

О.А. Кравчук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

ДО ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ НАПІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В РЕЖИМІ РОЗДАЧІ

В статті проаналізовано систему диференціальних рівнянь, за допомогою якої описують напірний рух рідини в дренажних трубопроводах, в яких роздача рідини вздовж шляху здійснюється в режимі фільтрації. Запропоновано залежності для розрахунку гідравлічних і конструктивних характеристик зазначених трубопроводів. Визначено границі при яких розподіл рідини вздовж шляху можна вважати рівномірним, а коли нерівномірність роздачі необхідно враховувати.

Ключові слова: розподільчий дренажний трубопровід, гідравлічний коефіцієнт тертя, коефіцієнт фільтрації, фільтраційний опір.

Постановка проблеми

Напірні трубопроводи, що працюють зі змінною витратою вздовж шляху, знаходять широке застосування в різних областях техніки, зокрема, водопостачанні та водовідведенні, вентиляції, машинобудуванні, теплоенергетиці тощо [1].

Особливо актуальним в сучасних умовах є використання даних труб при проектуванні і будівництві меліоративних систем. Від надійної роботи яких суттєво залежить ефективність сільськогосподарського виробництва [2].

Очевидно, що поліпшення умов роботи даних систем повинно сприяти створенню більш диверсифікаційного, конкурентно-спроможного та стійкого типу сільського господарства [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Умовам роботи дренажних трубопроводів двосторонньої дії, які використовуються для подачі (відводу) води на сільськогосподарські ділянки і працюють в напірному режимі в сучасній зарубіжній і вітчизняній спеціальній технічній літературі приділено достатньо уваги. Переважна кількість спеціалістів при описанні закономірностей руху води в таких трубах базується на результатах роботи Петрова Г.Г. [4]. Внутрішньотрубна гідравліка досліджувалась, наприклад, Дмитрієвим А.Ф., Пивоваром М.Г. [5] та ін. Фундаментальні дослідження фільтраційних характеристик ґрунтів і труб проведені в працях Олійника О.Я., Полякова В.Л. [6]. Серйозну увагу визначенню умов роботи дренажних систем приділено в роботах [7, 8].

Однак, не дивлячись на ту увагу, яка приділялась вивченню даного питання методика розрахунку гідравлічних і конструктивних характеристик дренажних трубопроводів ще далека від свого завер-

шення. Зокрема, не з'ясовано питання визначення умов, при яких необхідно враховувати нерівномірність зміни витрати і інших гідравлічних параметрів за довжиною розглянутих труб.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка сучасної методики гідравлічного розрахунку конструктивних і технологічних параметрів напірних розподільчих перфорованих трубопроводів меліоративних систем. Особлива увага при цьому була приділена визначенню і врахуванню закономірностей зміни витрати за довжиною каналів.

Виклад основного матеріалу

В меліоративних системах двосторонньої дії, для забезпечення необхідного вологісного режиму в ґрунті, часто виникає необхідність подачі додаткових об'ємів води. Для цього зазвичай використовуються розподільчі дренажні трубопроводи, робота яких відбувається в напірному режимі. При цьому рух потоку в таких трубах відбувається зі змінною витратою, а витікання рідини через стінки труби в навколишнє середовище здійснюється з малими швидкостями в режимі фільтрації. Схема роботи такого горизонтального трубопроводу приведена на рис. 1.

Як показано в роботах [4,9] рух рідини з витратою, що зменшується, зазвичай, описують системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2), а саме

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

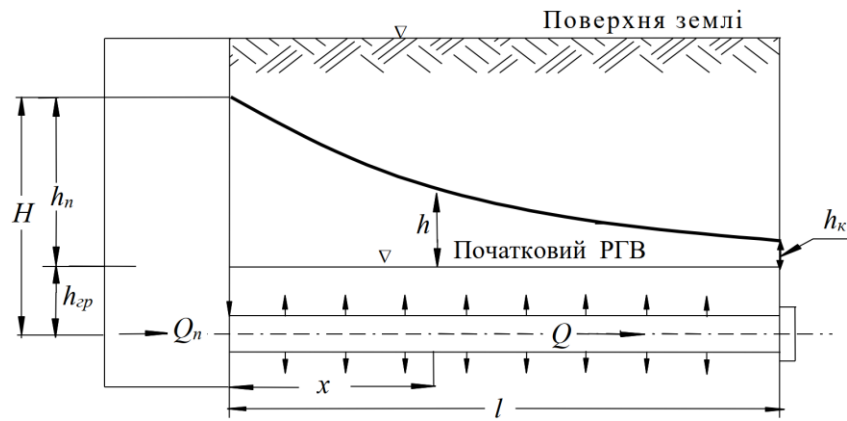


Рис. 1. Схема роботи розподільчого дренажного трубопроводу

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

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} + 2\bar{V} \frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} + \zeta_{l_p} A \bar{V}^2 = 0, \quad (4)$$

де H – змінний за довжиною п'єзометричний напір в трубопроводі; h_{cp} – постійний вздовж труби напір води в середовищі, в яке відбувається витікання (висота підняття ґрунтових вод в порівнянні з відміткою осі трубопроводу); h – змінний за довжиною напір, під дією якого відбувається витікання рідини з дрени в навколишнє середовище; Q, V, D, Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку труби; Φ – фільтраційний опір дрени (його значення представляє окрему фільтраційну задачу [6]); k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; λ_p – гідравлічний коефіцієнт тертя розподільчого дренажного трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

При аналізі математичних моделей (1), (2) умовно вважається, що витікання рідини з трубопроводу здійснюється через всю бічну поверхню розподільника і шар навколишнього фільтруючого матеріалу безперервно. Режим руху рідини в трубі вважається турбулентним, а її витікання в навколишнє середовище через бічні стінки здійснюється в режимі фільтрації. Фільтраційний опір системи «дренаґрунт» Φ і гідравлічний коефіцієнт тертя λ_p [10] приймаються постійними вздовж трубопроводу і рівними їх осередненому значенню за довжиною. Кут, під яким здійснюється від'єднання рідини від основного потоку в трубопроводі також є постійним і рівним $\pi/2$ [11].

Після введення нових змінних

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gh_n}}, \quad \bar{x} = \frac{k_\phi x}{\Omega \Phi} \sqrt{\frac{h_n}{g}}, \quad \bar{h} = \frac{h}{h_n} \quad (3)$$

вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду

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

де $\zeta_{l_p} = \lambda_p \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору розподільчого дренажного трубопроводу; $A = \frac{1}{2\bar{x}_k} = \frac{\Omega \Phi}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{h_n}}$ – узагальнений параметр розподільчої дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Другий член рівняння (4) описує втрати напору, які пов'язані з ефектом від'єднання рідини, третій – втрати напору на гідравлічне тертя за довжиною.

В осушувально-зволожуючих системах трубопроводів, як правило, мають відносно велику довжину (ζ_{l_p}). Як показано в роботі [12], для таких трубопроводів другим членом в рівнянні (4), в межах допустимої похибки, можна знехтувати. Окрім того, витікання рідини з труби відбувається з малою інтенсивністю і невеликими швидкостями в режимі фільтрації, що значно знижує вплив відділяємої витрати на основний потік. Таким чином, при подальшому розгляді рівняння (4) для даних труб, впливом другого члена в ньому можна знехтувати. Маємо

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} = -\zeta_{l_p} A \bar{V}^2. \quad (6)$$

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

$$\bar{h} d\bar{h} = \zeta_{l_p} A \bar{V}^2 d\bar{V}. \quad (7)$$

Згідно з [13], його розв'язок буде

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

Константу інтегрування знаходимо з граничних умов: в кінці труби $\bar{h} = \bar{h}_k$; $\bar{V}_k = 0$, тоді $C = \frac{\bar{h}_k^2}{2}$.

Підстановка останнього виразу в (8), після нескладних перетворень, призводить до співвідношення між відносною швидкістю і відносним напором в довільному перерізі трубопроводу у вигляді

$$\bar{V} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_p} A} (\bar{h}^2 - \bar{h}_k^2)}. \quad (9)$$

Тоді, відносна швидкість на початку розподільника визначиться за залежністю

$$\bar{V}_n = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_p} A} (1 - \bar{h}_k^2)}. \quad (10)$$

Для подальшого аналізу введемо до розгляду поняття умовного нескінченно довгого розподільного дренажного трубопроводу. Очевидно, що у порівнянні з іншими трубами такого ж діаметру, але кінцевої довжини, він буде мати максимальну пропускну спроможність. Позначимо її $Q_{n\infty}$. Ця витрата за величиною обов'язково повинна бути обмеженою зверху, оскільки при певному діаметрі і початковому напорі h_n , ця труба зможе пропустити тільки конкретну витрату. Чим більшою буде довжина реального трубопроводу, тим витрата в його початковому перерізі Q_n буде асимптотично наближатися до $Q_{n\infty}$. При цьому витрата, що витікає через бічну стінку з трубопроводу в навколишнє середовище буде поступово зменшуватись від максимального значення на початкових ділянках труби до мінімальних значень на кінцевих ділянках цієї труби. Можна стверджувати, що в кінці умовного нескінченно довгого розподільного дренажного трубопроводу $(dQ/dx)_k \rightarrow 0$. Напір, під дією якого буде здійснюватись витікання рідини на кінцевих ділянках цієї труби також буде зменшуватись і при $l \rightarrow \infty$, наближатиметься до нуля ($h_k \rightarrow 0$, або $\bar{h}_k \rightarrow 0$).

З урахуванням цього, залежність (10) для визначення відносної швидкості в початковому перерізі нескінченно довгого дренажного трубопроводу прийме вигляд

$$\bar{V}_{n\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_p} A}} = \sqrt[3]{\frac{12k_\phi}{\lambda\pi D\Phi}} \sqrt{\frac{h_n}{g}}, \quad (11)$$

Останню залежність також можна трактувати як відносну швидкість в початковому перерізі трубопроводу обмеженої довжини, але з нескінченною фільтруючою спроможністю його бічних стінок.

Підставивши у (11) відповідні значення ζ_{l_p} і A , отримаємо максимально можливу швидкість потоку на початку нескінченно довгого трубопроводу в розмірних одиницях

$$V_{n\infty} = \sqrt[3]{\frac{12k_\phi}{\lambda_p \pi D \Phi}} g h_n^2. \quad (12)$$

При цьому витрата в такому перерізі трубопроводу буде

$$Q_{n\infty} = \sqrt[3]{\frac{3g\pi^2 k_\phi D^5 h_n^2}{16 \lambda_p \Phi}}, \quad (13)$$

де $Q_{n\infty}$ – максимально можлива витрата рідини, яка може бути розподілена через бічну поверхню перфорованого трубопроводу нескінченної довжини.

Розглядаючи вирази (12), (13), слід відмітити, що в нього не входить довжина трубопроводу. А визначаючими параметрами є діаметр, діючий напір і фільтраційний опір системи «дрена–грунт».

Підставляючи в розв'язок (8) граничні умови в початковому перерізі: $\bar{Q} = \bar{Q}_n$; $\bar{h}_n = 1$, константу інтегрування знаходимо у вигляді $C = \frac{1}{2} - \zeta_{l_p} A \frac{\bar{V}_n^3}{3}$.

Тоді, залежність, яка зв'яже відносну швидкість \bar{V} і відносний напір у відповідних перерізах трубопроводу \bar{h} , буде

$$\bar{h} = \sqrt{\frac{2\zeta_{l_p} A}{3} \bar{V}^3 - \frac{2\zeta_{l_p} A}{3} \bar{V}_n^3 + 1}. \quad (14)$$

Підстановка в (14) замість \bar{V}_n значення $\bar{V}_{n\infty}$ з (11) дає залежність зміни швидкості \bar{V}_∞ від напору \bar{h}_∞ за довжиною нескінченно довгого розподільного дренажного трубопроводу

$$\bar{V}_\infty = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_p} A} \bar{h}_\infty^{\frac{2}{3}}}. \quad (15)$$

Продиференціюємо останній вираз

$$\frac{d\bar{V}_\infty}{d\bar{x}} = \frac{2}{3} \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_p} A} \bar{h}_\infty^{\frac{2}{3}}} \frac{d\bar{h}_\infty}{d\bar{x}}. \quad (16)$$

Застосувавши підстановку (5) і розділивши змінні, отримаємо

$$\frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{2\zeta_l A}{3}} d\bar{x} = -\bar{h}_{\infty}^{-\frac{4}{3}} d\bar{h}_{\infty}. \quad (17)$$

Інтегруємо (17)

$$\frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{2\zeta_l A}{3}} \bar{x} = 3\bar{h}_{\infty}^{-\frac{1}{3}} + C. \quad (18)$$

Константу інтегрування знаходимо при граничних умовах: на початку труби $\bar{x}_n = 0$; $\bar{h}_{n\infty} = 1$, тоді $C = -3$.

Підставивши у (18), після нескладних перетворень, отримаємо зміну відносного напору за довжиною розподільчого трубопроводу. При цьому будемо вважати, що зміна відносного напору і відносної швидкості за довжиною реального і нескінченно довгого трубопроводу співпадають

$$\begin{aligned} \bar{h} &= \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{2\zeta_l A}{3}} \bar{x}\right)^3} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^3} = \\ &= \frac{1}{\left(1 + \frac{x/l}{4A\bar{V}_{n\infty}}\right)^3}. \end{aligned} \quad (19)$$

Звідси, відносний п'езометричний напір в кінцевому перерізі складе

$$\bar{h}_k = \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_k}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^3} = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{n\infty}}\right)^3}. \quad (20)$$

Співставивши (19) і (5), а також розділивши змінні, отримаємо

$$d\bar{V} = -\frac{d\bar{x}}{\left(1 + \frac{\bar{x}}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^3}. \quad (21)$$

Інтеграл останнього виразу буде [13]

$$\bar{V} = \bar{V}_{n\infty} \left(1 + \frac{\bar{x}}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^{-2} + C. \quad (22)$$

Константу інтегрування знаходимо з граничних умов: в кінці трубопроводу $\bar{x} = \bar{x}_k$; $\bar{V}_k = 0$, маємо

$$C = -\bar{V}_{n\infty} \left(1 + \frac{\bar{x}_k}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^{-2}.$$

Її підстановка в (22) і нескладні перетворення призводять до виразу, який описує зміну відносної швидкості за довжиною розподільчої дренажної труби, у вигляді

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \bar{V}_{n\infty} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_k}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} \right] = \\ &= \bar{V}_{n\infty} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{x/l}{4A\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

З (23), при $\bar{x}_n = 0$, легко отримати формулу для визначення відносної швидкості в початковому перерізі розподільчої дренажної труби

$$\begin{aligned} \bar{V}_n &= \bar{V}_{n\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_k}{2\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} \right] = \\ &= \bar{V}_{n\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{n\infty}}\right)^2} \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Відповідний графік наведений на рис.2.

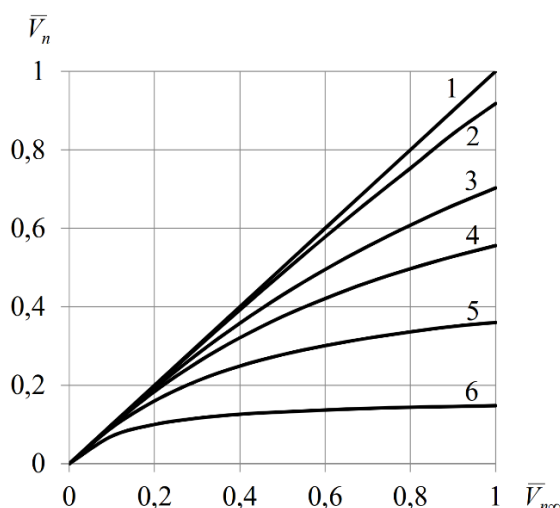


Рис. 2. Співвідношення між відносною швидкістю в початковому перерізі умовного нескінченно довгого $\bar{V}_{n\infty}$ і реального трубопроводів \bar{V}_n :
1 – $A=0$; 2 – $A=0,1$; 3 – $A=0,3$; 4 – $A=0,5$; 5 – $A=1,0$;
6 – $A=3$

Аналіз залежності (24) і графіка (рис.2) показує, що відносна швидкість в початковому перерізі реального розподільчого трубопроводу \bar{V}_n , менше максимально можливої $\bar{V}_{n\infty}$, тобто витрата, яка буде розподілена через його бічні стінки, менше тієї, що може бути роздана умовним нескінченно довгим розподільником.

Причому, меншому значенню узагальненого параметра A відповідає більше значення відносної швидкості в початковому перерізі \bar{V}_n . Тобто, при менших значеннях A , розподільчий дренажний трубопровід буде мати більшу пропускну спроможність і зможе розподілити через свою бічну поверхню більшу витрату води.

Для визначення залежності характеру нерівномірності розподілення витрати через бічну поверхню за довжиною трубопроводу від конструктивних і фільтраційних дренажних труб використовуємо формули (23) і (24). На графіку на рис. 3 приведено зміну співвідношення \bar{V}/\bar{V}_n за довжиною розподільчого дренажного трубопроводу при різних значеннях узагальненого параметра A і коефіцієнта фільтрації ґрунту k_f .

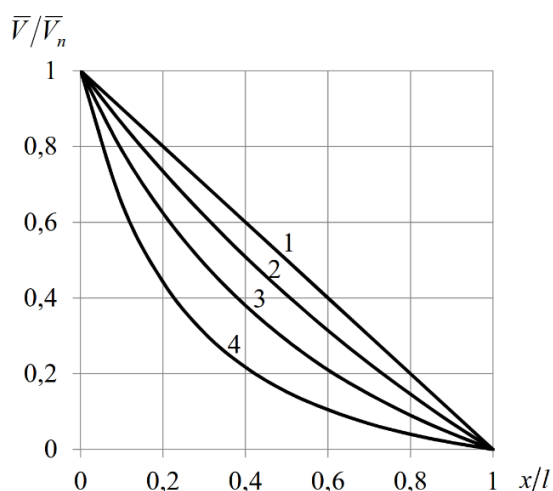


Рис. 3. Графіки зміни відношення \bar{V}/\bar{V}_n за довжиною розподільчого дренажного трубопроводу:
1 – рівномірний збір; 2 – $k_f = 1,0$ м/добу; 3 – $k_f = 5,0$ м/добу; 4 – $k_f = 20,0$ м/добу

Дані графіка свідчать про те, що найбільш інтенсивно зміна швидкості за довжиною трубопроводу відбувається при коефіцієнті фільтрації ґрунту $k_f = 20$ м/добу, найменше – при $k_f = 1$ м/добу. Тобто можна стверджувати, що збільшення величини коефіцієнта фільтрації ґрунту або зменшення фільтраційного опору системи «дрена-ґрунт», призводить до збільшення нерівномірності розподілу витрати за довжиною розподільчого дренажного трубопроводу. І навпаки – зменшення коефіцієнта фільтрації ґрун-

ту збільшує рівномірність роздачі рідини вздовж труби. Вже при значеннях коефіцієнта фільтрації $k_f < 1$ м/добу роздачу рідини за довжиною розподільника можна вважати практично рівномірною.

Також можна стверджувати, що в одному і тому ж трубопроводі найбільш інтенсивно витікання рідини з дрени в навколишній ґрунт відбувається на її початкових ділянках. На кінцевих ділянках інтенсивність розподілу рідини здійснюється істотно рівномірніше. Нерівномірний характер зміни витрати за довжиною трубопроводу підтверджується раніше отриманими даними [14].

Висновки

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 розподільчих дренажних трубопроводів. При аналізі роботи даних труб введено поняття фіктивного дренажного трубопроводу нескінченної довжини або трубопроводу з нескінченною фільтраційною спроможністю стінок каналу. З'ясовано характер зміни середньої швидкості рідини вздовж каналу в залежності від конструктивних і фільтраційних характеристик труб і навколишнього ґрунту.

Подальшим напрямком досліджень з даної проблематики вважаю більш детальне вивчення гідродинаміки потоку всередині розподільчого дренажного трубопроводу.

Література

1. Бігун, І.В. Особливості застосування напірних розподільчих трубопроводів у різних технічних системах / І.В. Бігун // *Theory and Building Practice*. Lviv: Lviv Politechnic Publishing House. – 2019. – Т.1, №2. – С. 14–20. <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.014>
2. Schultz, B. *Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century* / B. Schultz, D. De Wrachien // *Irrigation and Drainage*. – 2002. – Vol.51, №4. – P. 311–327. <https://doi.org/10.1002/ird.67>
3. Smedema, L.K. *Drainage and agricultural development* / L.K. Smedema, S. Abdel-Dayem, W.J. Ochs // *Irrigation and Drainage Systems*. – 2000. – №14. – P. 223–235. <https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>
4. Петров, Г.А. *Гидравлика переменной массы* / Г.А. Петров. – Х.: Изд.-во Харьковского университета, 1964. – 224 с.
5. Безусаяк, А.В. *Гидравлический расчет коллекторов-распределителей* / А.В. Безусаяк, А.Ф. Дмитриев, Н.Г. Пивовар // *Мелиорация и водное хозяйство*. – 1987. – №67. – С. 52–59.
6. Олейник, А.Я. *Дренаж переувлажненных земель* / А.Я. Олейник, В.Л. Поляков. – К.: Наукова думка, 1987. – 279 с.

7. Турченко, В.О. Комплекс заходів з підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем / В.О. Турченко, А.М. Рокочинський, П.П. Волк, Н.В. Приходько, Д.М. Ричко // Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки». – 2018. – Т.4, №84. – С. 3–21. <https://doi.org/10.31713/vt420181>
8. Мендусь, П.І. Дренаж на рисових системах та комплексна оцінка його ефективності / П.І. Мендусь, С.П. Мендусь, В.О. Турченко, Б.А. Філіпчук, А.М. Рокочинський // Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки». – 2015. – Т.3, №71. – С. 248–251.
9. Кравчук, А.М. Спеціальні питання гідравліки систем водопостачання і водовідведення: навч. посібник / А.М. Кравчук, О.А. Кравчук. – К.: КНУБА, 2020. – 175 с.
10. Кравчук, А.М. Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху / А.М. Кравчук, Г.М. Кочетов, О.А. Кравчук // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2020. – №33. – С. 36–42. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.19-24>
11. 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. <https://doi.org/10.36930/40290920>
12. Кравчук, О.А. Оцінка впливу різного роду втрат напору на характеристики роботи збірних трубопроводів / О.А. Кравчук, О.Я. Кравчук // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2020. – №34. – С. 19–24. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.19-24>
13. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г.Б. Двайт; перевод с английского Н.В. Леви под редакцией К.А. Семендяева. – М.: Наука, 1977. – 228 с.
14. Kravchuk A. Improving the calculation of collecting perforated pipelines for water treatment structures / A. Kravchuk, G. Kochetov, O. Kravchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 6, №10(108). – P. 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216366>
4. Petrov, G.A. (1964). *Variable mass hydraulics*. Publishing house of Kharkiv University, 224.
5. Bezusiak, A.V., Dmitriev, A.F., & Pivovar, N.G. (1987). Hydraulic calculation of collectors-distributors. *Melioration and water management*, 67, 52–59.
6. Oleynik, O.Ya. & Poliakov, V.L. (1987). *Wetlands drainage*. Naukova dumka, 279.
7. Turcheniuk, V.O., Rokochynskiy, A.M., Volk, P.P., Prykhodko, N.V., & Rychko D.M. (2018). Complex of measures to improve the efficiency of functioning of figured extractive systems. *Bulletin of NUVGP. Technical sciences*, 4(84), 3–21. <https://doi.org/10.31713/vt420181>
8. Mendus, P.I., Mendus, S.P., Turcheniuk, V.O., Filipchuk, B.A., & Rokochynskiy, A.M. Drainage on rice systems and complex assessment of its effectiveness. *Bulletin of NUVGP. Technical sciences*, 3(71), 3–21.
9. Kravchuk, A.M., & Kravchuk, O.A. (2020). *Special issues of hydraulics of water supply and water sewerage systems: Tutorial*. KNUCA, 175.
10. 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>
11. 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. <https://doi.org/10.36930/40290920>
12. Kravchuk, O., Kravchuk, O. (2020). Evaluation of the impact of different head loss types on the collecting pipelines working characteristics. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 34, 19–24. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.19-24>
13. Dvayt, G.B. (1977). *Tables of integrals and other mathematical formulas*. Translation from English by N.V. Levy, edited by K.A. Semendyaev. Nauka, 228.
14. Kravchuk, A., Kochetov, G., Kravchuk, O. (2020). Improving the calculation of collecting perforated pipelines for water treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10). 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216366>

Reference

1. Bihun, I. (2019). Peculiarities of application pressure distributive pipelines in different engineering systems. *Theory and Building Practice*. Lviv: Lviv Politechnic Publishing House, 1(2), 14–20. <https://doi.org/10.23939/jtbp2019.02.014>
2. 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>
3. Smedema, L.K., Abdel-Dayem S. & Ochs W.J. (2000). Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*, 14, 223–235. <https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.О. Чернишев, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна.

Автор: КРАВЧУК Олександр Андрійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри
Київський національний університет будівництва і архітектури
E-mail – kravchuk.oa2@knuba.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6578-8896>

TO THE HYDRAULIC CALCULATION OF PRESSURE DRAINAGE PIPELINES, OPERATING IN DISTRIBUTION REGIME

O. Kravchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

A system of two differential equations which describes the movement of fluid in a pipe with a variable flow rate and the conditions for the fluid outflow through the walls of drainage pipelines into the surrounding soil is

considered. It is reasoned that the second term in the original equation, which takes into account energy losses associated with a flow rate variation along the length, can be neglected without a substantial error. The considered system is reduced to dimensionless form by introducing original variables. The coefficient of collecting drainage pipeline resistance « ζ_1 » and the generalized parameter «A», which take into account the structural and hydraulic characteristics of the considered flow, are two main parameters used in the analysis. The concept of an infinitely long drainage pipeline (a pipeline with an infinite walls filtration capacity) is introduced in the article. Also it is noted that such pipeline will have a maximum throughput comparing to pipes of the same diameter but limited length. Quite simple and practical calculated dependencies for the determination of the nature of flow rate variation and pressure drop along the length of the pipeline were received on the basis of the conducted analysis. Important characteristics of pressure distribution pipelines were calculated on the basis of offered formulas. Corresponding graphical dependencies were built for visibility. In particular, graphs of the flow rate variation at the end of the distributor, depending on the design and filtration characteristics of the «soil-drain» system, are presented. Graph that shows the dependence of the variation in the flow rate distribution unevenness along the length of the drainage pipe at various hydraulic conductivity values of the surrounding soil is important for understanding the drainage pipelines particularity. The necessity to take into account the nature of the flow rate connection unevenness along the length for obtaining reliable results for real drainage pipelines calculation is demonstrated.

Keywords: *distribution drainage pipeline, hydraulic friction factor, hydraulic conductivity, filtration resistance.*