

Андрій Кравчук¹, Олександр Кравчук², Олександр Возний³

¹доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання та водовідведення
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: kravchuk.am@knuba.edu.ua **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8732-9244> **SCOPUS Author ID:** 57209316527

²кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання та водовідведення
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: kravchuk.oa2@knuba.edu.ua **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6578-8896> **SCOPUS Author ID:** 55639047900

³студент

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: voznii_ot@knuba.edu.ua **ORCID:** <http://orcid.org/0009-0004-4222-1335>

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ НАПІРНИХ ПОХИЛЬНИХ ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ЗА НАЯВНОСТІ ПОХИЛУ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД

На основі аналізу системи диференційних рівнянь, які описують рух рідини в збірних дренажних трубопроводах, що прокладені і працюють за наявності певного похилу рівня ґрунтових вод, запропоновані досить прості і зручні для застосування аналітичні залежності для розрахунку основних гідравлічних і конструктивних характеристик таких труб. Досліджено, як величина геометричного похилу прокладання дренажної труби та рівень ґрунтових вод впливає на її розрахункові характеристики.

Ключові слова: збірний дренажний трубопровід; гідравлічний коефіцієнт тертя; коефіцієнт фільтрації; фільтраційний опір; геометричний похил дренажної труби; змінна витрата рідини.

Рис.: 2. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Ефективна система дренажу є ключовою для забезпечення оптимальних умов сільськогосподарського виробництва, зокрема для підвищення врожайності та підтримання стійкого вологісного режиму ґрунтів [1; 2]. Розробка надійної методики розрахунку дренажних трубопроводів меліоративних систем є на сьогодні актуальною через посилення уваги до раціонального використання земель, водних ресурсів та високого попиту на аграрну продукцію. Зміни кліматичних умов, збільшення зон ризику повеней та екстремальних кліматичних явищ підкреслюють важливість оптимізації конструкції меліоративних систем для ефективного водозабезпечення та відведення надлишкової води з сільськогосподарських земель [3; 4].

Постановка проблеми. При проектуванні збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем постає проблема їх надійного розрахунку з урахуванням різноманітних умов. Зокрема, при розрахунках слід враховувати такі параметри, як похил дренажного трубопроводу та похил рівня ґрунтових вод (РГВ), що часто має місце на практиці.

Вирішення цієї проблеми сприятиме підвищенню стійкості сільськогосподарських угідь до екстремальних погодних умов, забезпечить більш ефективне використання водних та земельних ресурсів, зробить вагомий внесок у розвиток сучасної гідротехніки та гідромеліорації, сприятиме практичному вдосконаленню конструкції меліоративних систем. Також це відповідає загальним стратегічним викликам, пов'язаним зі сталим розвитком та управлінням природними ресурсами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням роботи напірних збірних дренажних трубопроводів при різних умовах експлуатації та розробкою методики їх інженерного розрахунку займались досить багато вітчизняних та іноземних науковців [5-8]. Зокрема, вивчалися випадки роботи даних трубопроводів при рівномірному [9] та нерівномірному [10] зборі рідини вздовж шляху. Проте переважна більшість авторів у своїх роботах розглядали дренажні трубопроводи, які прокладені горизонтально, при горизонтальному РГВ. Однак на практиці доволі часто має місце похил труб та РГВ, і це необхідно враховувати при розрахунках. Окремі випадки роботи горизонтального дренажного трубопроводу, який працює при наявності похилу РГВ розглянуто нами в роботі [11], а аналіз умов експлуатації похильного дренажного трубопроводу при горизонтальному РГВ наведено в роботі [12].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що випадок одночасного впливу похилу трубопроводу і РГВ на характеристики й умови роботи напірних збірних дренажних трубопроводів було досліджено не достатньо.

Метою статті є розробка методики розрахунку параметрів напірних збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем, які прокладені з похилом та працюють за наявності похилу РГВ.

Виклад основного матеріалу. Залежно від особливостей рельєфу меліоративної ділянки збірні дренажні трубопроводи можуть бути прокладені як горизонтально, так і з прямим або зворотним похилом. Під прямим похилом ($i > 0$) слід розуміти випадок, коли відмітки лотка збірного дренажного трубопроводу знижуються за довжиною від початкового до кінцевого перерізу. Під зворотним похилом ($i < 0$) слід приймати протилежний варіант, коли відмітки лотка збільшуються за довжиною труби.

Поверхня РГВ при цьому також може бути або горизонтальною ($\bar{i} = 0$), або мати прямий ($\bar{i} > 0$) чи зворотний ($\bar{i} < 0$) похил. В загальному випадку він або співпадає, або є зворотним у порівнянні з похилом труб. Вказані обставини суттєво впливають на характеристики потоку в даних трубах і обов'язково повинні враховуватись при їх проєктуванні.

Таким чином, у процесі аналізу умов проєктування та експлуатації напірних похильних збірних дренажних трубопроводів можливе виникнення таких основних варіантів:

- 1) дренажний трубопровід прокладений з прямим похилом ($i > 0$) за наявності прямого похилу РГВ ($\bar{i} > 0$);
- 2) дренажний трубопровід прокладений зі зворотним похилом ($i < 0$) за наявності прямого похилу РГВ ($\bar{i} > 0$);
- 3) дренажний трубопровід прокладений із прямим похилом ($i > 0$) за горизонтального РГВ ($\bar{i} = 0$);
- 4) дренажний трубопровід прокладений зі зворотним похилом ($i > 0$) за горизонтального РГВ ($\bar{i} = 0$);
- 5) горизонтальний дренажний трубопровід ($i = 0$) за наявності прямого похилу РГВ ($\bar{i} > 0$);
- 6) горизонтальний дренажний трубопровід ($i = 0$) за наявності зворотного похилу РГВ ($\bar{i} < 0$).

Нижче в роботі розглянуто типові, найбільш часто застосовувані на практиці, випадки роботи похильних напірних збірних дренажних трубопроводів за наявності похилу поверхні РГВ.

Розрахункова схема роботи похильного збірного дренажного трубопроводу ($i > 0$, $i < 0$) за наявності похилу поверхні РГВ ($\bar{i} > 0$), ($\bar{i} < 0$) наведена на рис. 1.

На ньому площина зрівняння проходить через вісь кінцевого перерізу збірного дренажного трубопроводу.

Рух рідини в розглядуваному випадку можна описати системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2) [13]. Враховуючи позначення на рис. 1, ця система набуває вигляду:

$$\frac{dh_i}{dx_i} + \frac{2}{g} V_i \frac{dV_i}{dx_i} + \frac{\lambda_{зб}}{2gD_i} V_i^2 \mp (\bar{i} \mp i) = 0 \quad (1)$$

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

де $H_{n.i}$ – висота РГВ від площини зрівняння в початковому перерізі дренажного трубопроводу; $H_{к.і}$ – висота РГВ від площини зрівняння в кінцевому перерізі труби; H_i – висота РГВ від площини зрівняння в перерізі труби на відстані x_i від її початку; $\frac{H_{n.i} - H_{к.і}}{l_i} = \bar{I}$ – похил

поверхні РГВ; $\frac{\Delta_{n.i}}{l_i} = i$ – геометричний похил прокладання трубопроводу; l_i – довжина дренажної труби; h_i – п'єзометричний напір в трубі на відстані x_i ; $z_i = H_i - h_i - \Delta_i$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід; Q_i , V_i , D_i , Ω_i – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x_i від початку труби; $\bar{\Phi}$ – фільтраційний опір дрени; k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; $\lambda_{зб}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя дренажного трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

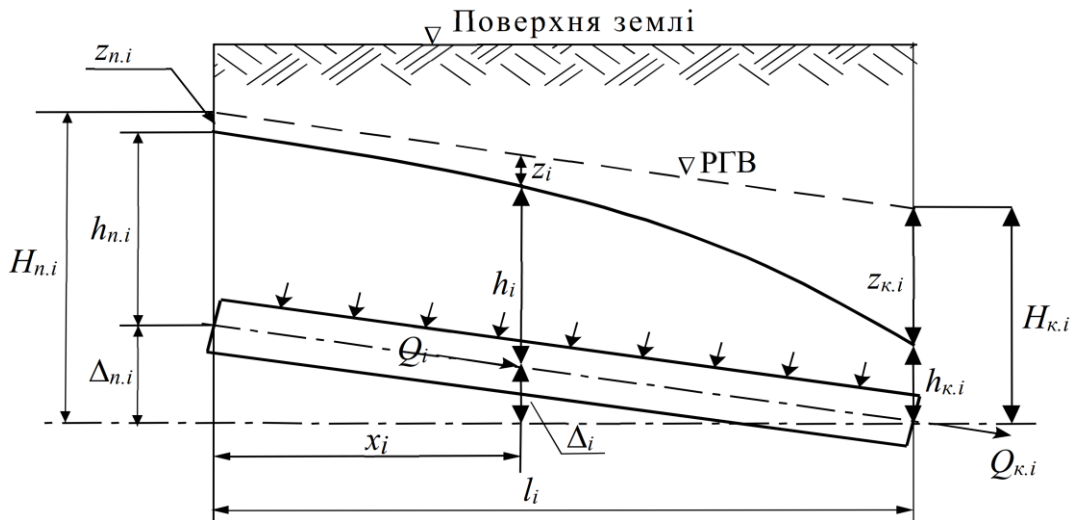


Рис. 1. Схема роботи похильного збірного дренажного трубопроводу за наявності похилу РГВ

Джерело: розроблено авторами.

З рис. 1 слідує такі співвідношення: $H_i = H_{n.i} \mp \bar{I} \cdot x_i$; $\Delta_i = \Delta_{n.i} \mp i \cdot x_i$; $h_i = H_i - \Delta_i - z_i = H_{n.i} \mp \bar{I} \cdot x_i \mp \Delta_{n.i} \pm i \cdot x_i - z_i = H_{n.i} \mp (\bar{I} \mp i)x_i \mp \Delta_{n.i} - z_i$; $dh_i = \mp(\bar{I} - i)dx_i - dz_i$.

Використаємо дані співвідношення, а також введемо нові змінні:

$$\bar{V}_i = \frac{V_i}{\sqrt{g z_{к.і}}}, \quad \bar{x}_i = \frac{k_\phi x_i}{\Omega_i \bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z_{к.і}}{g}}, \quad \bar{z}_i = \frac{z_i}{z_{к.і}}, \quad dh_i = -z_{к.і} d\bar{z}_i. \quad (3)$$

Після цього вихідна система диференціальних рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

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

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

де $\zeta_{l_{3\bar{b}}} = \lambda_{3\bar{b}} \frac{l_i}{D_i}$ – коефіцієнт опору збірного дренажного трубопроводу;

$A = \frac{1}{2\bar{x}_{\kappa,i}} = \frac{\Omega_i \bar{\Phi}}{2k_{\phi} l_i} \sqrt{\frac{g}{z_{\kappa,i}}}$ – узагальнений параметр збірного дренажного трубопроводу, який

враховує його конструктивні і фільтраційні характеристики; $B = \frac{2l_i A I}{z_{\kappa,i}}$ – параметр, який

враховує вплив похилу РГВ і трубопроводу на характеристики потоку в дрени; $I = \bar{I} - i$ – різниця значень похилу РГВ і дренажного трубопроводу.

У роботі [14] обґрунтовано, що другим членом рівняння (4) можна знехтувати у зв'язку з його відносно малою величиною. Після цього рівняння (4) набуде вигляду:

$$\frac{d\bar{z}_i}{d\bar{x}_i} = \zeta_{l_{3\bar{b}}} A \bar{V}_i^2 \mp B. \quad (6)$$

Після підстановки (5) в (6) і розділення змінних, отримаємо:

$$\bar{z}_i d\bar{z}_i = \zeta_{l_{3\bar{b}}} A \bar{V}_i^2 d\bar{V}_i \mp B d\bar{V}_i. \quad (7)$$

Інтегруємо вираз (7) [15]:

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

Константу інтегрування визначаємо при граничних умовах: на початку труби $\bar{V}_{n,i} = 0$; $\bar{z}_i = \bar{z}_{n,i}$, тоді $C = \frac{\bar{z}_{n,i}^2}{2}$.

Після підстановки значення C в (8), остаточно будемо мати:

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

З рівняння (9) в кінцевому перерізі реальної труби отримаємо:

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

За аналогією з методикою, приведеною в [12], для подальшого аналізу введемо поняття збірного дренажного трубопроводу нескінченної довжини ($l_i \rightarrow \infty$, $\zeta_{l_{3\bar{b}}} \rightarrow \infty$). Для нього перепадом напорів в початковому перерізі можна знехтувати, тобто прийняти $\bar{z}_{n,i} \rightarrow 0$. Тоді рівняння (10) буде мати вигляд:

$$\frac{2A\zeta_{l_{3\bar{b}}}}{3} \bar{V}_{\kappa,\infty}^3 \mp 2B\bar{V}_{\kappa,\infty} = 1, \quad (11)$$

де $\sqrt[3]{\frac{3}{2A\zeta_{l_{3\bar{b}}}}} = \bar{V}_{\kappa,\infty}$ – відносна швидкість руху води в кінці нескінченно довгого горизонтального трубопроводу з такими ж самими характеристиками, як і похильного.

При $B = 0$ рівняння (11) стає залежністю, яка описує роботу збірного дренажного трубопроводу, який прокладено горизонтально та працює при горизонтальному РГВ [14].

За отриманою залежністю (кубічним рівнянням (11)) рекомендується розраховувати величину відносної швидкості в кінцевому перерізі умовного нескінченно довгого похильного трубопроводу. Для спрощення розрахунків також можна користуватись графіком, наведеним на рис. 2.

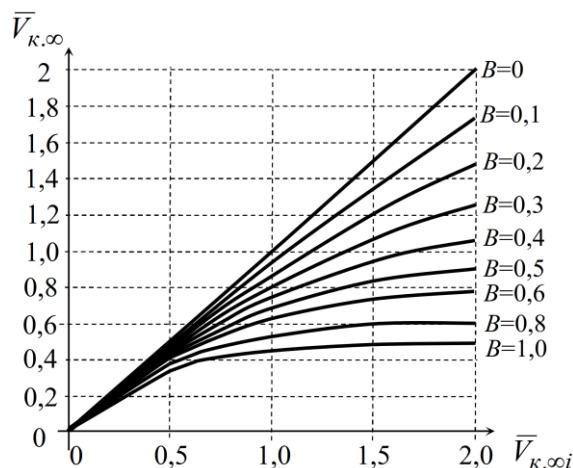


Рис. 2. Графік залежності швидкості потоку в кінці реального і фіктивного трубопроводів від величини параметра B

Джерело: розроблено авторами.

З метою подальшого аналізу введемо поняття фіктивного горизонтального ($I = 0$, $B = 0$) збірною дренажного трубопроводу нескінченної довжини з характеристиками, які забезпечують у його кінцевому перерізі таку ж відносну швидкість (витрату), як і у похильного дренажного трубопроводу нескінченної довжини, тобто для них справедливе співвідношення:

$$\bar{V}_{k,\infty i} = \bar{V}_{\phi,k,\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{30}} A}} \quad (12)$$

За аналогією з даними роботи [11] параметри похильних збірних дренажних трубопроводів за наявності похилу РГВ можна визначати за формулами:

- відносний перепад напорів за довжиною збірного дренажного трубопроводу

$$\bar{z}_{\infty i} = \frac{1}{\left[1 + \frac{\bar{x}_{k,\infty i} - \bar{x}_{\infty i}}{2\bar{V}_{k,\infty i}}\right]^3} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1-x/l}{4A\bar{V}_{k,\infty i}}\right)^3}; \quad (13)$$

- відносний перепад напорів на початку збірного дренажного трубопроводу ($\bar{x}_{n,\infty} = 0$)

$$\bar{z}_{n,\infty i} = \frac{1}{\left[1 + \frac{\bar{x}_{k,\infty i}}{2\bar{V}_{k,\infty i}}\right]^3} = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty i}}\right]^3}; \quad (14)$$

- відносна швидкість за довжиною збірного дренажного трубопроводу

$$\bar{V}_{\infty i} = \bar{V}_{k,\infty i} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{1-x/l}{4A\bar{V}_{k,\infty i}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty i}}\right)^2} \right]; \quad (15)$$

- відносна швидкість у кінцевому перерізі збірного дренажного трубопроводу

$$\bar{V}_{\kappa,i} = \bar{V}_{\kappa,\infty i} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{\kappa,\infty i}} \right)^2} \right]. \quad (16)$$

При цьому діючий відносний перепад напорів і відносна швидкість також пов'язані співвідношенням:

$$\bar{z}_{\phi,\infty} = \sqrt{\frac{2\zeta_{l_{3\phi}} A}{3} \bar{V}_{\phi,\infty}^3}. \quad (17)$$

Прирівнявши вираз (11), для нескінченно довгого похильного дренажного трубопроводу (при $\bar{z}_{n,i} \rightarrow 0$) і вираз (12), отримаємо залежність для розрахунку відносної швидкості в кінці нескінченно довгого дренажного трубопроводу, прокладеного з похилом i , залежно від величини відносної швидкості в кінці фіктивного горизонтального трубопроводу нескінченної довжини:

$$\frac{2\zeta_{l_{3\phi}} A}{3} \bar{V}_{\infty i}^3 \mp 2B\bar{V}_{\infty i} - \frac{2\zeta_{l_{3\phi}} A_{\phi}}{3} \bar{V}_{\phi,\infty}^3 = 0. \quad (18)$$

З рівняння (18), при відомому $\bar{V}_{\phi,\infty}$, виразимо значення $\bar{V}_{\infty i}$. Підставивши його в (15) і виконавши нескладні перетворення, знайдемо значення $\bar{x}_{\infty i}$:

$$\bar{x}_{\infty i} = \frac{1}{2A} - 2\bar{V}_{\phi,\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{\frac{\bar{V}_{\infty i}}{\bar{V}_{\phi,\infty}} + \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{\phi,\infty}} \right)^2}}} - 1 \right]. \quad (19)$$

Для визначення співвідношень між $\bar{x}_{\infty i}$ і $\bar{x}_{\phi,\infty}$, при яких відносні швидкості в перерізах реального і фіктивного трубопроводів будуть однаковими ($\bar{V}_{\infty i} = \bar{V}_{\phi,\infty}$), прирівняємо значення $\bar{z}_{\infty i}$ з (13) і значення $\bar{z}_{\phi,\infty}$ з (17), отримаємо:

$$\bar{x}_{\phi,\infty} = \frac{1}{A} - 2\bar{V}_{\phi,\infty} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{\bar{z}_{\phi,\infty}}} - 1 \right). \quad (20)$$

Отримані вирази (19) і (20) дозволяють визначити значення відносної координати $\bar{x}_{\infty i}$ реального збірного дренажного трубопроводу в залежності від відносної координати $\bar{x}_{\phi,\infty}$ фіктивного трубопроводу, при яких величини відносних напорів $\bar{z}_{\infty i}$ і $\bar{z}_{\phi,\infty}$ або швидкостей $\bar{V}_{\infty i}$ і $\bar{V}_{\phi,\infty}$ (витрат $\bar{Q}_{\infty i}$ і $\bar{Q}_{\phi,\infty}$) будуть рівні між собою.

Висновки. У роботі отримано відносно прості і зручні аналітичні залежності і допоміжні графіки для розрахунку похильних збірних напірних дренажних трубопроводів, які працюють при наявності похилу поверхні РГВ. Представлені формули можуть використовуватись в широкому діапазоні зміни параметрів даних трубопроводів.

Отримані залежності для розрахунку збірних дренажних трубопроводів дозволять підвищити ефективність та надійність дренажних систем, стійкість до екстремальних погодних умов, зниження енерговитрат та покращити адаптацію до різних умов експлуатації.

Для подальших досліджень перспективним є більш детальне вивчення внутрішньої гідродинаміки потоку рідини у збірних дренажних трубопроводах.

Список використаних джерел

1. Sustainable intensification of agricultural drainage / M. J. Castellano, S. V. Archontoulis, M. J. Helmers, H. J. Poffenbarger, J. Six // *Nature Sustainability*. – 2019. – № 2. – Pp. 914-921. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>.
2. The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present / M. Valipour, J. Krasilnikof, S. Yannopoulos, R. Kumar, J. Deng, P. Roccaro, L. Mays, M. E. Grismer, A. N. Angelakis // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, № 1. – P. 416. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12010416>.
3. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices / L. Levidow, D. Zaccaria, R. Maia, E. Vivas, M. Todorovic, A. Scardigno // *Agricultural Water Management*. – 2014. – № 146. – Pp. 84-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.012>.
4. De Wrachien, D. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view / D. De Wrachien, B. Schultz, M. B. Goli // *Irrigation and Drainage*. – 2021. – Vol. 70, № 5. – Pp. 981-995. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2597>.
5. Олейник, А. Я. Дренаж переувлажненных земель / А. Я. Олейник, В. Л. Поляков. – Київ : Наукова думка, 1987. – 279 с.
6. Oyarce P. Experimental evaluation of agricultural drains / P. Oyarce, L. Gurovich, V. Duarte // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. – 2017. – Vol. 143, № 4. – P. 04016082. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.000113](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.000113).
7. Analytical equation for outflow along the flow in a perforated fluid distribution pipe / H. Liu, Q. Zong, H. Lv, J. Jin // *PLoS ONE*. – 2017. – № 12(10). – P. e0185842. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185842>.
8. Чернюк, В. В. Нерівномірність притоку води до напірного трубопроводу-збирача залежно від кута приєднання вхідних струменів / В. В. Чернюк, В. В. Іванів, М. Б. Ценюх // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2019. – Т. 29, № 9. – С. 116-120. DOI: <https://doi.org/10.36930/40290920>.
9. Кравчук, А. Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху / А. Кравчук, Г. Кочетов, О. Кравчук // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. – 2020. – № 33. – С. 34-40. DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40>.
10. Variability of Darcy friction factor in differential equation for enforced flow in collector-pipeline / V. V. Cherniuk, V. Y. Fasuliak, I. V. Bihun, M. V. Cherniuk // *Proceedings of CEE 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2024. – Vol. 438. – Pp. 58-69. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_7.
11. Розрахунок горизонтальних збірних дренажних трубопроводів меліоративних систем при наявності похилу рівня ґрунтових вод / А. Кравчук, О. Кравчук, В. Барладіна, В. Перебийніс // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – 2023. – № 102. – С. 58-64. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.102.0501>.
12. Кравчук А. М. Вплив величини похилу на розрахункові параметри збірних дренажних трубопроводів / А. М. Кравчук, О. А. Кравчук // *Сучасне будівництво та архітектура*. – 2022. – № 2. – С. 88-96. DOI: <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-88-96>.
13. Зміна параметрів збірних дренажних трубопроводів при пропуску транзитної витрати / А. Кравчук, О. Кравчук, А. Ломако, О. Кравчук // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. – 2022. – № 41. – С. 52-58. DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.52-58>.
14. Kravchuk, O. A. Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines / O. A. Kravchuk // *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2021. – № 83. – С. 130-138. DOI: <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>.
15. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт, пер. с англ. Н. В. Леви; под ред. К. А. Семендяева. – Москва : Наука, 1977. – 228 с.

References

1. 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>.
2. 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>.
3. Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, 146, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.012>.
4. 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>.
5. Oleynik, O. Ya., & Poliakov, V. L. (1987). *Drenazh pereuvlazhnennykh zemel [Drainage of wetlands]*. Naukova dumka.
6. Oyarce, P., Gurovich, L., & Duarte, V. (2017). Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(4), 04016082. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.000113](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.000113).
7. Liu, H., Zong, Q., Lv, H., & Jin, J. (2017). Analytical equation for outflow along the flow in a perforated fluid distribution pipe. *PLoS ONE*, 12(10), e0185842. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185842>.
8. Cherniuk, V. V., Ivaniv, V. V., & Tsenyuh, M. B. (2019). Dependence of non-uni-formity of water inflow into pressure pipeline-collector on the angle of inflowing jets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), 116-120. <https://doi.org/10.36930/40290920>.
9. Kravchuk, A., Kochetov, G., & Kravchuk, O. (2020). Pipelines designing for steady water collection along the path. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 33, 34-40. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40>.
10. Cherniuk, V. V., Fasuliak, V. Y., Bihun, I. V., & Cherniuk, M. V. (2024). Variability of Darcy Friction Factor in Differential Equation for Enforced Flow in Collector-Pipeline. *Proceedings of CEE 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*, 438, 58-69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_7.
11. 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]. *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*, 102, 58-64. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.102.0501>.
12. Kravchuk, A. M., & Kravchuk, O. A. (2022). The slope influence on calculated parameters of collecting drainage pipelines]. *Modern construction and architecture*, 2, 88-96. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-88-96>.
13. Kravchuk, A., Kravchuk, O., Lomako, A., & Kravchuk, O. (2022). Variation of the collective drainage pipe-lines parameters when passing the transit flow. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 41, 52-58. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.52-58>.
14. 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>.
15. Dvayt, G. B. (1977). *Tablitsy integralov i drugie matematicheskie formuly [Tables of integrals and other mathematical formulas]* (N. V. Levi, Trans.; K.A. Semendyaev, Edit.). Nauka.

Andriy Kravchuk¹, Oleksandr Kravchuk², Oleksandr Voznyi³

¹Doctor of Technical Sciences, Professor of Water Supply and Water Disposal
Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: kravchuk.am@knuba.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8732-9244>. **SCOPUS Author ID:** [57209316527](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=57209316527)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Water Supply and Water Disposal
Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: kravchuk.oa2@knuba.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6578-8896> **SCOPUS Author ID:** [55639047900](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=55639047900)

³student

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: voznyi_ot@knuba.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0009-0004-4222-1335>

OPERATIONAL FEATURES OF INCLINED COLLECTING DRAINAGE PIPELINES IN THE PRESENCE OF GROUNDWATER LEVEL SLOPE

The development of a reliable methodology for calculating drainage pipelines in reclamation systems is crucial for enhancing agricultural production efficiency and optimizing the use of water and land resources.

Many existing calculation methods do not consider the simultaneous influence of pipe slope and groundwater level slope on the characteristics and operating conditions of collecting drainage pipelines. Addressing this issue will contribute to the advancement of modern hydraulic engineering and hydromelioration.

The purpose of the article is to develop a methodology for calculating the parameters of pressure collecting drainage pipelines in reclamation systems, which are laid with a slope and operate in the presence of a groundwater level slope.

A system of differential equations describing the liquid motion in collecting drainage pipelines laid with a slope and operating with a certain groundwater level slope is presented in the article. This system includes a variable mass hydraulics equation and a modified filtration equation. The original system is reduced to a dimensionless form by introducing new variables. The solution to the equations system results in straightforward and easy-to-use analytical dependencies for calculating the main hydraulic and structural characteristics of precast drainage pipes. The analysis employs the concept of an infinitely long drainage pipeline operating with a groundwater level slope, equivalent to an inclined pipeline with an infinitely filtering capacity of the side surface walls. The impact of drainage pipe geometric slope and groundwater level on its design characteristics is evaluated.

The obtained dependencies for calculating collecting drainage pipelines will enhance the efficiency and reliability of drainage systems, improve resistance to extreme weather conditions, reduce energy consumption and enhance adaptation to various operating conditions.

Keywords: drainage pipeline collecting; hydraulic friction factor; hydraulic conductivity; filtration resistance; geometric slope of the drainage pipe; variable fluid flow.

Fig.: 2. References: 15.