

РОЗРАХУНКИ КОРОТКИХ ТРУБОПРОВОДІВ З УРАХУВАННЯМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТОКУ

Олена Гіжа

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037
канд. техн. наук, gizha.oo@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4878-6850

DOI: 10.32347/2524-0021.2021.37.13-17

Анотація. Аналізуючи існуючі залежностей по розрахунку коротких напірних трубопроводів при турбулентному режимі було виявлено суттєві недоліки цих рекомендацій. Запропонована фізична модель руху, яка пояснює процеси, що відбуваються на ділянці стабілізації після місцевих опорів і дозволяє встановити фактори, які впливають на її довжину. Експерименти на трубах із різною шорсткістю та різною трубопровідною арматурою дали змогу проаналізувати зміну кінематичних характеристик на ділянці після опорів. Дослідження показали, що у коротких трубах, довжина яких менша, ніж довжина ділянки стабілізації, виникають менші втрати напору, ніж при розрахунках за звичайною методикою, коли просто складаються втрати місцеві і по довжині. Наведено залежності і графіки, що враховують взаємний вплив місцевих опорів у випадку їхнього розташування на відстані меншій, ніж ділянка стабілізації. Запропоновані рекомендації дають змогу приймати більш обґрунтовані економічні рішення при проектуванні коротких напірних трубопроводів різноманітних водопровідних та меліоративних систем.

Ключові слова: короткі напірні труби, ділянка стабілізації, взаємний вплив місцевих опорів.

ВСТУП

Напірні системи з місцевими опорами широко застосовуються у різних галузях техніки. Велика кількість трубопровідної арматури зустрічається у водопровідних та меліоративних спорудах, теплообмінних апаратах, нафтогазових системах, водомірних пристроях. У цих випадках слід враховувати втрати напору у місцевих опорах, що спричиняються різними запірними та регулюючими пристроями або які виникають у місцях зміни перерізу труби чи напрямку руху рідини.

Місцеві опори суттєво впливають на кінематику потоку. Безпосередньо після опору епюри осереднених і пульсаційних швидкостей значно деформуються у порівнянні із характеристиками розвинутого стабілізованого руху, змінюються і інші параметри потоку (рис. 1). Зміни кінематичних характеристик течії відбу-

ваються на ділянці стабілізації після місцевих опорів [2,3,4,6,7,9].

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

На основі експериментальних досліджень [1,5] була запропонована фізична модель руху, яка пояснює процеси, що відбуваються на ділянці стабілізації та дозволяє встановити фактори, що впливають на її довжину.

Експерименти проводилися на трубах із різною шорсткістю та різною трубопровідною арматурою.

Дослідження показали, що за своїми характеристиками та процесами, що тут відбуваються, всю ділянку стабілізації можна умовно розподілити на дві частини. На першій ділянці потік, що протікає через місцевий опір, значно деформується і не займає всього перерізу труби, утворюючи водоворотні зони із відривними течіями. Деформація потоку

приводить до виникнення градієнта швидкості і появи крупномаштабних турбулентних пульсацій, дія яких не обмежується твердими стінками і які поступово затухають по довжині труби. Під дією підвищеної кінетичної енергії вони інтенсивно переміщуються у напрямку, що перпендикулярний до напрямку руху

течії і передають частину своєї енергії іншим шарам рідини.

Таким чином відбувається перерозподіл енергії та осереднених швидкостей. Коли цей процес закінчується швидкості по перерізу потоку вирівнюються і епюра набуває майже прямокутної форми. У цьому місці закінчується перша ділянка (рис. 1).

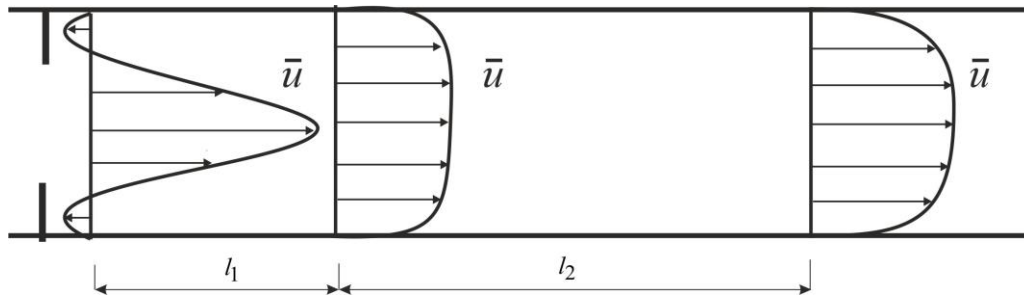


Рис. 1. Епюри осереднених швидкостей на ділянці стабілізації після діафрагми
Fig. 1. Plots of averaged velocities in the area of stabilization after the diaphragm

Відносна довжина першої ділянки l_1/D залежить від коефіцієнта місцевого опору ζ .

Далі, вже на другій ділянці на кінематику потоку впливають мікропульсації і дотичні напруження на стінках труби. Під дією в'язкості шари рідини біля стінки починають гальмуватися, швидкості тут зменшуються. А на осі потоку спостерігається поступове збільшення швидкостей. Це відбувається доти, доки не встановиться стан рівноваги між перепадом сил тиску і сил тертя. Коли ця рівновага настає утворюється епюра осереднених швидкостей, що характерна для стабілізованої течії.

Відносна довжина другої ділянки l_2/D залежить від гідравлічного коефіцієнта тертя λ .

Характерним є також зміна на ділянці стабілізації коефіцієнта кінетичної енергії α , який враховує нерівномірність розподілу швидкостей по перерізу (рис. 2). Спочатку, на першій ділянці α різко

зменшується майже до одиниці, що характеризує практично рівномірний розподіл швидкостей. Далі, на другій ділянці коефіцієнт поступово зростає до 1,07, ..., 1,08, що відповідає повністю розвинутому стабілізованому руху.

Таким чином, загальну відносну довжину ділянки стабілізації l_{ct}/D можна визначити за формулою

$$\frac{l_{ct}}{D} = \frac{l_1}{D} + \frac{l_2}{D},$$

або

$$\frac{l_{ct}}{D} = 19(1 - e^{-0,6\zeta}) + \frac{0,45}{\lambda}. \quad (1)$$

Ця довжина може складати декілька десятків діаметрів труби.

Втрати напору у місцевих опорах складаються з втрат, що виникають безпосередньо при утворенні відривних течій за опором, а також додаткових втрат на стабілізацію потоку. Ці останні відбуваються по всій довжині ділянки стабілізації.

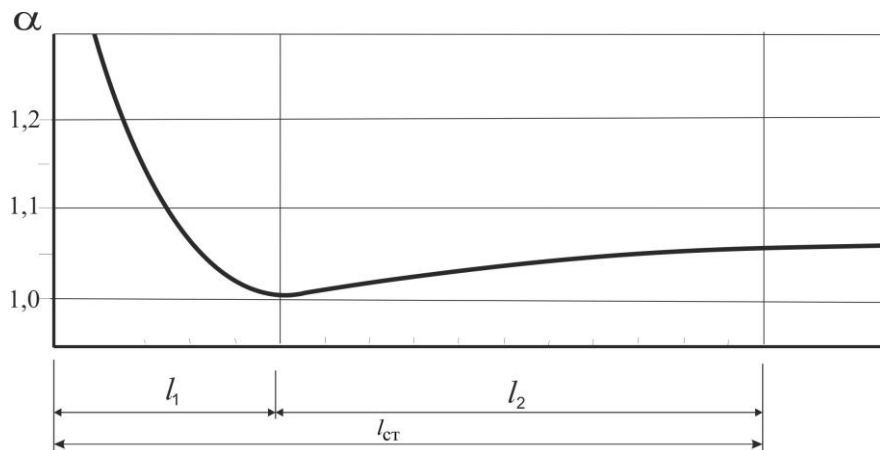


Рис. 2. Графік зміни коефіцієнта кінетичної енергії α на ділянці стабілізації
Fig. 2. Graph of change of kinetic energy coefficient α at the site of stabilization

Дослідження [1] показали, що у коротких трубах, довжина яких менша за довжину ділянки стабілізації, утворюються менші втрати напору, ніж при розрахунках за звичайною методикою, коли просто складають втрати місцеві і по довжині.

Це можна пояснити тим, що в таких трубах стабілізація турбулентних пульсацій, які суттєво впливають на втрати напору, ще не завершилася і втрати не проявилися повною мірою.

Оскільки коефіцієнт місцевих опорів враховує не тільки обтікання конкретних конструкцій, але й підвищені пульсації після опору, то при їхньому неповному прояві цей коефіцієнт буде зменшуватися. Це враховується коефіцієнтом β .

Дослідження показали, що коефіцієнт β залежить від відносної довжини труби (тобто від відношення довжини труби до довжини ділянки стабілізації) та від гідравлічного коефіцієнта тертя λ (рис. 3).

При $l = (0,8 \dots 1,0) l_{ст}$ вплив коефіцієнта β практично незначний. Чим більша короткою є труба, тим суттєвіше проявляється β .

На рис. 4, як приклад, показано напірні лінії на ділянці стабілізації після місцевого опору (входу з резервуара в трубу). Лінія 1 – це напірна лінія, яка враховує

процеси, що відбуваються на ділянці стабілізації. Для порівняння наведена також лінія 2 (пунктирна), яка характеризує зміну повного напору (напірну лінію) без врахування стабілізації, вважаючи, що місцеві втрати напору

$h_m = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g}$ відбуваються на дуже короткій відстані.

Якщо у трубопроводі є декілька місцевих опорів, які розташовані на відстані один від одного меншій, ніж довжина ділянки стабілізації (тобто $l_{тр} < l_{ст}$), то слід враховувати їхній взаємний вплив.

При двох місцевих опорах, що знаходяться на відстані l один від одного із коефіцієнтами ζ_1 і ζ_2 , втрати напору становитимуть:

$$h_n = \left(\zeta_1 \cdot \beta + \zeta_2 + \sum \lambda \frac{l}{D} \right) \frac{V^2}{2g}. \quad (2)$$

Такий підхід вважається більш обґрунтованим, ніж при розрахунках за попередніми методиками.

ВИСНОВОК

Наведені рекомендації дозволяють приймати більш економічні рішення при проектуванні коротких напірних трубопроводів різних водопровідних систем і споруд.

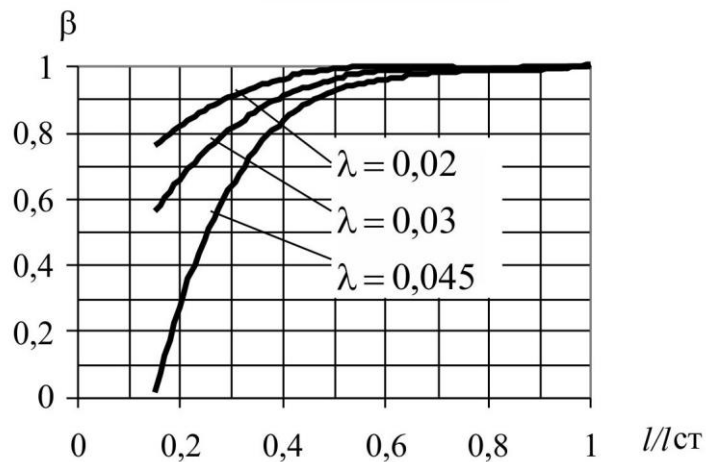


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта β від відносної довжини труби при різних гідравлічних коефіцієнтах тертя λ

Fig. 3. Graph of the dependence of the coefficient β on the relative length of the pipe at different coefficients of hydraulic friction λ

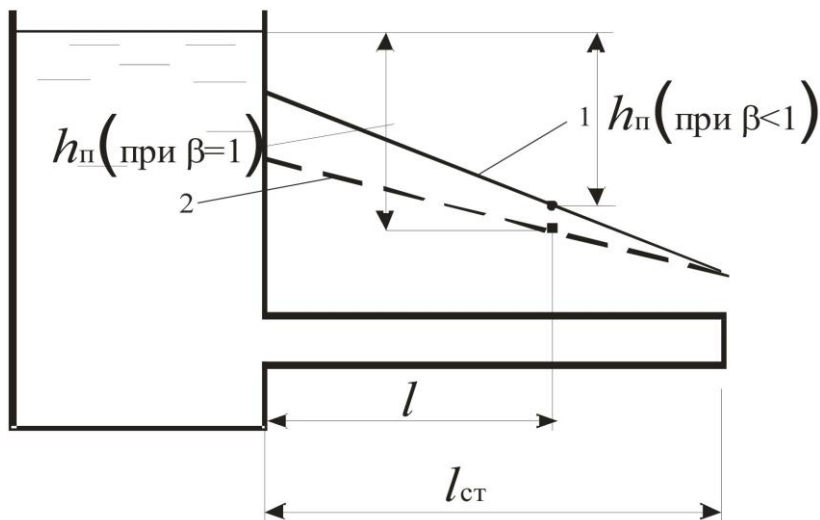


Рис. 4. Зміна напірної лінії на ділянці стабілізації за запропонованою методикою (1) та за звичайною методикою розрахунку (2)

Fig. 4. Change of pressure line at the stabilization section according to the proposed method (1) and according to the usual calculation method (2)

ЛІТЕРАТУРА

1. **Гижа Е. А.** Характеристики течения на участке стабилизации в напорном трубопроводе. // Респ. межвед. Научн.- техн. сборник., "Гидравлика и гидротехника". К.; 1984. вып. 38. С. 16-19.
2. **Никитин И. К., Никитина Ф. А.** Турбулентные пульсации давления в напорных системах с местными сопротивлениями и метод их расчета. // Сборник "Стратифицированные турбулентные течения". К. "Наукова думка". 1979. С.10-18.

3. **Скобельцын Ю. А., Хомутов П. В.** Взаимное влияние различных по конфигурации прохода запорных устройств при низких числах Рейнольдса. // Скобельцын Ю.А., Хомутов П.В. научный сборник // Науч. сборник Транспорт и хранение нефти. 1972. вып. 7. С. 62-65.
4. **Смыслов В. В.** Определение длины начального участка в трубах и каналах при турбулентном режиме течения. // Респ. межвед. Научн.- техн. сборник., "Гидравлика и гидротехника". К.; 1982. вып. 35. С. 14-19.
5. **Смыслов В. В., Гижа Е. А.** Релаксационные явления в напорных потоках за мест-

ними сопроотивленнями. // Респ. межвед. Научн.-техн. сборник., "Гидравлика и гидротехника". К.; 1988. вип. 47. С. 23-26.

6. **Константінов Ю. М., Гіжа О. О.** Розрахунки напірних трубопроводів за швидкісними і витратними характеристиками // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.; КНУБА. 2013. вип. 25. С. 104-112.

7. **Violet P. L., Chabard J. P.** Mécanique des fluides appliquée, Presse des ponts et chaussées. 1998. 177 p.

8. **Yager W. H.** Wastewater hydraulics theory and practice, Springer. 1999.

9. **Lencastre A.** Hydraulique générale. Université nouvelle – Lisbonne – Portugal. 1995. Edition Eyrolles, 61, bld. S.- Germain 75240 Paris Cedex 05.

REFERENCES

1. **Gizha, E. A. (1984)** Kharakterystyka techeniya na uchastke stabylyzatsyy v napornom truboprovode. *Hydravlyka y hydrotekhnika*, 38. 16-19. [in Russian]

2. **Nykytyn, Y. K., & Nykytyna, F. A. (1979)** Turbulentnye pulsatsyy davleniya v napornykh systemakh s mestnymy soprotivleniyamy y metod ykh rascheta. *Stratyfytsirovannyye turbulentnyye techeniya*. 10-18. [in Russian]

3. **Skobeltsyn, Yu. A., & Khomutov, P. V. (1972)** Vzaymnoe vliyaniye razlychnykh po konfyhuratsyy prokhoda zapornykh ustroystv pry nyzkykh chyslakh Reinaldsa. *Transport i khraneniye nefty*, 7. 62-65. [in Russian]

3. **Smyslov, V. V. (1982)** Opredeleniye dliny nachalnoho uchastka v trubakh y kanalakh pry turbulentnom rezhyme techeniya. *Hydravlyka i hydrotekhnika*, 35. 14-19. [in Russian]

4. **Smyslov, V. V., Gizha, E. A. (1988)** Relaksatsyonnye yavleniya v napornykh potokakh za mestnymy soprotivleniyamy. *Hydravlyka i hydrotekhnika*, 47. 23-26. [in Russian]

5. **Konstantinov, Y. M., & Gizha, O. O. (2013)** Rozrakhunky napirnykh truboprovodiv za shvydkisnymy i vytratnymy kharakterystykamy *Problems of water supply, sewerage and hydraulics*, 25. 104-112. [in Ukrainian]

6. **Violet, P. L., & Chabard, J. P. (1998)** Mécanique des fluides appliquée, Presse des ponts et chaussées.

7. **Yager, W. H. (1999)** Wastewater hydraulics theory and practice, Springer.

8. **Lencastre, A. (1995)** Hydraulique générale. Université nouvelle – Lisbonne – Portugal. Edition Eyrolles, 61, bld. S.- Germain 75240 Paris Cedex 05.

Calculations of short pipelines taking into account the flow stabilization

Olena Gizha

Abstract. Analyzing the existing dependences on the calculation of short pressure pipelines in turbulent mode, significant shortcomings of these recommendations were identified. A physical model of motion is proposed, which explains the processes occurring in the area of stabilization after local resistance and allows to establish the factors influencing its length. Experiments on pipes with different roughness and different pipeline fittings made it possible to analyze the change in kinematic characteristics in the area after resistance. Studies have shown that in short pipes, the length of which is less than the length of the stabilization section, there are less pressure losses than in the calculations by the usual method, when there are simply local and length losses. Dependencies and graphs are given that take into account the mutual influence of local resistances in the case of their location at a distance less than the stabilization area. The proposed recommendations make it possible to make more informed economic decisions when designing short pressure pipelines of various water supply systems.

Key words: short pressure pipes, stabilization area, mutual influence of local resistances.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2021