

ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ ПІД ЧАС НЕУСТАЛЕНОЇ ТЕЧІЇ РІДИНИ У ТРУБОПРОВОДАХ

Проведен анализ научных работ по изучению местных сопротивлений при неустановившемся движении несжимаемой жидкости в трубах. Экспериментально исследованы характеристики расходомерных жиклеров с различными диаметрами рабочих отверстий.

The analysis of the advanced studies is conducted on the study of local resistances at the unset motion of incompressible liquid in pipes. Descriptions are experimentally investigational expense of jets with the different diameters of workholes.

Вступ

До теперішнього часу з вивчення місцевих опорів при неусталених режимах течії рідини зроблено тільки перші спроби теоретичного аналізу. Також є дуже мало експериментальних робіт, практично немає відомостей про динаміку швидкісної структури потоку. Останні обставини пов'язано із значними складностями при вимірюванні величин, які характеризують режим течії потоку.

Аналіз відомих методів досліджень

Неусталений рух у прямих циліндричних трубопроводах (при жорсткій задачі) прийнято розв'язувати за рівнянням Д. Бернуллі:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = h_{L_d} + h_i, \quad (1)$$

де $\frac{\Delta P}{\gamma}$ — п'езометричний перепад напору;

$h_{L_d} = \lambda_{ny} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v}{2g}$ — миттєвий перепад, витрачений на подолання механічних втрат; h_i — інерційний напір; v — миттєва середня швидкість у перерізі.

При визначенні інерційного напору [1] пропонують користуватися формулою

$$h_i = \frac{\alpha_o}{g} \cdot \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial v}{\partial t} \cdot ds \equiv \frac{\alpha_o \cdot L}{g} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

де α_o — коректив кількості руху; $L = S_2 - S_1$ — довжина контрольного відрізка.

Враховуючи, що частина енергії сил локальної інерції витрачається на деформацію профілю швидкостей [2, 3], визначають інерційний напір як

$$h_i = \frac{L}{g} \cdot (\alpha_o \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{2} \cdot \frac{\partial \alpha_o}{\partial t}). \quad (3)$$

Згідно [2], другий член у формулі (3) може набути значних величин і ним не можна знехтувати. У роботі [1]

експериментальний аналіз формул (1) — (3) свідчить, що в окремі моменти часу неусталеної течії гідравлічний похил є від'ємним, що суперечить закону збереження енергії. Це потребує в подальшому більш глибокого аналізу фізичної суті процесу і введення додаткових членів у формулу (1).

При наявності місцевих опорів рух потоку відрізняється значною нерівномірністю на відносно коротких ділянках, через що не можна користуватися рівнянням енергії (1), отриманим для плавномірного руху рідини.

Припустивши потенційний плавномірний рух через діафрагму і нехтуючи втратами напору на тертя, у роботі [4] пропонується формула для визначення перепаду тиску по лінії течії між двома точками M_1 і M_2

$$p'_1 - p'_2 = \rho \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \rho \int_{M_1}^{M_2} \frac{\partial u}{\partial t} \cdot ds, \quad (4)$$

де другий член характеризує інерційний напір і визначається через потенціал швидкості ϕ'

$$\int_{M_1}^{M_2} \frac{\partial u}{\partial t} \cdot ds = \frac{d \cdot (\phi'_2 - \phi'_1)}{dt} = \frac{d(\Delta \phi')}{dt}. \quad (5)$$

У роботі [2], виходячи з інтегральної рівності перенесення енергії для об'єму рідини, і наклавши деякі обмеження на характер радіальних складових вектора локальної швидкості поблизу стінки, запропоновано для втрат енергії узагальнене рівняння неусталеного напірного руху:

$$h_n = \xi_{ny} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} + z_1^* \right) - \left(\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} + z_2^* \right) - \frac{L}{2g \cdot v_2} \cdot \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_{ow} \cdot v_2^2), \quad (6)$$

де v_i — середня миттєва швидкість у широкій трубці при раптовому розширенні трубопроводу; z^* — п'езометрич-

ний напір; L — довжина контрольного об'єму; α_{ow} — об'ємний коефіцієнт кількості руху, отриманий інтегральним усередненням окремих величин α_0 по довжині L .

При цьому потрібно відзначити, що різні висновки [5–7] призводять до розсіювання дослідних результатів навіть за однакових місцевих опорів. Таке становище пояснюється недостатнім вивченням фізики явища — до цього часу можна тільки припустити, яким чином відбувається неусталена течія в районі місцевих опорів при високих частотах нестационарності. Тому відсутні достовірні відомості про зміну інерційного напору на місцевому опорі, про вплив інерційних сил на розмір корективів кількості руху α_0 і кінетичної енергії α , які застосовують у інженерних розрахунках, та дані про зміну втрат енергії на місцевих опорах, також коефіцієнтів місцевих опорів при неусталеній течії.

У роботі [8] проведено прямий розрахунок нестационарної турбулентної течії в асиметрично плоскому дифузори в умовах зворотного градієнту тиску, особливою якої є виникнення зони зворотної течії.

З невивченістю фізики явища пов'язані і труднощі кількісної оцінки різних висунутих теорій.

Велика кількість місцевих опорів працює за принципом діафрагми, розрахунок яких проводиться за формулою (за умови усталеної течії)

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}} \quad (7)$$

Звідси

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}} \quad (8)$$

де Q — дійсна витрата рідини, ω — площа живого перерізу отвору діафрагми.

У роботі [9] запропоновано методику дослідження неусталеного руху рідини на місцевих опорах в трубопроводах енергетичних і технологічних установок. На основі рівнянь руху нестискуваної в'язкої рідини отримано залежності, за допомогою яких можна визначити вплив неусталеного характеру руху рідини на коефіцієнт місцевого опору.

Мета роботи — дослідження характеристик витратомірних жиклерів з різними діаметрами робочих отворів при неусталеній течії рідини в трубі.

Основний виклад

Розглядається дослідження характеристик витратомірних жиклерів з різними діаметрами робочих отворів з метою встановлення зв'язку між вимірюваними витратою і перепадом тиску на жиклері (який вимірюється до і після жиклера датчиками тиску) при неусталеному протіканні рідини.

Побудована з цією метою дослідна установка складається з двох частин — гідравлічної та електровимірю-

вальної, яка включає в себе і прилади для обчислення дослідних даних.

Замкнута гідравлічна установка при номінальному тиску $2 \cdot 10^5$ Па дозволяє встановлювати жиклери діаметрами $d=4,36 \cdot 10^{-3}$; $5,72 \cdot 10^{-3}$; $6,57 \cdot 10^{-3}$; $7,84 \cdot 10^{-3}$; $8,70 \cdot 10^{-3}$; $10,85 \cdot 10^{-3}$ і $11,52 \cdot 10^{-3}$ м. При цьому діаметр трубопроводу і мірної ділянки $15,95 \cdot 10^{-3}$ м.

На установці передбачено можливість для вивчення впливу характеристик гідравлічної системи на величину досліджуваних характеристик (Q та $\frac{\Delta p}{\gamma}$).

В електронно-вимірювальній частині установки для вимірювання тиску застосовуються тензометричні датчики ЛХ-415/30. Швидкості вимірюються електромагнітним способом [10,11], а усі дослідні дані записано і обчислено за допомогою комп'ютерної системи.

На рисунку 1 зображено криву витрати одного із витратомірних жиклерів при усталеному режимі руху рідини

$\Delta p_y = f(Q_y)$. На цей же графік нанесено і дослідні дані для одного неусталеного досліду. Як видно, функція

$\Delta p_{ny} = f(Q_{ny})$ не дозволяє однозначного вимірювання витрати через коливальний процес миттєвого перепаду

тиску. Так, наприклад, перепаду $\Delta p_{ny} = 3 \cdot 10^5$ Па відповідає 11 значень витрати. Однак при цьому необхідно відзначити, що нестационарна витрата залежно від часу перебігу змінюється плавно і вищезгаданий коливальний характер миттєвого перепаду тиску не відображається. Описані вище явища спостерігаються при дослідженні всіх жиклерів незалежно від розміру отворів жиклера.

Якісний і кількісний характер явища тісно пов'язаний з гідравлічною системою та її динамічними показниками, але залежить від типу швидкодіючого клапана (швидкості його відкриття–закриття), від потужності джерела енергії та від інерційності системи (маси рідини). Залежно від маси рідини при заданій кінцевій потужності джерела енергії можна досягнути менших або більших густин розподілення енергії діючих сил. До числа цих сил відносяться і сили інерції, які визначають ефекти відхилення величин гідравлічних характеристик (коефіцієнти опору і витрати) від їх стаціонарних значень.

Можна припустити, що вимірюваний датчиками тиску миттєвий перепад напору включає в себе в загальному випадку наступні компоненти:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h_i + h_e + h_{jd} + h_{Ld} \quad (9)$$

де h_e — напір, витрачений на подолання сил стискуваності; h_{jd} — миттєва втрата напору, витрачена на місцевому опорі.

Інерційний напір h_j на прямих ділянках до і після місцевого опору може бути визначений за допомогою формул (2) і (3). Інерційність самого місцевого опору і його вплив на наступні за місцевим опором зони трубопроводу залишаються поки невідомими.

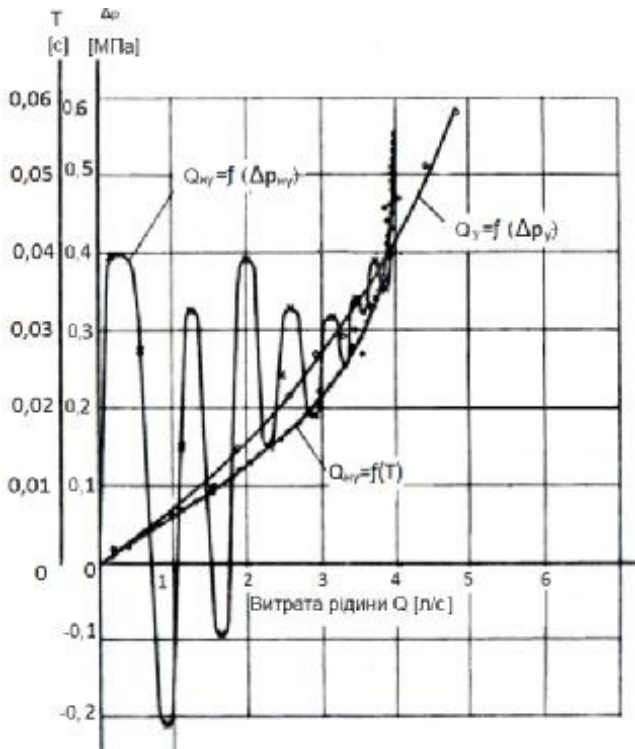


Рисунок 1 — Зміна вимірюваних величин для $d_{жк}=11,52$ мм.

Втратами напору h_{L_D} у формулі (9) при малій відстані між контрольними перерізами можна знехтувати. Але, незважаючи на це, у зв'язку зі складністю фізичного змісту цієї формули задача залишається нерозв'язаною.

Тому досліджувані у даній роботі жиклери характеризуються коефіцієнтом витрат $\mu_{жк}$ за формулою (8). У роботі зроблено спробу визначити зв'язок між $\mu_{жк}$ і характеризуючим неусталений процес безрозмірним критерієм.

У деяких дослідницьких роботах у якості безрозмі-

рного параметра прийнято величину $\frac{d}{v^2} \cdot \frac{dv}{dt}$. Схожа

спроба в даному випадку не дає задовільних результатів. Можна припустити, що даний процес з коливним характером можна більш наглядно описати через параметр, який включає в себе деяку характерну частоту процесу. Таким параметром може бути число Струхаля

$$Sh = \frac{f \cdot L}{v}, \quad (10)$$

де f — характерна частота процесу.

У результаті досліджень виміряні для всіх жиклерів різного діаметра коефіцієнти витрат $\mu_{жк}$ наведено з метою наочності функцією від модифікованого числа Струхаля

$$Sh^* = \frac{v_{жк} \cdot T}{d_{жк}}. \quad (11)$$

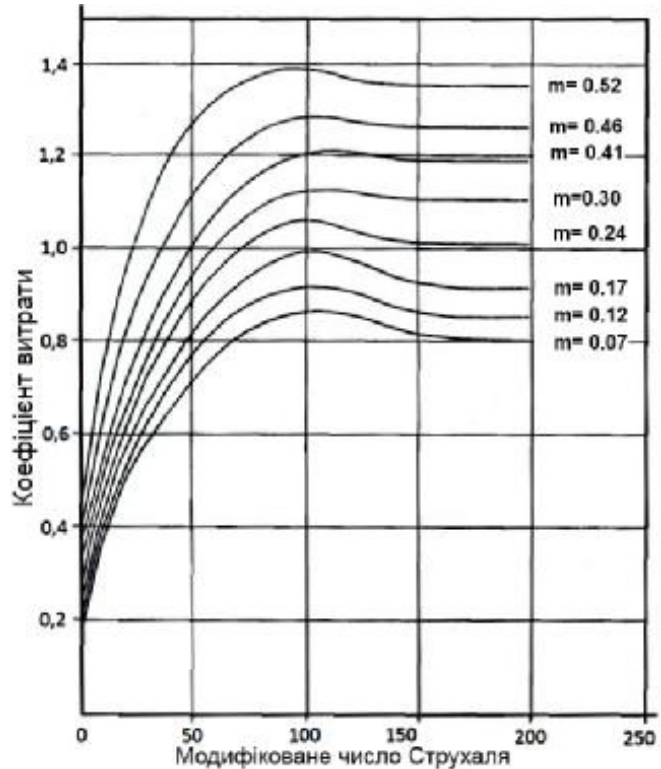


Рисунок 2 — Вимірювання коефіцієнту витрати залежно від модифікованого числа Струхаля.

Дослідні результати залежно від $\mu_{жк}$ дозволяють вивести цілком наочну номограму Sh^* , показану на рисунку 2.

Різні значення відношення $m = \omega_{жк} / \omega_{тр}$, де $\omega_{жк}$ — площа отвору жиклера, $\omega_{тр}$ — площа живого перерізу труби, показані на цьому графіку окремими кривими.

Початкові і кінцеві значення коефіцієнта $\omega_{жк}$ відносяться до граничних значень цього коефіцієнта при усталеній течії рідини.

Висновки

На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено залежність витрати жиклерів від перепаду тиску на них при неусталеній течії нестискуваної рідини.

Літератури

- Бондаренко, Ю.А. Математические модели и численные методы для решения задач нестационарной газовой динамики. Обзор зарубежной литературы / Ю.А. Бондаренко, В.В. Башуров, Ю.В. Янилкин. — М., 2003.
- Лимарь, Н.Н. Теоретическо-экспериментальное исследование местных гидравлических сопротивлений в неустановившихся напорных потоках. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Л., 1973.
- Ройзман, Д.Х. Теоретическое и экспериментальное исследование периодического течения в трубах / Д.Х. Ройзман // Мин-во речного флота РСФСР ЛИВФ. — 1970.

4. Fortier, A. Ecoulements instationnaires dans les Conduits: General Lecture 1, 1969.

5. Озерский, А. И. Расчёты динамики движения жидких масс с контактными разрывами в каналах сложных геометрических форм / А. И. Озерский // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. наук. — 2008. — № 5. — С. 20—26.

6. Mulin, T. Бифуркационные явления при протекании через внезапное расширение в круглой трубе. Bifurcation phenomena in the flow through a sudden expansion in a circular pipe / T. Mulin, J. R. Secidon, M. D. Mantle, A. J. Sederman // Phys. Fluids. — 2009. — № 1 (21). — P. 014110/1-014110/6.

7. Beratlis, N. Прямое численное моделирование неустановившегося пульсирующего течения через сужение. Direct numerical simulations of transitional pulsatile flow through a constriction / N. Beratlis, E. Balaras, K. J. Kiger // Fluid Mech. — 2007. — 587. — P. 425—451.

8. Ohta, Takashi. Анализ нестационарного отрывно-Т-го турбулентного течения в асимметричном плоском диффузоре с помощью прямого расчета/ Ohta Takashi, Kajishima Takeo// Nihon kikai gakkai ronbunshu. В-Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. В. 2008. —74.— № 738. — С. 329—336.

9. Гимадиев, М.А. О методике исследования неустановившегося движения жидкости в местных сопротивлениях / М. А. Гимадиев // Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2008, 9 С. Рус. Деп. в ВИНТИ РАН 24.09.2008, № 748-B2008

10. Гнатів, Р.М. Експериментальні дослідження неусталених течій в трубах/ Р.М. Гнатів, І.П. Вітрух// Промислова гідраліка і пневматика. — 2009. — №4 (26). — С.26—31.

11. Гнатів, Р.М. Фізичні дослідження неусталених потоків лазерним доплерівським вимірювачем швидкості/ Р.М. Гнатів, В.Ю. Петриниць, В.В. Чернюк // Вісн. НУВГП. — Вип. 3(47). — Част. 5. — 2009. — С.264—268.

Надійшла 11.10.2012 року