

РОЗРАХУНОК ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

Олександр Кравчук¹, Андрій Кравчук²

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

¹канд. техн. наук, доцент, kravchuk.aa2@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6578-8896

²докт. техн. наук, професор, kravchuk.am@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8732-9244

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.52.39-45

Анотація. В даній роботі на основі проведеного аналізу системи диференційних рівнянь, що описують рух рідини зі змінною витратою у збірних напірних дренажних трубопроводах змінного (такого, що збільшується) за довжиною перерізу, розроблена методика розрахунку гідравлічних характеристик і конструктивних параметрів даних труб. Розглянуто найбільш загальний випадок роботи горизонтального збірника при наявності над трубою рівня ґрунтових вод. Досліджено варіант функціонування збірного трубопроводу, при якому за всією його довжиною забезпечувалась постійна за величиною середня швидкість руху потоку рідини. Величина цієї швидкості залежить від гранулометричних особливостей навколишнього ґрунту, в якому прокладено трубопровід, а також від фільтраційних характеристик матеріалу його бічних стінок. Аналіз вихідних диференційних рівнянь виконано в безрозмірному вигляді відповідних змінних величин. Під час проведення розрахунків в диференційному рівнянні змінної витрати другим членом, який враховує втрати напору, що пов'язані з впливом ефекту приєднання рідини вздовж шляху на загальні втрати напору у всьому трубопроводі, знехтувано, і це практично не впливає на кінцеві результати розрахунків. При дослідженні вихідних рівнянь і отриманні розрахункових залежностей було використано поняття умовного нескінченно довгого збірного трубопроводу або трубопроводу обмеженої довжини того, що має нескінченну просякненість поверхні бічних стінок. Головною особливістю такого трубопроводу є можливість прийняття рівним близьким до нуля перепаду напору в його початковому перерізі. Вказане припущення практично не впливає на достовірність отриманих результатів аналізу. Основними параметрами, які визначають характер зміни витрати вздовж збірного дренажного трубопроводу, прийнято коефіцієнт опору збірника $\zeta_{зб}$ і узагальнений параметр збірної дрени $A_{зб}$, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики. В результаті аналізу отримано функціональні залежності зміни відносного діаметра від відносного перепаду напорів за довжиною збірного дренажного трубопроводу, а також наведено відповідні формули у розмірному вигляді. Запропоновані залежності відзначаються простотою використання та придатністю для інженерних розрахунків. Для наочності в роботі подано графічні матеріали, що ілюструють отримані аналітичні співвідношення.

Ключові слова: збірний дренажний трубопровід, гідравлічний коефіцієнт тертя, коефіцієнт фільтрації, фільтраційний опір, змінна витрата.

ВСТУП

Сучасний стан меліоративних систем і підземних водозаборів вимагає впровадження енергоефективних, надійних та екологічно безпечних рішень при їх проектуванні та експлуатації. В умовах зміни клімату, зростання потреб у якісних водних ре-

сурсах і необхідності раціонального використання земельних угідь особливого значення набуває вдосконалення систем осушення, зрошення та споруд, призначених для забору підземних вод [1-3]. Ефективність таких інженерних систем безпосередньо залежить від правильності розрахунку

та раціонального вибору параметрів їх основних елементів – збірних дренажних трубопроводів, які забезпечують збір і транспортування підземних вод до колекторів або водоприймальних камер [4-5].

Практика проектування і експлуатації збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем і підземних водозаборів різної конструкції показала, що для збору і відводу води найчастіше використовуються труби постійного діаметра. При їх великій довжині на початкових ділянках дрен проходить мала витрата води. Навпаки, кінцеві частини трубопроводу працюють із значним перевантаженням. Тобто, на початку збірного дренажного трубопроводу середні швидкості руху незначні, в кінці ж збірника вони перевищують оптимальні. Можна стверджувати, що в такому випадку дрени працюють неекономічно.

Не зважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених аналізу роботи напірних дренажних трубопроводів [6-10], питання розрахунку збірних трубопроводів змінного перерізу досі вивчене недостатньо. Це зумовлює актуальність проведення досліджень, спрямованих на розробку

методик гідравлічного розрахунку даних трубопроводів змінного діаметра, які дозволять розробити оптимальні рішення при проектуванні та експлуатації дренажних систем.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку конструктивних характеристик збірних напірних дренажних трубопроводів змінного поперечного перерізу (такого, що збільшується), які працюють при наявності горизонтального рівня ґрунтових вод (РГВ).

Для досягнення поставленої мети застосовувались методи математичного аналізу приведених до безрозмірного вигляду вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою вздовж шляху.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

В даній роботі розглядається випадок наявності нерівномірної зміни питомої витрати вздовж збірного дренажного трубопроводу, схема роботи якого приведена на рис. 1.

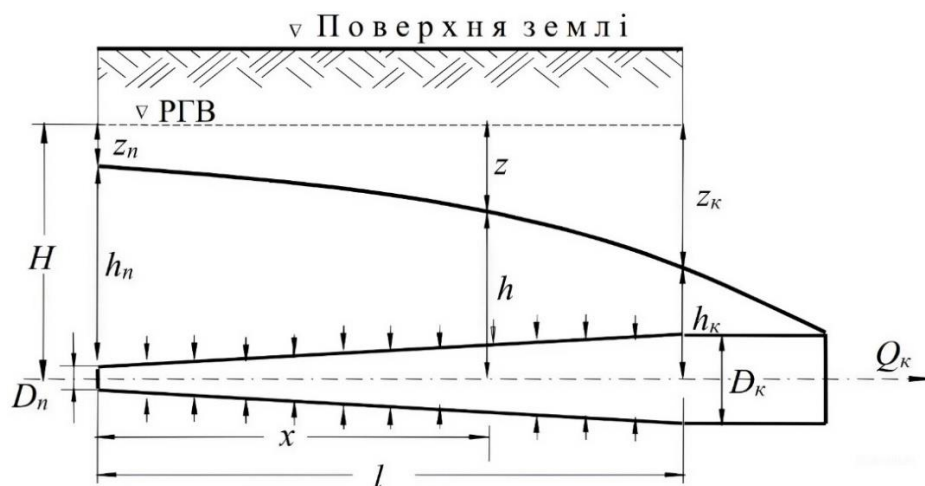


Рис. 1. Схема роботи збірного дренажного трубопроводу змінного діаметра
Fig. 1. Scheme of the variable-diameter collecting drainage pipeline operation

З нашої точки зору, для систем збірних дренажних трубопроводів найбільш доцільним було б використання дренажних трубопроводів змінного (такого, що збільшується) поперечного перерізу за довжиною. Причому, головним критерієм для вибору

закону зміни діаметра, вважається умова забезпечення при транспортуванні води постійної середньої швидкості руху потоку вздовж шляху. Величина цієї швидкості в усіх випадках повинна бути не менше незамулюючої. Очевидно, що характер зміни ді-

аметра труби буде залежати від величини інтенсивності приєднання рідини на різних ділянках дренажного трубопроводу ($q = \frac{dQ}{dx} = V \frac{d\Omega}{dx}$).

При забезпеченні постійної величини середньої швидкості в перерізі труби, даний рух можна описати системою рівнянь, яка складається з рівняння руху рідини зі змінною витратою (1) і модифікованого рівняння нерозривності (2), представлений у вигляді [11, 12]:

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

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

де V – постійна за величиною вздовж дренажного трубопроводу задана величина середньої швидкості в перерізі потоку; D , Ω – змінні за довжиною діаметр і площа перерізу труби; k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби $\bar{\Phi}$ – фільтраційний опір дрени [13]. Інші позначення приведені вище (рис. 1).

Як показано в ряді робіт, при $V = const$ і приєднанні рідини в режимі фільтрації, другим членом в рівнянні (1) можна знехтувати [14, 15]. Також приймаємо, що $dh = -dz$. З урахуванням цього рівняння (1) прийме вигляд:

$$-\frac{dz}{dx} + \frac{\lambda_{зб} V^2}{2gD} = 0. \quad (3)$$

Для подальшого аналізу введемо нові безрозмірні змінні:

$$\bar{x} = \frac{k_\phi x}{\Omega_\kappa \bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z_\kappa}{g}}; \quad \bar{z} = \frac{z}{z_\kappa}; \quad \bar{D} = \frac{D}{D_\kappa}, \quad (4)$$

де D_κ – діаметр збірного трубопроводу в кінцевому перерізі збірника.

Легко показати, що

$$d\Omega = d\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = \frac{\pi}{2} \bar{D} d\bar{D}.$$

Позначимо $\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gz_\kappa}} = const$, тоді вихідна система рівнянь (3), (2) буде мати вигляд:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \zeta_{l_{зб,\kappa}} A_{зб} \bar{V}^2 \frac{1}{\bar{D}}; \quad (5)$$

$$2\bar{V} \bar{D} \frac{d\bar{D}}{d\bar{x}} = \bar{z}, \quad (6)$$

де $\zeta_{l_{зб,\kappa}} = \lambda_{зб} \frac{l}{D_\kappa}$ – коефіцієнт опору збір-

ного дренажного трубопроводу, який підрахований за величиною діаметра в його кін-

цевому перерізі; $A_{зб} = \frac{1}{2\bar{x}_\kappa} = \frac{\Omega_\kappa \bar{\Phi}}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{z_\kappa}}$ –

узагальнений параметр збірної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Підстановка $\bar{D}$ з (6) в залежність (5) і розподіл змінних приводить до рівняння:

$$\bar{z} d\bar{z} = 2\zeta_{l_{зб,\kappa}} A_{зб} \bar{V}^3 d\bar{D}. \quad (7)$$

Його розв'язок [16] буде:

$$\frac{\bar{z}^2}{2} = 2\zeta_{l_{зб,\kappa}} A_{зб} \bar{V}^3 \bar{D} + C. \quad (8)$$

Константу інтегрування знаходимо з граничних умов: на початку трубопроводу

$$\bar{z} = \bar{z}_n; \quad \bar{D}_n = 0 \quad \text{і} \quad C = \frac{\bar{z}_n^2}{2}.$$

Підстановка останніх у (8) дає можливість отримати залежність зміни відносного діаметра збірного дренажного трубопроводу в залежності від відносного перепаду напорів:

$$\bar{z}^2 - \bar{z}_n^2 = 4\zeta_{l_{зб,\kappa}} A_{зб} \bar{V}^3 \bar{D}. \quad (9)$$

Для кінцевого перерізу ($\bar{D}_\kappa = 1$ і $\bar{z}_\kappa = 1$) залежність (9) прийме вигляд:

$$1 - \bar{z}_n^2 = 4\zeta_{l_{зб,\kappa}} A_{зб} \bar{V}^3. \quad (10)$$

У випадку використання нескінченно довгого збірного дренажного трубопроводу, при $l \rightarrow \infty$, $\bar{z}_n \rightarrow 0$, тоді з (10), маємо:

$$1 = 4\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^3. \quad (11)$$

З останнього виразу легко знайти граничні співвідношення між конструктивними і фільтраційними характеристиками нескінченно довгого збірного трубопроводу, в якому за рахунок збільшення діаметра на всій його довжині забезпечується постійна середня швидкість руху.

В розмірних величинах для кінцевого перерізу дрени будемо мати:

$$D_k = \frac{2gz_k^2 k_\phi}{\lambda_{зб} \pi \bar{\Phi} V^3}$$

або

$$z_k = \sqrt{\frac{\lambda_{зб} \pi \bar{\Phi} D_k V^3}{2gk_\phi}}. \quad (12)$$

В кінцевому перерізі граничні умови будуть: $\bar{z}_k = 1; \bar{D}_k = 1$. Тоді константа інтегрування в розв'язку (8) складе:

$$C = \frac{1}{2} - 2\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^3.$$

З урахуванням цього залежність (8) набуває вигляду:

$$1 - \bar{z}^2 = 4\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^3 (1 - \bar{D}). \quad (13)$$

Використання у (13) співвідношення (11) призводить до спрощення залежності для описання характеру зміни діаметра за довжиною збірного дренажного трубопроводу:

$$\bar{z} = \sqrt{\bar{D}}. \quad (14)$$

Диференціюючи останній вираз і розділив обидві частини на $d\bar{x}$ отримаємо:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{1}{2\sqrt{\bar{D}}} \frac{d\bar{D}}{d\bar{x}}. \quad (15)$$

Замінімо ліву частину (15) його значенням з (5):

$$\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^2 \frac{1}{\bar{D}} = \frac{1}{2\sqrt{\bar{D}}} \frac{d\bar{D}}{d\bar{x}}. \quad (16)$$

Здійснивши нескладні перетворення і розділивши змінні, будемо мати:

$$2\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^2 d\bar{x} = \sqrt{\bar{D}} d\bar{D}. \quad (17)$$

Інтегруємо (17) [16]:

$$2\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^2 \bar{x} = \frac{2}{3} \bar{D}^{3/2} + C. \quad (18)$$

Константу інтегрування визначимо з граничних умов: на початку збірника $\bar{x}_n = 0; \bar{D}_n = 0$ і $C = 0$:

$$\bar{D} = \sqrt[3]{\left(3\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^2 \bar{x}\right)^2} \quad (19)$$

або

$$\bar{D} = \sqrt[3]{\left(\frac{3}{2}\zeta_{l_{зб.к}} \bar{V}^2 \frac{x}{l}\right)^2}. \quad (20)$$

Графік зміни відносного діаметра трубопроводу за довжиною збірного дренажного трубопроводу для розглядуваного випадку приведений на рис. 2.

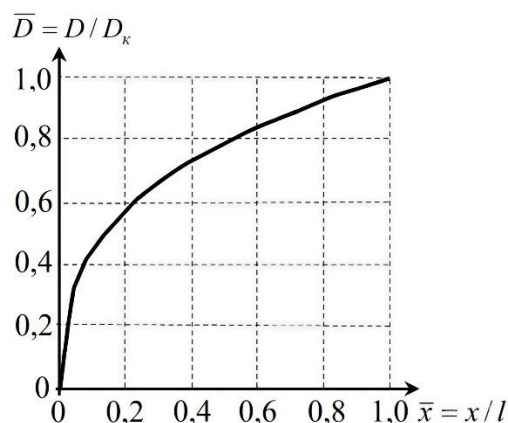


Рис. 2. Графік залежності відносного діаметра від відносної довжини

Fig. 2. Graph of the dependence of relative diameter on relative length

В кінцевому перерізі при $x = 1$, маємо:

$$\bar{D}_k = \sqrt[3]{\left(\frac{3}{2}\zeta_{l_{зб.к}} \bar{V}^2\right)^2} = 1. \quad (21)$$

Залежність для визначення відносного перепаду напорів в довільному перерізі можна отримати підставивши (20) в (14):

$$\bar{z} = \sqrt[3]{3\zeta_{l_{зб.к}} \bar{V}^2 A_{зб} \bar{x}} \quad (22)$$

або

$$\bar{z} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\zeta_{l_{зб.к}} \bar{V}^2 \frac{x}{l}}. \quad (23)$$

Переходячи до розмірних величин з (20) діаметр труби в довільному перерізі на відстані x від її початку буде:

$$D = D_{\kappa}^3 \sqrt{\left(\frac{3}{z_{\kappa}} \zeta_{l_{\text{зб.к}}} \frac{V^2}{2g} \frac{x}{l} \right)^2}, \text{ м.} \quad (24)$$

В кінці труби:

$$D_{\kappa} = \frac{3}{z_{\kappa}} \lambda_{\text{зб}} l \frac{V^2}{2g}, \text{ м.} \quad (25)$$

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У ході дослідження на основі аналізу диференціальних рівнянь, які описують рух рідини у напірних збірних дренажних трубопроводах змінного (такого, що збільшується) перерізу за довжиною, розроблена досить проста і зручна у використанні методика розрахунку їх основних гідравлічних характеристик і конструктивних параметрів. Представлені відповідні розрахункові залежності і допоміжні графіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Snizhko S., Didovets I., Bronstert A.** Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime // *Water Security*. 2024. Vol. 23, 100182.
2. **Decharme B., Costantini M., Colin J.** A simple approach to represent irrigation water withdrawals in Earth system models // *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 2025. Vol. 17, No 4, e2024MS004508.
3. **Левицька В.** Покращення технології забору дренажних вод, які фільтруються з водосховищ, та їх використання // *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99, № 9. С. 64-71.
4. **Vlotman W., Smedema L., Rycroft D.** Modern land drainage: planning, design and management of agricultural drainage systems. London: CRC Press, 2020. 502 p.
5. **Collins S., Houben G. J.** Horizontal and radial collector wells: simple tools for a complex problem // *Hydrogeology Journal*. 2020. Vol. 28. P. 1925-1935.
6. **Jiang Y., Zhang J., Zhu Y., Du Q., Teng Y., Zhai Y.** Design and optimization of a fully-penetrating riverbank filtration well scheme at a fully-penetrating river based on analytical methods // *Water*. 2019. Vol. 11, No 3. 418.
7. **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.

8. **Кравчук А., Кочетов Г., Кравчук О.** Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2020. Вип. 33. С. 34-40.
9. **Рокочинський А., Волк П., Волк Л.** Необхідність та науково-практичні засади удосконалення методів проектування і розрахунку дренажних систем // *Меліорація і водне господарство*. 2023. Вип. 1. С. 5-13.
10. **Телима С. В., Тугай Я. А., Олійник Е. О., Майстренко Г. В.** Існуючі математичні моделі і методи фільтраційного розрахунку променевих водозаборів і дренажів // *Містобудування та територіальне планування*. 2013. Вип. 47. С. 618-626.
11. **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.
12. **Кравчук А., Кравчук О.** Аналіз результатів розрахунку збірних дренажних трубопроводів при наявності транзитної витрати // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2021. Вип. 37. С. 42-46.
13. **Олейник А. Я., Поляков В. Л.** Дренаж переувлажненных земель. Київ: Наукова думка, 1987. 279 с.
14. **Кравчук А., Кравчук О., Возний О., Кравчук О.** Особливості роботи збірних трубопроводів при наявності транзиту і похилу рівня ґрунтових вод // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2024. Вип. 48. С. 26-32.
15. **Кравчук А., Кравчук О.** Визначення необхідного ступеня перфорації поверхні стінок збірних дренажних трубопроводів // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2024. Вип. 47. С. 29-34.
16. **Двайт Г. Б.** Таблицы интегралов и другие математические формулы / Перевод с английского Н.В. Леви под редакцией К.А. Семендяева. Москва: Наука, 1977. 228 с.

REFERENCES

1. **Snizhko, S., Didovets, I., & Bronstert, A. (2024).** Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*, 23, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>
2. **Decharme, B., Costantini, M., & Colin, J. (2025).** A simple approach to represent irrigation water withdrawals in Earth system models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 17(4),

e2024MS004508.

<https://doi.org/10.1029/2024MS004508>

3. **Levytska, V. (2021).** Improvement of technology of intake of drainage water filtered from reservoirs and their use. *Bulletin of Agricultural Science*, 99(9), 64-71. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202109-09>
4. **Vlotman, W., Smedema, L., & Rycroft, D. (2020).** *Modern land drainage: planning, design and management of agricultural drainage systems*. London: CRC Press. 502. <https://doi.org/10.1201/9781003025900>
5. **Collins, S., & Houben, G. J. (2020).** Horizontal and radial collector wells: simple tools for a complex problem. *Hydrogeology Journal*, 28, 1925-1935. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02120-2>
6. **Jiang, Y., Zhang, J., Zhu, Y., Du, Q., Teng, Y., & Zhai, Y. (2019).** Design and optimization of a fully-penetrating riverbank filtration well scheme at a fully-penetrating river based on analytical methods. *Water*, 11(3), 418. <https://doi.org/10.3390/w11030418>
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. **Kravchuk, A., Kochetov, G., & Kravchuk, O. (2020).** Pipelines designing for steady water collection along the path. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (33), 34-40. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40> [in Ukrainian]
9. **Rokochinskiy, A., Volk, P., & Volk, L. (2023).** The necessity, scientific and practical principles of improving methods of drainage systems design and calculation. *Land Reclamation and Water Management*, 1, 5-13. <https://doi.org/10.31073/mivg202301-355>
10. **Telyma, S. V., Tuhay, Ya. A., Oliynyk, E. O., & Maystrenko, H. V. (2013).** Isnuyuchi matematychni modeli i metody filtratsiynoho rozrakhunku promenevykh vodozaboriv i drenazhiv. *Urban and Spatial Planing*, 47, 618-626. [in Ukrainian]
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. (2021).** Analysis of the results of perforated drainage pipelines calculation in the presence of transit flow rate. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 37, 42-46. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.42-46>
13. **Oleynik, O. Ya., & Poliakov, V. L. (1987).** *Drainage of wetlands*. Kyiv: Naukova dumka, 279. [in Russian]
14. **Kravchuk, A., Kravchuk, O., Voznyi, O., & Kravchuk, O. (2024).** Operational features of collecting pipelines in the presence of transit and groundwater level slope. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 48, 26-32. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.48.26-32>
15. **Kravchuk, A., & Kravchuk, O. (2024).** Determination of the required degree of surface perforation of collecting drainage pipelines. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 47, 29-34. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.47.29-34>
16. **Dvayt, G. B. (1977).** *Tables of integrals and other mathematical formulas*. Translated from English by N. V. Levy, edited by K. A. Semendyaev. Moskow, USSA: Nauka. 228. [in Russian]

Calculation of collecting drainage pipelines with variable cross-section

Oleksandr Kravchuk, Andriy Kravchuk

Abstract. In this study, a calculation methodology for determining the hydraulic characteristics and design parameters of collecting pressure drainage pipelines with variable (increasing) cross-sections along their length has been developed. The methodology is based on the analysis of a system of differential equations describing the fluid flow with variable discharge in such pipelines. The most general case of a horizontal collector operating under the condition of a groundwater level above the pipe is considered. During the analysis of the governing equations, a mode of operation is examined in which the mean flow rate along the entire length of the pipeline remains constant. The magnitude of the flow rate depends on the granulometric composition of the surrounding soil in which the pipe is laid, as well as on the filtration characteristics of the pipe wall material. The analysis of the governing differential equations is performed in a dimensionless form of the respective variables. In the differential equation of variable flow rate, the second term accounting for head losses caused by the effect of fluid attachment along the flow path is neglected, since its influence on the final results is practically insignificant. When studying the basic equations and deriving the analytical relationships, the concept of a conditionally infinitely long collecting pipeline, or a finite-length pipeline with infinitely permeable lateral walls, is applied. The main feature of such a pipeline is the assumption that the head loss at its initial cross-section can be taken as approximately zero. This simplification does not affect the accuracy of the obtained analytical results. The principal parameters governing the variation of flow rate along the collecting drainage pipeline are the collector resistance coefficient, ζ_{col} , and the generalized parameter A_{col} , which accounts for the structural and filtration properties of the pipeline. As a result of the analysis, functional relationships are obtained for the variation of the relative diameter as a function of the relative head loss along the length of the collecting pressure drainage pipeline. Corresponding formulas are also presented in dimensional form. The proposed relationships are characterized by simplicity and convenience of practical application, making them suitable for engineering design and analysis. For clarity, the paper includes graphical materials illustrating the obtained analytical dependencies.

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

Стаття надійшла до редакції 09.11.2025