

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТІ ШЛЯХОВОЇ РОЗДАЧІ РІДИНИ З НАПІРНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ

© Орел В.І., 2010

Показано, що за однакової витрати рідини на початку напірного розподільного трубопроводу (РТ) незалежно від його шпаруватості, кута нахилу та наявності чи відсутності транзитної витрати залежність відносної інтенсивності роздачі рідини від критерію Рейнольдса, визначеного за витратою, що залишається в РТ після i -го водовипуску, є єдиною.

The identical expense of liquid at the beginning of pressure distributive pipeline (PDP) regardless of outlets to pipe cross-section ratio of PDP, angle of slope to horizon and presence or absence of transit expense dependence of relative intensity of distribution of liquid on the Reynolds' number (1), certain after an expense, which remains in PDP after the i -outlet, is unique it is shown.

Вступ. Напірні розподільні трубопроводи (РТ) застосовують у різних галузях: водопостачанні й водовідведенні (трубчасті розподільні системи очисних споруд, розосереджені випуски стічних вод); іригації (краплинне, внутрішньогрунтове й поверхнєве зрошення); вентиляції (припливні системи); водному транспорті (розподільні системи живлення шлюзів і великогабаритних сухих доків); металургійній промисловості (системи охолодження) тощо.

Проте на практиці реалізується нерівномірна роздача рідини. Так, за малих значень шпаруватості РТ можна, не вдаючись до зміни його геометричних параметрів, забезпечити роздачу рідини по довжині перфорованого трубопроводу, близьку до рівномірної. І навпаки, за великих значень шпаруватості, як у РТ малого опору, допустимої нерівномірності можна досягти тільки за допомогою спеціальних конструктивних заходів (наприклад, різний крок чи калібр водовипусків, конусоподібна чи телескопічна форма РТ) [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо [2], що наявність транзитної витрати зменшує вплив шляхової витрати на гідравлічні характеристики РТ і збільшує втрати тертя по довжині. Чим більшим є значення транзитної витрати порівняно зі шляховою, тим вплив першої на характеристики РТ відчутніший, і навпаки. Отже, при течії рідини з транзитною витратою виникає збільшення нерівномірності роздачі з нього.

У [3, 4] зроблено висновок, що як за наявності ($Q_{tr} \neq 0$) транзитної витрати, так і за її відсутності ($Q_{tr} = 0$), зворотний похил порівняно з горизонтальним РТ спричиняє зростання нерівномірності шляхової роздачі рідини, а прямий похил РТ її зменшує.

Вплив струменів, які витікають з водовипусків, на транзитний потік умовно можна розглядати як дію додаткових виступів шорсткості, що істотно турбулізує потік, і, як наслідок, збільшує втрати напору в ньому [5].

У [6] показано, що

$$\frac{Q_i}{\sum q_i} = f(\text{Re}_i), \quad (1)$$

де $Q_i/\sum q_i$ – відносна інтенсивність роздачі рідини з водовипусків; Q_i , $\sum q_i$ – відповідно витрата, що залишається в РТ після i -го водовипуску, та шляхова витрати рідини в створі i -го водовипуску на

РТ (в i -му перерізі РТ); q_i – витрата рідини крізь i -й водовипуск; Re_i – критерій Рейнольдса транзитного потоку в i -му перерізі РТ;

$$Re_i = \frac{4Q_i}{\pi v D_i}, \quad (2)$$

D_i – діаметр РТ в i -му перерізі; v – кінематична в'язкість рідини всередині РТ.

У [6] запропонована залежність:

$$\lambda_{\pi}/\lambda = a \cdot Re_i^{-b}, \quad (3)$$

де λ_{π} , λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, відповідно в перфорованому трубопроводі за руху рідини змінної витрати та за рівномірного русі рідини; a , b – коефіцієнт і показник степеня відповідно.

У той самий час [7]

$$\lambda_{\pi}/\lambda = \beta, \quad (4)$$

де β – емпіричний коефіцієнт, що враховує конструктивні характеристики РТ; для практичних розрахунків рекомендується приймати $\beta = 1,3$ [7]. Тут коефіцієнт λ обчислюють для витрати Q_0 на початку РТ.

Мета та завдання досліджень. Мета роботи – проаналізувати залежності відносної інтенсивності роздачі рідини від критерію Рейнольдса, визначеного за витратою, що залишається в РТ після i -го водовипуску.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути наявні експериментальні дослідження роздачі рідини, які виконувалися без спеціальних втручань у конструкцію РТ.

Аналіз закономірності шляхової роздачі рідини. Досліди проводилися з водопровідною водою на експериментальному РТ (рис. 1) з внутрішнім діаметром $D = 8,21$ мм з вісьмома водовипускними насадками завдовжки 25,0 мм та з внутрішнім діаметром $d = 3,2$ мм кожен за наявності та відсутності транзитної витрати. Схему відліку кутів ψ нахилу РТ показано на рис. 2. Шпаруватість РТ визначали за формулою [8, с. 30]:

$$f = \frac{n \cdot \omega}{\Omega}, \quad (5)$$

де n – кількість насадків на весь РТ; ω – площа поперечного перерізу водовипускного насадка, $\omega = \pi d^2/4$; Ω – площа поперечного перерізу РТ, $\Omega = \pi D^2/4$.

Необхідно зазначити, що водовипуски не створюють взаємовпливу, якщо вони розташовані на відстані один від одного, яка є не меншою за $\approx 10D$ [9].

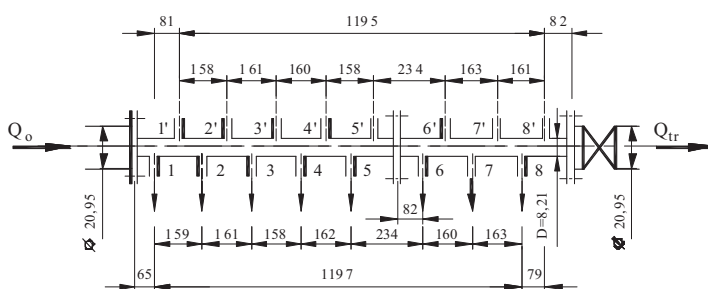


Рис. 1. Схема експериментального РТ зі шпаруватістю $f = 1,215$:
1, ..., 8 – водовипускні насадки;
1', ..., 8' – точки присіднання п'езометрів

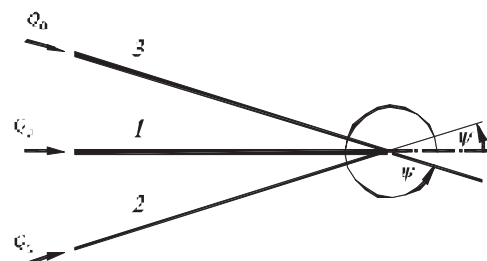
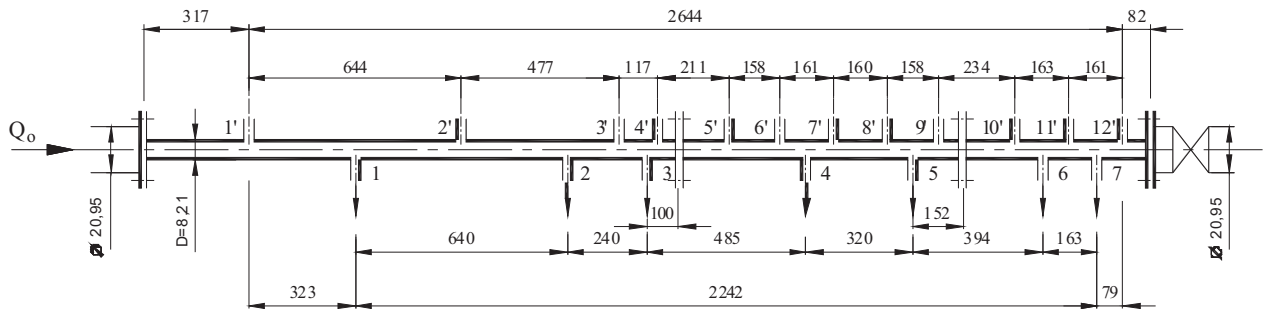


Рис. 2. Схема РТ з різними похилами:
1 – горизонтальний ($\psi = 0^\circ$);
2 – зворотний ($\psi = 5,3^\circ$);
3 – прямий ($\psi = 354,7^\circ$)

Згідно з класифікацією [1], досліджувані РТ були коротким, великого опору. Їхня довжина становила 1197 мм (рис. 1) [3, 4] та 2242 мм (рис. 3) [10], а шпаруватість відповідно була $f = 1,215$ при $n = 8$ (рис. 1) [3, 4] та $f = 1,063$ при $n = 7$, $f = 1,671$ при $n = 11$ (рис. 3) [10].

Крім того, для горизонтального РТ зі шпаруватістю $f=1,671$ (рис. 3, б) проводилися досліди за течії водопровідної води та води з додатками поліакриламід (ПАА) з концентраціями 10^{-5} ; $5 \cdot 10^{-5}$; 10^{-4} кг/дм³ за відсутності транзитної витрати [10].

а)



б)

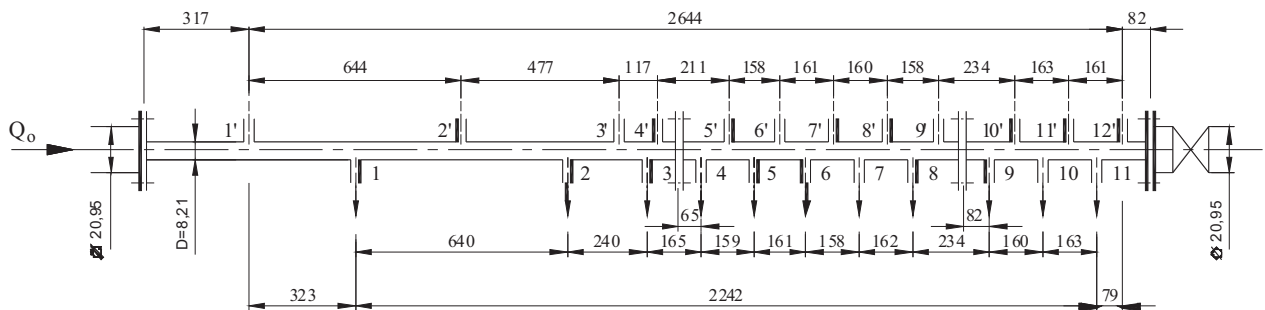


Рис. 3. Схеми експериментального РТ зі шпаруватістю $f=1,063$ (а); $1,671$ (б):
1, ..., 11 – водовитускні насадки; 1', ..., 12' – точки приєднання п'езометрів

Мінімум п'езометричної лінії був в точках приєднання п'езометрів 6' (рис. 1) та 10' (рис. 3), а потім відбувалося відновлення напору.

Проаналізуємо залежність (1). Витрата рідини, що залишається в РТ після i -го водовипуску

$$Q_i = Q_0 - \Sigma q_i, \quad (6)$$

де Q_0 – витрата рідини на початку РТ;

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n q_i + Q_{tr}, \quad (7)$$

де $\sum_{i=1}^n q_i$ – шляхова витрата на весь РТ з n водовипусками.

У дослідах [3, 4] $\sum_{i=1}^n q_i \gg Q_{tr}$, тобто згідно з формулою (7) $Q_0 \approx \sum_{i=1}^n q_i$ з похибкою до 0,2 %.

При цьому наявність транзитної витрати на кінці РТ здійснює найменший вплив на гідравлічні характеристики потоку в трубопроводі.

Тоді відносна інтенсивність роздачі рідини з водовипусків

$$\frac{Q_i}{\Sigma q_i} = \frac{Q_0}{\Sigma q_i} - 1. \quad (8)$$

Згідно з формулою (8) за $Q_0/\Sigma q_i=2$ половину шляхової витрати рідини вже роздано. Це відповідає $Q_0/\Sigma q_i=1$, що відбувається приблизно на $1/4-1/2$ довжини РТ (рис. 4–6). Причому наявність водних розчинів ПАА збільшує цю довжину (рис. 6).

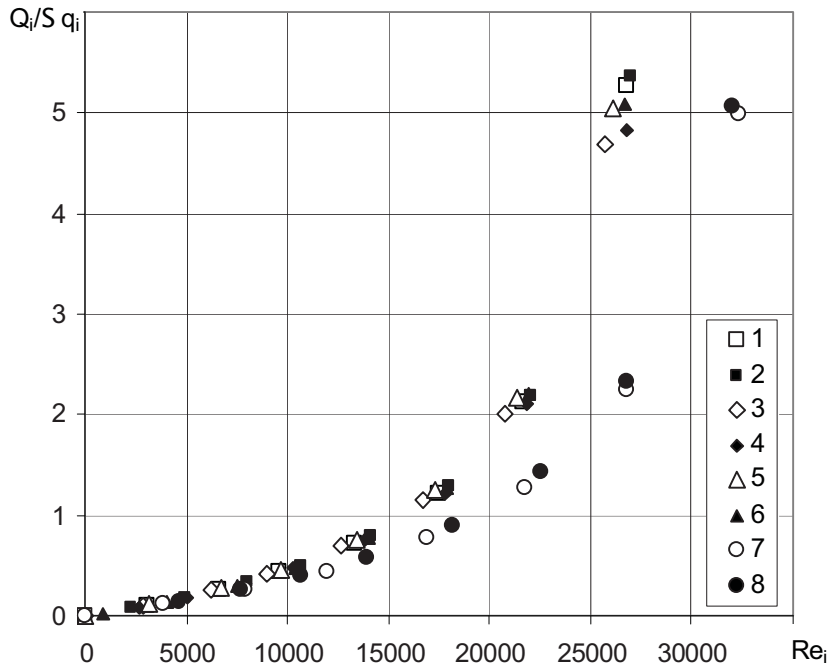


Рис. 4. Відносна інтенсивність роздачі рідини з РТ за відсутності (1, 3, 5, 7) та наявності (2, 4, 6, 8) транзитної витрати зі шпаруватістю $f = 1,215$ за кута його нахилу $\psi = 0^\circ$ (1, 2, 7, 8); $5,3^\circ$ (3, 4); $354,7^\circ$ (5, 6) та витрати на початку $Q_o \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$: $234,355 \pm 2,225$ (1–6); $260,395 \pm 1,675$ (7, 8)

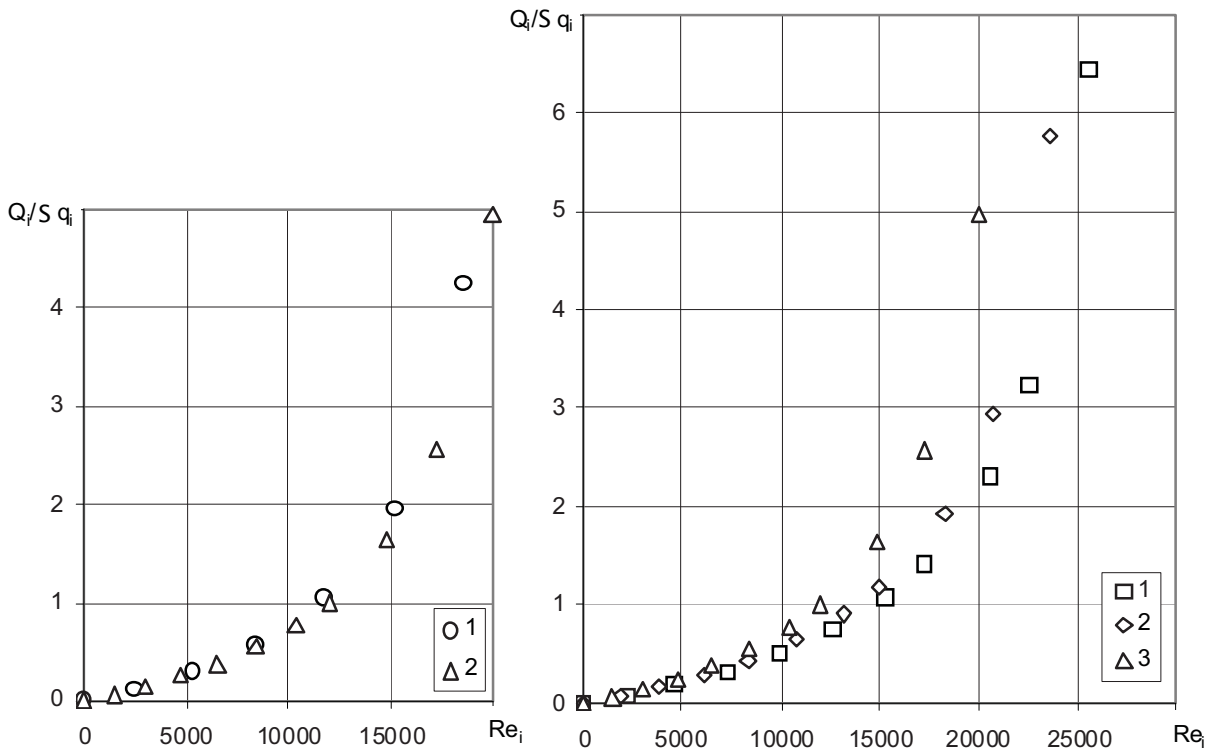


Рис. 5. Відносна інтенсивність роздачі рідини з РТ зі шпаруватістю $f = 1,063$ (1); $1,671$ (2) за відсутності транзитної витрати води

Рис. 6. Відносна інтенсивність роздачі рідини з РТ за відсутності транзитної витрати зі шпаруватістю $f = 1,671$ за течії води (1) та водних розчинів ПАА (2, 3) з концентраціями $10^{-5} \text{ кг}/\text{дм}^3$ (2) та $10^{-4} \text{ кг}/\text{дм}^3$ (3), що відповідає витраті на початку $Q_o \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$: $160,22$ (1); $172,22$ (2); $179,23$ (3)

З рис. 4 зрозуміло, що для конкретної схеми експериментального РТ за однакової витрати Q_0 на початку РТ залежність (1) є єдиною незалежно від похилу РТ та наявності (за малих значень) чи відсутності транзитної витрати. Аналогічний результат був одержаний і за течії води за відсутності транзитної витрати в кінці горизонтальних РТ ($\psi = 0^\circ$, рис. 2) такого самого діаметра зі шпаруватостями $f = 1,063$ та $1,671$ [10] (рис. 5).

За течії води з додатками ПАА [10] не було одержано єдиної закономірності, оскільки додатки зменшують опір тертя на ділянках між роздачами рідини. Чим більша концентрація ПАА в потоці води, тим менші втрати напору і тим менша нерівномірність шляхової роздачі рідини з РТ. Меншій нерівномірності відповідає менш стрімка крива залежності (1), що зрозуміло з рис. 6.

Для різних значень витрати на початку РТ залежність (1) не описується однією кривою (рис. 4 та 6). Отже, необхідно додатково дослідити цю залежність за інших чинників, які впливають на роздачу рідини з РТ.

Висновки. Показано, що за однакової витрати рідини на початку РТ незалежно від його шпаруватості та кута нахилу до горизонту та наявності чи відсутності транзитної витрати залежність відносної інтенсивності роздачі рідини від критерію Рейнольдса, визначеного за витратою, що залишається в РТ після i -го водовипуску, є єдиною.

1. Смыслов В.В. Гидравлический расчет перфорированных цилиндрических трубопроводов с раздачей расхода / В.В. Смыслов, Н.О. Езерский // Гидравлика и гидротехника: Республ. межведом. науч.-техн. сб. – 1980. – Вып. 30. – С.52–59. 2. Чернишов Д.О. Аналіз рівняння руху рідини в розподільних трубопроводах при наявності транзитної витрати / Д.О. Чернишов // Гидравлика і гідротехніка: Наук.-техн. збірник. – 2005. – Вып. 61. – С.71–74. 3. Чернюк В.В. Вплив похилу напірного розподільного трубопроводу на нерівномірність роздачі рідини / В.В. Чернюк, В.І. Орел // Вода в харчовій промисловості: Збірник тез доповідей наук.-практ. конф. з міжнар. участю. – Одеса: ОНАХТ, 2010. – С.113–115. 4. Chernyuk Volodymyr V. Experimental Verification of a New Method of Calculation for Pressure Distributive Pipelines / Volodymyr V. Chernyuk, Vadym I. Orel // Zeszyty Naukowy Politechniki Rzeszowskiej. – Z.54. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. – 2009. – Nr 266. – S.27–34. (XII International Scientific Conference “Current Issues of Civil and Environmental Engineering, Rzeszów–Lviv–Kosice”, 17–19 September 2009, Rzeszów, Poland / Book of abstracts. – P.72.). 5. Чернишов Д.О. Вплив гідродинаміки потоку на характеристики роботи розподільних трубопроводів [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітект. – К., 2005. – 20 с. 6. Федорец А.А. Особенности расчета трубопроводов мелиоративных систем / А.А. Федорец // Вісн. Укр. держ. ун-ту водн. госп-ва та природокорист: Збірник наук. праць. – 2002. – Вып. 5 (18), ч.5. Гідротехнічні споруди, гідравліка, гідрологія та гідроенергетика. – С.163–170. 7. Кравчук А.М. Гідравлічний розрахунок перфорованих розподільних трубопроводів споруд систем водопостачання та водовідведення [Електронний ресурс] / А.М. Кравчук, Д.О. Чернишев // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2006. – Вып. 6. – С.134–140. – Режим доступу: www.nbuv.gov.ua/articles/2006/06kamsvv.zip. 8. Константинов Ю.М. Специальные вопросы гидравлики систем водоснабжения и водоотведения: Учеб. пособие / Ю.М. Константинов. – К.: КИСИ, 1981. – 96 с. 9. Дульнев В.Б. Гидравлический расчет напорных трубопроводов с дискретными отводами / В.Б. Дульнев, Т.Б. Ицук // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Гидравлика гидротехнических сооружений. – 2000. – Т.236. – С.204–208. 10. Чернюк В.В. Вплив додатків поліакриламід у напірного трубопроводу на нерівномірність дискретної шляхової роздачі води з напірного трубопроводу / В.В. Чернюк, В.І. Орел // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 4 (14). – С.37–40.