

ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ ПРОПУСКУ ТРАНЗИТНОЇ ВИТРАТИ

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук², Артем Ломако³, Ольга Кравчук⁴

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури

31, пр. Повітрофлотський, м. Київ, Україна, 03037

⁴ Національний транспортний університет

1, вул. М. Омеляновича-Павленка, м. Київ, Україна, 01010

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

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

³ студент, lomako_ao@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-3679-4610

⁴ ст. викладач, olgakravchuk56@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2616-5455

DOI: 10.32347/2524-0021.2022.41.52-58

Анотація. В роботі на основі аналізу системи диференційних рівнянь, які описують рух рідини в напірних збірних горизонтальних дренажних трубопроводах, що працюють при наявності транзитної витрати, в яких надходження рідини вздовж шляху відбувається в режимі фільтрації, запропоновані прості та зручні для застосування залежності для розрахунку основних гідравлічних і конструктивних характеристик таких труб. Розв'язки отримані за припущення нехтування членом, який враховує ефект зміни витрати вздовж шляху. При аналізі введено поняття фіктивного нескінченно довгого збірного дренажного трубопроводу або трубопроводу з нескінченною великою величиною просякнення стінок труби. Для цього типу труб вважається, що реальна витрата в їх кінці замінюється умовною витратою, яка надходить на фіктивній кінцевій ділянці трубопроводу. При цьому витрата в кінцевому перерізі фіктивних труб приймається рівною нулю. Введені припущення дозволяють для розрахунку даних трубопроводів з певним наближенням використовувати відомі формули, які застосовуються при розрахунку роботи трубопроводів без транзиту. Приведені залежності дають можливість розрахувати вплив транзитної витрати на гідравлічні характеристики збірних дренажних труб.

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

ВСТУП

При проектуванні меліоративних систем можливе виникнення ситуації, коли на меліоративній ділянці по одній дренажній трубі одночасно відводиться вода безпосередньо від неї, так і проходить витрата води від збору води на сусідніх ділянках. Тобто дана труба працює при наявності транзитної витрати. Причому, на практиці співвідношення між шляховою і транзитною витратами для цієї труби може змінюватись в досить широких межах. Безумовно, наявність транзитної витрати повинна впливати на характеристики таких труб. На сьогодні

методика гідравлічного розрахунку дренажних трубопроводів, які працюють при наявності транзитної витрати потребує суттєвого корегування [1, 2]. Зокрема це стосується визначення впливу фільтраційних характеристик системи «грунт–дрена» на інтенсивність збору рідини своєю боковою поверхнею вздовж дренажної труби, а це в свою чергу багато в чому визначає ефективність роботи меліоративної системи в цілому [3-5].

МЕТА І МЕТОДИ

Метою роботи є розробка надійної методики розрахунку напірних збірних

дренажних трубопроводів, які працюють при наявності транзитної витрати; оцінка впливу гідралічних, геометричних і фільтраційних характеристик системи «грунт-дрена» на ефективність роботи даних труб. При виконанні роботи застосовувались методи математичного аналізу приведених до безрозмірного вигляду вихідних

диференційних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в даному випадку.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Схема роботи збірної дренажної трубопроводу при наявності транзитної витрати приведена на рис. 1.

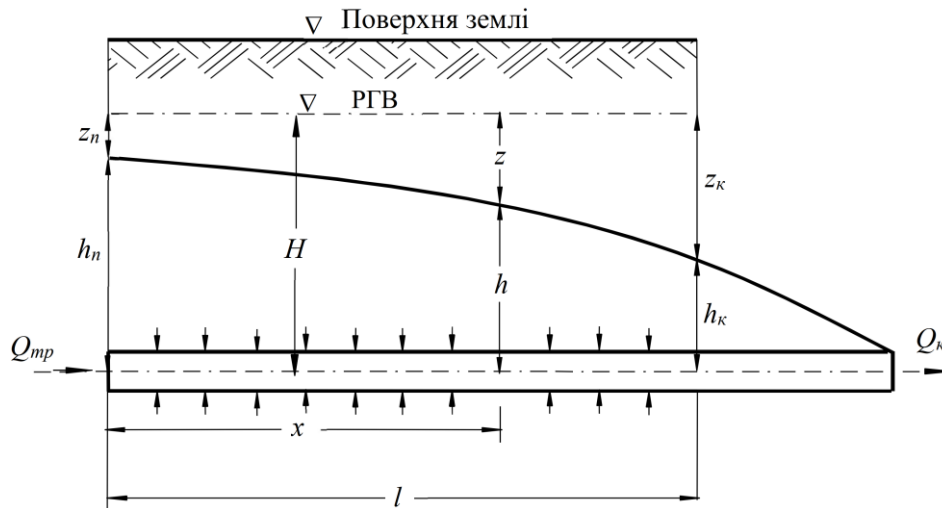


Рис. 1. Схема роботи збірної дренажної трубопроводу при наявності транзитної витрати
Fig. 1. Scheme of the collecting drainage pipeline operation in the presence of transit flow

Вихідна математична модель, за допомогою якої зазвичай описують роботу таких труб, складається з системи двох диференційних рівнянь [6, 7]: рівняння гідраліки руху рідини зі змінною витратою (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2):

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

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

де H – глибина занурення осі трубопроводу від рівня ґрунтових вод; 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 (його визначення представляє окрему фільтраційну задачу [8]); k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації

ґрунту навколо труби; λ_{dp} – гідралічний коефіцієнт тертя дренажної трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

У випадку наявності певного похилу поверхні ґрунтових вод вихідна система диференційних рівнянь потребує певного корегування [9].

При аналізі математичних моделей (1), (2) умовно вважається, що втікання рідини в трубопровід здійснюється через всю бічну поверхню збірника і шар навколишнього фільтруючого матеріалу безперервно. Режим руху рідини в дрени вважається турбулентним, а її втікання з навколишнього середовища через бічні стінки здійснюється в режимі фільтрації. Фільтраційний опір системи «грунт-дрена» Φ і гідралічний коефіцієнт тертя λ_{dp} приймаються постійними вздовж трубопроводу і рівними їх осередненому значенню за довжиною. Кут, під яким здійснюється приєднання рідини до основного потоку в трубопроводі також є постійним і рівним $\pi/2$ [10].

Після введення нових змінних

$$\bar{V} = \frac{Q}{\Omega \sqrt{gz_{\kappa}}}, \quad \bar{x} = \frac{k_{\phi} x}{\Omega \Phi} \sqrt{\frac{z_{\kappa}}{g}}, \quad \bar{z} = \frac{z}{z_{\kappa}},$$

$$dh = -z_{\kappa} d\bar{z} \quad (3)$$

вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

$$-\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + 2\bar{V} \frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} + \zeta_{l_{op}} A \bar{V}^2 = 0, \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} = \bar{z}, \quad (5)$$

де $\zeta_{l_{op}} = \lambda_{op} \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору збірному дренажному трубопроводу;

$A = \frac{1}{2\bar{x}_{\kappa}} = \frac{\Omega \Phi}{2k_{\phi} l} \sqrt{\frac{g}{z_{\kappa}}}$ – узагальнений параметр збірної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Як показано в багатьох роботах [11, 12], другим членом рівняння (4), що описує втрати напору, які пов'язані з ефектом приєднання рідини, в зв'язку з їх відносно малою величиною, зазвичай нехтують. Тоді з рівняння (4) прийме вигляд:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \zeta_{l_{op}} A \bar{V}^2. \quad (6)$$

Підстановка (5) в (6) і розділення змінних призводить до залежності:

$$\bar{z} d\bar{z} = \zeta_{l_{op}} A \bar{V}^2 d\bar{V}. \quad (7)$$

Згідно з [13], його розв'язок буде:

$$\frac{\bar{z}^2}{2} = \zeta_{l_{op}} A \frac{\bar{V}^3}{3} + C. \quad (8)$$

Константу інтегрування для розглядуваного випадку знайдемо з граничних умов: на початку труби $\bar{V}_n = \bar{V}_{mp}$; $\bar{z} = \bar{z}_n$, маємо:

$$C = \frac{\bar{z}_n^2}{2} - \zeta_{l_{op}} A \frac{\bar{V}_{mp}^3}{3}.$$

З урахуванням цього, залежність (8) матиме вигляд:

$$\frac{1}{2}(\bar{z}^2 - \bar{z}_n^2) = \zeta_{l_{op}} A \frac{(\bar{V}^3 - \bar{V}_{mp}^3)}{3}.$$

Звідки співвідношення між відносною швидкістю в даному перерізі і відповідним відносним перепадом напорів буде:

$$\bar{V} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}} A} (\bar{z}^2 - \bar{z}_n^2) + \bar{V}_{mp}^3}, \quad (9)$$

де $\bar{V}_{mp} = \frac{Q_{mp}}{\Omega z_{\kappa}} \sqrt{\frac{z_{\kappa}}{g}}$ – відносна швидкість транзитного потоку.

Тоді відносна швидкість в кінцевому перерізі складе:

$$\bar{V}_{\kappa.mp} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}} A} (1 - \bar{z}_n^2) + \bar{V}_{mp}^3}. \quad (10)$$

Для подальшого аналізу введемо до розгляду поняття нескінченно довгого трубопроводу або трубопроводу з нескінченно великим просякненням бічних стінок. Перепад напорів у початковому перерізі такого трубопроводу буде близьким до нуля, тобто $z_n \rightarrow 0$ ($\bar{z}_n \rightarrow 0$). Витрата в цьому перерізі буде Q_{mp} , а швидкість V_{mp} . Тоді з (10) маємо:

$$\bar{V}_{\kappa.mp.\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}} A} + \bar{V}_{mp}^3}. \quad (11)$$

За останньою залежністю визначається максимально можлива відносна швидкість (витрата), яку може пропустити напірний збірний дренажний трубопровід, що працює при наявності транзитної витрати.

Для наступного розгляду використаємо поняття фіктивного (умовного) трубопроводу, який буде мати фіктивне значення узагальненого параметра $A_{\phi} = 1/2\bar{x}_{\phi,\kappa}$ і пропускати фіктивну витрату з відносною швидкістю \bar{V}_{ϕ} . Вважаємо, що транзитна витрата в такій трубі відсутня, а також обов'язково виконується умова в кінцевому перерізі $\bar{V}_{\kappa.\infty} = \bar{V}_{\phi,\kappa.\infty}$. Схема роботи таких труб представлена на рис. 2.

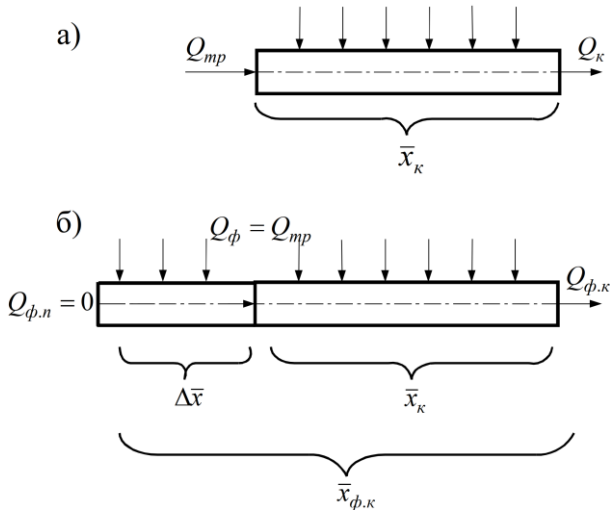


Рис. 2. Розрахункова схема роботи реального (а) і фіктивного (б) трубопроводів

Fig. 2. Calculation scheme of real (a) and fictitious (b) pipelines

З нього слідує, що на початковій ділянці фіктивного трубопроводу, яка відповідає значенню узагальненого параметра $\Delta\bar{x} = \bar{x}_{\phi,k} - \bar{x}_k$, через бічні стінки в трубу надходить витрата Q_{mp} , яка буде мати відносну швидкість \bar{V}_{ϕ} . В початковому ж перерізі, при $\bar{x}_{\phi,n} = 0$, витрата $Q_{\phi,n} = 0$ і, відповідно, відносна швидкість $\bar{V}_{\phi,n} = 0$.

З урахуванням цього, залежності для розрахунку основних характеристик збірних дренажних трубопроводів, які працюють з транзитом, будуть мати вигляд:

- зміна відносного перепаду напору за довжиною:

$$\bar{z} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_{\phi,k} - \bar{x}_{\phi}}{2\bar{V}_{\phi,k,\infty}}\right)^3}; \quad (12)$$

- відносний перепад напорів в початковому перерізі:

$$\bar{z}_n = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_{\phi,k}}{2\bar{V}_{\phi,k,\infty}}\right)^3}; \quad (13)$$

- відносна швидкість в довільному перерізі:

$$\bar{V}_{\phi} = \bar{V}_{\phi,k,\infty} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_{\phi,k} - \bar{x}_{\phi}}{2\bar{V}_{\phi,k,\infty}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_{\phi}}{2\bar{V}_{\phi,k,\infty}}\right)^2} \right]; \quad (14)$$

- відносна швидкість в кінці труби:

$$\bar{V}_{\phi,k} = \bar{V}_{\phi,k,\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_{\phi,k}}{2\bar{V}_{\phi,k,\infty}}\right)^2} \right]; \quad (15)$$

- максимальна відносна швидкість в кінцевому перерізі реального і фіктивного трубопроводу (пропускна спроможність):

$$\bar{V}_{\phi,k,\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}} A}}. \quad (16)$$

Значення узагальненого параметра фіктивного трубопроводу легко знайти порівнявши вирази (11) і (16), маємо:

$$\bar{x}_{\phi,k} = \bar{x}_k + \frac{\zeta_{l_{op}}}{3} \bar{V}_{mp}^3 \quad (17)$$

або

$$\Delta\bar{x} = \frac{\zeta_{l_{op}}}{3} \bar{V}_{mp}^3. \quad (18)$$

При використанні наведених залежностей приймається, що параметр \bar{x} може змінюватись в межах від $\Delta\bar{x}$, в початковому перерізі реальної труби, до $\bar{x}_{\phi,k}$ – в кінцевому, тобто $\Delta\bar{x} \leq \bar{x} \leq \bar{x}_{\phi,k}$.

Підстановка виразу (18) в залежність (14) дає можливість розрахувати максимально можливу швидкість $\bar{V}_{mp,max}$, яку зможе мати збірний трубопровід із заданим значенням узагальненого параметра \bar{x}_k або A при різних величинах коефіцієнта опору збірника $\zeta_{l_{op}}$. Можна також вирішити і зворотню задачу – знайти мінімальне значення узагальненого параметра A_{min} , яке забезпечить пропуск заданої транзитної витрати Q_{mp} з відносною швидкістю \bar{V}_{mp} (залежність (19)).

$$\bar{V}_{mp.max} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}}A} + \bar{V}_{mp.max}^3} \cdot \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{\zeta_{l_{op}} \bar{V}_{mp.max}^3}{3}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\frac{1}{2A} + \frac{\zeta_{l_{op}} \bar{V}_{mp.max}^3}{3}}{2\sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{op}}A} + \bar{V}_{mp.max}^3}}\right)^2} \right]. \quad (19)$$

Залежність (19) слід вирішувати підбором або користуватись графіком на рис. 3.

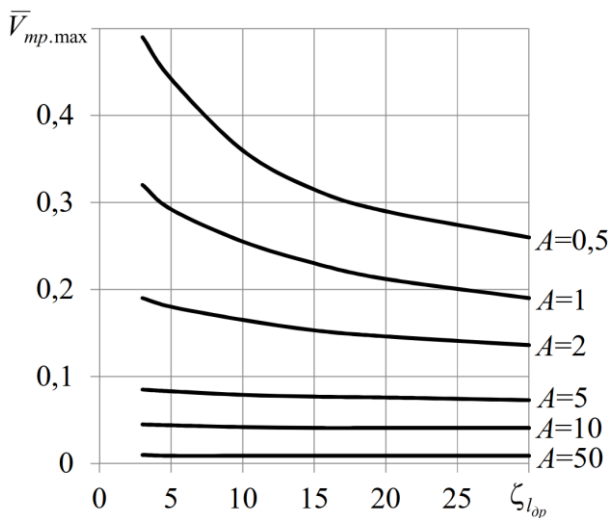


Рис. 3. Графік для визначення максимально можливої відносної швидкості $\bar{V}_{mp.max}$ в збірному дренажному трубопроводі при пропуску транзитної витрати

Fig. 3. The graph for determining the maximum possible relative velocity $\bar{V}_{tr.max}$ in the collecting drainage pipeline when passing the transit flow

З представленого графіка слідує, що збільшення довжини збірного дренажного трубопроводу (або, що те ж саме, збільшення його коефіцієнта опору), який працює при пропуску транзитної витрати, призводить до зменшення можливої відносної максимальної швидкості в його кінцевому перерізі або, що те ж саме, до зменшення пропуску відносної максимальної витрати, що може надійти в даний трубопровід.

Кількісна і якісна оцінка впливу транзитної витрати на параметри роботи збірних дренажних трубопроводів виконана в роботі [14].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі на основі запропонованого наближеного розв'язку системи диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси і модифікованого рівняння фільтрації, запропоновано досить прості і зручні для використання залежності для розрахунку гідравлічних і конструктивних характеристик збірних дренажних трубопроводів, які працюють при пропуску транзитної витрати. При аналізі роботи даних труб введено поняття фіктивного дренажного трубопроводу нескінченної довжини або трубопроводу з нескінченною фільтраційною спроможністю стінок каналу. З'ясовано характер зміни витрати рідини вздовж каналу в залежності від конструктивних і фільтраційних характеристик системи «грунт-дрена».

Подальшим напрямком досліджень з даної проблематики вважаємо більш детальне вивчення гідродинаміки потоку всередині збірного дренажного трубопроводу, в тому числі при його роботі при пропуску транзитної витрати.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Майборода В. О.** Гидравлический расчет дрен и коллекторов закрытых осушительно-увлажнительных систем // Гидравлика и гидро-техника. 1985. Вып. 41. С. 16-19.

2. Дмитриев А. Ф., Безусьяк А. В., Хлапук Н. Н. Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. Львів: Світ, 1992. 175 с.
3. Турченко В. О., Рокочинський А. М., Вовк П. П., Приходько Н. В., Ричко Д. М. Комплекс заходів з підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем // Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки». 2018. Т. 4, № 84. С. 3-21.
4. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L., Grismer M. E., Angelakis A. N. The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present // Sustainability. 2020. No 12 (1), 416.
5. 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.
6. Kravchuk A., Kochetov G., Kravchuk O. Improving the calculation of collecting perforated pipelines for water treatment structures // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6, No 10(108). P. 23-28.
7. 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.
8. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. К.: Наукова думка, 1987. 279 с.
9. Кравчук А. М., Кравчук О. А. Оцінка впливу похилу на характеристики напірних збірних дренажних трубопроводів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. 2022. Вип. 40. С. 26-30.
10. Чернюк В. В., Іванів В. В., Ценюх М. Б. Нерівномірність притоку води до напірного трубопроводу-збирача залежно від кута приєднання вхідних струменів // Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29, вип. 9. С. 116-120.
11. Кравчук А. М., Чернишев Д. О., Кравчук О. А. Гідраліка напірних перфорованих трубопроводів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення: монографія. Київ: КНУБА, 2021. 204 с.
12. 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.
13. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Перевод с английского Н.В. Леви под редакцией К.А. Семендяева. М.: Наука, 1977. 228 с.
14. Кравчук А. М., Кравчук О. А. Аналіз результатів розрахунку збірних дренажних трубопроводів при наявності транзитної витрати // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. 2021. Вип. 37. С. 11-17.

REFERENCES

1. Mayboroda, V. O. (1985). Hydraulic calculation of drains and collectors of closed drainage and humidification systems. *Hydraulics and Hydrotechnics*, 41. 16-19. [in Russian]
2. Dmitriev, A. F., Bezusyak, A. V. & Khlapuk, N. N. (1992). *Improvement of drying and moisturizing systems*. Lviv, Ukraine: Svit, 175. [in Russian]
3. Turcheniuk, V. O., Rokochynskyi, A. M., Volk, P. P., Prykhodko, N. V. & Rychko, D. M. (2019). Complex of measures to improve the efficiency of functioning of figured extractive systems. *Bulletin of NUWEE. Technical Sciences*, 4(84). 3-21. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31713/vt420181>
4. Valipour, M., Krasilnikof, J., Yannopoulos, S., Kumar, R., Deng, J., Roccaro, P., Mays, L., Grismer, M. E. & Angelakis, A. N. (2020). The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present. *Sustainability*, 12(1), 416. <https://doi.org/10.3390/su12010416>
5. Schultz, B. & De Wrachien, D. (2002). Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, 51(4). 311-327. <https://doi.org/10.1002/ird.67>
6. Kravchuk, A., Kochetov, G. & Kravchuk, O. (2020). Improving the calculation of collecting perforated pipelines for water treatment structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10(108), 23-28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216366>
7. 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*, 6/7(114), 93-103. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
8. Oleynik, O. Ya. & Poliakov, V. L. (1987). *Drainage of wetlands*. Kiev: Naukova dumka, 279. [in Russian]
9. Kravchuk, A. M. & Kravchuk, O. A. (2022). Assessment of the slope influence on the pressure collecting drainage pipelines characteristics. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 40, 26-30. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.40.26-30>
10. Cherniuk, V. V., Ivaniv, V. V., & Tsenyuh, M. B. (2019). Dependence of non-uniformity of water inflow into pressure pipeline-collector on the

angle of inflowing jets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), 116-120. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.36930/40290920>

11. **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]

12. **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>

13. **Dvayt, G. B. (1977).** *Tables of integrals and other mathematical formulas*. Translated from English by N. V. Levy, edited by K. A. Semendyaev. Moscow: Nauka. 228. [in Russian]

14. **Kravchuk, A. M. & Kravchuk, O. A. (2021).** Analysis of the results of perforated drainage pipelines calculation in the presence of transit flow rate. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 37, 42-46. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.42-46>

Variation of the collective drainage pipelines parameters when passing the transit flow

Andriy Kravchuk, Oleksandr Kravchuk, Artem Lomako, Olga Kravchuk

Abstract. Simple and convenient dependences for calculating basic hydraulic and design characteristics of pressure collecting horizontal drainage pipelines operating in the presence of transit flow, in which the fluid collection along the path occurs in the filtration mode, are presented in the paper. They are based on the analysis of a system of differential equations that describe the fluid motion in such pipes. The solutions are based on the assumption that the member, which takes into account the effect of the flow variation along the pass, is neglected. The concept of a fictitious infinitely long collecting drainage pipeline or a pipeline with an infinitely large amount of the pipe walls permeation is used in the analysis. It is assumed that the actual flow at the end of this pipelines is replaced by a conditional flow, which is collected at the fictitious end section of the pipeline. The flow in the end section of the fictitious pipes is assumed to be zero. The introduced assumptions allow to use formulas for calculation of the mentioned pipelines with a certain approximation which are applied at calculation of pipelines operation without transit. These dependences allow to calculate the effect of transit flow on the hydraulic characteristics of the collecting drainage pipelines.

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

Стаття надійшла до редакції 06.11.2022