

Вплив додатків поліакриламідів на поля швидкостей за течії рідини через раптові розширення труб

Effect of polyacrylamide additives on the velocity field in the flow of fluid through the pipe sudden expansion

О. М. Яхно, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна,

Р. М. Гнатів, д-р техн. наук,

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,

І. Р. Гнатів, Львівський національний аграрний університет

Мета. Проведено аналіз наявних літературних даних щодо впливу додатків, які знижують турбулентне тертя, на місцеві втрати напору.

Методи дослідження. Використовуючи методи візуалізації, експериментально досліджено закономірності змінювання гідравлічного опору раптових розширень трубопроводу при введенні у потік води додатків поліакриламідів (ПАА). Під впливом полімерних молекул на полі течії проходить значна зміна в розвитку профілів швидкості до і після розширення. Полімерні розчини значно раніше, ніж вода, реагують на наявність розширення.

Результати дослідження. На сучасному рівні розвитку практичної гідродинаміки необхідну інформацію про структуру потоку в місцевих опорах отримано шляхом візуалізації потоку спільно з вимірюванням полів швидкостей і характеристик турбулентності. Була розроблена методика досліджень потоків за допомогою швидкісної кінозйомки, фотографування і лазерної анемометрії.

Висновки. Присутність полімерних молекул в розчині призводить до збільшення дальності струменя та появи в профілі швидкостей поблизу стінок двох симетрично розміщених відносно осі труби зон рециркуляції, які суттєво зростають порівняно з рухом водних потоків.

Ключові слова: ефект Томса, місцеві опори, гідродинамічно активні добавки (ГДАД).

Вступ

Встановлено, що невеликі кількості таких речовин, як високомолекулярні полімери (поліокс, поліакриламід), гуарова смола, полівініловий спирт, будучи розчиненими в рідині, мають здатність значно зменшувати гідравлічні опори за турбулентного режиму [1].

Механізм явищ, що відбуваються при цьому повністю ще не з'ясовано, але є підстави вважати, що частинки цих речовин (їх довгі і гнучкі молекули), внесені в потік рідини, тісно взаємодіють з її пульсуючими частинками, суттєво змінюючи характер турбулентної течії [2].

Зазначені зміни проявляються перш за все в близькій до стінок ділянці приграничного шару. Тут знижуються пристінні поперечні пульсації швидкостей і тисків, що суттєво впливає на загальний рівень турбулентності та поведінку всього потоку в цілому. Причому досить декількох мільйонних часток полімеру від ваги розчинника, щоб досягалось суттєве зменшення гідравлічного опору.

Зазначене явище, відоме як ефект Томса, є надзвичайно важливим і доцільним для використання в практиці при зниженні втрат напору за руху рідини в трубопроводах. Зменшення втрат енергії в трубопроводах введенням в потік рідини ГДАД є одним із перспективних шляхів вирішення проблеми розробки і впровадження ресурсозберігаючих технологій, що вимагає вивчення впливу додатків на місцеві опори.

Зацікавленість гідродинамікою слабоконцентрованих полімерних розчинів зумовлена можливістю зменшення опору при русі в рідині тіл і течії в трубах [1]. Ефект зниження опору спостерігається при турбулентному режимі руху. За такої течії потоку додатки спричиняють зменшення втрат на тертя по довжині. Вплив їх на величину місцевих втрат носить більш складний характер. У залежності від геометричної характеристики опору та концентрації додатків, вони можуть як зменшувати, так і збільшувати місцеві втрати тиску в трубопроводі.

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 вважати загальноприйнятною. Число публікацій по впливу додатків наближається до двох тисяч. Використання ГДАД для зменшення опору в

різних гідравлічних системах [2] 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 їх ефект на місцевих опорах. Одні автори заперечують вплив [3, 4]. Інші дослідники дійшли до висновку, що додатки впливають на місцеві втрати напору несуттєво [5—7] і пропонують розрахунок їх у першому наближенні проводити як для чистої води. В останніх публікаціях повідомляється про суттєву залежність місцевих втрат напору від наявності ГДАД у рідинному потоці [8—11].

Результати досліджень

На сучасному рівні розвитку практичної гідродинаміки необхідну інформацію про структуру потоку в місцевих опорах можна отримати шляхом візуалізації потоку спільно з вимірюванням полів швидкостей і характеристик турбулентності. Була розроблена методика досліджень потоків за допомогою швидкісної кінозйомки, фотографування і лазерної анемометрії. Здійснено швидкісну кіно- і фотозйомку структури потоку води на раптовому розширенні труби за різних швидкостей течії і значеннях ступеня розширення потоку. Досліди проводилися на експериментальному трубопроводі з внутрішнім діаметром $D = 96$ мм, що містить змінні вставки труб діаметрами $d = 38,4; 50,2; 69,9$ мм. Середні швидкості потоку V_d у вузькій трубці змінювалися від 0,5 до 8,0 м/с. Наведено матеріали кіно- і фотозйомки при $V_d = 0,5; 1,0$ і 2,0 м/с.

Матеріали досліджень по візуалізації структури потоку робочої рідини в місцевих гідравлічних опорах отримані у вигляді фільмів і фотографій. На рисунках 1 і 2 показані результати, які отримано в процесі дослідження.

За розширення потоку від $d = 69,6$ до $D = 96,0$ мм транзитний потік на відстані 150 мм після входу в широкую трубу перекочується по пристінних вихорах. Це чітко видно на відзнятих фільмах. При $d = 50,2$ і 38,4 мм пристінні вихори проникають до транзитного потоку. Мають місце гвинтові утворення, поздовжні осі яких спрямовані уздовж потоку. Збільшення швидкості V_d спричинює зростання довжини ділянки встановлення рівномірного руху.

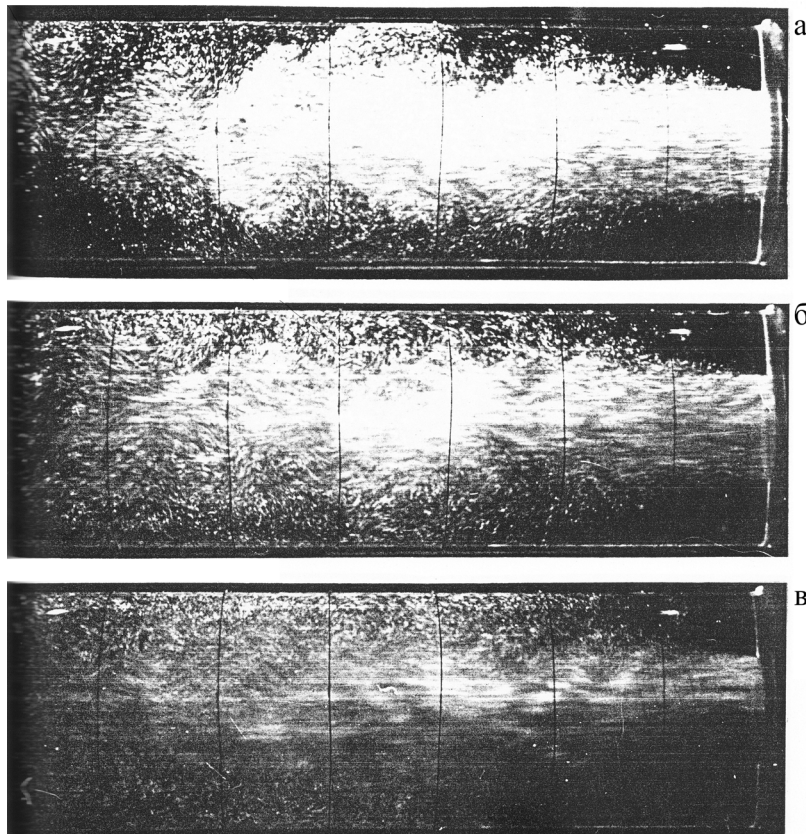


Рисунок 1 — Течія води на ділянці труби після раптового розширення від $d=38,4$ до $D = 96,0$ мм за різних значень V_d : 0,5 м/с — а, 1,0 — б, 2,0 — в

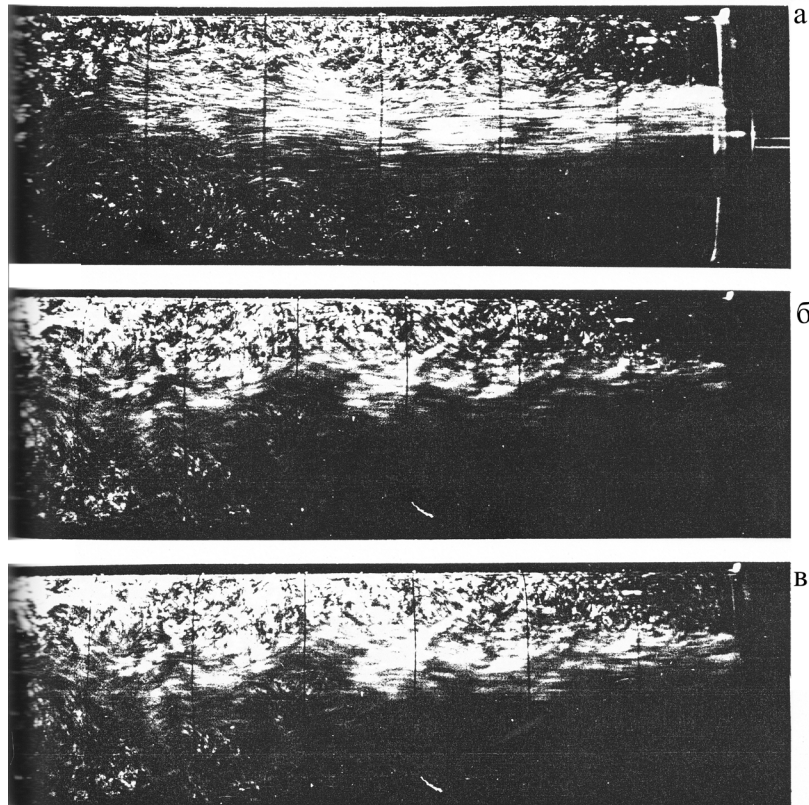


Рисунок 2 — Течія розчину ПАА концентрацією $C = 10^{-6}$ на ділянці труби після раптового розширення від $d = 38,4$ до $D = 96,0$ мм за різних значень V_d : 0,5 м/с — а, 1,0 — б, 2,0 — в

За $V_d = 0,5$ м/с на ділянці довжиною 500 мм після раптового розширення потік став рівномірним. При $V_d = 1,0$ і 2,0 м/с в кінці ділянки, віддаленої від раптового розширення на 600 мм, є треки частинок різних довжин, тобто в цьому перерізі епюри швидкостей ще не вирівнялися.

Бачимо вихрові утворення в центральній частині труби, співмірні з її діаметром, та вузькі безперервні уздовж потоку смуги зі швидкістю частинок, які в кілька разів перевищують швидкість частинок в вихрових утвореннях. Вектори швидкостей в зазначених вихорах спрямовані під кутом до площини фотознімку.

За течії розчину ПАА концентрацією $C = 10^{-6}$ на ділянці труби після раптового розширення від $d = 38,4$ до $D = 96,0$ мм (рисунок 2) спостерігалось збільшення дальності струменя та великих вихорів. Розміри зон рециркуляції, що мають місце в кутах за розширенням, істотно зростали порівняно з рухом водних потоків. Дрібномасштабні пульсації, які є основною причиною збільшення втрат енергії, при цьому гасяться.

Отримані фільми та фотографії потоку води, що рухається з різними швидкостями крізь раптове розширення труби за різних співвідношень діаметрів вузької та широкої труби, надають візуальну інформацію про зміни у структурі потоку, спричинені зміною витрати і діаметра труби. Наявність масштабної сітки на поверхні труби і швидкісних міток на перфорованому полі кінострічки забезпечує можливість обчислення швидкостей рухомих частинок рідини та їх траєкторій. Аналогічно, масштабні фотографії при відомому часу експонування фотоплівки дозволяють за вимірними довжинами треків частинок, що відбивають світло, визначати швидкість рідини в різних перерізах потоку. Лінії течії при цьому зображені у вигляді треків частинок пудри, які світяться. За даними фотографій (рисунок 1 і 2) показано розвиток епюр осередненої швидкості за течії води і розчину ПАА концентрацією $C = 10^{-6}$ крізь раптове розширення трубопроводу з $n = (D/d)^2 = 6,25$ (рисунок 3 і 4).

Результати досліджень із візуалізації структури потоку дозволяють отримати якісну та кількісну картину процесів, що відбуваються, визначати протяжність траєкторій вихорів, що утворюються в місцевих опорах. Аналіз фотографій дозволить провести чисельні розрахунки швидкостей поширення вихорів, їх траєкторій, розмірів, а також визначити зв'язок між внутрішньою структурою потоку і геометричними характеристиками місцевих опорів.

Висновки

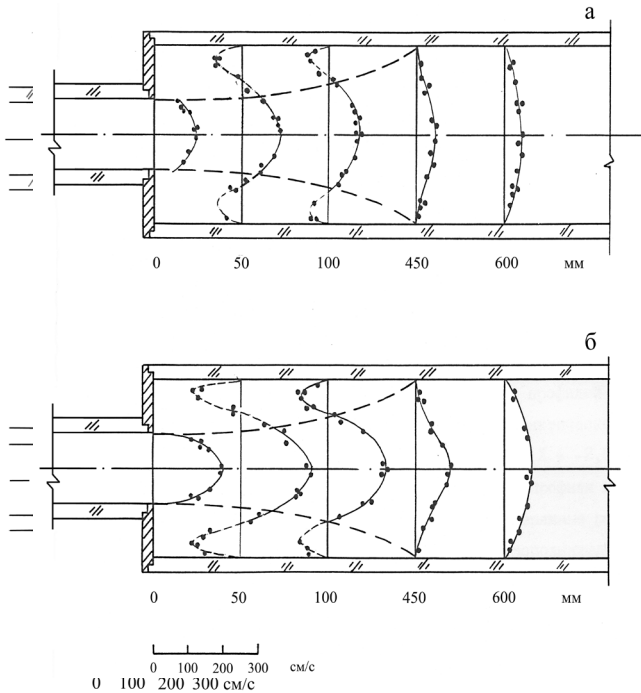


Рисунок 3 — Зміни епюр осередненої швидкості за різних швидкостей течії води крізь раптове розширення ($n = (D/d)^2 = 6,25$): $Re_D = 2 \cdot 10^4$ — а, $Re_D = 4 \cdot 10^4$ — б

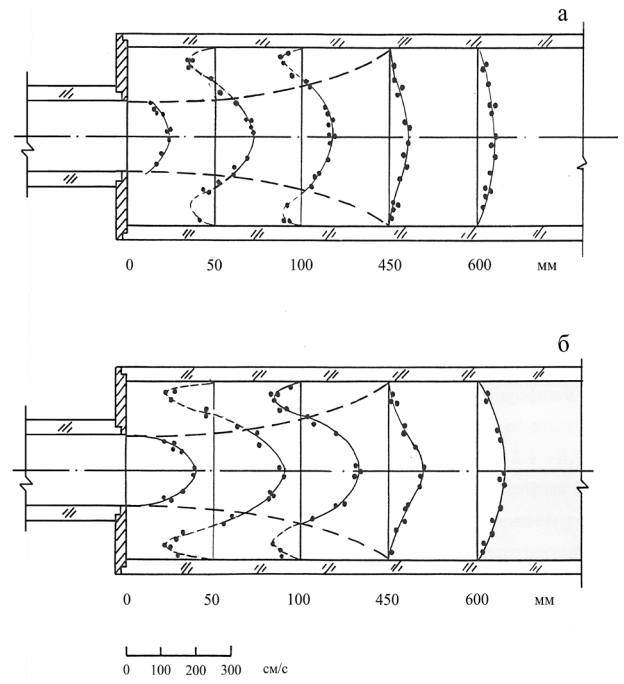


Рисунок 4 — Зміни епюр осередненої швидкості за течії крізь раптове розширення труби ($n = 6,25$) водних розчинів ПАА концентрацією $C = 10^{-6}$ для різних Re_D : $2 \cdot 10^4$ — а, $4 \cdot 10^4$ — б

Під впливом полімерних молекул на полях швидкостей за течії реальної рідини проходить значна зміна в розвитку профілів швидкості на розширенні трубопроводу. Полімерні розчини значно раніше, ніж вода, реагують на наявність останнього. Присутність полімерних молекул в розчині призводить до збільшення дальності струменя та появи в профілі швидкостей поблизу стінок двох симетрично розміщених відносно осі труби зон рециркуляції, які суттєво зростають порівняно з рухом водних потоків. Дрібномасштабні пульсації, які є основною причиною втрат енергії в трубопроводі, при введенні ГДАД зменшуються.

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 неьютоновских 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. — Т. 26, № 6. — 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.— М.— Вып. 1.— С. 51—56.
7. Švec Jan. Měření průtoku newtonských kapalin pseudoplastického typu válcovými dýzami a dvojitě seříznutými clonami / Švec Jan // Vodchospodársky časopis. — 1973. — Ročník XXI, Č. 5—6. — S. 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. кораблестроит. ин-та. — 1977. — Вып. 89. — С. 7—11.

10. Чернюк, В. В. Влияние добавок полиакриламида на потери напора во внезапных сужениях и расширении труб / В. В. Чернюк, Б. С. Пицишин, В. И. Орел, В. М. Жук // Инж.-физ. журнал. — 2002. — Т. 75, №4. — С. 115—122.

11. Яхно, О.М. Течія рідини з гідродинамічно активними додатками через канали змінного перерізу / О. М. Яхно, Р. М. Гнатів // Східно-Європейський журнал передових технологій: Прикладна механіка. — 2013. — Том 4. — №7(64). — С. 59—63.

References

1. Povkh, I. L. Zmenschennya turbulentnoho tertya — osnovne dzherelo ekonomii energiyi / I. L. Povkh // Visn. AN URSS. — 1982. — № 11. — S. 66—74.

2. Kozlov, L. P. Hidrodinamichnyy efekt Tomsa i yoho mozhlyvi tekhnichni zastosuvannya/ L. P. Kozlov // Visn. AN URSS. — 1987. — № 1. — S.23—33.

3. Semenov, B. N. Opredeleniye poter napora v gidravlicheskoй seti pri techenii vodnykh rastvorov polietilenoksida/ B. N. Semenov // V kn.: Turbulent. sdvigov. techeniya nenyutonovskikh zhidkostey. — Novosibirsk. — 1981. — S. 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. Issledovaniye dobavok polimera na velichinu koeffitsiyenta mestnogo soprotivleniya / Yu. F. Ivanyuta, L. A. Chekalova // Inzh. fizicheskiy zhurn. — 1974. — T. 26, № 6. — S. 965—971.

6. Migirenko, G. S. Mestnye soprotivleniya razbavlennykh vodnykh rastvorov polietilenoksid a/ G. S. Migirenko, M. V. Mizin, B. N. Semenov i dr. // Izv. Sib. otd. AN SSSR. — 1976. — №3. — M.— Vyp. 1.— S. 51—56.

7. Švec, Jan. Měření průtoku nenevtonských kapalin pseudoplastického typu válcovými dýzami a dvojitě seříznutými clonami / Švec Jan // Vodchospodársky časopis. — 1973. — Ročník XXI, Č. 5—6. — S. 610—621.

8. Lipatov, B.V. Issledovaniye vliyaniya polimernykh dobavok na turbulentnoye treniye pri rezkikh izmeneniyakh zhivogo secheniya potoka v trubakh / B.V. Lipatov // Izv. AN USSR. Mekhanika. zhidk. i gaza.— 1972.— № 2.— S.153—156.

9. Amfilokhiyev, V. B. Nekotorye gidravlicheskie soprotivleniya pri techenii rastvorov polietilenoksida / V. B. Amfilokhiyev // Trudy Leningr. korablestroit. in-ta. — 1977. — Vyp. 89. — S. 7—11.

10. 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. zhurnal. — 2002.— T.75. — №4.— S. 115—122.

11. Yakhno, O. M. Techiya ridyny z gidrodinamichno aktyvnymy dodatkamiy cherez kanaly zminnogo pererizu / O. M. Yakhno, R. M. Gnativ // Skhidno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy: Prykladna mekhanika. — 2013. — Tom 4. — №7 (64). — S. 59—63.

Надійшла 30.01.2018

УДК 532.54.013.2

UDC 532.54.013.2

Влияние добавок полиакриламида на поля скоростей за течиі рідини через раптові розширення труб

О. М. Яхно, Р. М. Гнатів, І. Р. Гнатів

Цель. Проведен анализ существующих литературных данных по влиянию добавок, снижающих турбулентное трение, на местные потери напора. Используя методы визуализации, экспериментально исследованы закономерности изменения гидравлического сопротивления внезапных расширений трубо-

Effect of polyacrylamide additives on the velocity field in the flow of fluid through the pipe sudden expansion

О. М. Yakhno, R. M. Gnativ, I. R. Gnativ

Aim. An analysis of available literature data on the impact of additives that reduce turbulent friction, on local pressure losses. Using the methods of visualization, the laws of the change of the hydraulic resistance of the sudden extensions of the pipeline were experimentally investigated when the polyacrylamide (PAA) additives were introduced into the flow of water.

провода при введенні в потік води добавок поліакриламида (ПАА).

Метод досліджень. Под впливом полимерних молекул в поле течення происходит значительное изменение в развитии профилей скорости до и после расширения. Полимерные растворы значительно раньше, чем вода, реагируют на наличие расширения.

Результат досліджень. На современном уровне развития практической гидродинамики необходимую информацию о структуре потока в местных сопротивлениях получено путем визуализации потока совместно с измерением полей скоростей и характеристик турбулентности. Была разработана методика исследований потоков с помощью скоростной киносъемки, фотографирования и лазерной анемометрии.

Выводы. Присутствие полимерных молекул в растворе приводит к увеличению дальности струи и появления в профиле скоростей вблизи стенок двух симметрично расположенных относительно оси трубы зон рециркуляции, которые существенно возрастают по сравнению с движением водных потоков.

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

Method of research. Under the influence of polymeric molecules in the flow field, there is a significant change in the development of speed profiles before and after expansion. Polymeric solutions, much earlier than water, react to the presence of expansion.

Result of research. At the current level of development of practical hydrodynamics, the required information on the structure of the flow in the local supports is obtained by visualizing the flow in conjunction with the measurement of velocity fields and turbulence characteristics. The methodology of research of streams with the help of high-speed filming, photography and laser anemometry was developed.

Conclusion. The presence of polymer molecules in the solution leads to an increase in the range of the jet and the appearance of velocities in the profile near the walls of two symmetrically recirculated zones in relation to the pipe axis, which significantly increase in comparison with the motion of water flows.

Keywords: *Toms effect, local resistance, hydrodynamically active additives (HDAA).*