

Отримано критеріальну залежність, яка дає можливість визначити середнє значення коефіцієнта конвективної тепловіддачі, а, відповідно, і величину теплового потоку під час перехідного режиму руху повітря в каналах вентиляованих прошарків.

1. Аверин Е.К., Инаятов А.Я., Кондратьев Н.С. и др. Теплоотдача при движении жидкости в кольцевых и щелевых каналах. Теплопередача и тепловое моделирование. – М., 1959.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М., 1973. 3. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена / Под ред. А.В. Лыкова – М.-Л., 1961.

УДК 62-54:621.646.3

В. Каращенко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИН У ТРУБОПРОВОДАХ УВЕДЕННЯМ ГІДРОДИНАМІЧНО-АКТИВНИХ ДОДАТКІВ

© Каращенко В., 2003

It is given the review and the analysis of ways of regulation of charges of pressure head streams of liquids in pipelines by introduction in them of hydrodynamic-active additives.

Вступ

Способи регулювання витрат напірних потоків багаточисленні та різноманітні [1, 2]. Найпоширеніші з них полягають у збільшенні пропускної здатності трубопроводів змінюванням властивостей транспортованого середовища, включаючи зниження в'язкості плинних систем та введення в потік гідродинамічно активних додатків (ГДАД).

Мета роботи – огляд й аналіз способів регулювання витрат напірних потоків уведенням у них ГДАД.

1. ГДАД – це малі анізотричні частинки, які при введенні в незначних кількостях у потік, істотно понижують турбулентне тертя (ТТ). Довжина молекул полімерів, наприклад, на декілька порядків перевищує їх поперечні розміри. Масову концентрацію ГДАД у потоці середовища змінюють у межах від 10^{-8} до 10^{-2} кг/кг залежно від їх типу та потрібного ефекту.

Найефективнішими ГДАД є високомолекулярні полімери з ланцюжковою будовою молекул та міцелотворні поверхнево-активні речовини (МПАР). Нами виявлено, що зниження ТТ за допомогою деяких ПАР можливе, коли їхні водносолеві розчини є емульсіями [3–5]. Додатки, які утворюють емульсійні структури у потоці рідини, мають переваги при їх використанні в замкнених магістралях теплоцентралей і в системах оборотного водопостачання й охолодження [6]. Знижують ТТ також анізотричні частинки, що утворюють суспензії, стійкі до деградації та деструкції при тривалій їх циркуляції. Це частинки глинистих мінералів: монтморилоніту, іліту, каолініту, палігорскіту; природних волокон: азбестових дерев'яних, шовкових, бавовняних; штучних волокон: базальтових, скляних, графітових тощо. [7, 8]. Зменшення опору в суспензіях пов'язане з підвищеною стійкістю течій, утворених анізотропних середовищ, що проявляється в затягуванні ламінарного режиму руху та в різкому розширенні ділянки ламінарно-турбулентного переходу [5]. При течіях у трубах усі ГДАД збільшують товщину в'язкого підшару, що проявляється у зниженні ТТ та послабленні гідродинамічного опору. Максимально можливе зниження останнього сягає 80 %.

2. Збільшення пропускної здатності трубопроводів. Усі відомі способи зниження ТТ зводяться до збільшення пропускної здатності трубопроводів при незмінному перепаді тиску між їх кінцями чи до зменшення втрат енергії при постійній витраті перепомпуваного середовища. Є багато публікацій, в яких розглядається ця проблема. Оскільки відомо, що при течіях у трубах існує лише один шлях послаблення опору, – це збільшення товщини в'язкого підшару [9], то роботи вітчизняних і зарубіжних науковців і практиків направлені на винайдення нових ефективних ГДАД [10] і удосконалення їх уведення у потік, а також на дослідження комплексної дії ГДАД разом з іншими способами пониження ТТ. Отримано результати, що дорівнюють сумі ефектів від дії кожного з цих способів зокрема, а то й вищі [11]. Поєднують роботу полімерів з покриттям стінок труб речовинами, що послаблюють змочуваність [12], або з істинно податливим покриттям стінок [13], чи разом з ріблетами (оребрением стінок труб поздовжніми елементами) [14], чи разом з поздовжнім профілюванням [15], або сумісно з податливими стінками труб [16].

Однак перелічені заходи направлені на поглиблення уже відомого ефекту пониження ТТ уведенням ГДАД. На кафедрі гідравліки та сантехніки Національного університету “Львівська політехніка” винайдено способи керування потоками рідин уведенням в них ГДАД, що є принципово новим напрямком застосування останніх. Розглянемо їх.

3. Стабілізація витрати рідини у трубопроводі введенням у потік ГДАД може застосовуватись, коли робочий тиск, прикладений до кінців трубопроводу, змінний, наприклад, в автоматичних і напіваавтоматичних системах пожежегасіння, що живляться водою з резервуара, який спорожнюється. Витрату ГДАД у потоці змінюють залежно від робочого напору рідини на вході в трубопровід. Авторами [17] встановлено, що при масовій концентрації C полімера, наприклад, поліакриламід (ПАА) у потоці води в межах 10^{-7} – 10^{-5} кг/кг гідравлічний коефіцієнт тертя λ для труб малих діаметрів з великим ступенем точності змінюється залежно від C за лінійним законом

$$\lambda_s = \lambda_w - kC, \quad (1)$$

де λ_s – коефіцієнт Дарсі для рідини з ГДАД;

λ_w – те саме, без додатків;

k – коефіцієнт пропорційності.

Доведено також [17], що для стабілізації витрати рідини в трубопроводі при змінному напорі H на його вході, концентрація C ГДАД в потоці повинна лінійно залежати від напору

$$C = \frac{\lambda_w - aH + b}{k}, \quad (2)$$

де $a = \pi^2 g d^5 / 8lQ^2$;

$b = (\alpha + \Sigma \zeta) \cdot d / l$; d – діаметр трубопроводу;

l – його довжина;

α – коефіцієнт Коріоліса;

$\Sigma \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів у трубопроводі.

Умова (2) просто задовольняється. Необхідна подача q маточного розчину ГДАД у потік залежно від витрати Q середовища у трубопроводі та від напору H , прикладеного до його кінців, обчислюється за виразом

$$q = \frac{(\lambda_w - aH + b)Q}{C_0 k}, \quad (3)$$

де C_0 – масова концентрація маточного розчину додатків [17].

На рис. 1 показано стабілізатор витрати. Виявлено, що коли висота резервуара ($Z_A - Z_B$) є меншою від половини початкового напору ($H_I = Z_A - Z_I$) на трубопроводі, то стабілізація

витрати рідини в ньому додатками матиме місце до повного спорожніння резервуара. Процес стабілізації витрати рідини в трубопроводі відбувається без використання будь-яких джерел енергії та без втрат енергії потоку на органах регулювання.

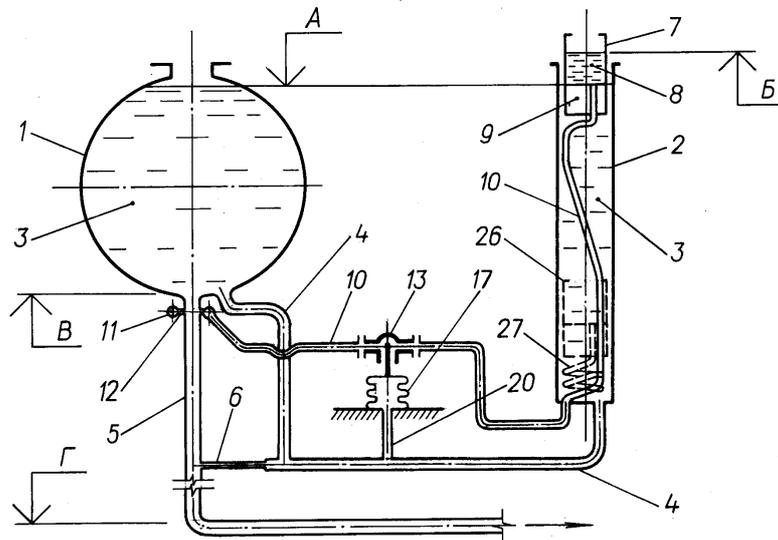


Рис. 1. Стабілізатор витрати рідини в трубопроводі:

- 1 – резервуар; 2 – сміть; 3 – рідина; 4 – з’єднувальна труба; 5 – трубопровід;
 6, 12 – з’єднувальні трубки; 7 – бачок, який плаває; 8 – розчин ГДАД; 9 – поплавков;
 10 – подавальна трубка; 11 – тороподібна камера; 13 – шиберний пристрій; 17 – сиффон;
 20 – патрубок; 26 – крайнє нижнє положення бачка 7;
 27 – те саме, гнучкої частини трубки 10 [17]

4. Перерозподіл витрат рідини за запропонованим методом [18, 19] ґрунтується на здатності ГДАД понижувати (до 5 разів) [20] опір циліндричних трубок і підвищувати (в 20 і більше разів) [21] опір трубок періодичного змінного перерізу (ТПЗП). Винахід може застосовуватись у технологічних процесах, в яких рідина з однієї ємності перетікає трубопроводами у декілька інших посудин, коли періодично необхідно змінювати подачу всіх трубопроводів одночасно, при цьому одні збільшувати, а інші зменшувати з подальшим поверненням їх до вихідних чи проміжкових значень.

На рис. 2 зображено схему пристрою для реалізації цього оригінального способу перерозподілу витрат рідини. При протіканні рідини без ГДАД співвідношення витрат для пари трубопроводів, один з яких містить ділянку паралельно з’єднаних циліндричних трубок (Ц), а другий – ділянку паралельних ТПЗП, таке:

$$\frac{Q_{wЦ}}{Q_{wТПЗП}} = B \cdot \left(\frac{\lambda_{wТПЗП}}{\lambda_{wЦ}} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

де

$$B = \frac{n_{Ц}}{n_{ТПЗП}} \cdot \left(\frac{d_{Ц}}{d_{ТПЗП}} \right)^{5/2} \cdot \left(\frac{l_{ТПЗП}}{l_{Ц}} \cdot \frac{H_{Ц}}{H_{ТПЗП}} \right)^{1/2} = const; \quad (5)$$

$n_{Ц}$, $n_{ТПЗП}$ – кількість паралельно з’єднаних циліндричних трубок та ТПЗП, відповідно;

$d_{Ц}$, $d_{ТПЗП}$ – діаметри цих трубок;

$l_{Ц}$, $l_{ТПЗП}$ – те саме, довжини;

$H_{Ц}$, $H_{ТПЗП}$ – напори на трубопроводах, які містять ділянки паралельно з’єднаних циліндричних трубок і ТПЗП, відповідно.

На рис. 2 індекси 1 при d та l відповідають індексу Π , а індекси 2 – індексу ТПЗП .

При введенні у транспортовану рідину ГДАД, концентрація яких у потоках становитиме C , співвідношення витрат для цієї пари трубопроводів зміниться до

$$\frac{Q_{s\Pi}}{Q_{s\text{ТПЗП}}} = B \cdot \left[\frac{f(\text{ГДАД}; C; Re; d)_{\text{ТПЗП}} \cdot \lambda_{w\text{ТПЗП}}}{f(\text{ГДАД}; C; Re; d)_{\Pi} \cdot \lambda_{w\Pi}} \right]^{1/2} \quad (6)$$

або

$$\frac{Q_{s\Pi}}{Q_{s\text{ТПЗП}}} = B \cdot \left(\frac{\lambda_{s\text{ТПЗП}}}{\lambda_{s\Pi}} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Цей спосіб регулювання розподілу витрат рідини застосовний також при керуванні потоками середовищ з великими витратами. При цьому збільшують кількість n_i паралельно з'єднаних циліндричних трубок і ТПЗП. Діаметри труб D_i підбирають настільки більшими від d_i (рис. 2), що весь наявний напір H_i витрачається на подолання гідравлічного опору ділянки трубопроводу, зібраної з паралельно з'єднаних циліндричних трубок або з трубок періодичного змінного перерізу.

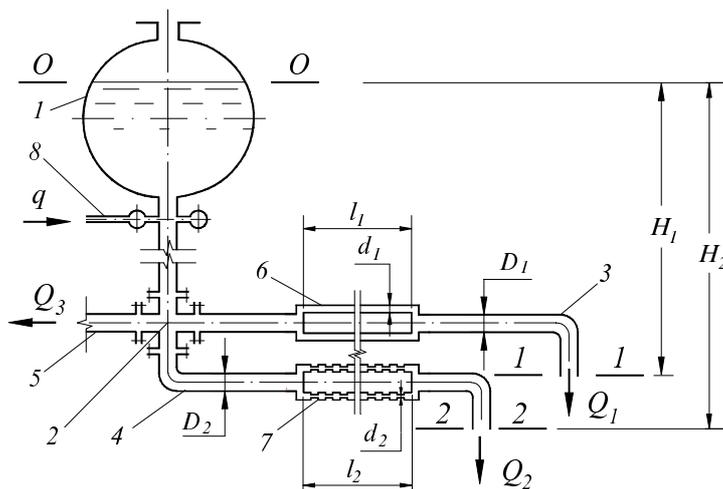


Рис. 2. Розрахункова схема:

- 1 – резервуар; 2 – розгалуження; 3–5 – трубопроводи;
6 – ділянка паралельно з'єднаних циліндричних трубок; 7 – те саме, ТПЗП;
8 – вузол для введення ГДАД [19]

Висновки

ГДАД застосовуються для пониження ТТ. Однак, як показали реферовані роботи, їх успішно можна використовувати для стабілізації витрати рідини в трубопроводі та для паророзподілу витрат між декількома трубопроводами. Таке регулювання є енергоощадним, оскільки не потребує залучення будь-яких приводів, окрім енергії, закумуляованої рідиною. До того ж воно надається до автоматизації, нескладне в реалізації, порівняно недороге і є першим кроком до використання ГДАД в системах гідроавтоматики.

1. Чернюк В. Способи регулювання витрат середовищ у трубопровідних системах: Праці польсько-українського наук-техн. симпозиуму “Виклик комунальним системам водопровідно-каналізаційного господарства на порозі XXI віку. – Rzeszow, 1999. – С. 133 – 139. 2. Чернюк В., Каращенко В., Пасічник А. Способи регулювання витрат середовищ у трубопровідних системах: Праці X Міжнародн. конф. “Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та

харчових виробництв“. – Львів, 1999. – С. 20 – 21. **3.** Калиниченко Н.М., Пилипенко В.Н., Каращенко В.Н. Снижение турбулентного сопротивления в суспензиях поверхностно-активных веществ: Спец. вопр. техн. мех. жидкости и газа. – Львов, 1987. – С. 18 – 26. **4.** Пилипенко В.Н., Каращенко В.Н. Снижение гидродинамического сопротивления при течении эмульсий поверхностно-активных веществ: Докл. АН СССР. – 1988. – Т.301, № 4. – С. 817 – 821. **5.** Иванников В.И., Калиниченко Н.М., Каращенко В.Н., Пилипенко В.Н. Снижение турбулентного сопротивления при течении суспензий и эмульсий: 6 Всесоюз. съезд по теор. и прикл. мех. – Ташкент, 24 – 30 сентября 1986. Аннот. докл. – Ташкент, 1986. – С. 302 – 303. **6.** Седов Л.И., Пилипенко В.Н., Каращенко и др. Возможности снижения гидродинамического трения при течении дисперсных жидкостей // Науч. основы создания энергосберегающ. техн. и технол.: Тез. докл. Всесоюз. конф. 27–29 ноября, 1990. – М., 1990. – С. 162–163. **7.** Каращенко В.Н., Холин Н.Н. Турбулентное трение при течении суспензий асбестовых волокон. – Львов, 1987. **8.** Седов Л.И., Пилипенко В.Н., Каращенко В.Н. Снижение турбулентного сопротивления при течении суспензий и эмульсий // Мех. неоднород. и турбулентн. потоков. – М., 1989. – С.5–15. **9.** Повх І.Л. Зменшення турбулентного тертя – основне джерело економії енергії // Вісн. АН УРСР. – 1982. – №11. – С. 66 – 74. **10.** Белоусов Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей. – Новосибирск, 1986. **11.** Semenov V. N., Kulik V. M., Lopyrev V. A., et. a. Towards the influence of flow polymer additives and surface compliance on wall turbulence // Тр. 5 Нац. конгр. по теор. и прикл. мех. Варна, 23 – 29 сентября, 1985: 14 Науч.-методол. семин. по гидродинам. судна. Соврем. пробл. гидро- и аэродинам. судна. Т.2. – Варна. – 1985. – Р. 371 – 376. **12.** Яхно О.М., Мамедов Н.М., Горбатов А.И. Снижение гидравлического сопротивления потока ньютоновской жидкости путем нанесения кремнийорганического покрытия на стенки канала // Гидравл. и гидротехн. – 1988. – №46. – С.69–72. **13.** Чекалова Л.А., Иванюта Ю.Ф. Турбулентное течение растворов полимера в шероховатой трубе и трубе с меховым покрытием: Тр. Ленингр. общ. естествоиспытателей. – 1976. – Т.73, № 5. – С.78–83. **14.** Choi K.S., Gadd G.E., Pearcey H.H., Savill A.M., Svensson S. Test of drag-reducing polymer coated on a riblet surface // Appl. Sci. Res. – 1989. – 46, № 3. – Р. 209–216. **15.** Gagan S., Lyer K.V., Muknerjea A., et. a. Some studies on non-newtonian flow and heat transfer in wavy tubes // Proc. 8th. Nat. Heat and Mass Transfer Conf., Visakhapathan, Dec. 29 – 31, 1985. – New Delhi e. a., s. a. – 1985. – Р. 285 – 289. **16.** Arsalane D., Bellet D. Approximations spectrale et experimentale d'epouements inelastiques non permanents en conduits souples // J. mec. Theor. et appl. – 1986. – Vol. 5, № 6. – Р.941 – 955. **17.** Пат. 21829 Україна, МКВ G 05D 7/00. Спосіб регулювання витрати рідини в трубопроводі та регулятор витрати / В.В. Чернюк, В.М. Жук (Україна); ДУ "Львівська політехніка". – № 96073053; Заявл. 30.07.96; Опубл. 30.04.98, Бюл. № 2. – 5 с. **18.** Декларац. пат. 47167 А Україна, МПК G 05 D 7/00, F 17 D 1/00. Спосіб перерозподілу витрат плинного середовища / В.В. Чернюк, В.М. Жук, В.І. Орел (Україна); НУ "Львівська політехніка". – № 2001085746; Заявлено 14.08.2001; Опубл. 17.06.2002, Бюл. № 6. – 2 с. **19.** Чернюк В.В. Керування напірними потоками рідин уведенням гідродинамічно активних додатків // Вибрації в техніці та технологіях. – 2003. – № 2. – С. 99 – 104. **20.** Козлов Л.П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування // Вісн. АН УРСР. – 1987. – № 1. – С.23 – 30. **21.** Калашиников В.Н. Течение растворов полимеров по трубкам с переменным сечением. – М., 1980. (Препр. АН СССР. Ин-т проблем механики; № 164).