

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЗБІРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРАНЗИТУ І ПОХИЛУ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук², Олександр Возний³, Ольга Кравчук⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітряних Сил, 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

³voznyi_ot@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0004-4222-1335

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.26-32

Анотація. Розглянуто умови роботи напірних збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем, які працюють при наявності транзитної витрати і рівня поверхні ґрунтових вод. Проаналізована система диференційних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в дренажній трубі за умови входу в неї рідини з навколишнього ґрунту через бічні стінки в режимі фільтрації. Дана система рівнянь складається з рівняння гідравліки змінної маси і модифікованого рівняння фільтрації. Досліджуваний трубопровід прокладений горизонтально і працює при наявності похилу поверхні рівня ґрунтових вод (РГВ). Суттєвим ускладненням роботи таких труб є наявність транзитної витрати, яка надходить в їх початковий переріз і транспортується за всією довжиною дренажного трубопроводу. Шляхом введення нових змінних вихідна система зводиться до безрозмірного вигляду. Представлено розв'язок даної системи рівнянь. Показано, що в даному випадку розв'язок вихідної системи рівнянь залежить від величини чотирьох основних факторів: коефіцієнта опору збірному дренажному трубопроводу « ζ »; узагальненого параметра « A », який комплексно враховує конструктивні і фільтраційні характеристики розглядуваного потоку; похилу рівня ґрунтових вод « I » і величини транзитної витрати « Q_{tr} ». При аналізі використано поняття нескінченно довгого горизонтального дренажного трубопроводу, який працює при наявності похилу РГВ і транзитної витрати, або, що теж саме, трубопроводу з нескінченною фільтраційною спроможністю стінок бічної поверхні. На основі проведеного аналізу отримано відносно прості і зручні у використанні аналітичні залежності для розрахунку характеру зміни витрати і перепаду напорів за довжиною даного дренажного трубопроводу, що працює при наявності транзиту. Для спрощення розрахунків запропоновано відповідні допоміжні графічні залежності.

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

ВСТУП

Збірні дренажні трубопроводи використовуються в багатьох сферах, зокрема вони є головним елементом сільськогосподарських меліоративних систем, а також горизонтальних та променевих водозаборів.

В меліоративних системах дані трубопроводи застосовуються для регулювання рівня ґрунтових вод і вологості, попередження засолення, відведення надлишкових ґрунтових вод та поліпшення структури ґрунту, що

створює оптимальні умови для вирощування сільськогосподарських культур та підвищення врожайності [1, 2].

В горизонтальних водозаборах передбачається розміщення дренажних трубопроводів уздовж водоносного шару на певній глибині. Труби прокладаються горизонтально або з невеликим ухилом, що дозволяє ефективно збирати підземні води з великої площі, запобігати надлишковому підняттю ґрунтових вод, забезпечувати стабільне водопостачання. В променевих водозаборах

дренажні трубопроводи використовуються для збору підземних вод з великої площі шляхом радіального розташування труб від центрального колектора. Це дозволяє збирати воду навіть у зонах з різним рівнем насичення підземними водами, забезпечуючи стабільне водопостачання, незалежно від сезонних коливань рівня води. Обидва види водозборів забезпечують стабільний збір води та захищені від засмічення, що робить їх довговічними й ефективними в різних умовах експлуатації [3, 4].

Дослідженню роботи дренажних трубопроводів, зокрема їх розрахунку, присвячена велика кількість робіт [5-8]. У попередніх роботах нами були розроблені методики розрахунку даних трубопроводів, що окремо враховують наявність транзитної витрати [9] та похил рівня ґрунтових вод (РГВ) [10, 11]. Проте на сьогоднішній день відсутні достатньо універсальні і зручні для практичного застосування розрахункові залежності,

що дозволяють одночасно враховувати похил РГВ та наявність транзиту, що є важливим для надійної та ефективної роботи цих систем.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку параметрів напірних горизонтальних збірних трубопроводів меліоративних систем і систем водозборів, які працюють при наявності транзитної витрати та похилу рівня ґрунтових вод.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

В даній роботі розглядається рух рідини зі змінною витратою в одиночному горизонтальному напірному збірному дренажному трубопроводі, який працює при наявності транзитної витрати і похилу рівня ґрунтових вод. Схема роботи трубопроводів даного типу приведена на рис. 1.

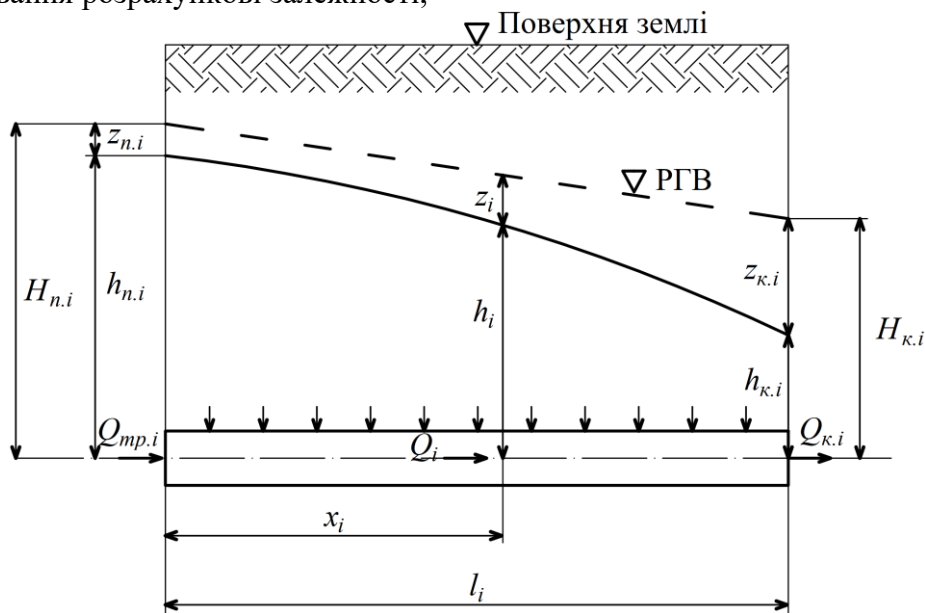


Рис. 1. Схема роботи горизонтального збірного дренажного трубопроводу при наявності транзиту і прямого похилу РГВ

Fig. 1. The scheme of operation of a horizontal collecting drainage pipeline in the presence of transit and a direct groundwater level slope

Як відомо [12], рух рідини в даному випадку описується системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2), які з врахуванням позначень на рис. 1 можуть бути представлені у вигляді:

$$\frac{dh_i}{dx_i} + \frac{2}{g} V_i \frac{dV_i}{dx_i} + \frac{\lambda}{2gD} V_i^2 = 0; \quad (1)$$

$$q_i = \frac{d(V_i \Omega)}{dx_i} = \frac{k_\phi (H_i - h_i)}{\Phi} = k_\phi \frac{z_i}{\Phi}, \quad (2)$$

де $H_{n,i}$ – висота РГВ в початковому перерізі дренажного трубопроводу; $H_{к,i}$ – висота РГВ в кінцевому перерізі труби; H_i – висота РГВ в перерізі труби на відстані x_i від її початку; $\frac{H_{n,i} - H_{к,i}}{l_i} = i$ – похил поверхні рівня

грунтових вод; l_i – довжина дренажного трубопроводу; h_i – п'єзометричний напір в трубі на відстані x_i ; $z_i = H_i - h_i$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід; Q_i, V_i, D, Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x_i від початку труби; $Q_{mp,i}$ – транзитна витрата в збірному трубопроводі (витрата в його початковому перерізі); $\bar{\Phi}$ – фільтраційний опір дрени [13]; k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; λ – гідравлічний коефіцієнт тертя дренажного трубопроводу [14]; g – прискорення вільного падіння.

На основі рис. 1 можна записати:

$$H_i = H_{n,i} - ix_i; \quad h_i = H_i - z_i = H_{n,i} - ix_i - z_i; \\ dh_i = -idx_i - dz_i.$$

Для аналізу вихідних рівнянь введемо нові безрозмірні змінні:

$$\bar{V}_i = \frac{V_i}{\sqrt{gz_{к,i}}}, \quad \bar{x}_i = \frac{k_\phi x_i}{\Omega \bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z_{к,i}}{g}}, \quad \bar{z}_i = \frac{z_i}{z_{к,i}}. \quad (3)$$

З урахуванням цього вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

$$-\frac{d\bar{z}_i}{d\bar{x}_i} + 2\bar{V}_i \frac{d\bar{V}_i}{d\bar{x}_i} + \zeta_l A \bar{V}_i^2 - B = 0; \quad (4)$$

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

де $\zeta_l = \lambda \frac{l_i}{D}$ – коефіцієнт опору збірного дренажного трубопроводу;

$$A = \frac{1}{2\bar{x}_{к,i}} = \frac{\Omega \bar{\Phi}}{2k_\phi l_i} \sqrt{\frac{g}{z_{к,i}}} \text{ – узагальнений пара-}$$

метр збірної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики;

$$B = \frac{2l_i Ai}{z_{к,i}} \text{ – параметр, який враховує вплив}$$

похилу РГВ на характеристики потоку в дрени.

При аналізі математичних моделей 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 “ґрунт-дрена” $\bar{\Phi}$ і гідравлічний коефіцієнт тертя λ приймаються постійними вздовж трубопроводу і рівними їх осередненому значенню за довжиною.

Як показано в роботі [15] другим членом в рівнянні (4), який описує втрати напору, пов'язані з ефектом приєднання рідини, в зв'язку з його відносно малою величиною, можна знехтувати. Тоді воно матиме вигляд:

$$-\frac{d\bar{z}_i}{d\bar{x}_i} + \zeta_l A \bar{V}_i^2 - B = 0. \quad (6)$$

Підставивши (5) в (6) і, розділивши змінні, отримаємо:

$$\bar{z}_i d\bar{z}_i = \zeta_l A \bar{V}_i^2 d\bar{V}_i - B d\bar{V}_i. \quad (7)$$

Інтегруємо його:

$$\frac{\bar{z}_i^2}{2} = \zeta_l A \frac{\bar{V}_i^3}{3} - B \bar{V}_i + C. \quad (8)$$

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

$$C = \frac{\bar{z}_{n,i}^2}{2} - \zeta_l A \frac{\bar{V}_{mp,i}^3}{3} + B \bar{V}_{mp,i}.$$

З урахуванням цього, залежність (8) прийме вигляд:

$$\bar{z}_i^2 - \bar{z}_{n,i}^2 = \frac{2\zeta_l A}{3} (\bar{V}_i^3 - \bar{V}_{mp,i}^3) - 2B(\bar{V}_i - \bar{V}_{mp,i}). \quad (9)$$

З (9) в кінцевому перерізі реального збірника буде:

$$1 - \bar{z}_{n,i}^2 = \frac{2A\zeta_l}{3} (\bar{V}_{к,mp,i}^3 - \bar{V}_{mp,i}^3) - 2B(\bar{V}_{к,mp,i} - \bar{V}_{mp,i}). \quad (10)$$

Для подальшого аналізу використаємо поняття збірного дренажного трубопроводу нескінченної довжини ($l \rightarrow \infty, \zeta_l \rightarrow \infty$). Для нього перепадом напорів в початковому перерізі можна знехтувати, тобто приймається $\bar{z}_{n,i} \rightarrow 0$:

$$\frac{2A\zeta_l}{3} (\bar{V}_{к.мп.i.\infty}^3 - \bar{V}_{мп.i.\infty}^3) - 2B(\bar{V}_{к.мп.i.\infty} - \bar{V}_{мп.i.\infty}) = 1. \quad (11)$$

Розглядаючи загальний випадок визначення відносної швидкості витрати в кінцевому перерізі напірного похильного збірного дренажного трубопроводу, який працює при наявності транзитної витрати, кубічне рівняння (11) рекомендується розв'язувати підбором або застосовувати відповідні графічні залежності.

Як приклад, у випадку похилу прокладання дренажного трубопроводу (параметр $2B = \frac{4Al_i}{z_{к.i}} = 5,0$) і різних значеннях відносної транзитної витрати (швидкості), яка за величиною дорівнює певній частині витрати в кінці трубопроводу ($\bar{V}_{мп.i.\infty} = \alpha \bar{V}_{к.мп.i.\infty}$), рівняння (11) прийме вигляд:

$$\bar{V}_{к.мп.i.\infty}^3 (1 - \alpha^3) - 2B \bar{V}_{к.\infty}^3 \bar{V}_{к.мп.i.\infty} (1 - \alpha) - \bar{V}_{к.\infty}^3 = 0, \quad (12)$$

де $\sqrt[3]{\frac{3}{2A\zeta_l}} = \bar{V}_{к.\infty}$.

$$\bar{V}_{мп.i} = \bar{V}_{к.мп.\infty.i} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{1-x/l}{4A\bar{V}_{к.мп.\infty.i}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{к.мп.\infty.i}}\right)^2} \right]; \quad (13)$$

відносний перепад напорів при цьому складе:

$$\bar{z}_{мп.i} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1-x/l}{4A\bar{V}_{к.мп.\infty.i}}\right)^3}. \quad (14)$$

Відповідний графік при різних значеннях параметра α приведено на рис. 2. На ньому по осі абсцис відкладена величина відносної швидкості в кінцевому перерізі нескінченно довгого похильного трубопроводу $\bar{V}_{к.мп.i.\infty}$. На осі ординат – відносна швидкість в кінці нескінченно довгого горизонтального трубопроводу, який працює без транзиту $\bar{V}_{к.\infty}$.

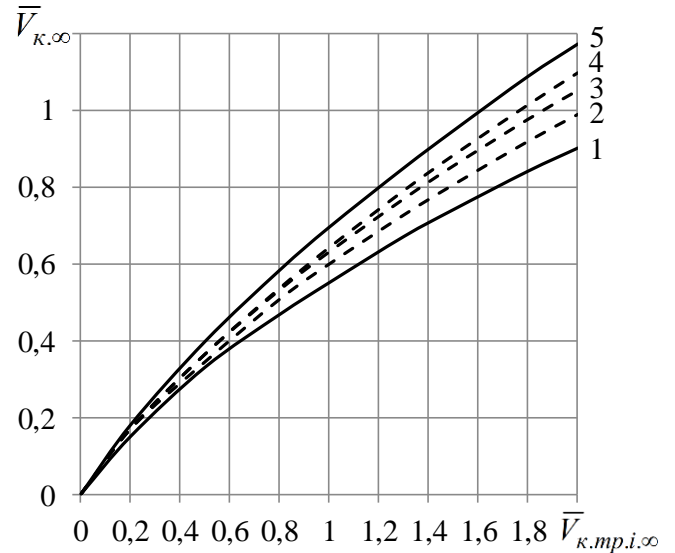


Рис. 2. Графік визначення коренів рівняння (12) при $B = 2,5$: 1 – $\alpha = 0$; 2 – $\alpha = 0,3$; 3 – $\alpha = 0,5$; 4 – $\alpha = 0,8$. При $B = 1$: 5 – $\alpha = 0$

Fig. 2. The graph for determining the roots of equation (12) at $B = 2.5$: 1 – $\alpha = 0$; 2 – $\alpha = 0.3$; 3 – $\alpha = 0.5$; 4 – $\alpha = 0.8$. At $B = 1$: 5 – $\alpha = 0$

За аналогією з роботою [15] відносна швидкість в довільному перерізі збірного дренажного трубопроводу при наявності транзиту і похилу рівня ґрунтових вод визначиться за залежністю:

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В представленій роботі розглянуто одночасний вплив похилу рівня ґрунтових вод і наявності транзитної витрати на характеристики збірних дренажних трубопроводів. Показано, що наявність транзиту несуттєво збільшує сумарну кінцеву витрату дрени. Дану обставину можна пояснити тим, що збільшення присутності транзиту в той же час призводить до одночасного зменшення приєднуваної витрати.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Schultz B., Thatte C. D., Labhsetwar V. K.** Irrigation and drainage. Main contributors to global food production // *Irrigation and Drainage*. 2005. Vol. 54, No 3. P. 263-278.
2. **Karadavut S., Erdogan S., Dayan V.** Investigation of agricultural sustainability with irrigation and economic factors // *Black Sea Journal of Agriculture*. 2023. Vol. 6, No 4. P. 394-401.
3. **Шарков В. В., Нестерова О. В., Журавльова О. А., Боженко В. О.** Аналіз продуктивності інфільтраційних водозаборів // *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 3 (015). С. 122-126.
4. **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.
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. **Козішкурт С. М., Турченко В. О.** Методологічні та екологічні аспекти удосконалення розрахунку водних режимів сільськогосподарських культур // *Вісник НУВГП*. 2019. Т. 3, № 87. С. 19-27.
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. **Fang, X., Xiao, J., Liu, R., Chen, X., Yang, H., Yu, J., & Cai, Y.** Flow Test and Simulation of Underground Drainage Pipeline in Substation // *Conference on Sustainable Traffic and Transportation Engineering*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. P. 532-539.

9. **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.
10. **Кравчук А., Кравчук О., Барладіна В., Перебийніс В.** Розрахунок горизонтальних збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем при наявності похилу рівня ґрунтових вод // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2023. Вип. 102. С. 58-64.
11. **Кравчук А., Кравчук О., Возний О.** Особливості роботи напірних похильних збірних дренажних трубопроводів за наявності похилу рівня ґрунтових вод // *Технічні науки та технології*. 2024. Вип. 1 (35). С. 302-310.
12. **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.
13. **Олейник А. Я., Поляков В. Л.** Дренаж переувлажненных земель. К.: Наукова думка, 1987. 279 с.
14. **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.
15. **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.

REFERENCES

1. **Schultz, B., Thatte, C. D., & Labhsetwar, V. K. (2005).** Irrigation and drainage. Main contributors to global food production. *Irrigation and Drainage*, 54(3), 263-278. <https://doi.org/10.1002/ird.170>
2. **Karadavut, S., Erdogan, S., & Dayan, V. (2023).** Investigation of agricultural sustainability with irrigation and economic factors. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(4), 394-401. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1300422>
3. **Sharkov, V. V., Nesterova, O. V., Zhuravleva, O. A., & Bozhenko, V. O. (2023).** Analysis of infiltration water intakes productivity. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3(015), 122-126. [in Ukrainian]

<https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.122.963>

4. Telyma, S. V., Tuhay, Ya. A., Oliynyk, E. O., & Maystrenko, H. V. (2013). Isnuyuchi matematychni modeli i metody filtratsiynoho rozrakhunku promenyvykh vodozaboriv i drenazhiv. *Urban and Spatial Planing*, 47, 618-626. [in Ukrainian]

5. 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>

6. 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>

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. Fang, X., Xiao, J., Liu, R., Chen, X., Yang, H., Yu, J., & Cai, Y. (2023). Flow Test and Simulation of Underground Drainage Pipeline in Substation. *Conference on Sustainable Traffic and Transportation Engineering*. Singapore: Springer Nature Singapore, 532-539. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5814-2_47

9. Kravchuk, A., Kravchuk, O., Lomako, A., & Kravchuk, O. (2022). Variation of the collective drainage pipelines parameters when passing the 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>

10. Kravchuk, A., Kravchuk, O., Barladina, V., & Perebyinis, V. (2023). Calculation of horizontal collective drainage pipelines of reclamation systems in the presence of a ground water level slope. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, 102, 58-64. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.102.0501>

11. Kravchuk, A., Kravchuk, O., & Voznyi, O. (2024). Operational features of inclined collecting drainage pipelines in the presence of groundwater level slope. *Technical Sciences and Technology*, 1(35), 302-310. [in Ukrainian] [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-302-310](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-302-310)

12. 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>

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

14. 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>

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>

Operational features of collecting pipelines in the presence of transit and groundwater level slope

Andriy Kravchuk, Oleksandr Kravchuk, Oleksandr Voznyi, Olga Kravchuk

Abstract. The conditions of operation for pressure collecting drainage pipelines in melioration systems that function in the presence of transit flow and groundwater surface levels have been considered. The system of differential equations describing the fluid motion with variable flow rate in the drainage pipe has been analyzed, taking into account the inflow of liquid from the surrounding soil through the side walls in a filtration mode. This system of equations consists of the hydraulic equation of variable mass and a modified filtration equation. The pipeline under study is laid horizontally and operates with a groundwater level slope. A significant complication in the operation of such pipes is the presence of transit flow that enters their initial cross-section and is transported along the entire length of the drainage pipeline. By introducing new variables, the original system is transformed into a dimensionless form. The solution to this system of equations is presented. It is shown that, in this case, the solution to the original system of equations depends on the magnitude of four main factors: the resistance coefficient of the collection drainage pipeline « ζ »; the generalized parameter « A » which comprehensively considers the structural and filtration characteristics of the flow under consideration; the slope of the groundwater level « I »; and the magnitude of the transit flow « Q_{tr} ». The analysis employs the concept of an infinitely long horizontal drainage pipeline that operates with a groundwater level slope and transit flow, or, equivalently, a pipeline with infinite filtration capacity of the side wall surfaces. Based on the conducted analysis, relatively simple and convenient analytical expressions have been obtained for calculating the variation of flow rate and head loss along the length of the drainage pipeline operating with transit flow. To simplify the calculations, corresponding auxiliary graphical dependencies have been proposed.

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

Стаття надійшла до редакції 07.11.2024