

ДО МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛЬЧИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ПОХИЛУ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук², Роман Чабанюк³, 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, kravchuk.am@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8732-9244

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

³ chabaniuk_ra@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-6409-6660

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.45.39-43

Анотація. В даній роботі на основі отриманих нами раніше розв'язків системи диференційних рівнянь, що описують рух рідини зі змінною витратою в розподільчих напірних дренажних трубопроводах, які працюють при горизонтальному рівні поверхні ґрунтових вод, запропоновано методику оцінки впливу величини похибки, яка вноситься в розрахунки даних труб у випадку наявності похилу останнього. Аналіз представлено в безрозмірному вигляді. Вплив похилу РГВ на результати розрахунку оцінено за допомогою величини зміни відносної витрати в початковому перерізі розподільчого трубопроводу 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 визначити межі, в яких можна користуватись для розрахунку дренажних трубопроводів спрощеними залежностями, які рекомендуються для застосування при горизонтальному рівні ґрунтових вод на майданчику меліорації. При цьому одразу визначається похибка, що вноситься в розрахунки в результаті прийнятого спрощення. Для ілюстрації отриманих залежностей в роботі приведені відповідні графіки.

Ключові слова: розподільчий дренажний трубопровід, гідравлічний коефіцієнт тертя, коефіцієнт фільтрації, фільтраційний опір, рівень ґрунтових вод, змінна витрата.

ВСТУП

В сучасному світі зі зростанням населення збільшується тиск на природні ресурси, а отже актуальність ефективного проектування і використання меліоративних систем стає надзвичайно важливим [1,2]. Меліорація, яка визначається як комплекс заходів з поліпшення ґрунтово-гідрологічних умов для збільшення урожайності сільськогосподарських культур та покращення екологічного стану природного середовища, виступає необхідним інструментом для забезпечення продовольчої безпеки, збереження водних ресурсів та управління природними екосистемами [3,4].

Головним елементом меліоративної системи є мережа дренажних трубопроводів, які, зокрема, працюють в напірному режимі [5]. При цьому, в залежності від місцевих умов, рівень ґрунтових вод може бути як горизонтальним, так і мати певний похил вільної поверхні. Розробці методики розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють при горизонтальному рівні ґрунтових вод (РГВ) присвячено досить велику кількість теоретичних і експериментальних робіт [6-9]. Розрахунку ж даних трубопроводів, що працюють при наявності похилу РГВ, приділено недостатньо уваги.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даної роботи є визначення умов, при яких у випадку наявності похилу РГВ, можна користуватись методикою для розрахунку основних гідравлічних характеристик напірних розподільчих дренажних трубопроводів при його відсутності. Важливим результатом даної роботи є визначення величини похибки, яка виникає в такому випадку.

Для досягнення поставленої мети застосовувались методи математичного аналізу

приведених до безрозмірного вигляду вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в даному випадку.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

При проектуванні розподільчих дренажних систем можливе виникнення ситуації, коли поверхня рівня ґрунтових вод, в місці прокладення розподільчої труби, має певний похил до горизонту. Схема роботи такого трубопроводу приведена на рис. 1.

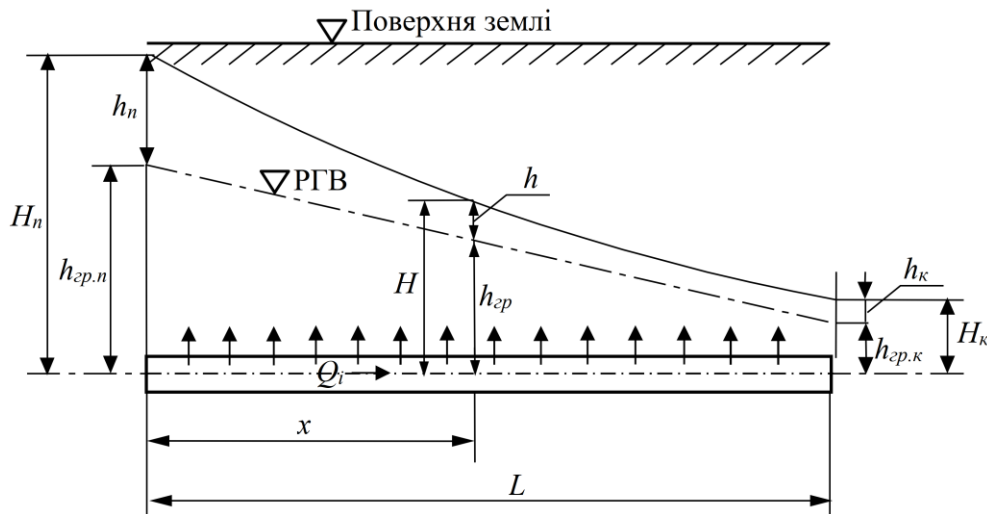


Рис. 1. Схема роботи горизонтального розподільчого дренажного трубопроводу при наявності похилу рівня ґрунтових вод

Fig. 1. Scheme of the horizontal distribution drainage pipeline operation in the presence of the ground water level slope

Розрахунок параметрів розподільчих дренажних труб, які прокладені в таких умовах, є значно складнішим у порівнянні з розрахунком труб, що працюють при горизонтальному рівні ґрунтових вод. Однак, коли похил РГВ незначний за величиною, його впливом на параметри потоку в дрені можна знехтувати. При цьому об'єм необхідних розрахунків суттєво зменшується в порівнянні з розрахунком трубопроводів при наявності похилу РГВ.

Безумовно, при такому спрощенні в розрахунки вноситься певна похибка, величину якої необхідно оцінювати. Нижче пропонується методика за якою можна визначити її величину.

Максимальне значення похилу поверхні РГВ при якому, не перевищуючи задану

допустиму похибку δ у визначенні початкової витрати, труби можна розраховувати, як при горизонтальному рівні РГВ, будемо називати граничним похилом $I_{гр}$.

При значеннях реального похилу, що перевищує граничний ($I > I_{гр}$), труби слід відносити до похильних, для яких нехтуванням впливу похилу на гідродинамічні характеристики потоку в дрені неприпустимо. При $I < I_{гр}$ – труби будемо відносити до малопохильних або горизонтальних, для яких впливом похилу РГВ нехтуємо.

Прийемо, що для нескінченно довгого трубопроводу впливом похилу РГВ можна знехтувати, якщо виконується умова

$$Q_{n.i} \leq Q_n(1 - \delta), \quad (1)$$

де $Q_{n.i}$ – витрата на початку розподільного дренажного трубопроводу, при наявності похилу РГВ; Q_n – те ж саме для розподільного дренажного трубопроводу при горизонтальному рівні поверхні ґрунтових вод; δ – задана допустима величина похибки (долі одиниці), якою можна знехтувати при визначенні витрати в початковому перерізі розподільника, що працює при наявності похилу поверхні РГВ, у порівнянні з випадком, коли він буде горизонтальним.

Використавши підстановку $\bar{Q} = \bar{V} = \frac{Q}{\Omega\sqrt{gh_n}}$, залежність (1) в безрозмірному вигляді набуде вигляду:

$$\bar{V}_{n.i} \leq \bar{V}_n(1 - \delta). \quad (2)$$

Звідси, величину допустимої похибки отримаємо у вигляді:

$$\delta \leq 1 - \frac{\bar{V}_{n.i}}{\bar{V}_n}. \quad (3)$$

Величину відносної швидкості в початковому перерізі похильного розподільника можна визначити з кубічного рівняння, отриманого в роботі [10]:

$$\frac{2\zeta_{l_p} A \bar{V}_{n.i}^3}{3} \mp 2B \bar{V}_{n.i} = 1, \quad (4)$$

де $B = \frac{2IIA}{h_n}$ – параметр, який враховує вплив похилу РГВ на характеристики потоку в дрени,

$\zeta_{l_p} = \lambda_p \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору розподільного дренажного трубопроводу;

$A = \frac{\Omega\Phi}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{h_n}}$ – узагальнений параметр розподільної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Виконавши підстановку (2) в (4), отримаємо:

$$(1 - \delta)^3 \mp 2B(1 - \delta)\bar{V}_n = 1. \quad (5)$$

Звідки

$$I_{zp} = \pm \frac{1 - (1 - \delta)^3}{1 - \delta} T, \quad (6)$$

$$\text{де } T = \frac{h_n}{4Al\bar{V}_{n.i}}.$$

Таким чином, при

$$I \leq I_{zp} = \left| \frac{1 - (1 - \delta)^3}{1 - \delta} T \right| \quad (7)$$

впливом похилу рівня поверхні ґрунтових вод (в межах прийнятої похибки δ) на характеристики роботи розподільного дренажного трубопроводу можна знехтувати.

І навпаки, при

$$I > I_{zp} = \left| \frac{1 - (1 - \delta)^3}{1 - \delta} T \right| \quad (8)$$

похил треба враховувати.

На рис. 2 приведені відповідні графічні інтерпретації умов (7) і (8).

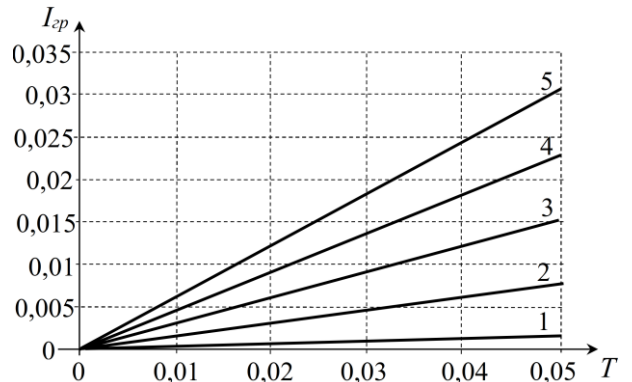


Рис. 2. Графік для визначення граничної величини похилу (7), (8): 1 – $\delta = 0,01$; 2 – $\delta = 0,05$; 3 – $\delta = 0,1$; 4 – $\delta = 0,15$; 5 – $\delta = 0,2$

Fig. 2. Graph for determining the limit slope value (7), (8): 1 – $\delta = 0,01$; 2 – $\delta = 0,05$; 3 – $\delta = 0,1$; 4 – $\delta = 0,15$; 5 – $\delta = 0,2$

На ньому по осі абсцис відкладена величина параметру T , який враховує гідравлічні і фільтраційні характеристики дрени, а також похил рівня поверхні ґрунтових вод.

Прийнятій похибці розрахунків δ відповідає своя пряма. У випадку, коли розрахунковий граничний похил I_{zp} , при даному значенні параметра T , потрапляє в зону, що розташована нижче відповідної прямої, то впливом похилу РГВ, не перевищуючи задану величину δ , можна знехтувати. У випадку ж коли потрапляємо в зону вище прийнятої прямої, то вплив похилу РГВ на

розрахункові характеристики розподільчих дренажних труб треба враховувати.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У ході дослідження на основі аналізу диференційних рівнянь, які описують рух рідини у напірних розподільчих дренажних трубопроводах з урахуванням похилу рівня ґрунтових вод. Запропоновано методику визначення похибки, яка виникає при розрахунку витрати в початковому перерізі порівняно з результатами, отриманими за допомогою спрощеної методики при горизонтальному РГВ. Представлені відповідні графіки, які дозволяють оцінити отримані результати.

ЛІТЕРАТУРА

1. **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.
2. **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.
3. **Castellano M. J., Archontoulis S. V., Helmers, M. J., Poffenbarger, H. J., Six J.** Sustainable intensification of agricultural drainage // *Nature Sustainability*. 2019. No 2. P. 914-921.
4. **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.
5. **Кравчук О. А.** До гідравлічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі // *Комунальне господарство міст*. 2021. Вип. 163. С. 68-74.
6. **Clemo T.** Flow in Perforated Pipes: A Comparison of Models and Experiments // *SPE Production & Operations*. 2006. Vol. 21, No 2. P. 302-311.
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. **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.
9. **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.

10. **Кравчук А., Кравчук О.** Розрахунок розподільчих дренажних трубопроводів, прокладених з похилом // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2023. Вип. 42. С. 35-41.

REFERENCES

1. **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>
2. **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>
3. **Castellano, M. J., Archontoulis, S. V., Helmers, M. J., Poffenbarger, H. J. & Six, J. (2019).** Sustainable intensification of agricultural drainage. *Nature Sustainability*, 2, 914-921. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>
4. **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*, 84(4). 3-21. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31713/vt420181>
5. **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>
6. **Clemo, T. (2006).** Flow in Perforated Pipes: A Comparison of Models and Experiments. *SPE Production & Operations*, 21(2). 302-311. <https://doi.org/10.2118/89036-PA>
7. **Oyarce, P., Gurovich, L. & Guarte, V. (2017).** Experimental Evaluation of Agricultural Drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(4), 143(4):04016082. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001134)
8. **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), 93-103. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>

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), 61-67.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>

10. **Kravchuk, A. & Kravchuk, O. (2023).** Calculation of distribution drainage pipelines laid with a slope. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulics*, 42, 35-41. [in Ukrainian]
<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.35-41>

To the method of distribution drainage pipelines calculation with sloping groundwater level

Andriy Kravchuk, Oleksandr Kravchuk, Roman Chabaniuk, Olga Kravchuk

Abstract. A methodology for assessing the influence of the error value, which is included in the calculations of distribution pressure drainage pipelines in the case of a groundwater surface slope, is proposed in the paper. It is based on the previously obtained solutions of the system of differential equations describing the liquid movement with variable flow rate in distribution pressure drainage pipelines that operate at the horizontal level of the groundwater surface. The analysis is presented in dimensionless form. The influence of the groundwater level slope on the calculation results is estimated using the value of the relative flow variation in the initial section of the distribution pipeline and the generalized parameter of the distribution drain A , which takes into account its design and filtration characteristics. The obtained calculation formulas are quite simple and easy to use. The proposed method allows to determine the limits within which simplified dependencies for the calculation of drainage pipelines can be used, which are recommended for use at the horizontal groundwater level on the land reclamation site. At the same time, the error introduced into the calculations as a result of the adopted simplification is immediately determined. Corresponding graphs are presented in the paper to illustrate the obtained dependencies.

Keywords: distribution drainage pipeline, hydraulic friction factor, hydraulic conductivity, filtration resistance, groundwater level, variable flow rate.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2023