

## РОЗРАХУНОК РОЗПОДІЛЬЧИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ, ПРОКЛАДЕНИХ З ПОХИЛОМ

*Кравчук Андрій Михайлович<sup>1</sup>, Кравчук Олександр Андрійович<sup>2</sup>*  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*  
*<sup>1</sup>kravchuk.am@knuba.edu.ua, <sup>2</sup>kravchuk.oa2@knuba.edu.ua*

На сьогоднішній день напірні перфоровані трубопроводи, які працюють зі змінною витратою вздовж шляху, досить широко застосовуються у різних галузях господарства. Зокрема, вони використовуються у сільському господарстві для управління водним режимом ґрунтів на меліорованих землях [1, 2]. Вдосконалення та інтенсифікація роботи даних систем безумовно є актуальними [3].

Більшість авторів досліджували варіант горизонтальної прокладки дренажних труб, коли впливом похилу дренажного трубопроводу на його розрахункові параметри можна знехтувати. Проте на практиці для отримання достовірних результатів вплив похилу необхідно враховувати.

В даній роботі аналізується рух потоку рідини зі змінною витратою у розподільчих напірних дренажних трубопроводах, які прокладені з похилом. Поверхня ґрунтових вод при цьому вважається горизонтальною.

Розрахункова схема для даного випадку приведена на рис. 1.

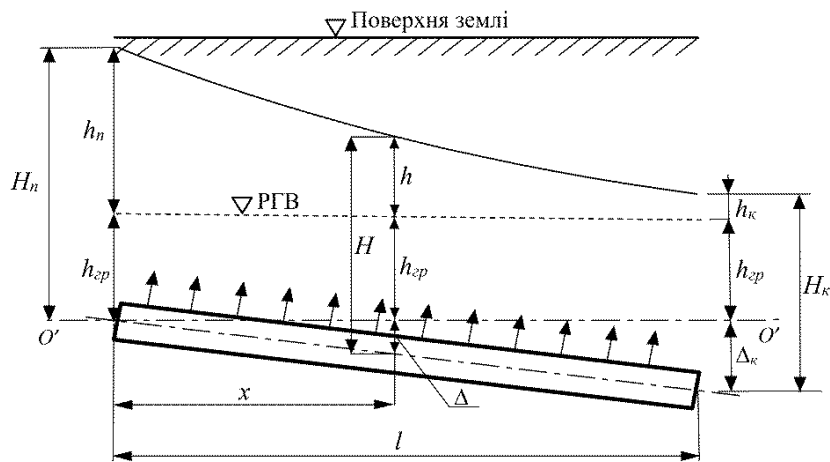


Рис. 1. Схема роботи похильний розподільчого дренажного трубопроводу при горизонтальному рівні поверхні ґрунтових вод (РГВ)

Як відомо, рух потоку рідини зі змінною витратою у розподільчих напірних дренажних трубопроводах, які прокладені з похилом, описується системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2) [4, 5]:

$$\frac{dH}{dx} + \frac{2}{g} V_i \frac{dV_i}{dx} + \frac{\lambda_p}{2gD} V_i^2 \pm i = 0 \quad (1)$$

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

де  $H = h + h_{cp} + \Delta$  – повний напір в дрени;  $h_{cp}$  – відстань від осі початкового перерізу труби до поверхні ґрунтових вод;  $h = H - h_{cp} - \Delta$  – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається витікання рідини з труби в навколишнє середовище;  $dH = dh \pm idx$ ;  $\frac{\Delta_\kappa}{l} = \pm i$  – геометричний

похил прокладання трубопроводу;  $V_i$ ,  $D$ ,  $\Omega$  – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані  $x$  від початку похильного трубопроводу;  $\Phi$  – фільтраційний опір дрени (його визначення представляє окрему фільтраційну задачу) [6];  $k_\phi$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби;  $\lambda_p$  – гідравлічний коефіцієнт тертя дренажного трубопроводу;  $g$  – прискорення вільного падіння.

В рівнянні (1) верхній знак при похилі ґрунтових вод (в даному випадку «+») відповідає прямому похилу трубопроводу, нижній («-») – зворотному.

Використавши наведені вище співвідношення, а також ввівши нові змінні

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

вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

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

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

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

$A = \frac{1}{2\bar{x}_\kappa} = \frac{\Omega \Phi}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{h_n}}$  – узагальнений параметр розподільчої дрени, який

враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики;  $B = \frac{i l A}{h_n}$  – параметр, який враховує вплив похилу дрени на характеристики потоку.

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

В дренажних зволожуючих системах трубопроводи, як правило, мають відносно велику довжину. Тому, впливом другого члена в рівнянні (4) без суттєвої похибки, можна знехтувати [7], маємо:

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

Його розв'язок для початкового перерізу дозволяє отримати вираз:

$$1 - \bar{h}_\kappa^2 = \frac{2\zeta_{l_p} A}{3} \bar{V}_{n.i}^3 \pm 2B \bar{V}_{n.i}. \quad (7)$$

Для подальшого аналізу використаємо поняття розподільчого дренажного трубопроводу нескінченної довжини ( $l \rightarrow \infty$ ,  $\zeta_{l_p} \rightarrow \infty$ ). Для нього перепадом напорів в кінцевому перерізі можна знехтувати, тобто приймається  $\bar{h}_\kappa \rightarrow 0$ . Тоді, залежність (7) прийме вигляд:

$$\frac{2\zeta_{l_p} A}{3} \bar{V}_{n.\infty.i}^3 \pm 2B \bar{V}_{n.\infty.i} = 1. \quad (8)$$

При подальшому аналізі введемо до розгляду поняття фіктивного горизонтального ( $i = 0$ ,  $B = 0$ ) розподільчого дренажного трубопроводу нескінченної довжини, для якого залежність між діючим відносним перепадом напорів і відносною довжиною має вигляд:

$$\bar{h}_\phi = \sqrt{\frac{2\zeta_{l_p} A_\phi}{3} \bar{V}_\phi^3}. \quad (9)$$

Прирівнявши залежність (7), для нескінченно довгого похильного дренажного трубопроводу (за умови  $\bar{h}_\kappa \rightarrow 0$ ) і вираз (9), отримаємо:

$$\frac{2\zeta_{l_p} A}{3} \bar{V}_i^3 \pm 2B \bar{V}_i - \frac{2\zeta_{l_{\phi.p}} A_\phi}{3} \bar{V}_\phi^3 = 0. \quad (10)$$

З останнього кубічного рівняння, при відомому  $\bar{V}_\phi$ , розраховуємо  $\bar{V}_i$ .

При цьому відстань до перерізу похильного дренажного трубопроводу, в якому відносна швидкість буде дорівнювати  $\bar{V}_i$  може бути розрахована за залежністю:

$$\bar{x} = 2\bar{V}_{n.\infty} \left[ \sqrt{\frac{1}{\frac{\bar{V}_i}{\bar{V}_{n.\infty}} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\bar{x}_k}{2\bar{V}_{n.\infty}}\right)^2}} - 1} \right]. \quad (11)$$

А співвідношення між  $\bar{x}$  і  $\bar{x}_\phi$ , при яких відносні швидкості в перерізах реального і фіктивного трубопроводів будуть рівні ( $\bar{V}_i = \bar{V}_\phi$ ) із співвідношення:

$$\bar{x} = 2\bar{V}_\phi \left( \frac{1}{\sqrt[3]{h}} - 1 \right). \quad (18)$$

**Висновок.** В даній роботі на основі аналізу диференційних рівнянь, які описують рух рідини в розподільчих напірних дренажних трубопроводах, які прокладені з похилом  $i$ , запропоновано відносно прості аналітичні залежності і допоміжні графіки для їх розрахунку. Приведені формули рекомендуються для застосування в широкому діапазоні зміни параметрів дренажних труб, що прокладені з похилом.

#### REFERENCE

1. 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.
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. 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.
5. Кравчук А. М., Чернишев Д. О., Кравчук О. А. Гідравліка напірних перфорованих трубопроводів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення: монографія. Київ: КНУБА, 2021. 204 с.
6. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. Київ: Наукова думка, 1987. 279 с.
7. Кравчук О. А. До гідравлічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі // *Комунальне господарство міст*. 2021. Вип. 163. С. 68-74.