

О.М. Яхно, д-р техн. наук,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна
Р.М. Гнатів, д-р техн. наук,
І.Р. Гнатів,
Національний університет «Львівська політехніка»,
Львів, Україна

РОЗПОДІЛ ПОЛІВ ШВИДКОСТЕЙ ЗА ТЕЧІЇ РІДИНИ З ДОДАТКАМИ ПОЛІАКРИЛАМІДУ ЧЕРЕЗ РАПТОВІ ЗВУЖЕННЯ ТРУБОПРОВОДА

VELOCITY FIELD DISTRIBUTION AT FLUID FLOW WITH LIQUID FLOW WITH POLYACRYLAMIDE ADDITIVES THROUGH EXTRAORDINARY DECOMPOSITIONS OF PIPELINE

Мета. Дослідження впливу гідродинамічно активних додатків, які знижують турбулентне тертя, на місцеві втрати напору.

Методи дослідження. На основі аналізу наявних літературних даних щодо впливу додатків, які знижують турбулентне тертя, визначено напрями досліджень. Експериментально досліджено закономірності змінювання гідравлічного опору раптових звужень трубопроводу при введенні додатків поліакриламід у потік води.

Результати дослідження. Під впливом полімерних молекул на поля течії відбувається значна зміна у розвитку профілів швидкості до і після звуження. Полімерні розчини значно раніше, ніж вода, реагують на наявність звуження. З метою визначення впливу додатків полімеру на поля швидкостей осередненого руху було проведено вимірювання поздовжньої компоненти вектора середньої швидкості.

Висновки. Досліджені профілі середньої швидкості за течії води і розчинів поліакриламід різної концентрації через раптові звуження труби від діаметра 0,096 м до 0,038 м. Присутність полімерних молекул у розчині призводить до появи у профілі швидкостей поблизу стінок двох симетрично розміщених відносно осі труби максимумів, які у міру наближення до місця звуження переміщуються по центру каналу і зливаються у перерізі, де проходить звуження трубопроводу.

Ключові слова: ефект Томса, місцеві опори, гідродинамічно активні додатки.

Вступ

Введенням до потоку рідини незначної кількості полімерних додатків досягається суттєве зменшення турбулентності потоку і втрат енергії на тертя, а також збільшення далекобійності вільних і затоплених струменів та підвищення їх компактності. Зниження втрат енергії в трубопроводах введенням до потоку рідини гідродинамічно активних додатків є одним із перспективних шляхів вирішення проблеми розробки і впровадження ресурсозберігаючих технологій. Це у свою чергу вимагає вивчення впливу додатків на місцеві опори.

Явище зменшення гідравлічного опору додатками виявлено в [1]. Перше офіційне повідомлення про суттєве зменшення опору турбулентного тертя слабоконцентрованими розчинами високомолекулярних полімерів з ланцюговою будовою молекул в трубах в порівнянні з течією чистого розчинника доповів в 1948 р. на першому реологічному конгресі в Гаазі Б. Томс [2]. В подальшому це явище почали називати ефектом Томса. Використання

ефекту на практиці знайшло застосування раніше ніж з'явилися гіпотези, що його пояснюють, кількість яких в даний час досягає більше чотирьох десятків, але жодну з них не можна рахувати загальноприйнятною. Кількість публікацій по даному питанню становить близько двох тисяч. Використання додатків для зменшення опору в різних гідравлічних системах висуває задачу вивчення їх впливу на місцеві втрати напору в трубопроводах. Ця проблема і в даний час вивчена недостатньо.

Число праць по вивченню впливу додатків на місцеві опори незначна, але й серед них відсутня єдина думка про ефект додатків на місцевих опорах. Одні автори заперечують вплив [3, 4]. Інші дослідники дійшли до висновку, що додатки впливають на місцеві втрати напору несуттєво і пропонують розрахунок їх у першому наближенні проводити як для чистої води [5—7]. В останніх публікаціях повідомляється про суттєву залежність місцевих втрат напору від наявності додатків у рідинному потоці [8—14].

Мета дослідження

Експериментальне дослідження закономірностей зміни гідравлічного опору раптових звужень трубопроводу при введенні у потік води додатків поліакриламід.

Результати досліджень

В даній роботі досліджувався вплив додатків поліакриламід на гідравлічний опір раптових звужень труб. З метою визначення впливу додатків полімеру на поля швидкостей осередненого руху нами були проведені вимірювання поздовжньої компоненти вектора середньої швидкості. Досліджені профілі середньої швидкості за течії води і розчинів поліакриламід різної концентрації через раптове звуження труби від діаметра 0,096 м до 0,038 м.

На рисунку 1 показано розмірні профілі осередненої швидкості по осі трубопроводу у воді і розчині поліакриламід концентрацією $5 \cdot 10^{-5}$ при $Re = 3,8 \cdot 10^4$. Для представлення даних швидкостей звуження розміщено на $X=0$. Профіль вимірювання швидкості в центрі трубопроводу для води починається постійною швидкістю в напрямку до раптового звуження, що відповідає максимальній швидкості повністю розвинутого турбулентного потоку. Перед самим звуженням швидкість різко зростає. Причому найбільше прискорення спостерігається в безпосередній близькості до площини звуження при $X = 0$.

У середині меншої труби швидкість рідини прискорюється надалі. Це спричинено з перепрофілюванням профілю швидкості з більш прямокутного вхідного профілю у повністю розвинутий турбулентний профіль.

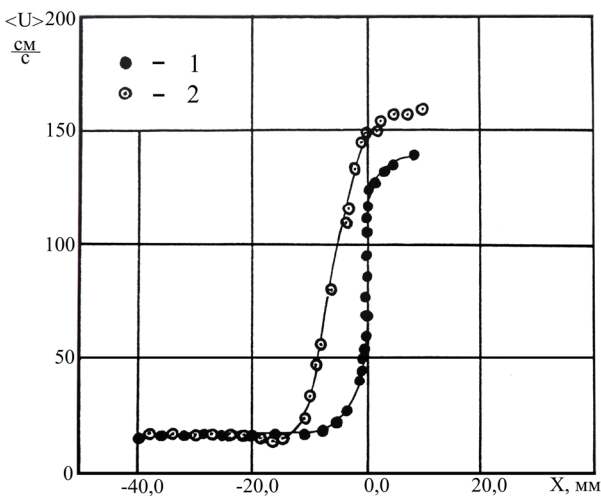


Рисунок 1 — Розмірні профілі осередненої швидкості по осі трубопроводу за течії через раптове звуження труби води — 1 і водного розчину поліакриламід — 2 (концентрація поліакриламід $5 \cdot 10^{-5}$; $Re = 3,8 \cdot 10^4$).

Профіль швидкості по осі у потоці водного розчину поліакриламід концентрацією $5 \cdot 10^{-5}$ поводить себе по

іншому. У широкій трубі потік повністю розвинутий з такою ж осьовою швидкістю. Перед звуженням остання дещо зменшується до мінімуму і поступово зростає після проходження звуження. Прискорення розчину починається швидше, ніж прискорення потоку води, але воно не є таким різким. Описані вище зміни осьової швидкості були здійснені також з водним розчином полімеру масовою концентрацією $2,5 \cdot 10^{-5}$. У якісному співвідношенні з водним потоком спостерігалися такі ж зміни, але в дещо меншій формі.

У першій серії експериментів, поле швидкостей потоку води визначалося за чисел Рейнольдса $Re = 3,8 \cdot 10^4$ і $Re = 7,6 \cdot 10^4$. Результати показано відповідно на рисунках 2, а і б. Розміщення профілів середньої швидкості на останніх не подана в масштабі, але фактичне їх розміщення зображено внизу рисунка. Крім цього профілі при $X = -2,0$ мм на рисунках 2 і 3 відображають тільки центральну частину профілю останньої швидкості у верхній частині звуження. Інші виміряні результати по всій висоті труби досить суперечливі і вимагають додаткових досліджень.

Вищеописані припущення було враховано при побудові профілю у водних розчинах поліакриламід (рисунок 3). Течія чистої води в широкій трубі характеризується турбулентним профілем швидкості усталеного рівномірного руху для обох значень Re . Остання не змінюється, поки рідина не досягла відстані близько двох діаметрів перед раптовим звуженням. У цій точці швидкість на осі трубопроводу трохи збільшується і зменшується біля стінки труби. Наближаючись до площини звуження, рух рідини збільшує прискорення.

На рисунку 2, а отримано два незначних відхилення швидкості біля стінки в нижній частині звуження. Профіль течії при $Re = 3,8 \cdot 10^4$ має більш круглу форму, в той час, як профіль при більшому значенні Re на рисунку 2, б має більш прямокутну форму.

Незважаючи на дуже високий градієнт швидкості в безпосередній близькості до площини звуження, біля стінки широкої труби у випадку з обома числами Рейнольдса біля входу до малої труби спостерігалися симетричні відхилення швидкості. У центральній частині опуклий профіль змінювався і ставав більш прямокутним з рівномірним розподілом швидкості в центральній частині трубопроводу. Вниз за течією відбулось добре відоме його перетворення в профіль усталеного турбулентного руху. Через обмежену просторову розділову здатність термоанемометричної апаратури DISA, яка використовувалась в дослідженнях, не виявлено рециркуляційних або застійних зон усередині малого трубопроводу.

Інше явище спостерігається у розвитку профілю середньої швидкості при додаванні до води невеликої кількості поліакриламід великої молекулярної маси (рисунки 3, а і 3, б). Швидкості на осі трубопроводу при $Re = 3,8 \cdot 10^4$ були більшими від відповідних водних потоків. Виявлено також відмінності між розчинами полімерів концентраціями $2,5 \cdot 10^{-5}$ і $5 \cdot 10^{-5}$. За даними на рисунку

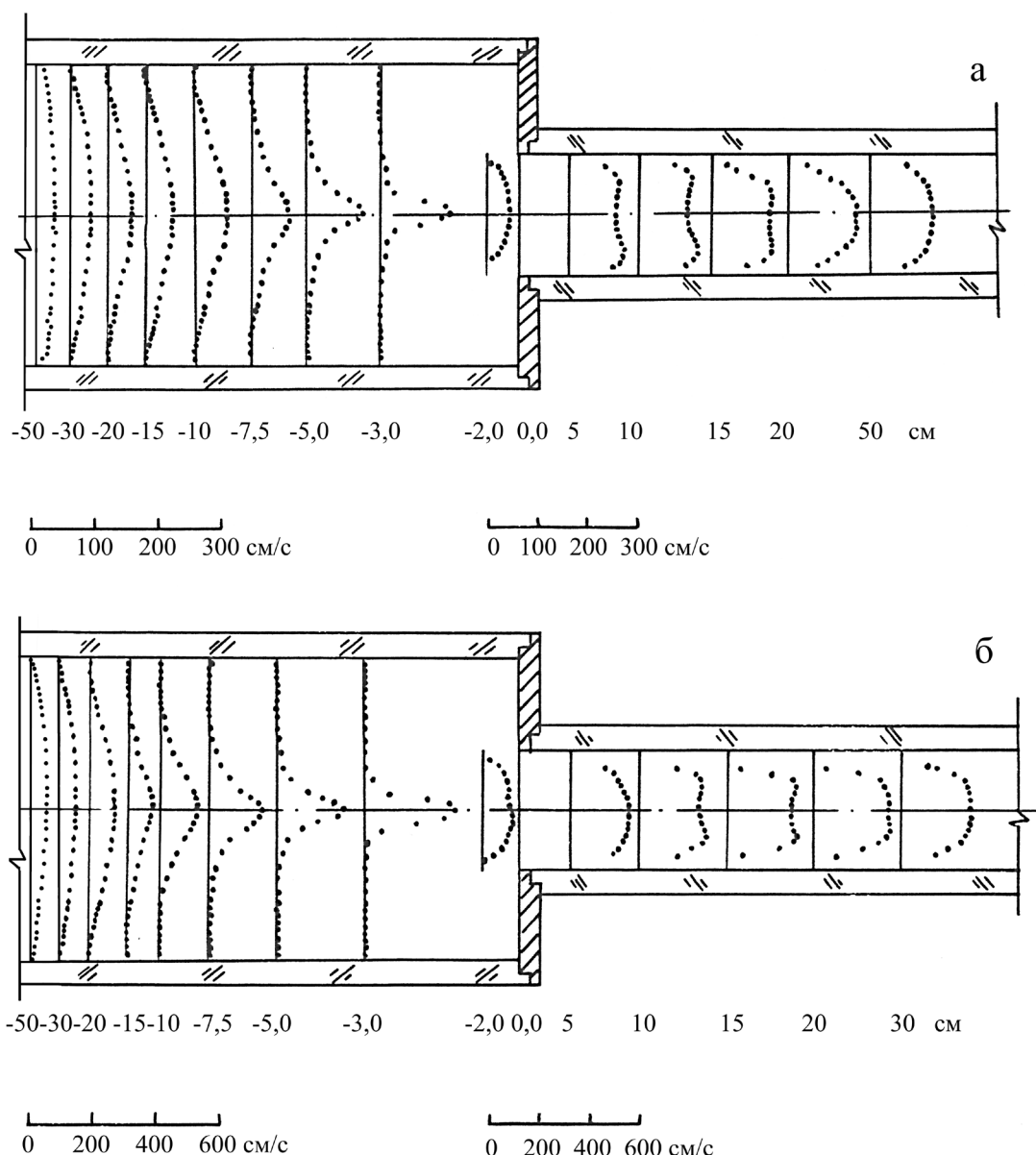


Рисунок 2 — Зміни епюр осередненої швидкості за різних швидкостей течії води через раптове звуження:
 А – води: а) $t=(d/D)^2=0,16$; $Re_d=3,8 \cdot 10^4$; — б) $Re_d=7,6 \cdot 10^4$; Б — водних розчинів поліакриламиду концентраціями:
 в) $5 \cdot 10^{-5}$; г) $2,5 \cdot 10^{-5}$ ($Re_d=3,8 \cdot 10^4$)

З, б полімерний розчин концентрацією $2,5 \cdot 10^{-5}$ потрапляє до звуження пізніше, ніж розчин концентрацією $5 \cdot 10^{-5}$ на рисунку 3, а, але набагато швидше ніж вода. Обидва потоки полімерних розчинів реагували прискоренням рідини біля стінки, а профілі ставали більш плоскими. Зниження тертя в потоках з добавками супроводжується розширенням пристінної ділянки (включаючи в'язкий підшарок і перехідну ділянку).

У зв'язку з законом збереження маси, швидкість уздовж осі каналу змушена була зменшуватися, що знайшло вираження на мінімумі профілю швидкості по центру (приблизно на відстані двох діаметрів у верхній частині звуження). Результатом цього прискорення стали

два симетричні максимуми швидкості в зоні течії біля стінки.

З наближенням потоку до звуження рухалася з прискоренням і рідина в центральній частині більшої труби. Максимуми швидкості рухалися з обох кінців симетрично осі трубопроводу і таким чином створювали увігнутий профіль у верхній частині звуження. Профілі швидкості мали помітне мінімальне значення на осі труби перед звуженням.

У проведених дослідженнях, розміри зон рециркуляції потоку, що мали місце в кутах перед звуженням, зростали у випадку з обома полімерними розчинами в порівнянні з полями швидкостей водних потоків. Нами був виміряний

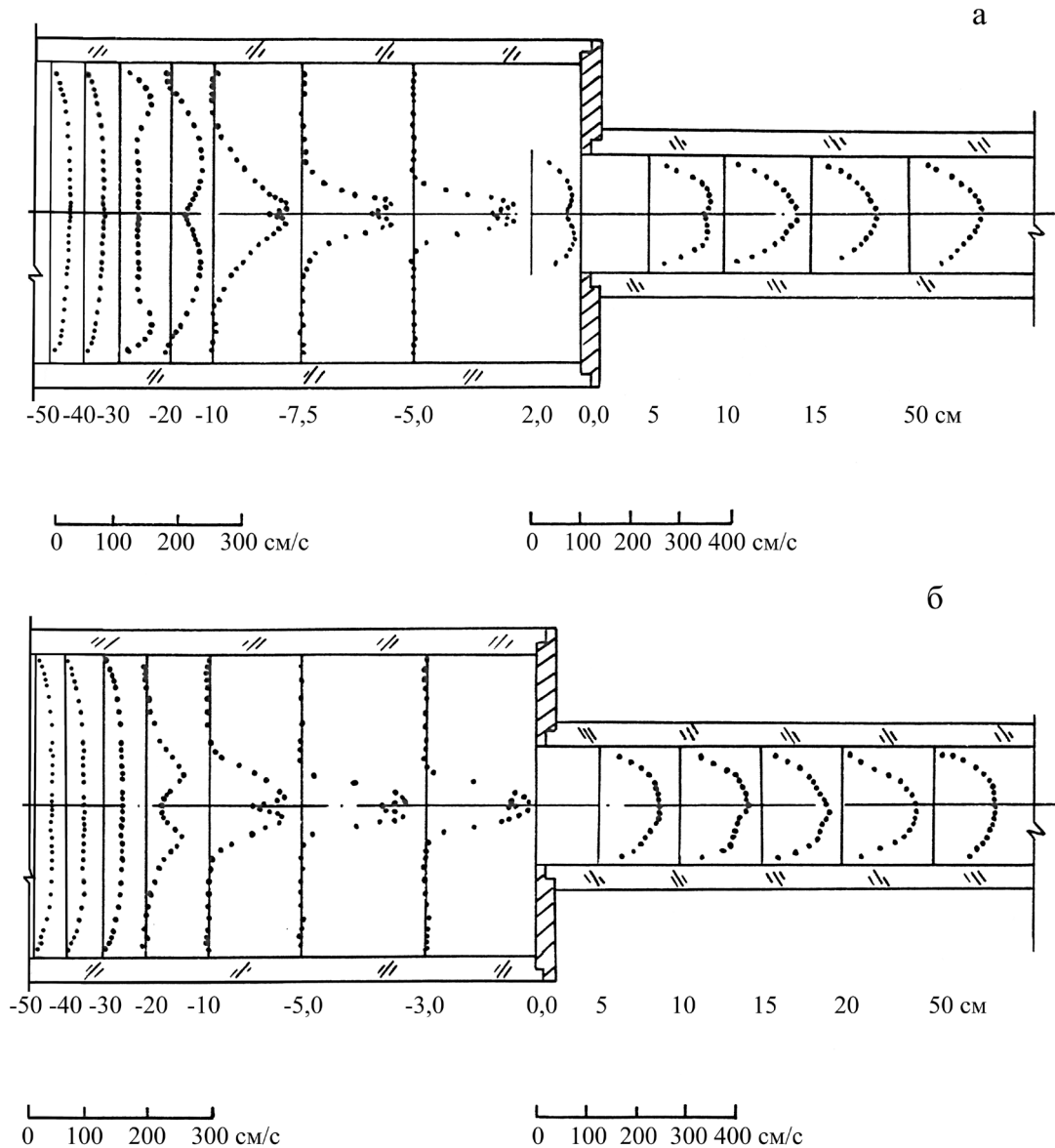


Рисунок 3 — Зміни епюр осередненої швидкості за течії через раптове звуження водних розчинів поліакриламідів концентраціями: $5 \cdot 10^{-5}$ — а, $2,5 \cdot 10^{-5}$ — б ($Red = 3,8 \cdot 10^4$).

дійсний зворотний потік, проте градування швидкостей на рисунку 3, надзвичайно мале, для того щоб належним чином відтворити останній.

Перед входом в трубу меншого діаметра зникає максимум швидкості, а всередині малої труби профілі приймали конічну форму, яка була чіткішою в розчині концентрацією $5 \cdot 10^{-5}$ (рисунок 3, а). У випадку розчину концентрацією $2,5 \cdot 10^{-5}$ (рисунок 3, б) на осі трубопроводу спостерігається щось подібне на невеликий виступ. Така течія внизу звуження повністю протилежна течії чистої води, де розподіл швидкостей на цій ділянці рівномірний. За течії води також не спостерігається подвійного максимуму профілів швидкості перед входом в площину звуження.

Висновки

Під впливом полімерних молекул на полях швидкостей за течії реальної рідини проходить значна зміна в розвитку профілів швидкості на звуженні трубопроводу. Полімерні розчини значно раніше, ніж вода, реагують на наявність останнього. Присутність полімерних молекул в розчині призводить до появи в профілі швидкостей поблизу стінок двох симетрично розміщених відносно осі труби максимумів, які у міру наближення до місця звуження переміщуються до центру каналу і зливаються в перерізі, де проходить звуження трубопроводу. Швидший вплив звуження на поле швидкостей вверху потоку спричинений утворенням в ділянках перед звуженням рециркуляційних зон.

Література

1. Повх, І.Л. Зменшення турбулентного тертя — основне джерело економії енергії / І.Л. Повх // Вісн. АН УРСР.— 1982.— № 11.— С.66—74.
2. Козлов, Л.П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л.П. Козлов // Вісн. АН УРСР.— 1987.— № 1.— С. 23—33.
3. Семенов, Б.Н. Определение потерь напора в гидравлической сети при течении водных растворов полиэтиленоксида/ Б.Н. Семенов // В кн.: Турбулент. сдвигов. течения неньютоновских жидкостей.— Новосибирск.— 1981.— С. 47—62.
4. Pisolkar, V. G. Effect of drag-reducing additives on pressure loss across transitions / V. G. Pisolkar// Nature.— 1970.— 225, № 5236.— P. 936—937.
5. Иванюта, Ю. Ф. Исследование добавок полимера на величину коэффициента местного сопротивления / Ю.Ф. Иванюта, Л. А. Чекалова // Инж.-физический журн.— 1974.— № 6.— Т. 26.— С. 965—971.
6. Мигиренко, Г.С. Местные сопротивления разбавленных водных растворов полиэтиленоксида/ Г.С. Мигиренко, М.В. Мизин, Б.Н. Семенов, и др. // Изв. Сиб. отд. АН СССР.—1976.— №3.— Вып. 1.— С. 51—56.
7. Švec, Jan. Měření průtoku neneutonských kapalin pseudoplastického typu válcovými dýzami a dvojitě seříznutými clonami / Švec Jan // Vodchospodársky časopis.— 1973.— Ročník XXI, Č. 5—6.— С. 610—621.
8. Липатов, Б.В. Исследование влияния полимерных добавок на турбулентное трение при резких изменениях живого сечения потока в трубах / Б.В. Липатов // Изв. АН УССР. Механика. жидк. и газа.— 1972.— № 2.— С.153—156.
9. Амфилохийев, В. Б. Некоторые гидравлические сопротивления при течении растворов полиэтиленоксида / В. Б. Амфилохийев // Труды Ленингр. кораблестр. ин-та.— 1977.— Вып. 89.— С. 7—11.
10. Гнатив, Р.М. Влияние полимерных добавок на местные потери напора в трубопроводах/ Р.М. Гнатив, В.В. Чернюк// Вестн. Львов. политехн. ин-та.— 1989.— С. 17—20.
11. Повх, И.Л. Сопротивление конфузоров при турбулентном течении воды с добавками полиакриламида/ И.Л. Повх, В.В. Чернюк // Инж.-физ. журн.— 1989.— т. 57.— № 5.— С.709—712.
12. Чернюк, В.В. Влияние добавок полиакриламида на потери напора во внезапных сужениях и расширениях труб / В.В. Чернюк, Б.С. Пицишин, В.И. Орел, В.М. Жук // Инж.-физ. ж.— 2002.— Т.75.— №4.— С. 115—122.
13. Гнатив, Р.М. Змінювання гідравлічного опору раптових розширень труб додатками поліакриламиду/ Р.М. Гнатив, В.В. Чернюк, В.І. Орел // В кн.: Вісн. Укр. держ. університету водного господарства та природокористування. Частина 5. Збірник наукових праць.— Випуск 5(18).—Рівне, 2002.— С. 202—209.

14. Гнатив, Р.М. Енергоощадне керування напірними потоками рідин уведенням гідродинамічно активних додатків / В.В.Чернюк, О.Г. Гвоздецький., Р.М. Гнатив // Матеріали V міжнарод. н.-т. конф. «Проблеми енерго- і ресурсоощадності». Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa.— Т.13D.— С.43—49.

References

1. Povkh, I.L. Zmenshennya turbulentnogo tertya — osnovne dzherelo ekonomii energii/ I.L. Povkh // Visn. AN URSR.— 1982.— № 11.— С.66—74.
2. Kozlov, L.P. Hidrodinamichnyy efekt Tomsa i yoho mozhlyvi tekhnichni zastosuvannya/ L.P. Kozlov // Visn. AN URSR.— 1987.— № 1.— С.23—33.
3. Semenov, B.N. Opredelenie poter napora v gidravlicheskoj seti pri techenii vodnykh rastvorov polietilenoksida/ B.N. Semenov // V kn.: Turbulent. sdvigov. techeniya nenyutonskikh zhidkostey.—Novosibirsk.— 1981.— С. 47—62.
4. Pisolkar, V.G. Effect of drag reducing additives on pressure loss across transitions / V.G. Pisolkar // Nature.— 1970.— 225.— № 5236.— P. 936—937.
5. Ivanyuta, Yu. F. Issledovanie dobavok polimera na velichinu koeffitsienta mestnogo soprotivlenia / Yu. F. Ivanyuta, L.A. Chekalova // Inzh.-fizicheskiy zhurn.— 1974.— Т. 26.— № 6.— С. 965—971.
6. Migirenko, G.S. Mestnye soprotivlenia razbavlennykh vodnykh rastvorov polietilenoksida / G.S. Migirenko, M.V. Mizin, B.N. Semenov, i dr. // Izv. Sib. отд. АН СССР.—1976.— №3.— М.— Вып. 1.— С. 51—56.
7. Švec, Jan. Měření průtoku neneutonských kapalin pseudoplastického typu válcovými dýzami a dvojitě seříznutými clonami / Švec Jan // Vodchospodársky časopis.— 1973.— Ročník XXI, Č. 5—6.— С. 610—621.
8. Lipatov, B.V. Issledovanie vliyania polimernykh dobavok na turbulentnoye trenie pri rezkikh izmeneniakh zhyvogo sechenia potoka v trubakh/ B.V. Lipatov // Izv. AN USSR. Mekhanika. zhidk. i gaza.— 1972.— № 2.— С.153—156.
9. Amfilokhiev, V. B. Nekotorye gidravlicheskie soprotivleniya pri techenii rastvorov polietilenoksida/ V.B. Amfilokhiev // Trudy Leningr. korablestroit. in-ta.— 1977.— Вып. 89.— С. 7—11.
10. Gnativ, R.M. Vliyanie polimernykh dobavok na mestnye poteri napora v truboprovodakh/ R.M. Gnativ, V.V. Chernyuk// Vestn. Lvov. politekhn. in-ta.— 1989.— С. 17—20.
11. Povkh, I.L. Soprotivleniye konfuzorov pri turbulentnom techenii vody s dobavkami poliakrilamida/ I.L. Povkh, V.V. Chernyuk // Inzh.-fiz. zhurn., 1989, t.57, № 5, s.709—712.
12. Chernyuk, V.V. Vliyaniye dobavok poliakrilamida na poteri napora vo vnezapnykh suzheniyakh i rasshireniya trub/ V.V. Chernyuk, B.S. Pitsishin, V.I. Orel, V.M. Zhuk // Inzh.-fiz zh.— 2002.— Т.75, №4.— С. 115—122.
13. Gnativ, R.M. Zminiuvannia gidravlichnogo oporu raptovykh rozshyren trub dodatkamuy poliakrylamidu/ R.M. Gnativ, V.V. Chernyuk, V.I. Orel // V kn.: Visnyk Ukrayinskogo derzhavnogo universytetu vodnogo gospodarstva ta pryro-

dokorystuvannya. Chastyna 5. Zbirnyk naukovykh prats. — Vypusk 5(18). — Rivne, 2002. — S. 202—209.

14. Gnativ, R.M. Energooshchadne keruvannia napirnymy potokamy ridyn uvedenniam gidrodynamichno aktyvnykh dodatkov / V.V. Chernyuk, O.H. Gvozdetskii, R.M. Gnativ // Materialy V mizhnarod. n.-t. konf. «Problemy energo i resursooshchadnosti». Motrol. Motoryzacija i energetyka rolnictwa. — T.13D. — С.43—49.

Надійшла 14.09.2017 року

УДК 532.54.013.2

Распределение полей скоростей при течении жидкости с добавками полиакриламида через внезапные сужения трубопровода

О.М. Яхно,
Р. М. Гнатив,
И.Р. Гнатив

Цель. Исследовать влияние гидродинамических активных добавок, снижающих турбулентное трение, на местные потери напора.

Методы исследований. На основе анализа существующих литературных данных по влиянию добавок, снижающих турбулентное трение, определено направление исследований. Экспериментально исследованы закономерности изменения гидравлического сопротивления внезапных сужений трубопровода при введении в поток воды добавок полиакриламида.

Результаты исследований. Под влиянием полимерных молекул на поле течения происходит существенное изменение в развитии профилей скорости до и после сужения. Полимерные растворы значительно раньше, чем вода, реагируют на наличие сужения. С целью изучения влияния полимерных добавок на поля скоростей усредненного движения были произведены измерения продольной компоненты вектора средней скорости.

Выводы. Исследованы профили средней скорости при течении воды и растворов полиакриламида различной концентрации из-за внезапного сужения трубы от диаметра 0,096 м до 0,038 м. Присутствие

полимерных молекул в растворе приводит к появлению в профиле скоростей вблизи стенок двух симметрично размещенных относительно оси трубы максимумов, которые по мере приближения к месту сужения перемещаются по центру канала и сливаются в пересечении, где происходит сужения трубопровода.

Ключевые слова: эффект Томса, местные сопротивления, гидродинамически активные добавки.

UDC 532.54.013.2

Distribution of field speeds with liquid flow with polyacrylamide additives through extraordinary decompositions of pipeline

O.M. Yakhno,
R.M. Gnativ,
I.R. Gnativ

Aim. The analysis of existing literature data on the effect of additives, reducing turbulent friction, local head loss.

Research method. Experimentally investigated patterns of change in hydraulic resistance abruptly narrowed pipe with the introduction of additives into the water stream of polyacrylamide. Under the influence of the polymer molecules in the course of which a significant change in the development of velocity profiles before and after the constriction. Polymer solutions considerably earlier than water, react to the presence of the constriction.

Research results. In this work, the influence of polyacrylamide applications on the hydraulic resistance of sudden narrowing of pipes was investigated. In order to determine the influence of polymer applications on the velocities of the averaged motion, measurements of the longitudinal component of the medium velocity vector.

Conclusion. The profiles of the average velocity of water flow and polyacrylamide solutions of different concentrations were investigated due to the sudden narrowing of the pipe from the diameter 0,096 m to 0,038 m.

Keywords: Toms effect, local resistance, hydrodynamically active additives.