

РЕГУЛЮВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ВИТРАТ РІДИНИ У ТРУБОПРОВОДАХ ВВЕДЕННЯМ У ПОТІК ГІДРОДИНАМІЧНО АКТИВНИХ ДОДАТКІВ

© В. Орел, 2005

Національний університет “Львівська політехніка”

Представлено повний зміст статті, анотованої в [1]. Розглянуто спосіб перерозподілу витрат плинного середовища [2] між декількома трубопроводами введенням у потік гідродинамічно активних додатків. Наведено його обґрунтування й експериментальне підтвердження.

The complete contents of the paper annotated in [1] is presented. A new method of flow rates distribution of liquid [2] among several pipelines by means of the introduction of hydrodynamically active additives into the stream is described. Substantiation is given, experimentally proved.

Постановка проблеми

При розробці і створенні комерційних пристроїв мирного призначення, які використовують рухому рідину, особливий прогрес досягнуто, зокрема, при перепомповуванні рідин [3].

Одним з напрямків комплексу заходів з енергоефективності у сфері будіндустрії є впровадження енергоефективних технологій, обладнання і матеріалів [4].

Аналіз досліджень

Одним з найбільш перспективних підходів до вирішення проблеми зменшення енергозатрат і прискорення процесів швидкісного транспортування рідин у трубопроводах є ефект Томса [5], який полягає у зменшенні гідравлічного опору турбулентних потоків розчинами гідродинамічно активних додатків (ГДАД) з ланцюжковою будовою молекул. При цьому наявність на трубопроводі місцевих опорів викликає зменшення чи збільшення їхнього гідравлічного опору залежно від геометричних характеристик, концентрації додатків і числа Рейнольдса [6].

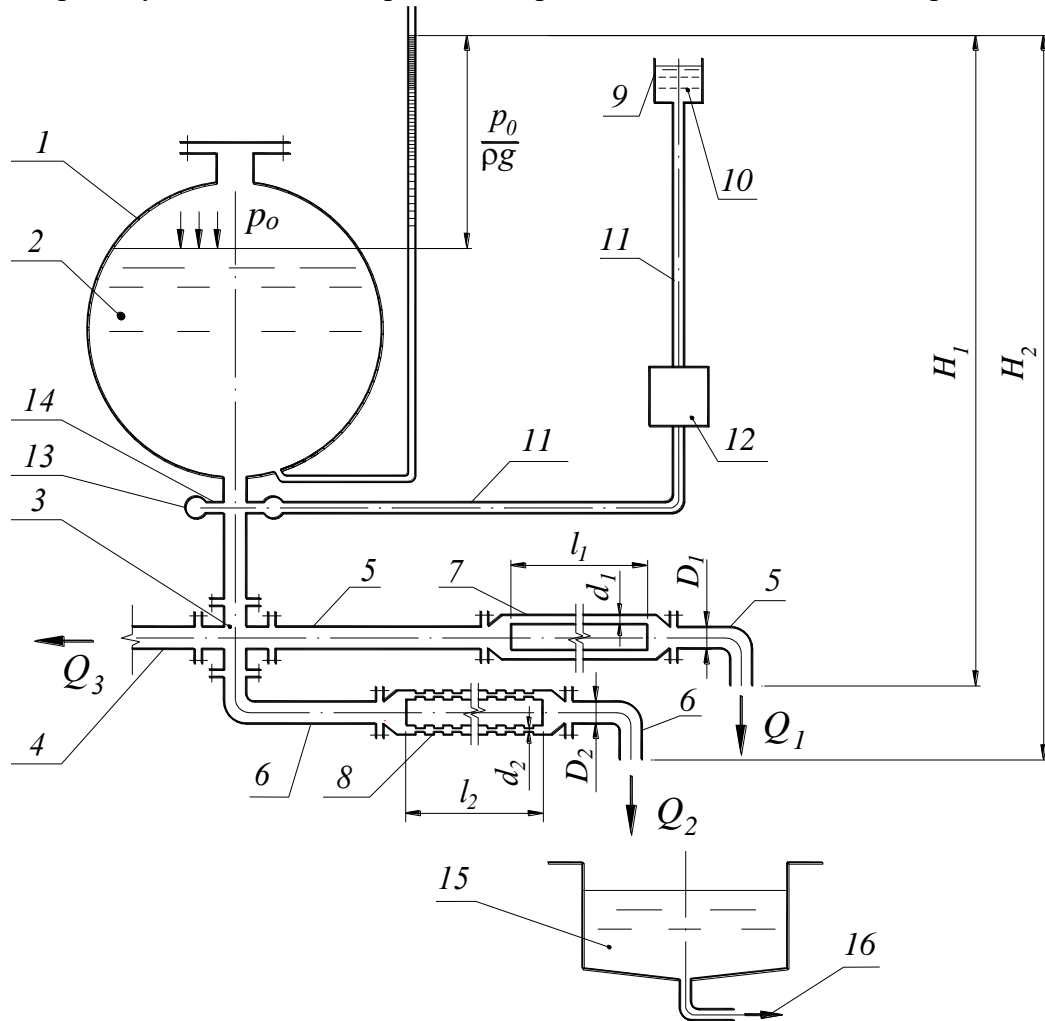
Властивість знакозмінного впливу ГДАД на втрати напору в місцевих опорах трубопроводів було використано при розробці різних ресурсо- та енергоощадних засобів регулювання витрати рідини, зокрема способу перерозподілу витрат плинного середовища¹ [2]. Схему пристрою, якій реалізує даний спосіб, зображено на рисунку [8, 9].

Цей спосіб включає розподіл потоку між трубопроводами і регулювання співвідношення витрат між ними. У потік перед розгалуженням трубопроводів додатково вводять ГДАД, а регулювання здійснюють за допомогою блоку, який складається з двох або більше паралельних каналів, виконаних у вигляді трубок постійного або змінного перерізу, гідравлічні характеристики яких заздалегідь відомі. Позаяк гідравлічний опір блоку паралельних каналів складає основну частку загального

¹ Думку про можливість регулювання витрати рідини в трубопроводі шляхом знакозмінного впливу ГДАД на втрати напору встановленого на ньому місцевого опору було висловлено в [7].

опору відгалуження трубопроводу, на якому він встановлений, то це дозволяє здійснити перерозподіл як у бік зменшення, так і у бік збільшення витрат без використання сторонніх джерел енергії. При введенні ГДАД гідравлічний опір трубок постійного перерізу зменшується, а трубок змінного перерізу – збільшується. Кожній концентрації ГДАД відповідає певне співвідношення витрат у різних відгалуженнях, що дає можливість не дискретно (безперервно) формувати це співвідношення.

Пропонований пристрій (див. рисунок [8, 9]) може бути використаний як дозатор або для перемішування декількох рідин з потрібним співвідношенням витрат.



Пристрій для перерозподілу витрат плинного середовища між декількома трубопроводами:

- 1 – резервуар; 2 – рідина; 3 – розподільний колектор; 4–6 – трубопроводи;
- 7 – блок трубок постійного перерізу; 8 – блок трубок змінного перерізу;
- 9 – ємність; 10 – ГДАД; 11 – подавальна трубка; 12 – дозувальний пристрій;
- 13 – тороподібна камера; 14 – з’єднувальні трубки; 15 – приймальний бак (відстійник);
- 16 – ГДАД на повторне використання

Задачі досліджень

Метою статті є обґрунтування використання способу [2]. Для цього проаналізуємо співвідношення витрат рідини у трубопроводах при введенні у потік ГДАД.

Перерозподіл витрат рідини між трубопроводами введенням у потік ГДАД

Регульовальна характеристика витрати рідини в трубопроводі при введенні в потік ГДАД записується так [10]:

$$\frac{Q_s}{Q_w} = \frac{\mu_s}{\mu_w} \approx \sqrt{\frac{\zeta_w + \alpha_w}{\zeta_s + \alpha_s}}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт витрати;

ζ – коефіцієнт гідравлічного опору блоку паралельних каналів;

α – коефіцієнт Коріоліса (коректив кінетичної енергії);

індекси “s” та “w” відповідають течії водних розчинів ГДАД та води.

При $\alpha_s \approx \alpha_w$ та $\zeta = \zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}}$, де індекси “рег” і “нер” відповідають регульованій та нерегульованій ділянкам трубопровода, формулу (1) можна переписати як [10]:

$$\frac{Q_s}{Q_w} \approx \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^* \cdot \frac{\Delta\zeta}{\zeta}}}, \quad (2)$$

де $\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = 1 - \left(\frac{\zeta_s}{\zeta_w}\right)_{\text{рег}}$, а симплекс $\frac{\zeta_s}{\zeta_w}$ характеризує ефективність ГДАД;

ζ^* – коефіцієнт регулювання, що визначає глибину регулювання,

$$\zeta^* = \frac{\zeta_{w\text{рег}}}{\zeta_{w\text{рег}} + \zeta_{w\text{нер}} + \alpha_w}, \quad (3)$$

або за умови регулювання $\zeta_{\text{рег}} \gg \zeta_{\text{нер}}$

$$\zeta^* \approx \frac{1}{1 + \frac{\alpha_w}{\zeta_{w\text{рег}}}}. \quad (4)$$

Зупинимося на використанні таких ГДАД, як гідродинамічно активні полімери (далі – полімерні добавки).

Показано можливість регулювання витрат рідини у кожному трубопроводі введенням у потік як свіжеприготовлених [10], так і деструктованих [11] водних розчинів полімерних добавок. При цьому в другому випадку можна записати [11]:

$$\left(\frac{\Delta\zeta}{\zeta}\right)_N = \left(\frac{\Delta\zeta}{\zeta}\right)_o \cdot \exp(-a_1 \cdot N), \quad (5)$$

де a_1 – емпіричний коефіцієнт;

N – кількість прогонів через трубопровід;

індекси “o” і “N” відповідають свіжеприготовленому і деструктованому полімерному розчину.

При використанні трубок змінного перерізу у вигляді круглих раптових розширень і звужень для свіжеприготовленого полімерного розчину (індекс “o” опущено)

залежність $\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = f(C)$, де C – концентрації полімерних добавок у потоці рідини, при

$C \leq C_{\text{opt}}$ запишеться так [9, 10]:

$$\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = \frac{C}{a_2 + b_2 \cdot C}, \quad (6)$$

де a_2, b_2 – напівемпіричні коефіцієнти.

Для раптових розширень труб від діаметра d до діаметра D при будь-якому фіксованому значенні концентрації полімерних додатків у потоці (до $C \leq C_{opt}$) залежність $\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = f(n)$, де n – ступінь розширення потоку, $n = D^2/d^2$, описується функцією

[9]:

$$\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = \frac{a_3 + b_3 \cdot n}{1 + c_3 \cdot n + d_3 \cdot n^2}, \quad (7)$$

де a_3, b_3, c_3, d_3 – емпіричні коефіцієнти. До того ж, використання полімерних додатків є доцільним при $n \leq (12,6 \pm 0,9)$ [9].

Покажемо ефективність регулювання співвідношення витрат рідини за допомогою запропонованого нами способу.

Оскільки основним показником, який характеризує витрату рідини, є коефіцієнт витрати μ , то визначимо його відповідно до номограм, наведених у [12], використавши формулу

$$\mu = \frac{Q}{\omega \cdot \sqrt{2gH}}. \quad (8)$$

Наведені в таблиці дані підтверджують .

Співвідношення μ_s/μ_w

Ч/ч	Блок паралельних каналів (див. рисунок)	ГДАД	Концентрація ГДАД C , кг/кг	Напір H , м	Витрата $Q \cdot 10^{-6}$, м ³ /с	Коефіцієнт витрати μ	$\frac{\mu_s}{\mu_w}$
1.	постійного перерізу $d_1 = 5,81$ мм $l_1 = 140 \cdot d_1$	водний розчин поліакриламід	0	1,0	55,2	0,4700	1,728
			10^{-4}		95,4	0,8120	
2.	періодичні раптові звуження і розширення $d_2 = 0,80$ мм $l_2 = 200 \cdot d_2$	водний розчин поліетиленоксиду	0	1,0	0,290	0,1300	0,142
			10^{-4}		0,041	0,0184	

Впровадження енергоефективних технологій ставить завдання повторного використання розчинів полімерних додатків та їх приготування і збереження.

Полімерні добавки випускаються промисловістю як у вигляді гелю, так і порошкоподібними. Наприклад, переведення додатків з початкового сухого стану у концентрований (до 1%) водний розчин може здійснюватися за схемою [13]. Концентрація C полімерних додатків у потоці пропорційна до витрати q

висококонтрованого розчину концентрацією C_0 , який додатково вводять перед розгалуженням трубопроводів [8, 14] (див. рисунок [8, 9]):

$$C_0 \cdot q = C \cdot (Q + q) . \quad (9)$$

Звідки

$$C = C_0 \cdot \frac{q}{Q + q} = C_0 \cdot \frac{1}{\frac{Q}{q} + 1} , \quad (10)$$

або, приймаючи $q \ll Q$,

$$C \approx C_0 \cdot \frac{q}{Q} . \quad (11)$$

Повторне використання розчинів полімерних додатків може реалізовуватися декількома способами. Один з них, як було зазначено вище, використання деструктованих полімерних додатків. При цьому їхню концентрацію в розчині можна визначити, наприклад, за допомогою пристрою [15]. Ще один спосіб – це використання гідрофільних полімерів змінної розчинності, одержаних реакцією конденсації 1-2%-их водних розчинів поліакриламиду з формальдегідом [16]. Ці частково зшиті полімери, що набрякають у воді, вводяться в потік, адсорбційно та адгезійно закріплюються на стінці та покриваються малов'язким шаром середовища. За рахунок часткового відриву потоком зовнішнього шару одержаного мозаїчного покриття змінюється пропускна здатність трубопроводу. Після відстоювання полімер можна повторно багаторазово використовувати.

Питання приготування та збереження полімерного розчину вирішується використанням так званих швидко приготовлених полімерних розчинів (ШППР) [17]. На відміну від заздалегідь приготовлених полімерних розчинів (ЗППР) час приготування ШППР становить від 0,15 до 2,0 с. При цьому максимум значення ефективності зміни опору (при концентрації насичення) для випадку ШППР, на відміну від ЗППР, відсутній.

Висновки

Базуючись на власних результатах і літературних даних, показано переваги способу перерозподілу витрат плинного середовища між декількома трубопроводами уведенням у потік ГДАД. Вказується на можливість повторного використання розчинів полімерних додатків.

1. Orel V. Control of Flow Rate Ratio in Pipelines by Introducing Hydrodynamically Active Additives into Stream // State of Art, Trends of Development and Challenges in Civil Engineering: 10th Scientific Conference Rzeszów-Lviv-Košice. – Košice, Slovakia. September 11-13, 2005. – Book of abstracts. – Publisher: Technical University of Košice, 2005. – P.67. 2. Пат. 47167 Україна, МПК G05D7/00, F17D1/00. Спосіб перерозподілу витрат плинного середовища / В.В. Чернюк, В.М. Жук, В.І. Орел (Україна); Нац. ун-т "Львівська політехніка". – №2001085746; Заявлено 14.08.2001; Опубл. 17.05.2004, Бюл. № 5. – 2 с. 3. Boucher R.F. Advances in power fluidics // Fluid Contr. and Meas. Vol.1. – Oxford e.a., 1986. – P.17-29. 4. Використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах будіндустрії / У державному комітеті з енергозбереження // Ринок інсталяцій. – 2004. – № 10 (93). – С.72. 5. Чичканов С.В., Крупин С.В., Мягченков В.А. Снижение гидравлического сопротивления турбулентных водных потоков при введении бинарных смесей сополимеров акриламида и ПАВ // Повышение нефтедобычи пластов. Освоение

трудноизвлекаемых запасов нефти: Труды 12 Европейского симпозиума "Повышение нефтедобычи пластов". – Казань, 8-10 сент., 2003. – Казань: СТАР, 2003. – С.244-249.

6. Чернюк В.В., Пиццишин Б.С., Орел В.И., Жук В.М. Влияние добавок полиакриламида на потери напора во внезапных сужениях и расширениях труб // Инж.-физ. ж. – 2002. – Т.75, № 4. – С.115-122.

7. Чернюк В.В., Завойко Б.М. Регулирование расхода жидкости путем введения полимерных добавок // Вестн. Львов. политехн. ин-та. Теплоэнергетические системы и устройства. – 1987. – № 217. – С.74-77.

8. Чернюк В.В. Керування напірними потоками рідин уведенням гідродинамічно-активних додатків // Вибрації в техніці та технологіях. – 2003. – № 2 (28). – С. 99-104.

9. Орел В.І. Вплив додатків поліакриламід у втрати напорі в раптових звуженнях і розширеннях труб: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 / УДУВГП. – Рівне, 2003. – 20 с.

10. Орел В. Регулювання витрати рідини у гідравлічній системі введенням у потік додатків // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2002. – № 460. – С.172-175.

11. Орел В.І., Чернюк В.В. Вплив деструкції розчину поліакриламід у гідравлічний опір раптового розширення труб // Прикладна гідромеханіка. – 2005. – Т.7(79). – № 1. – С.50-55.

12. Чернюк В.В., Жук В.М. Розподіл витрат рідини між трубопроводами шляхом введення в потік додатків // Гидравлика и гидротехника: Межвед. науч.-техн. сб. – 1998. – Вып.59. – С.39-43.

13. Фролов В.С., Плюхин С.В. Приготовление и дозирование полимерных флокулянтов // Экватек-2004: Шестой международный конгресс "Вода: экология и технология". – Москва, 1-4 июня 2004 г. – Материалы конгресса. – Ч. II. – С.708-709.

14. Чернюк В.В., Жук В.М. Стабілізація витрати рідини, що витікає з резервуару при змінному напорі // Вісн. Держ. ун-ту "Львів. політехн.". Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 1996. – № 304. – С.76-80.

15. А.с. 1681200 СССР, МКИ G 01N 15/00. Устройство для определения концентрации гидродинамически активных добавок в растворе / В.В. Чернюк, Р.М. Гнатив (СССР). – № 4694737/25; Заявлено 19.05.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 36. – 3 с.

16. Порайко И.Н., Порайко Д.Н. Повышение пропускной способности потока полимерами, малорастворимыми в сплошной среде // Анот. в "Инж.-физ. ж". – 1986. – Т.51, № 5. – С.854-855. Деп. в ВИНТИ 26.06.86, № 4663-В86.

17. Мамонов В.Н., Миронов Б.П., Мустафаев Р.Ф., Гинзбург Д.И. Снижение гидродинамического сопротивления трения с помощью быстроприготовленных "растворов" полиэтиленоксида // РАН. Доклады Академии наук. – 1995. – Т.341, № 1. – С.53-56.