

В результаті експериментальних досліджень структури потоку в зоні місцевих опорів з'ясований процес утворення і характер розвитку вторинних течій рідин з різними реологічними властивостями. Приведені розрахункові залежності для визначення розмірів вихрових областей

Ключові слова: різко змінна геометрія каналів, візуалізація течії

В результате экспериментальных исследований структуры потока в зоне местных сопротивлений выяснен процесс образования и характер развития вторичных течений жидкостей с разными реологическими свойствами. Приведены расчетные зависимости для определения размеров вихревых областей

Ключевые слова: быстропеременная геометрия каналов, визуализации течения

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНОМАЛЬНО-В'ЯЗКИХ РІДИН В КАНАЛАХ З РІЗКО ЗМІННОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ МЕТОДАМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

С.В. Носко

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: 422-27-57, 067-811-32-88

В.О. Булигін*

*Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
Контактний тел.: 403-17-70, 063-136-77-06

1. Вступ

Більшість промислових апаратів мають робочі канали з різкозмінною геометрією. Забезпечення рівномірного розподілення швидкостей по перерізу робочої зони апаратів простими способами, як правило, не є можливим. Це обумовлено головним чином обмеженням габаритних розмірів промислових установок, в наслідок чого, часто не можливо застосування плавних переходів від одного перерізу до іншого. Крім того, геометричні параметри та форми каналів обладнання технологічного призначення в реальних умовах дуже різноманітні, тому різноманітна степінь та характер дестабілізації потоку рідини в області місцевих опорів.

Все це свідчить про необхідність вивчення кінематичних характеристик течії в каналах технологічного обладнання з точки зору забезпечення заданого розподілення потоку та досягнення розрахункової ефективності їх роботи.

2. Аналіз методів дослідження

Аналіз опублікованих робіт, присвячених експериментальному дослідженню структури потоку та поля швидкостей дозволяє зробити висновок, що дана задача пов'язана із значними труднощами.

Одні методи не завжди забезпечують необхідну точність і достовірність отриманих результатів, інші складні в експлуатації. Так, наприклад, введення в ділянку каналу, яка досліджується, будь-яких зондів чи датчиків, які сприймають динамічну дію потоку, у значній мірі впливають на характер течії і вносять

збурення у потік, а відповідно і похибку вимірів, особливо у випадках не ньютонівських середовищ, які проявляють аномалії в'язкості.

При визначенні локальних швидкостей в розчинах полімерів за допомогою термоанемометрів, слід враховувати вплив агломератів, які присутні в потоках, на прийомний елемент приладу, що порушує зв'язок між тепловіддачею елемента та швидкістю течії, тобто відбувається зниження загальної точності вимірів.

Методика, результати досліджень та основні недоліки вище описаних приладів значною мірою викладені в роботах [1, 2, 3, 4]. Лазерні вимірювачі швидкості різних схем (ЛДВШ), основані на ефекті Доплера, мають деякі переваги, порівняно з вище зазначеними приладами. Але, практична реалізація ЛДВШ є досить складною технічною задачею і також має свої негативні сторони: нестійкість оптичних схем ЛДВШ по відношенню до невеликої резьюстеровці, а також в тих випадках, коли рідина, яка досліджується не має достатню оптичну прозорість [5, 6, 7].

У зв'язку з цим, в даній роботі для дослідження кінематичних характеристик течії був застосований метод візуалізації, який полягає у фотографуванні введених в потік і освітлених джерелом світла частинок-міток.

Застосований метод дослідження поля швидкостей і вторинних течій позбавлений вище вищесказаних недоліків та забезпечує потрібну точність вимірів (близько 5-8%) [8], має широку інформативність та універсальність. До недоліків можна віднести складність обробки результатів вимірів але, як це показано авторами [9, 10], автоматизації процесу

розшифровки кіно та фотоплівки з застосуванням персональних комп'ютерів видаляє і цей недолік.

3. Матеріали та результати досліджень

В даній роботі вивчення вторинних течій та зон вихроутворення в області місцевих опорів виконувалось методом "світлового ножа". Джерело світла неперервної дії, кварцова галогенна лампа, яка давала направлений пучок світла, разом з фотоапаратом, сфокусованим в площину світлового потоку, закріплювався на спеціальному кронштейні до рухомого столу. Направляючі стола розташовувались паралельно поздовжній вісі експериментального каналу. Таким чином, вузол освітлення та фоторегістратор (фотоапарат чи кінокамера) мали можливість переміщуватись в трьох вимірах відносно вивчаючого об'єму рідини.

Для виділення із загального світлового потоку "світлового ножа" за допомогою якого спостерігались частини-мітки, які рухаються в одній з площин потоку рідини, перед лампою в корпусі встановлювались непрозорі пластини, які утворюють щілину в 1мм. Для того щоб зробити доступним вивчення потоку рідини методом оптичної візуалізації, робочі канали виготовлялись з оргскла (поліметилметакрилату), який відрізняється необхідними оптичними властивостями і відносно високою міцністю. Перед зборкою каналів його деталі попередньо полірувались до оптичної прозорості. Комбінація робочих каналів, після їх з'єднання, дозволяла отримати місцеві опори з різноманітною площею поперечно перерізу - раптове звуження (75x25мм; 50x25мм) та раптове розширення (25x75мм; 25x50мм).

Вимір значень гідростатичного тиску проходить за допомогою п'єзометричних датчиків тиску, розташованих по всій довжині експериментального каналу. Також, було потрібно з'ясувати вплив реологічних властивостей рідини на структуру течії. У зв'язку з цим в даних експериментальних дослідках використовувались в'язкі та аномально-в'язкі середовища різноманітної концентрації. Індекс течії "степеневого" реологічного закону, при цьому змінювався в межах $1 < n < 0,386$.

При обробці експериментальних даних було отримано хорошу відповідність реологічних параметрів робочих середовищ, які вимірюються початковою та кінцевою стадією, кожного середовища експериментів, що свідчить про відсутність зсунутого розпаду розчинів полімерів (механічної деструкції).

Особливе значення надавалось вивченню області місцевих опорів, оскільки в справжній роботі аналіз рівнянь, які описують течію в цій області не проводиться саме через складність їх рішення.

Використання зазначених вище методів визначення кінематичних характеристик потоку, які засновані на його візуалізації, дозволило отримати реальну картину течії в'язких та аномально-в'язких рідин в області місцевих опорів.

На рис. 1 показана модель течії в області раптового звуження прямокутного каналу.

Як видно з показаного рисунку, в даному районі течії існує декілька характеристик для даного типу

місцевого опору зон вторинних течій (А – основний вихор; В, С - застійні зони; Е – кільцева ізольована порожнина). Наявність показаних зон здійснює значний вплив на формування швидкісного поля на перед початкових та початкових ділянках. Крім цього, зони А, В, С, Е впливають на параметри середовища та фізичні процеси, які відбуваються в робочих зонах обладнання різноманітного технологічного призначення (тобто на тепло та масообмін, неоднорідність по перерізу и т. д.).

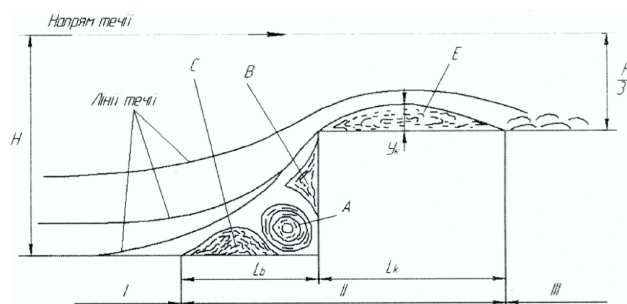


Рис. 1. Модель течії в області несподіваного звуження плоско щілинного каналу. А-основний вихор; В, С-застійні зони; Е-кільцева ізольована порожнина; 7- перед початкова ділянка; II-місцевий опір; III – початкова ділянка

Враховуючи значення перерахованих вище запитань були встановлені процеси зародження вторинних течій, закономірності їх розвитку в залежності від реологічних властивостей рідини та числа Рейнольдса.

Так, при $Re < 80$ в області раптового звуження (коєфіцієнт звуження $K=3$) при течії води та розчинів ПВС (2% - водний розчин полівінілового спирту) явно вираженого вихроутворення не спостерігалось.

При $Re=80$ було видно розщеплення елементів рідини, один з яких прискорюється, зливаючись з основним потоком та потрапляє до вузької частини каналу; другий об'єм рідини втрачає свою швидкість і попадає в зону з'єднання бокової та торцевої стінки каналу.

Вихор А (рис. 1) починає утворюватись при $Re > 100$ але чітко виражена вісь обертання вихра виникає при $Re > 300$.

Режим росту основного вихра А відбувається до певного значення числа Рейнольдса в залежності від реологічних властивостей рідини, тобто при цьому сили в'язкості перевищують сили інерції в цій зоні. Далі по мірі збільшення критерія Рейнольдса ($Re > 10-10$) спостерігається зниження інтенсивності вихрової області, зменшення її розмірів і деяке зміщення вісі обертання в напрямку бокової стінки каналу. Коли число Re досягає значення 1460-1480 (для даного раптового звуження) відбувається роз'єднання основного вихра та утворення застоюної зони С.

На рис. 2 зафіксовано утворення бокової застоюної зони С при течії 2% водного розчину ПВС у раптовому звуженні плоскощілинного каналу.

З даного рисунка видно, що деякий об'єм рідини відділяється від вихра А і рухається уздовж бокової стінки в напрямку протилежному основному потоку, взаємодіє з ним та утворює застоюну зону С. Цей про-

цес дає пояснення аномальному змінненню профіля швидкостей (його ввігнутості поблизу вихрової зони на перед початковій ділянці каналу).

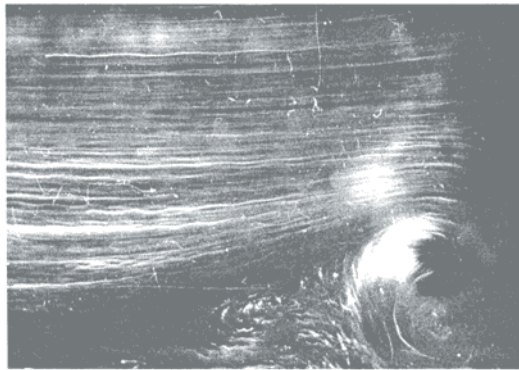


Рис. 2. Утворення бокової застояної зони при течії 2% водного розчину ПВС у несподіваному звуженні плоскощільного каналу ($K = 3$; $Re = 1480$)

При досягненні значення числа $Re > 1650$ виникає пульсація вихрової зони відносно продольної та поперечної вісі каналу і зворотна течія по дну каналу.

На рис. 3 представлена залежність зміни вихрової зони від числа Рейнольдса для різноманітних по своїм реологічним властивостям рідин.

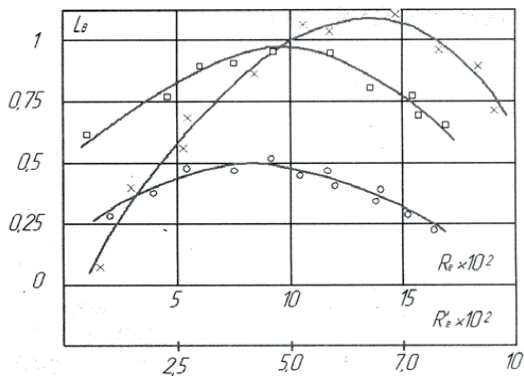


Рис. 3. Залежність безрозмірної величини області вихроутворення L_b від числа Рейнольдса при течії рідини у несподіваному звуженні прямокутного каналу (коефіцієнт звуження дорівнює 3): x - вода; □ - ПВС концентрація; o - ПВС - 4%

Таким чином, аналіз реальної картини течії в області раптового звуження з коефіцієнтами звуження $K=2$ та $K=3$ для в'язких рідин (вода та водні розчини технічного гліцерину) і аномально-в'язких рідин (розчини ПВС і КМЦ) дають право стверджувати, що закономірність утворення вихрових зон А та С (рис. 1) мають однакову тенденцію і відрізняється кількісними факторами.

Схожий характер структури потоку був отриманий авторами роботи [8] для течії не ньютонівських середовищ з індексом течії $n = 0,58$; $n = 0,08$ у раптовому звуженні каналу ($K = 4$).

Відповідно, можна зробити висновок, що розміри вихрових областей А та С залежать від геометричних параметрів місцевого опору, реологічних властивостей рідини, яка рухається та числа Рейнольдса, тобто

$$L_b = f(K; n; Re). \tag{1}$$

В загальному випадку функціональна залежність (1) має наступний вид:

$$L_b = K * Re^a * D_{пр.}^{-a}, \tag{2}$$

де $D_{пр.}$ - приведений діаметр каналу;
а - коефіцієнт, який враховує реологічні властивості середовища.

Так, наприклад, при течії 3% водного розчину КМЦ у раптовому розширенні прямокутного каналу ($K = 0,3$):

$$L_b = 0,031 * Re' * D_{пр.}^{0,98}, \tag{3}$$

де Re' - узагальнене число Рейнольдса.

Якщо рідина має в'язко пружні властивості, то величина L_b залежить ще і від числа Вайссенберга.

В каналі з меншою площею поперечного перерізу, у його початковому перерізі (рис. 1) існує кільцева ізольована порожнина Е (область стисненого перерізу). Тут вплив стінок на потік не грає таку значну роль, як при течії, що встановилась в каналах незмінної конфігурації. В зоні вторинних течій Е дотичні напруження на стінці мають однакове направлення з течією у ядрі потоку, а градієнт швидкості по нормам незначний.

На рис. 4 показано зміна величини стиснення потоку U_k в залежності від числа Рейнольдса для різних концентрацій водних розчинів полімерів.

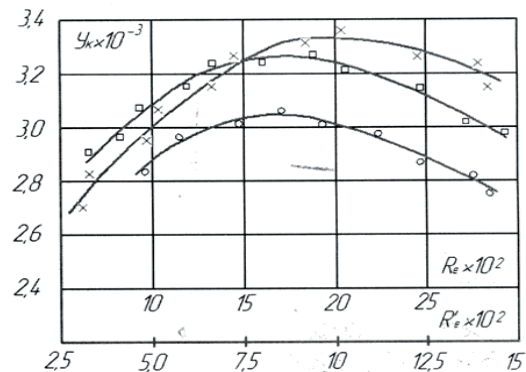


Рис. 4. Залежність величини зони стиснення потоку U_k за раптовим звуженням прямокутного каналу (коефіцієнт звуження дорівнює 3) від числа Рейнольдса для розчину різної концентрації, x - вода; □ -ПВС концентрація 2%; o - ПВС - 4%

Дана функція має слабку залежність від числа Re . При значеннях $Re_m = 1090$ в зоні Е спостерігались дві вихрові зони, які взаємодіють між собою та мають "S" - зворотну форму (в площині "світлового ножа").

Протяжність області стиснення потоку можна визначити по формулі:

$$L_b = K * a * D_{пр.} \tag{4}$$

Відповідно, довжина області місцевого опору буде визначатись, як:

$$L_{м.с.} = L_b + L_K \tag{5}$$

4. Висновки

Розроблений експериментальний стенд та метод вимірювання параметрів потоку, дали можливість доповнити відомості, які були про характер та особливості дестабілізованих течій зв'язаних з наявністю в каналах місцевих опорів:

1. В результаті експериментальних дослідів була отримана кінематична модель течії і виходячи з цієї

моделі, визначений вплив вторинних течій на гідродинамічні параметри на перед початкової та початкової ділянці.

2. В області місцевих опорів з'ясований процес утворення та характер розвитку зон вторинних течій для рідин з різними реологічними властивостями.

Отримані розрахункові залежності для визначення розмірів даних зон.

Література

1. Boger D.V. and Rama Murthy A.V. Flow of Viscoelastic Fluid Through an Abrupt Contraction. - "Rheol Acta", 1982, vol 11, pp. 61-69.
2. Mokhov, I., Popov, DN Experimental study of local velocity profiles in a pipe to fluctuations in flow of viscous fluids // Izv. High. Training. institutions, Mechanical Engineering. - 971. - № 7. - With. 91 -95.
3. Oliver D.R. and Bragg R/ Flow Patterns in Viscoelastic Liquids Upstream of Orifices/ - "Can. Journal Chem. Eng", 1983, vol. 51, pp. 287-290.
4. Eckelmann H. Hot-wire and Hot-film Measurements in Oil. "Disa Information". - 1985, January, pp. 16 - 20.
5. Laser anemometry, remote spectroscopy and interferometry. Directory / VP Scraps, LF Kozlov, IV Potykevich, ed. MS Soskin - Kiev: Naukova Dumka, 1985.-759 p.
6. Bellew Varela E. feature flow rate measurement in cylindrical channels. - "Sovrem.eksperim. Methods of investigation. Heat and Mass Transfer." Minsk, 1981, p. 162 - 167.
7. Auhier A., V. Konstantinov On the possibility of studying the distribution of velocity in the flow of liquid through a combination of methods of holography and Doppler spectrum of photography. "Phys. - Tech. Inst USSR. / Preprint. /", 1980, № 688, p. 1 - 8.
8. Rama Murthy A.V. and Boger D.V. Developing Velocity Profiles on the Downstream Side of a Contraction For Jelastic Polymer Solution. - "Transactions of the Society of Rheology", 1971, vol. 15, №4, pp. 709 - 730.
9. Nakamura R., Voshioka N. Higucki M. and Hirai Entry of a Tube. - "Journal of Chemical Engineering of Japan",- 1976, vol. 9, №4, pp. 291 - 293.
10. Halmos A.L. and Boger D.V. The Behavior of a Power - Law Fluid Flowing Through a Sudden Exponson. - "AIChE Journal", 1985, vol. 21, №3 (May), pp. 550-553.

Abstract

The article analyzes existing methods of kinematics research of fluid flow in channels with variable geometry and their drawbacks. The method of visualization was suggested to study the vortex formation. It is realized by creating an experimental unit that is equipped with channels manufactured from polymethylmethacrylate with different cross-sectional areas (75x25mm; 50x25mm for sudden narrowing and 25x75mm; 25x50mm for sudden expansion of a channel) and "light knife" with a slit of 1 mm. There is a measurement of dependence of vortex formation nature from Reynolds number. The dependences of values of vortex formation zones on the nature of the flow and rheological properties of the fluid were determined, respective graphs were plotted. The developed experimental unit and the method of measurement of flow parameters made it possible to supplement the information about the nature and peculiarities of destabilized flows associated with local resistance in channels. The study concerns the flow in pipelines with variable geometry

Keywords: high-speed variable geometry of channels, flow visualization