

УДК 532.135:532.517.4:532.555.2/556.2

ВПЛИВ ДОДАТКІВ ПОЛІАКРИЛАМІДУ НА ОПІР РАПТОВИХ ЗВУЖЕНЬ ТРУБ

© Чернюк В.В., Піцишин Б.С., Орел В.І., Жук В.М., 1999

ДУ «Львівська політехніка», кафедра "Гідраліка і сантехніка"

In clause the results of research of the polyacrylamide additives influence on the resistance factor of sudden narrowings in pipes at different ratio of diameters are presented.

Вступ. Зниження втрат напору в трубопроводах введенням в потік рідини додатків є одним з перспективних напрямків розроблення ресурсозаощаджувальних технологій. Відомо, що додатки, знижуючи втрати напору на тертя, здійснюють вплив на місцеві втрати [1–6]. При цьому вони можуть викликати зменшення або збільшення втрат залежно від геометричних характеристик протокової частини місцевого опору, числа Рейнольдса, концентрації додатків. Додатки здійснюють істотний вплив на втрати напору в місцевих опорах при діаметрах труб, менших за 20...35 мм [2].

Мета роботи. Метою даної статті є дослідження впливу додатків поліакриламід (ПАА) на значення коефіцієнтів опору раптових звужень труб при різних співвідношеннях діаметрів.

Дослідний стенд. Дослідний стенд і методику проведення експериментів детально описано в роботі [3] і частково – в [1].

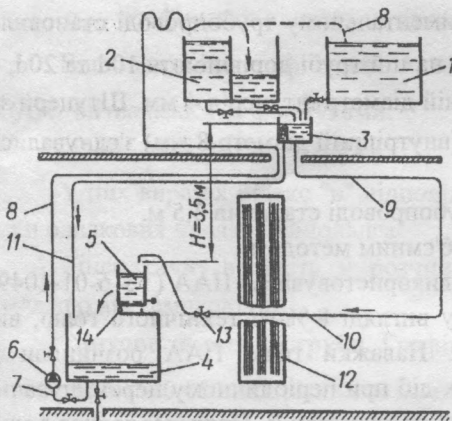


Рис.1. Схема експериментального стенда: 1,2 – розчинні баки; 3 – напірний бачок з водозливною стінкою; 4 – приймальний бак; 5 – мірний бачок; 6 – відцентрова pompa; 7 – всмоктувальний трубопровід; 8 – напірний трубопровід; 9 – подавальний самопливний трубопровід; 10 – експериментальний трубопровід; 11 – скидний трубопровід від напірного бачка; 12 – щит п'єзометрів; 13 – регулювальний вентиль; 14 – шарнірне з'єднання.

Дослідження проводились на стенді витиснювально-циркуляційного типу, який дозволяє досліджувати течії розчинів полімерів під дією сил гравітації, а також при рециркуляції за допомогою помпи. Схему стенда наведено на рис.1. Експериментальний трубопровід (рис.2) зібраний за допомогою фланцевих з'єднань зі змінних секцій труб з

внутрішніми діаметрами 5,81; 15,72; 25,01; 33,42 мм. Матеріал труб – сталь нержавіюча. Досліджено раптові звуження труб зі ступенем стиснення потоку $m = (d/D_1)^2$ від 0,0302 до 0,137. В усіх дослідах діаметр d був однаковим і дорівнював 5,81 мм. Діаметр D_1 змінювався. Використано також результати робіт [4-6]. Значення ступенів стиснення потоку, використаних у статті, наведено в таблиці.

Значення ступенів стиснення потоку m

| № п/п | Діаметри, мм | | $m = (d/D_1)^2$ | Використані джерела |
|-------|--------------|-------|-----------------|---------------------|
| | d | D_1 | | |
| 1 | 5,72 | 12,82 | 0,199 | [6] |
| 2 | 5,72 | 15,82 | 0,131 | [6] |
| 3 | 5,81 | 15,72 | 0,137 | * |
| 4 | 5,81 | 20,95 | 0,077 | [4, 5] |
| 5 | 5,81 | 25,01 | 0,054 | * |
| 6 | 5,81 | 33,42 | 0,0302 | * |

* – власні дослідження.

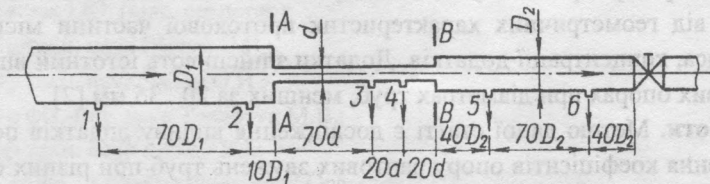


Рис.2. Схема експериментального трубопроводу:
1...6 – штуцери для відбору тисків; А і В – площини стику торців труб різних діаметрів ($d=5,81$ мм).

Довжина l_d труби з діаметром d на експериментальному трубопроводі становила $110d$. Відстані між штуцерами для відбору тисків на цій трубі дорівнюють $10d$ та $20d$, а на трубах з діаметрами D_1 – $(10...70)D_1$. Внутрішній діаметр штуцерів 4 мм. Штуцери за допомогою імпульсних трубок з вакуумної гуми (внутрішній діаметр 8 мм) з'єднувалися з щитом п'єзометрів.

Робочий напір H на експериментальному трубопроводі становив 3,5 м.

Визначення витрати рідини здійснювалось об'ємним методом.

Методика експериментів. У дослідженнях використовувався ПАА (ТУ 6-01-1049-81), що випускався Калуським ВО "Хлорвініл" у вигляді 8 %-го технічного гелю, вік якого становив 8 років з часу виготовлення. Наважки гелю ПАА розчиняли у водопровідній воді ($pH=7,25...7,65$) протягом двох діб при періодичному перемішуванні та розведенні водою до досягнення розрахункових концентрацій. Приготовлялися водні розчини ПАА масовими концентраціями $C = 5; 10; 50; 100; 500; 1000$ ppm. Концентрація визначалася за вмістом у розчині безводної речовини ПАА. Наприклад, для одержання 100 кг водного розчину ПАА масовою концентрацією 100 ppm = 10^{-4} кг/кг треба $100 \cdot 10^{-4} \cdot (100 : 8) = 0,125$ (кг) гелю ПАА концентрацією 8 %.

Спочатку дослідження проводилися для води, потім для розчинів. Щоб уникнути впливу механічної деструкції полімера на результати досліджень, розчини використовувались одноразово, а їхня течія здійснювалася під дією сили тяжіння. Рециркуляція здійснювалася тільки для чистої води. Після закінчення досліду з розчином певної концентрації експериментальний трубопровід промивався потоком води протягом 20...30 хв.

Число Рейнольдса $Re = v_d \cdot d / \nu$, що визначалося для труби діаметром d , змінювалося від $1 \cdot 10^3$ до $3 \cdot 10^4$.

Математичне оброблення результатів досліджень. Гідродинамічна ефективність досліджуваних розчинів визначалася за їхнім впливом на гідравлічний опір ділянки 3-4 труби діаметром d (рис.2). Гідравлічний коефіцієнт тертя λ обчислювали з формули Дарсі-Вайсбаха:

$$\Delta h_{3-4} = \lambda \cdot l_{3-4} \cdot v_d^2 / (d \cdot 2g).$$

Коефіцієнт опору $\zeta_{p,3}$ раптового звуження, який належить до середньої швидкості потоку після місцевого опору, знаходився з формули Вайсбаха:

$$h_{p,3} = \zeta_{p,3} \cdot v_d^2 / 2g.$$

Місцеві втрати напору $h_{p,3}$ в раптовому звуженні труби визначали відніманням втрат на тертя, виміряних в трубах з діаметрами D_1 та d , від загальних втрат напору на мірній ділянці трубопроводу, яка містить місцевий опір:

$$h_{p,3} = \Delta h_{2-3} - (l_{2-A} / l_{1-2}) \cdot \Delta h_{1-2} - (l_{A-3} / l_{3-4}) \cdot \Delta h_{3-4} + \alpha_{D1} \cdot v_{D1}^2 / 2g - \alpha_d \cdot v_d^2 / 2g,$$

де $\Delta h_{1-2}, \dots, \Delta h_{3-4}$ – втрати напору на ділянках 1-2, ..., 3-4 експериментального трубопроводу; l_{1-2}, \dots, l_{3-4} – довжини відповідних ділянок експериментального трубопроводу; v_{D1}, v_d – середні швидкості течії потоку відповідно в перерізах труб з діаметрами D_1, d ; α_{D1}, α_d – коефіцієнти кінетичної енергії потоку; у розрахунках приймали $\alpha_{D1} \approx \alpha_d \approx 1$.

Відносна зміна коефіцієнтів λ та $\zeta_{p,3}$, викликана введенням у потік води додатків ПАА, визначалась за формулами:

$$\Delta \lambda / \lambda = (\lambda_B - \lambda_{\Pi}) / \lambda_B; \quad \Delta \zeta / \zeta = (\zeta_B - \zeta_{\Pi}) / \zeta_B.$$

У цих виразах індекс "в" відповідає течії води, а "п" – течії водного розчину ПАА при однакових числах Рейнольдса.

Кінематичну в'язкість ν розчинів для всіх концентрацій приймали як для води залежно від температури.

Раптове звуження труби. Графік залежності $\zeta_{p,3} = f(Re)$ для раптового звуження труби при $m=0,054$ для різних значень концентрацій C водних розчинів ПАА наведено на рис.3. Додатки ПАА спричинили збільшення коефіцієнта опору $\zeta_{p,3}$. Значення $\zeta_{p,3}$ зростає із збільшенням концентрації розчину. Наявність у потоці води додатків ПАА призводить до більш ранньої появи автомодельності коефіцієнта $\zeta_{p,3}$ за числом Re . У цій області, яка починається після $Re = 2 \cdot 10^4$, значення коефіцієнта $\zeta_{p,3}$ не змінюються

із зміною Re , а залежать від концентрації розчину C . У перехідній зоні при $2 \cdot 10^3 < Re < 2 \cdot 10^4$ значення коефіцієнта опору залежать як від Re , так і від C . У зоні ламінарного режиму течії при $Re < 2 \cdot 10^3$ значення коефіцієнта опору раптового звуження труби при $m = 0,054$ практично не залежать від концентрації розчину, а лише від числа Рейнольдса.

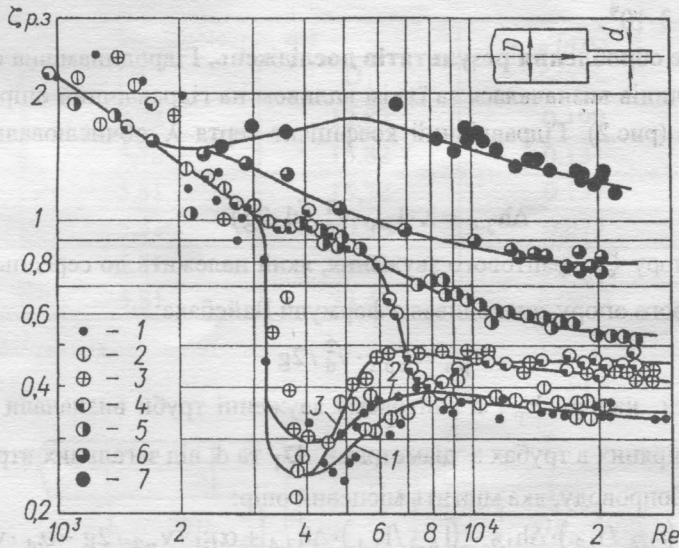


Рис.3. Коефіцієнт опору $\zeta_{p,3}$ раптового звуження труби від $D=25,01$ до $d=5,81$ мм для течії води – (1) і водних розчинів ПАА різних масових концентрацій: $C=5$ ppm – (2); 10 ppm – (3); 50 ppm – (4); 100 ppm – (5); 500 ppm – (6); 1000 ppm – (7); ($m=0,054$).

Для раптового звуження труби при $m = 0,137$ отримано зменшення значення $\zeta_{p,3}$ при $C = 5$ і 10 ppm, а при $C > 50$ ppm – зростання, що посилюється зі збільшенням C (рис.4,а). Для всіх досліджених раптових звужень труби при $m < 0,137$ отримано лише збільшення опору. Це добре видно на графіку $\Delta\zeta/\zeta = f(C)$ для різних значень m (рис.4,б).

Для раптового звуження труби при $m < 0,2$ для $C = 50$ і 100 ppm та при $m < 0,6$ для $C = 5$ і 10 ppm (рис.4,а) значення $\Delta\zeta/\zeta$ не залежать від ступеня стиснення потоку m . Вплив додатків ПАА на значення коефіцієнта опору раптового звуження труби (при вказаних значеннях m та C) буде аналогічним їхньому впливу на коефіцієнт опору при витіканні рідини з посудини більшого поперечного перерізу в трубу діаметром d . У діапазоні $0,7 < m < 1,0$, як це видно з рис.4,а, повинно спостерігатися зменшення опору раптового звуження труби додатками ПАА при $C < 50$ ppm.

Для труби діаметром d , коли стиснення потоку відсутнє ($m=1$), одержано зменшення опору при всіх концентраціях ПАА. Найефективнішою виявилася концентрація $C = 100$ ppm, при якій досягається максимальне зменшення опору 62 % для $Re_d = 2 \cdot 10^4$. При $C > 100$ ppm спостерігається послаблення ефекту пониження опору труби.

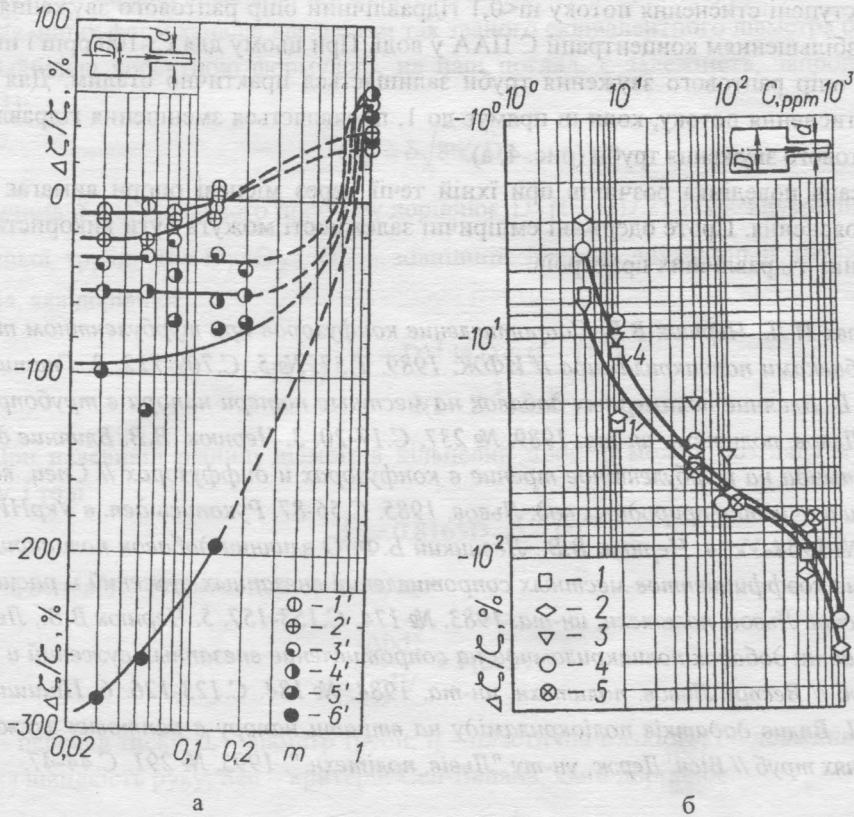


Рис.4. Залежність відносної зміни значень коефіцієнта опору ζ раптового звуження труби:

а – від ступеня стиснення потоку m при різних значеннях концентрації C водного розчину ПАА: 5 ppm – (1'); 10 ppm – (2'); 50 ppm – (3'); 100 ppm – (4'); 500 ppm – (5'); 1000 ppm – (6'); б – від концентрації C розчинів ПАА для різних ступенів стиснення потоку m : 0,0302 – (1); 0,054 – (2); 0,077 – (3); 0,137 – (4); ($d = 5,81 \text{ мм}$; $Re = 2 \cdot 10^4$).

Слід зауважити, що раптове звуження труби є окремим випадком конфузора з кутом конусності $\alpha = 180^\circ$. При течії водних розчинів ПАА через кінчні конфузори з кутами конусності $\alpha = 10 \dots 140^\circ$ ($D_1 = 20,95 \text{ мм}$, $d = 5,81 \text{ мм}$) [1, 3] додатки призвели до більш ранньої появи автомодельності коефіцієнта опору конфузора ζ_k за числом Рейнольдса. Проте при куті конусності $\alpha = 140^\circ$ автомодельність коефіцієнта ζ_k для течії води та течії розчинів ПАА наступала одночасно. Для всіх досліджених конфузоров одержано збільшення опору, яке зростало зі збільшенням концентрації розчину ПАА [1, 3].

Висновки. Вплив додатків ПАА на різних ділянках експериментального трубопроводу (рис.2) виявлявся по-різному. На ділянці трубопроводу з діаметром D опір зменшувався; на раптовому звуженні – збільшувався; на ділянці діаметром d – зменшувався.

При ступені стиснення потоку $m < 0,1$ гідравлічний опір раптового звуження труби зростає із збільшенням концентрації С ПАА у воді. При цьому для $C < 100$ ppm і $m < 0,1$ із зміною m опір раптового звуження труби залишається практично сталим. Для малих ступенів стиснення потоку, коли m прямує до 1, проявляється зменшення гідравлічного опору раптового звуження труби (рис. 4, а).

Описана поведінка розчинів при їхній течії через місцеві опори вимагає теоретичного пояснення. Проте одержані емпіричні залежності можуть бути використані при проектуванні гідравлічних пристроїв.

1. Повх И.Л., Чернюк В.В. Сопротивление конфузоров при турбулентном течении воды с добавками полиакриламида // ИФЖ. 1989. Т.57. № 5. С.709-712. 2. Гнатив Р.М., Чернюк В.В. Влияние полимерных добавок на местные потери напора в трубопроводах // Вестн. Львов. политехн. ин-та. 1989. № 237. С.17-20. 3. Чернюк В.В. Влияние добавок полиакриламида на турбулентное трение в конфузорах и диффузорах // Спец. вопросы гидравлики и очистки природных вод. Львов, 1985. С.56-87. Рукопись деп. в УкрНИИНТИ 27.08.85, № 1964-Ук. 4. Чернюк В.В., Левицкий Б.Ф. О влиянии добавок полиакриламида на значение коэффициентов местных сопротивлений внезапных сужений и расширений труб // Вестн. Львов. политехн. ин-та. 1983. № 174. С.153-157. 5. Чернюк В.В., Левицкий Б.Ф. О влиянии добавок полиакриламида на сопротивление внезапных сужений и расширений труб // Вестн. Львов. политехн. ин-та. 1984. № 184. С.123-126. 6. Піцишин Б.С., Регуш А.Я. Вплив додатків поліакриламід у втрати напору в раптових звуженнях і розширеннях труб // Вісн. Держ. ун-ту "Львів. політехн.". 1995. № 291. С.44-47.

УДК 532.5:532.135

НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВТРАТ ТИСКУ В КІЛЬЦЕВОМУ ЛАМІНАРНОМУ ПОТОЦІ

© Лещій Н.П., 1999

ДУ "Львівська політехніка", кафедра "Гідравліка і сантехніка"

In this article an approximate method of calculation of pressure drop is proposed for current of Bingham fluid. The solution of the problem is offered in the form of table which permits essentially simplify the calculs.

У практичному використанні розв'язків різноманітних задач гідравліки виникають великі труднощі через їх громіздкість і складність інженерного розрахунку. У таких випадках надається перевага наближеному розв'язанню задач. Особливі труднощі викликають аналітичні дослідження руху рідин, відмінних від ньютонівських, до яких в деяких випадках належать і стічні води, що проявляють в'язкопластичні властивості.

На основі аналізу формул для визначення витрати в'язкопластичних середовищ в умовах так званого пластичного або структурного режиму, аналогічного ламінарному,