УДК 532.54.013.2

Р.М. Гнатів, канд. техн. наук
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

ГІДРАВЛІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРИСКОРЕНОЇ ТЕЧІЇ РІДИНИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ

HYDRAULIC ACCELERATED PATTERNS OF FLUID FLOW IN A CIRCULAR PIPE

На основі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що гідродинамічні параметри неусталеного потоку рідини залежать від внутрішнього розподілу кінетичної енергії в живому перерізі. Експериментально досліджено структуру прискореної течії в'язкої рідини в трубопроводі d=0,0596 м шляхом візуалізації потоку в поєднанні з вимірюванням полів швидкостей і характеристик турбулентності. Встановлено, що коефіцієнт гідравлічного тертя за прискореного руху більший, ніж при усталеному русі за тієї ж середньої швидкості. Запропоновано залежності, що враховують вплив інерційного напору за прискореної течії реальної рідини в трубопроводі.

Ключові слова: неусталений, нестаціонарний, рух рідини, , структура потоку, візуалізація течії.

Вступ

Теоретичні дослідження гідравлічних втрат і коефіцієнта гідравлічного тертя за неусталеного руху вказують на вплив ряду додаткових чинників у порівнянні з усталеним рухом. Виникає необхідність уточнення відповідних розрахункових формул, що використовуються при розв'язку задач неусталеного руху в'язкої рідини.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Експериментально величина коефіцієнта гідравлічного тертя за прискореного турбулентного руху рідини недостатньо вивчена. Роботами багатьох авторів [1–5] доведено, що коефіцієнт гідравлічного тертя за прискореного руху більший, ніж при усталеному русі за тієї ж середньої швидкості. Якісна відмінність кінцевих висновків, наведених у цих роботах, залежить від інтерпретації дослідних даних, а також від точності проведення дослідів. Недостатність вивчення цього питання не дозволяє прийняти узагальнені основи для гідравлічного розрахунку прискореного руху.

Мета роботи — дослідити гідравлічні закономірності прискореної течії рідини із врахуванням розподілу швидкостей у живому перерізі трубопроводу для вдосконалення методики розрахунку неусталених потоків рідин.

Результати досліджень

Втрати напору досліджувалися між двома перерізами, які розміщені на відстані 5,0 *м* циліндричного трубопроводу діаметром 0,0596 *м*. Досліджувався також розподіл середніх швидкостей у живому перерізі трубопроводу. Експериментальна установка і апаратура для вимірювання розподілу швидкостей неусталеного руху описані в роботі [6]. Для визначення поздовжніх локальних швидкостей застосовувались термоанемометричні плівкові датчики типу 55A42 і 55A72 разом з підсилювальною апаратурою *DISA*.

Дослідження структури потоку було проведено шляхом візуалізації потоку в поєднанні з вимірюванням полів швидкостей і характеристик турбулентності. Використано методику кіно та фотореєстрації структур нестаціонарних потоків круглих труб запропонована в [7].

Упродовж дослідження вимірювались наступні гідродинамічні величини: витрата рідини, середня у перерізі і локальні швидкості, дотичні напруження на стінці, тиск у різних перерізах поздовж труби. На основі отриманих результатів досліджень проведено розрахунки за формулами з використанням дисипативної моделі, що дозволяє описувати у двовимірній постановці неусталений рух рідини у трубопроводі. Опрацювання дослідних даних проводилось за ансамблем дослідів з однаковими початковими і граничними умовами.

Досліди проводилися за нульової початкової швидкості (V=0) та з деякою початковою швидкістю усталеного руху рідини ($V\neq0$) для різних локальних прискорень. За результатами експериментів отримані необхідні залежності, а також епюри розподілу швидкостей за прискореного руху.

Отримані епюри розподілу швидкостей при прискореному русі побудовано на рисунку 1. У початковий момент часу t = 0.00 *с* у трубопроводі спостерігається неусталений рух із середньою швидкістю V = 1,38 *м/с*. Прискорення потоку призводить до місцевого витягування епюри по осі трубопроводу з одночасним відставанням з боків (рисунок 1, б). До моменту t = 0,60 *с*, коли вплив прискорення припинявся, епюра швидкостей приймає форму, властиву розвинутому турбулентному руху (V = 2,2 *м/с*).

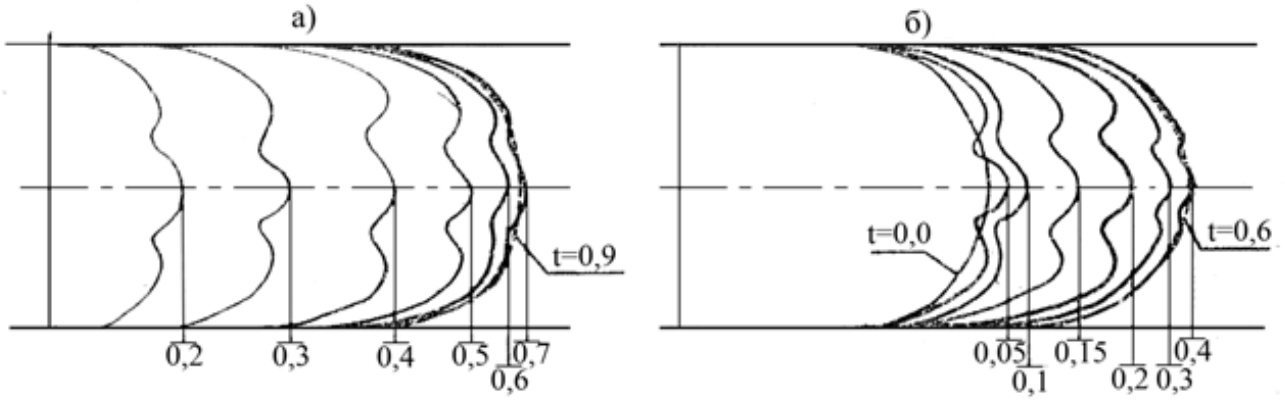

Рисунок 1— Епюри розподілу швидкостей у різні моменти прискореної течії: а) за нульової початкової швидкості (V0=0); б) за заданої початкової швидкості руху (V0≠0).

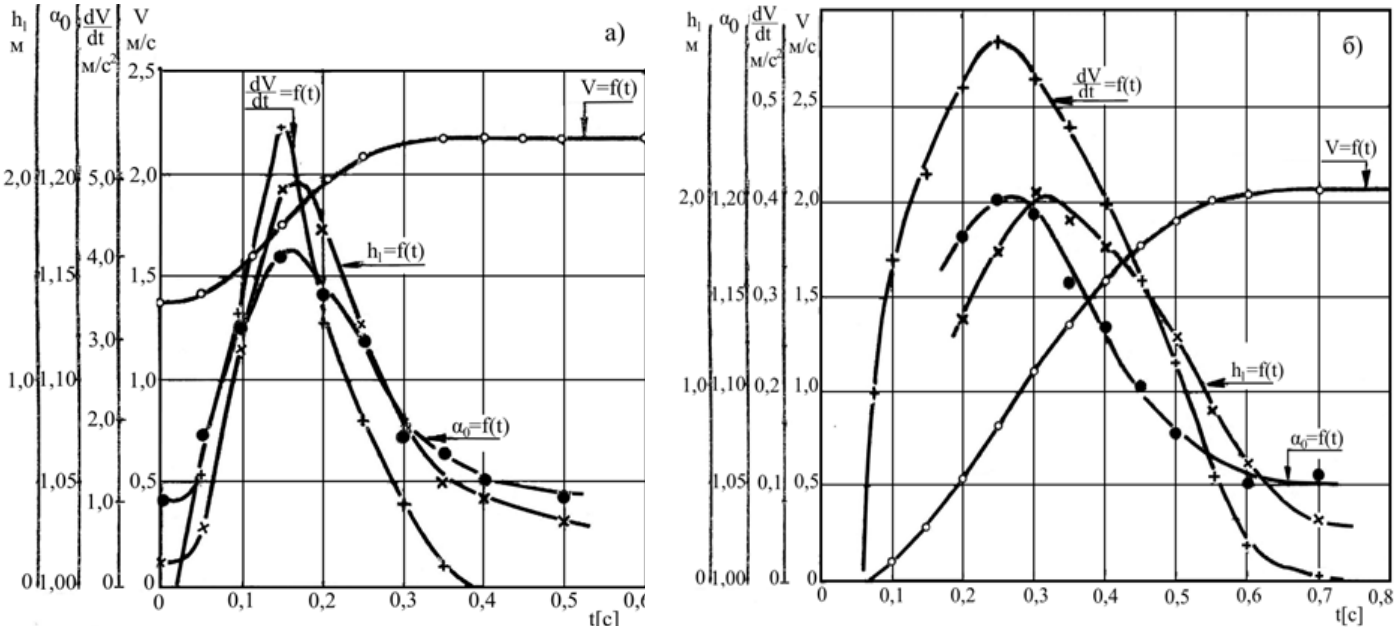

Рисунок 2 — Зміна величини середньої швидкості V=f(t), корективу кількості руху =f(t), втрати напору hl= f(t), абсолютного значення середнього прискорення , в процесі прискорення потоку: а) за нульової початкової швидкості (V0=0); б) за заданої початкової швидкості руху (V0≠0).

Зміни у часі гідравлічних величин протягом експерименту показано на графіках (рисунки 2 і 3). На основі отриманих графіків зроблено висновок про те, що втрати напору зростають із збільшенням прискорення. При цьому максимальне значення функції h_l по часу відстає від максимуму прискорення. Коректив кількості руху α_0 за прискореного руху більше, ніж за усталеного за тієї ж середньої швидкості. Максимум корективу кількості руху α_0 при цьому майже збігається з максимумом прискорення.

За прискорення потоку з початковою швидкістю руху (V0≠0) (рисунок 3), величини h_l і α_0 збільшуються і досягають максимуму. Після припинення впливу прискорення hl і α_0 набувають нових чисельних значень, відповідних новій середній швидкості усталеного руху.

На основі теоретичних досліджень для неусталеного руху отримані залежності

$$\lambda_{неуст} = f\left(\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}\right) \quad \text{і} \quad \alpha_0 = f\left(\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}\right) \qquad (3)$$

де V — середня швидкість в циліндричному трубопроводі; dV/dt — середнє прискорення; α_0 — коректив кількості руху; d — діаметр трубопроводу.

Опрацьовані дослідні точки коефіцієнта гідравлічного тертя $\lambda_{неуст}$ за прискореного руху (рисунок 3) розміщені досить добре на прямій

$$\lambda_{неуст} = \lambda_{уст} + 1{,}28\left(\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}\right). \qquad (4)$$

Формула (4) задовільна для квадратної області турбулентного руху і $\lambda_{неуст}$ в даному випадку має лінійну

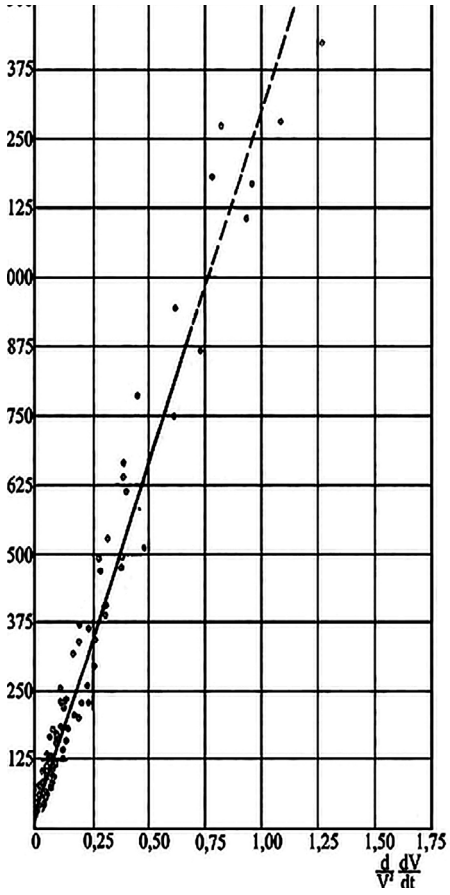

Рисунок 3 — Залежність коефіцієнта гідравлічного тертя $\lambda_{неуст}$ від змінної за прискореного руху

залежність від безрозмірної змінної $\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}$. З цього можна зробити висновок, що при великих величинах цієї змінної коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda_{неуст}$ може значно відрізнятися від $\lambda_{уст}$.

Область практичних задач прискореного руху в квадратичній області лежить у межах зміни безрозмірної змінної $\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}$ від 0 до 0,70. На графіку (рисунок 3) цьому проміжку відповідає суцільна лінія.

Коректив кількості руху α_0, отриманий графоаналітичною обробкою епюр розподілу швидкостей, представлений в залежності від змінної .

Для розв'язку гідравлічних задач в квадратичній області опору при значеннях $\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}$ <0,70 пропонується розрахункова формула:

$$\alpha_0 = 1{,}208\left(\frac{d}{V^2}\frac{dV}{dt}\right)^{0.0275} \quad (5)$$

Отримані залежності (4), (5) дозволяють визначити гідравлічну характеристику всього трубопроводу в першому наближенні.

Висновки

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що гідродинамічні параметри прискореного потоку залежать від розподілу кінетичної енергії в живому перерізі трубопроводу.

Запропоновані залежності, що враховують внутрішній розподіл енергії потоку та вплив інерційного напору при течії реальної рідини в циліндричній трубі.

Література

1. Чарный, И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах / И.А. Чарный.— М.: Недра, 1975. — 296 с.

2. Chung, D. Моделирование крупными вихрями пристеночной области турбулентного потока в канале. Largeeddy simulation and wall modelling of turbulent channel flow/ D. Chung, D. I. Pullin// J. Fluid Mech. — 2009. — V. 631. — P. 281—309.

3. Байбиков, Б.С. Сопротивление трения при ускоренном течении в трубе / Б.С. Байбиков, О.Ф. Орешкин, А.М. Прудовский// Изв. АН СССР. МЖГ. — 1981. — № 5. — С.137—139.

4. Логов, И.Л. К вопросу о сопротивлении трения при ускоренном течении в трубе/ И.Л. Логов// Изв. АН СССР, МЖГ. — №6. — 1983. — С. 169—174.

5. Бондаренко, Н.И. О неустановившемся движении сжимаемой жидкости в напорном трубопроводе/ Н.И. Бондаренко, Ю.И. Терентьев // Моск. гос. техн. унт. М.: 2009. — 54 с. Деп. в ВИНИТИ РАН 15.10.2009, № 620В2009.

6. Гнатив, Р.М. Методы визуализации при исследовании нестационарных течений в цилиндрических трубах / Р.М. Гнатив, О.М. Яхно // Уральский научный вестник. Серия:Технические науки. — 2014. — № 8 (87). — С.22—27.

7. Гнатів, Р.М. Візуалізація структури потоку з вимірюванням полів швидкостей при неусталеному русі рідини / Р.М. Гнатів // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2013. — № 5/5(13). — С. 14—16.

References

1. Charny, I.A. Neustanovivsheesia dvizhenie realnoi zhydkosti v trubakh / I.A. Charny.— M.: Nydra, 1975. — 296 s.

2. Chung, D. Modelirovanie krupnymi vikhrami pristenochnoi oblasti turbulentnogo potoka v kanale. Large-eddy simulation and wall modelling of turbulent channel flow/ D. Chung, D. I. Pullin// J. Fluid Mech. — 2009. — V. 631. — P. 281—309.

3. Baibikov, B.S. Soprotivlenie trenia pri uskorennom techenii v trube / B.S. Baibikov, O.F. Oreshkin, A.M. Prudovsky// Izv. AN SSSR. MZHG. — 1981. — №5. — S.137—139.

4. Loghov, I.L. K voprosu o soprotivlenii trenia pri uskorennom techenii zhydkosti v trubakh / I.L. Loghov// zv. AN SSSR. MZHG. — №6. — 1983. — S. 169—174.

5. Bondarenko, N.I. O neustanovivshemsia dvizhenii сжимаемой zhydkosti v napornom truboprovodie/ N.I. Bondarenko, Yu.I. Terentiev // Mosk. gos. tekhn. unt. M.: 2009. — 54 s. Dep. v VIBITI RAN 15.10.2009, № 620B2009.

6. Gnativ, R.M. Metody vizualizatsii pry issledovanii nestatsionarnykh techeniy v trubakh / R.M. Gnativ, O.M. Yakhno // Uralskiy nauchnyi vestnik. Sepiya:Tekhnicheskie nauki. — 2014. — № 8 (87). — S.22—27.

7. Gnativ, P.M. Vizualizatsiya struktury potoku z vymiruvanniam poliv shvydkostei pri neustalenomu rusi ridyny / R.M. Gnativ // Tekhnologhichny audyt ta rezervy vyrobnytstva. — 2013. — № 5/5(13). — S. 14—16.

Надійшла 2.09.2014 року

УДК 532.04.013.2

Гидравлические закономерности ускоренного течения жидкости в круглой трубе

Р.М. Гнатив

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что гидродинамические параметры неустановившегося потока жидкости зависят от внутреннего распределения кинетической энергии в живом сечении.Экспериментально исследована структура ускоренного течения вязкой жидкости в трубопроводе d = 0,0596 *м* путем визуализации потока в сочетании с измерением полей скоростей и характеристик турбулентности.Установлено, что коэффициент гидравлического трения ускоренного движения больше, чем при установившемся движении при той же средней скорости. Предложены зависимости, учитывающие влияние инерционного напора при ускоренном течении реальной жидкости в трубопроводе.

Ключевые слова: неустановившееся, нестационарное, движение жидкости, структура потока, визуализация течения.

UDC 532.04.013.2

Hydraulic accelerated patterns of fluid flow in a circular pipe

R.M. Gnativ

Based on theoretical and experimental studies found that hydrodynamic parameters of unsteady fluid flow depends on the internal distribution of kinetic energy in the living section. Experimentally, the structure of accelerated motion of a viscous fluid in the pipe d = 0,0596 *m* by flow visualization in combination with measurement of velocity fields and turbulence characteristics. It was established that the coefficient of hydraulic friction for accelerated motion greater than the steady movement for the same average speed. Suggested that take into account the influence of inertial pressure for accelerated flow of real fluid in the pipeline.

Keywords: unstable, unsteady, fluid motion, the structure of the flow, the flow visualization.