

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ШВИДКОСТЕЙ ПРИ НЕУСТАЛЕНІЙ ТЕЧІЇ РІДИНИ В ТРУБОПРОВОДІ

*Проведен анализ научных работ по изучению распределения скоростей в живом сечении при неустойчивом движении несжимаемой жидкости. Экспериментально исследовано их распределение при возникновении движения жидкости в круглом трубопроводе из состояния покоя.*

*The analysis of scientific studies on the distribution of velocities in the living section at the unsteady motion of an incompressible fluid. Experimentally investigated their distribution in the event of fluid motion in a circular pipe from a state of rest.*

### Вступ

Питання розподілу швидкостей у живому перерізі за неусталеної течії рідини мають суттєве значення при визначенні втрат механічної енергії. Однак труднощі як теоретичного, так експериментального характеру, не дозволяють їй досі вважати проблему розв'язаною.

### Аналіз відомих методів досліджень

На даний час опубліковано велику кількість монографій і оглядових статей, присвячених дослідженню турбулентності і руху рідини у пограничному шарі. Із них найбільш суттєвими можна вважати монографії [1–10].

Але ці джерела відносяться до усталених турбулентних потоків. Питання неусталених рухів у цих працях розглядаються на рівні загальних диференціальних рівнянь, що описують крім усталених і неусталені рухи рідини.

Число оглядових статей, присвячених саме неусталеним турбулентним потокам, дуже незначне. Роботи [11–13], аналізують сили, що виникають у неусталених рухах, також математичні моделі, що описують неусталені турбулентні течії, і методи замикання відповідних диференціальних схем.

Теоретичні розв'язки поставленої задачі через математичні складнощі належать лише до ламінарного руху рідини. При цьому задачі, розв'язані за різних початкових і граничних умов та різних законах зміни тиску за часом. Приклади таких розв'язків наведено в [13, 14].

Експериментальні дослідження висвітлено лише у деяких працях, а вимірювання виконано як для ламінарного [15], так і для турбулентного нестационарних потоків [16, 17].

Мета роботи — дослідити розподіл швидкостей у живому перерізі трубопроводу для вдосконалення методики розрахунку структур неусталених потоків рідин в круглих трубопроводах.

### Результати досліджень

У даній роботі описані експериментальні дослідження з вивчення розподілу швидкостей при виведенні руху рідини зі стану спокою.

Дослідна схема, яка використовується для проведення дослідів, має закритий контур і виготовлена з нержавіючої сталі. Експериментальна ділянка діаметром 0,0596 м довжиною  $L = 12,6$  м. Переріз, де проводилися вимірювання з вивчення розподілу швидкостей, розташований на відстані 7,0 м від плавного входу в експериментальний трубопровід. Це забезпечує захист від впливу вхідних умов у мірному перерізі трубопроводу.

Для вивчення поздовжніх локальних швидкостей застосовують термоанемометричні плівкові датчики типу 55A83 і 55A85 разом з підсилювальною апаратурою DISA. Для вимірювання витрат нестационарних потоків встановлено спеціальний електромагнітний витратомір, який призначений для вимірювання швидкісних гідравлічних процесів.

Реєстрація і обробка експериментальних даних здійснювалась автоматичною електронною системою.

Нестационарні режими створювались швидкодіючим клапаном, який розміщений в кінці експериментальної ділянки. До відкриття клапана у напірному баці насосом встановлено необхідний для даного дослідів напір. Спеціальний механізм, який сполучено з швидкодіючим клапаном, забезпечує добру відтворюваність проведених дослідів.

Діапазон вимірювання середніх швидкостей на установці від 0 до 5 м/с. Цьому відповідає зміна числа Рейнольдса до  $3 \cdot 10^5$ .

Досліди з визначення розподілу швидкостей проводились при багатократному повторенні заданого нестационарного режиму. При цьому епюри розподілу швидкостей визначались шляхом переставлення датчика термоанемометра послідовно у різні точки мірного перерізу трубопроводу і багатократним повторенням нестационарного режиму. Вимірювання локальних швидкостей здійснювали у 10 точках по радіусу.

Значення вимірювань у двох точках (на відстані 1 і 8 мм від стінки) під час розгінного нестационарного руху рідини показано на рисунку 1.

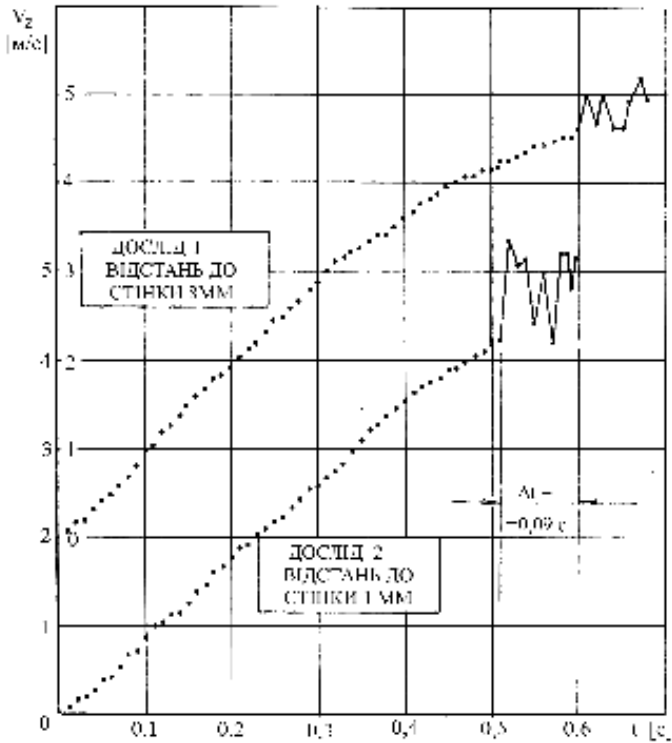


Рисунок 1 — Залежність позовжньої швидкості від часу розвитку розгінної нестационарної течії

На рисунках 2 і 3 зображено опрацьовані на основі даних вимірювання в 10 точках по радіусу, показаних на рисунку 1. На рисунку 2 показано послідовний розвиток епюри розподілу позовжніх швидкостей  $V_z$  із зміною часу. Цифри на епюрах показують час з початку прискорення рідини.

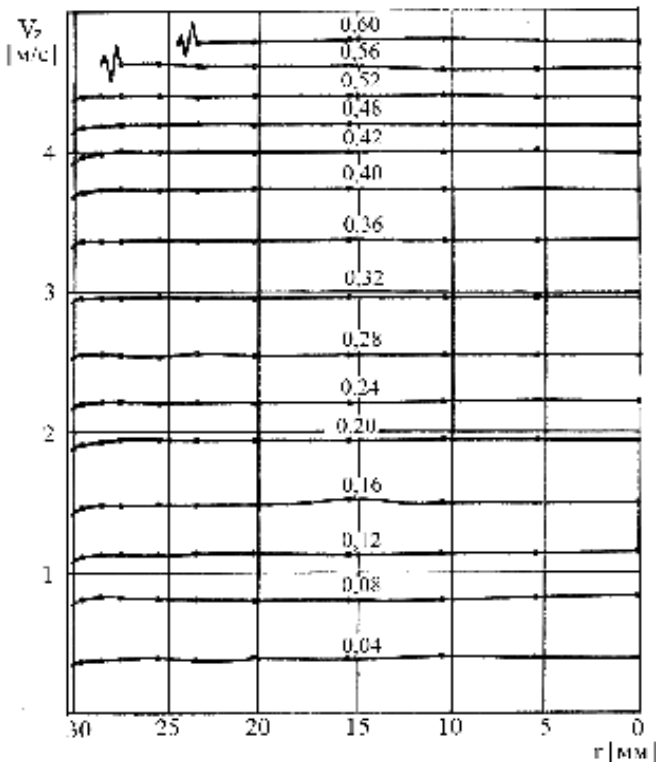


Рисунок 2 — Розвиток епюр розподілу позовжніх швидкостей  $V_z$  при розгінній течії.

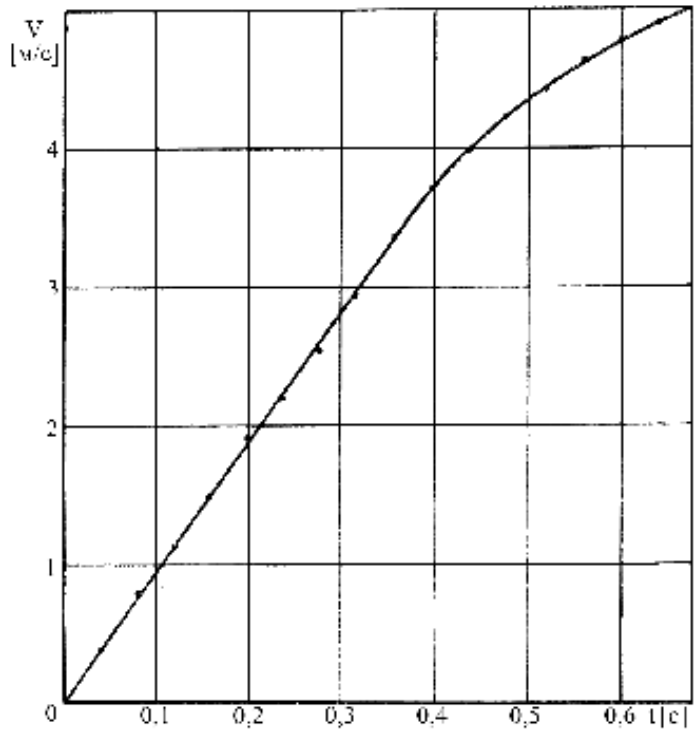


Рисунок 3 — Експериментальні дані вимірювань середньої в перерізі миттєвої швидкості  $V$  течії води

На рисунку 3 зображено дані вимірювань середньої по перерізу миттєвої швидкості  $V$  течії води.

Як показують розрахунки, визначені за миттєвими епорами,

$$v = \frac{2\pi}{\pi \cdot r^2} \int_0^r v_z r dr \quad (1)$$

добре узгоджуються з дослідними даними, що свідчить про достатню точність проведених експериментів.

### Висновки

1. При виникненні руху рідини у трубопроводах спостерігається практично прямокутний розподіл позовжніх швидкостей з тимчасовим розвитком пограничного шару. Одержані дані підтверджуються також даними візуалізації структури неусталених потоків [18].

2. Безпосередні вимірювання в різних точках потоку (рисунку 1) дозволяють встановити, що різка турбулізація потоку, яка спостерігається на стінці, має місце і в характеристиках локальних швидкостей. В точках потоку виникає різка зміна режиму руху рідини, у результаті чого безпульсуючий рух рідини турбулізується.

Турбулізація потоку починається від стінки і поширюється до осі потоку. Зображений на рисунку 1 час  $\Delta t = 0,09$  с показує, що турбулізація потоку поширюється по живому перерізу з певною швидкістю. Можна припустити, що процес турбулізації у живому перерізі проходить з нелінійною швидкістю.

**Література**

1. Хинце, И.О. Турбулентность, ее механизм и теория/И.О. Хинце. — М.: Госиздат физ. мат. лит. — 1963. — 680 с.
2. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика. Теория турбулентности / А.С. Монин, А.М. Яглом. — СПб.: Гидрометеоздат, 1996. — Т.2. — 742 с.
3. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
4. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1987. — 840 с.
5. Бэчелор, Д. Введение в динамику жидкости/Д. Бэчелор. — М.: Мир, 1973. — 758 с.
6. Федяевский, К.К., Гиневский А.С., Колесников А.В. Расчет турбулентного пограничного слоя несжимаемой жидкости. — Л.: Судостроение, 1973. — 256 с.
7. Меллор, Г.Л. Обзор моделей для замыкания уравнений осредненного турбулентного течения/ Г.Л. Меллор, Х.И. Херринг// Рактен. техн. и космонавт. — 1971. — №5. — С.17—29.
8. Vollmers, H. Similar solutions for turbulent flows described by mean velocity turbulent energy and turbulent length scale/ H. Vollmers, J.C. Rotta // AIAA Paper. — 1976. — No. 407. — P. 1—12.
9. Reynolds, W.C. Computation of turbulent flows/ Reynolds W.C. // Ann. Review Fluid Mach. — 1976, 8, Palo Alto. — P. 183—208.
10. Brandshaw, P. Turbulence research-progress and problems/ P. Brandshaw // In: Proc. — 1976 Heat Transfer and Fluid Mech. Inst., Davis, Calif. — P. 128—139.
11. Toebes, H. Hydrodynamic forces on boundaries due to unsteady flow/ H. Toebes // In: 13th Congress IAHR, Paris. — 1971, General Reports. — P. 59—74.
12. Худаско, В.В. Нестационарное турбулентное течение несжимаемой жидкости / В.В. Худаско. — Обнинск, физико-энергетический ин-т. — 1973. — С.1—17.
13. 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. — 2003. — №88.
14. Гнатів, Р.М. Асимптотичний метод виведення дисипативної моделі неусталеного потоку рідини / Р.М. Гнатів, М.Й. Микитин // Промислова гідравліка і пневматика. — 2012. — №1(35). — С. 40—44.
15. Masliyah, J.H. Laminar transient flow in pipes/ J.H. Masliyah, C.A. Shook // The Canadian Journal of Chemical Engineering. October 1975. — № 53 (5). — P. 469—475.
16. Калмыкова, З.А. Экспериментальное исследование профилей местных скоростей при переходных процессах в трубах/ З.А. Калмыкова, И.Г. Мохов, Д.Н. Попов // Транспортное и энергетическое машиностроение. — 1972. — №2. — С. 61—65.
17. Гнатів, Р.М. Експериментальні дослідження неусталених течій в трубах / Р.М. Гнатів, І.П. Віструх // Промислова гідравліка і пневматика. — 2009. — №4 (26). — С.28-31.
18. Гнатів, Р.М. Дослідження методами візуалізації неусталеного руху плинного середовища в трубопроводах гідравлічних систем / Р.М. Гнатів, І.Ф. Рип'як, В.В.Чернюк // Промислова гідравліка і пневматика. — 2010. — №1 (27). — С. 47—51.

*Надійшла 4.03.2013 року*