отворів на всьому трубопроводі становить:

$$N = \frac{\sum \omega_o}{\omega_o} = \frac{0,0146}{0,0000196} = 745 \text{ от.}$$

8. Кількість отворів на один погонний метр дрени складе:

$$n = \frac{N}{l} = \frac{745}{50} \approx 15 \text{ от.}$$

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі на основі проведеного аналізу існуючих аналітичних залежностей, що описують характер надходження рідини в дренажний трубопровід через отвори в бічних стінках і у фільтраційному режимі, розроблено методику розрахунку ступеня перфорації поверхні стінок таких труб, а саме, необхідної площі щілин і отворів перфорації та їх кількість. Показано, що в загальному випадку цей параметр залежить як від конструктивних, так і фільтраційних характеристик навколишнього ґрунту і матеріалу стінок дренажних трубопроводів.

ЛІТЕРАТУРА

1. De Wrachien D., Schultz B., Goli M. B. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view // Irrigation and Drainage. 2021. Vol. 70, No 5. P. 981-995.
2. Kadiresan K., Khanal P. R. Rethinking irrigation for global food security // Irrigation and drainage. 2018. Vol. 67, No 1. P. 8-11.
3. Miron I. J., Linares C., Diaz, J. The influence of climate change on food production and food safety // Environmental Research. 2023. Vol. 216, 114674.
4. Cvejic R., Pintar M., Zupanc V. Advancing irrigation development in the European Union // Irrigation and Drainage. 2021. Vol. 70, No 4. P. 887-899.

5. **Playan E., Mateos L.** Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity // *Agricultural water management*. 2006. Vol. 80, No 1-3. P. 100-116.
6. **Cherniuk V., Kravchuk O., Fasuliak V., Cherniuk M.** Improvement of modeling of laminar flows in pressure collector-pipelines // *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2024. Vol. 120, No 2. P. 182-196.
7. **Oyarce P., Gurovich L., Guarte V.** Experimental evaluation of agricultural drains // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017. Vol. 143, No 4. 143(4):04016082.
8. **Kravchuk A., Cherniuk V., Kravchuk O., Airapetian T.** Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No 7 (119). P. 61-67.
9. **Козішкurt С. М., Турченюк В. О.** Методологічні та екологічні аспекти удосконалення розрахунку водних режимів сільськогосподарських культур // *Вісник НУВГП*. 2019. Т. 3, № 87. С. 19-27.
10. **Kravchuk A., Cherniuk V., Kochetov G., Kravchuk O., Airapetian T.** Determination of the particularities of the hydraulic friction factor variation of collecting drainage pipelines // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6, No 7(126). P. 33-38.
11. **Кравчук А., Кравчук О., Ломако А., Кравчук О.** Зміна параметрів збірних дренажних трубопроводів при пропуску транзитної витрати // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. Вип. 41. С. 52-58.
12. **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.
13. **Олейник А. Я., Поляков В. Л.** Дренаж переувлажненных земель. К.: Наукова думка, 1987. 279 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.
2. **Kadiresan, K., & Khanal, P. R. (2018).** Rethinking irrigation for global food security. *Irrigation and drainage*, 67(1), 8-11. <https://doi.org/10.1002/ird.2219>
3. **Miron, I. J., Linares, C., & Diaz, J. (2023).** The influence of climate change on food production and food safety. *Environmental Research*, 216, 114674.
4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2022.114674>
5. **Cvejic, R., Pintar, M., & Zupanc, V. (2021).** Advancing irrigation development in the European Union. *Irrigation and Drainage*, 70(4), 887-899. <https://doi.org/10.1002/ird.2585>
6. **Playan, E., & Mateos, L. (2006).** Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural water management*, 80(1-3), 100-116. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.007>
7. **Cherniuk, V., Kravchuk, O., Fasuliak, V., & Cherniuk, M. (2024).** Improvement of modeling of laminar flows in pressure collector-pipelines. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 120(2), 182-196. <https://doi.org/10.37934/arfmts.120.2.182196>
8. **Oyarce, P., Gurovich, L. & Guarte, V. (2017).** Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(4):04016082. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001134)
9. **Kravchuk, A., Cherniuk, V., Kravchuk, O. & Airapetian, T. (2022).** Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(7(119)), 61-67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>
10. **Kozishkurt, S. M., & Turcheniuk, V. O. (2019).** Methodological and environmental aspects of agricultural cultures water regimes calculation improvement. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*, 3(87), 19-27. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31713/vt320192>
11. **Kravchuk, A., Cherniuk, V., Kochetov, G., Kravchuk, O., & Airapetian, T. (2023).** Determination of the particularities of the hydraulic friction factor variation of collecting drainage pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7(126)), 33-38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292258>
12. **Kravchuk, A., Kravchuk, O., Lomako, A., Kravchuk, O. (2022).** Variation of the collective drainage pipelines parameters when passing the

REFERENCES

1. **De Wrachien, D., Schultz, B., & Goli, M. B. (2021).** Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. *Irrigation and Drainage*, 70(5), 981-995. <https://doi.org/10.1002/ird.2597>

transit flow. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 41, 52-58. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.52-58>

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: KNUCA. 204. [in Ukrainian]

14. **Oleynik, O. Ya., & Poliakov, V. L. (1987).** *Drainage of wetlands.* Kyiv: Naukova dumka, 279. [in Russian]

15. **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>

Determination of the required degree of surface perforation of collecting drainage pipelines

Andriy Kravchuk, Oleksandr Kravchuk

Abstract. The operational characteristics of a collecting pressure pipeline, where the flow enters through holes and slots along its length in a turbulent mode, and a pressure drainage pipeline, where liquid enters through the side walls in a filtration mode, are investigated. Based on a comparison of analytical dependencies used to describe the flow entry laws into the pipelines in each case, relatively simple and practical calculation formulas have been derived to determine the required degree of the side walls perforation of the drainage pipeline. These formulas ensure that the desired water flow rate is achieved in the collector. The degree of perforation S in this work is defined as the ratio of the area of the perforation holes (slots) in the side walls of the drainage pipeline to the total area of its side surface. In the analysis of the pipelines considered, parameter A is used, which comprehensively accounts for both the design and filtration characteristics of the drainage pipelines. Relevant analytical dependencies and a graph for determining this parameter are presented. A series of calculations have been performed using the proposed formulas to determine the degree of perforation for these pipelines. It is shown that, in general, the magnitude of the perforation degree is influenced by both the structural characteristics of the pipeline itself and the filtration properties of the surrounding soil and the surface of the drainage pipes.

Keywords: collecting drainage pipeline, perforation holes and slots, degree of perforation, hydraulic conductivity, filtration resistance, variable flow rate.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2024