

Вдосконалення методики розрахунку збірних дренажних трубопроводів

Олександр Кравчук, к.т.н., доцент¹. Роман Чабанюк, студент¹

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Представлено результати експериментальних досліджень гідравлічного коефіцієнта тертя дренажних трубопроводів $\lambda_{др}$, які працюють зі збором рідини вздовж шляху. Отримано експериментальні залежності коефіцієнта $\lambda_{др}$ від конструктивних і фільтраційних характеристик труб. Запропоновано зручні у використанні формули для розрахунку досліджуваного коефіцієнта. Їх застосування при інженерному розрахунку дренажних труб дозволить підвищити надійність і ефективність роботи меліоративних систем, в яких дані трубопроводи є важливими конструктивними елементами.

Ключові слова: збірний дренажний перфорований трубопровід, змінна витрата, фільтраційний опір трубопроводу, гідравлічний коефіцієнт тертя

1. ВСТУП

Напірні трубопроводи, що працюють зі змінною витратою вздовж шляху, знаходять широке застосування в різних технічних системах, таких як сільськогосподарська меліорація, водопостачання та водовідведення, вентиляція, машинобудування, теплоенергетика тощо [1]. Головною особливістю дренажних труб, що застосовуються при будівництві меліоративних систем і підземних водозаборів, є те, що вони, як правило, мають велику довжину та працюють зі змінною за довжиною витратою. Тому на результати розрахунку таких труб суттєвий вплив має надійне визначення величини гідравлічного коефіцієнта тертя $\lambda_{др}$.

Вивченню даного питання присвячено досить велику кількість експериментальних і теоретичних робіт [2-4]. Основним недоліком більшості з них є недостатнє врахування фільтраційних характеристик навколишнього ґрунту і матеріалу стінок трубопроводу. Розробка і вдосконалення методики розрахунку параметрів дренажних трубопроводів, в тому числі коефіцієнта $\lambda_{др}$, дозволить забезпечити надійну роботу відповідних споруд, раціональніше використовувати досить обмежені водні ресурси.

2. МЕТА РОБОТИ

На основі теоретичних та експериментальних досліджень встановити функціональну залежність величини змінного і середнього за довжиною збірного дренажного трубопроводу гідравлічного коефіцієнта тертя $\lambda_{др}$ від конструктивних і фільтраційних характеристик дренажних труб.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При проведенні досліджень комплексно застосовувались методи експериментальних вимірювань і аналітичної обробки отриманих даних, які доповнювались результатами розв'язку вихідних теоретичних залежностей, за допомогою яких описують рух рідини зі змінною витратою в напірних збірних дренажних трубопроводах.

Експериментальна частина роботи проводилась на спеціально підготовленому гідравлічному стенді

Розрахунок величини гідравлічного коефіцієнта тертя дренажного трубопроводу $\lambda_{др}$ здійснювався на основі отриманих експериментальних величин в результаті їх підстановки у вихідну систему диференціальних рівнянь [5]:

$$\frac{dh}{dx} + \frac{2}{g} Q \frac{dQ}{dx} + \frac{\lambda_{др}}{2gD} Q^2 = 0, \quad (1)$$

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

де H – глибина занурення осі трубопроводу від рівня ґрунтових вод; h – п'єзометричний напір в трубі; $z=H-h$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід; Q , D , Ω – відповідно, витрата, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку труби; $\bar{\Phi}$ – безрозмірний фільтраційний опір дрени; k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; $\lambda_{др}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя збірного дренажного трубопроводу [6]; g – прискорення вільного падіння.

Другий член рівняння (1) описує втрати напору, які пов'язані з ефектом присидання рідини, третій – втрати на гідравлічне тертя за довжиною.

При проведенні експериментів визначалась величина гідравлічного коефіцієнта тертя досліджуваних труб $\lambda_{др}$ в залежності від числа Рейнольдса потоку (Re). Результати обробки відповідних експериментальних даних приведені на рис. 1.

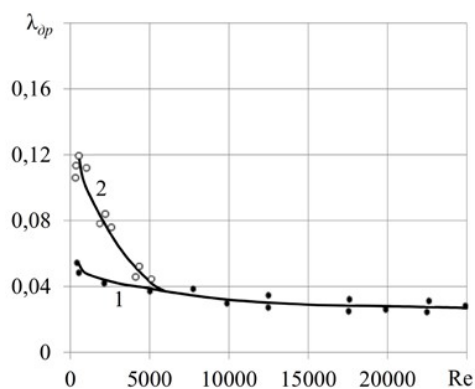


Рисунок 1. Графік залежності гідравлічного коефіцієнта тертя $\lambda_{др}$ від числа Рейнольдса Re

На ньому крива 1 відповідає роботі досліджуваного трубопроводу без перфорації з постійною витратою. Крива 2 – випадку роботи дренажного перфорованого трубопроводу з покриттям з фільтруючих матеріалів. З приведенного графіка слідує, що при значеннях числа Рейнольдса потоку $Re > 6000$ впливом приєднуваної витрати на величину гідравлічного коефіцієнта тертя λ_{dp} можна знехтувати і приймати рівним, як для цієї ж труби з постійною витратою λ_0 .

З нашої точки зору більш зручним для користування і визначення величини коефіцієнта λ_{dp} є графік його залежності від параметра \bar{f} , який комплексно враховує конструктивні і фільтраційні характеристики дренажної труби і дорівнює:

$$\bar{f} = \frac{l}{\Omega \Phi} \sqrt{\frac{z_{\kappa}}{g}}. \quad (3)$$

На основі представлених досліджень для практичних розрахунків рекомендується вплив змінної витрати вздовж шляху на величину гідравлічного коефіцієнта тертя враховувати за залежністю:

$$\lambda_{dp} = \beta_{dp} \lambda_0, \quad (4)$$

де λ_0 – гідравлічний коефіцієнт тертя при постійній витраті рідини, $\beta_{dp} = \lambda_{dp} / \lambda_0$ – емпіричний коефіцієнт, який враховує конструктивні і фільтраційні характеристики дренажної системи і визначається за графіком на рис. 2.

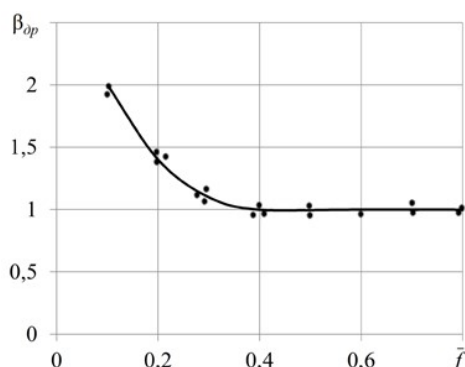


Рисунок 2. Графік залежності коефіцієнта β_{dp} від комплексного параметра \bar{f}

Як слідує з рис. 2, коефіцієнт $\beta_{dp} > 1$ тільки при значеннях параметра $\bar{f} < 0,4$. При більших значеннях \bar{f} коефіцієнт $\beta_{dp} = 1$ і впливом приєднуваної рідини на величину λ_{dp} в інженерних розрахунках можна знехтувати.

Обробка результатів експерименту дозволяє рекомендувати таку емпіричну формулу для визначення розшукуваного коефіцієнта

$$\beta_{dp} = 0,71 \bar{f}^{-0,28}, \quad (5)$$

яка справедлива в межах $0,05 \leq \bar{f} \leq 0,4$ (або $Re > 6000$), що відповідає параметрам реальних дренажних трубопроводів меліоративних систем.

4. ВИСНОВКИ

1. Підтверджено суттєве збільшення значення гідравлічного коефіцієнта тертя при роботі збірних дренажних трубопроводів у порівнянні з його величиною для труби з постійною витратою. Це пояснюється впливом потоків приєднаних витрат, їх додаткового перемішування і відповідних втрат енергії, на характеристики основного потоку в каналі.

2. Визначено, що для інженерних розрахунків збірних дренажних трубопроводів, найбільш простими і зручними у використанні є залежності (4) і (5). Основною їх перевагою вважається прийняття гідравлічного коефіцієнта тертя λ_{dp} постійним за довжиною збірника і залежним тільки від його конструктивних і фільтраційних характеристик.

3. Встановлено, що приведеними формулами рекомендується користуватись при величині параметра $\bar{f} \leq 0,4$. При цьому доведено, що в залежності від конструктивних і фільтраційних характеристик збірників, даний коефіцієнт може змінюватись від 1,0 при $\bar{f} > 0,4$ до 2,0 при $\bar{f} \leq 0,05$.

Список літератури

- [1] Бігун І.В. Особливості застосування напірних розподільних трубопроводів у різних технічних системах/ 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] Castellano M.J., Archontoulis S.V., Helmers M.J., Poffenbarger H.J., Six J. / Sustainable intensification of agricultural drainage. Nature Sustainability, 2019, 2. P. 914-921. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>
- [3] Oyarce P., Gurovich L., Guarte V. Experimental Evaluation of Agricultural Drains / Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2017, 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)
- [4] Zhang, Q., Wang, Z. Modeling study on fluid flow in horizontal perforated pipes with wall influx/ International Journal of Fluid Mechanics Research, 2014 6 (14), 556–566. <https://doi.org/10.1615/InterJFluidMechRes.v41.i6.80>
- [5] Kravchuk O.A. Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines/ Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2021, 83. P. 130-138. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>
- [6] 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, 7 (119). P. 60–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>