

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ РІДИНИ У ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДАХ З УРАХУВАННЯМ ТРАНЗИТУ

Олександр Кравчук¹, Андрій Кравчук²

Київський національний університет будівництва і архітектури

¹kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ²kravchuk.am@knuba.edu.ua

Практика проектування променевих водозаборів і меліоративних систем базується на використанні труб постійного діаметра, які часто працюють у режимі пропуску транзитної витрати [1 – 3]. Це призводить до коливань швидкості потоку, що загрожує замулюванням системи. Забезпечення постійної швидкості руху рідини дозволяє досягти стабільного самоочищення трубопроводів. Такий підхід мінімізує потребу в технічному обслуговуванні та знижує техногенне навантаження на довкілля, що є пріоритетом для сталого «зеленого» будівництва.

На нашу думку, основним критерієм при визначенні закону зміни діаметра напірного збірного дренажного трубопроводу є дотримання сталої середньої швидкості потоку за всією його довжиною. За такого підходу характер зміни діаметра буде залежати від величини інтенсивності приєднання рідини на різних ділянках трубопроводу ($q = \frac{dQ}{dx} = V \frac{d\Omega}{dx}$).

Розглянемо випадок нерівномірної зміни зростаючої питомої витрати вздовж збірного трубопроводу. Схему його роботи наведено на рис. 1.

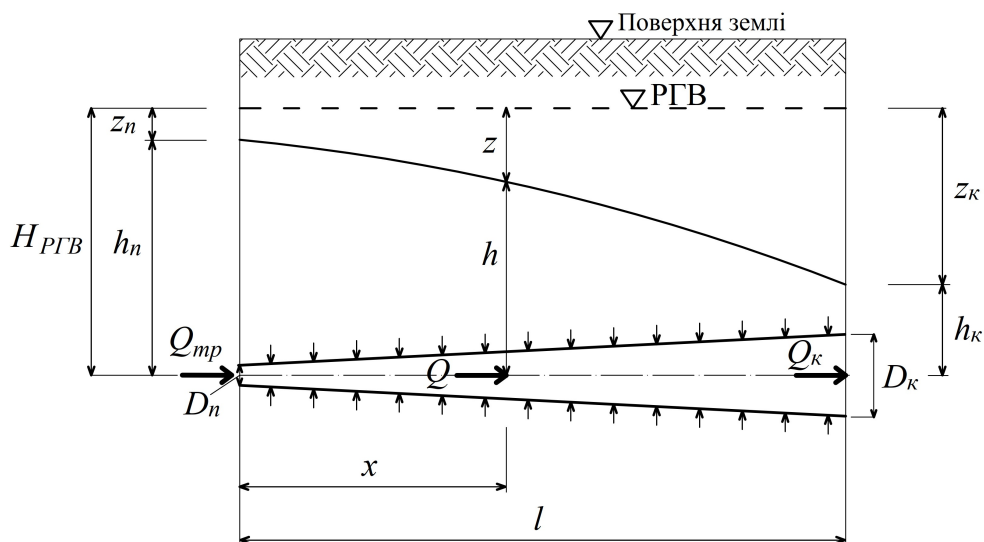


Рис. 1. Схема роботи напірного збірного дренажного трубопроводу змінного діаметра за наявності транзитної витрати

За умови забезпечення постійної величини середньої швидкості в перерізі, даний рух можна описати математичною моделлю, яка має вигляд [4, 5]:

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

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

де H_{PGB} – відстань від осі трубопроводу до рівня ґрунтових вод; h – змінний за довжиною п'єзометричний напір в трубі; $z = H - h$ – змінний за довжиною перепад напорів, який визначає інтенсивність втікання рідини в дренаж з навколишнього ґрунту; V – задана величина середньої швидкості в перерізі потоку на відстані x від початку труби; D, Ω – змінні за довжиною діаметр і площа перерізу труби; $\bar{\Phi}$ – безрозмірний фільтраційний опір дрени (його визначення становить окрему фільтраційну задачу [6]); k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; $\lambda_{зб}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя збірної дренажної трубопроводу; g – прискорення вільного падіння.

Для подальшого аналізу введемо нові змінні:

$$\bar{x} = \frac{k_\phi x}{\Omega_K \bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z_K}{g}}, \quad \bar{z} = \frac{z}{z_K}, \quad \bar{D} = \frac{D}{D_K}. \quad (3)$$

$$\text{Легко показати, що } d\Omega = d\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = \frac{\pi}{2} \bar{D} d\bar{D}.$$

Позначимо $\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gz_K}} = \text{const}$, тоді вихідна система рівнянь (1), (2), якщо

знехтувати другим членом у рівнянні (1), набуде вигляду:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^2 \frac{1}{\bar{D}} \quad (4)$$

$$2\bar{V}\bar{D} \frac{d\bar{D}}{d\bar{x}} = \bar{z}, \quad (5)$$

де $\zeta_{l_{зб.к}} = \lambda_{зб} \frac{l}{D_K}$ – коефіцієнт опору збірної дренажної трубопроводу,

який розрахований за величиною діаметра в його кінцевому перерізі;

$A_{зб} = \frac{1}{2\bar{x}_K} = \frac{\Omega_K \bar{\Phi}}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{z_K}}$ – узагальнений параметр збірної дрени, який

враховує її конструктивні та фільтраційні характеристики.

Підстановка $\bar{D}$ з (5) у залежність (4) і розподіл змінних призводить до рівняння:

$$\bar{z} d\bar{z} = 2\zeta_{l_{зб.к}} A_{зб} \bar{V}^3 d\bar{D}. \quad (6)$$

Його розв'язок і відповідні перетворення дозволяють отримати залежність для визначення характеру зміни величини відносного діаметра за довжиною збірної трубопроводу за наявності транзитної витрати:

$$\varphi^3 + 3\bar{D}_n\varphi - \frac{3}{4\bar{V}\sqrt{1-\bar{D}_n}}\bar{x} = 0, \quad (7)$$

де $\varphi = \sqrt{\bar{D} - \bar{D}_n}$; D_n – діаметр у початковому перерізі трубопроводу.

Залежності (7) для визначення характеру зміни величини відносного діаметра за довжиною збірною трубопроводу за наявності транзитної витрати слід розв'язувати підбором.

При цьому діаметр в кінцевому перерізі збірною трубопроводу в розмірних одиницях визначиться за залежністю:

$$D_k = D_n + \frac{2k_\phi g z_k^2}{\lambda \pi \bar{\Phi} V^3}. \quad (8)$$

За результатами аналізу диференціальних рівнянь руху рідини у напірних збірних дренажних трубопроводах змінного (зростаючого) за довжиною перерізу запропоновано методику розрахунку характеру зміни діаметра за довжиною труби при наявності транзитної витрати. Запропонований підхід забезпечує сталість швидкості потоку, що є ключовим фактором ефективності та довговічності дренажних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kravchuk O., Kravchuk A., Voznyi O. Radial water intakes as a tool for enhancing the resilience of water supply systems in Ukraine // Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Scientific Progress: Theories, Applications and Global Impact», Braga, Portugal, March 2-4, 2026. P. 297-299.
2. Wu Z., Guo C., Yang H., Li H., Wu J. Experimentally based numerical simulation of the influence of the agricultural subsurface drainage pipe geometric structure on drainage flow // *Agriculture*. 2022. Vol. 12, No 12, 2174. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122174>
3. Кравчук А., Кочетов Г, Кравчук О. Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2020. Вип. 33. С. 34–40. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2018.29.6-12>
4. Кравчук А., Кравчук О. Аналіз результатів розрахунку збірних дренажних трубопроводів при наявності транзитної витрати. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2021. Вип. 37. С. 42–46. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.42-46>
5. Кравчук О., Кравчук А. Особливості роботи напірних збірних дренажних трубопроводів змінного діаметра за наявності транзитної витрати. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2026. Вип. 53. С. 49–55. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2026.53.49-55>
6. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. К.: Наукова думка, 1987. 279 с.