

При $t = 0$ $r = r_c$, відповідно стала інтегрування визначається, як

$$C = \frac{1}{3a^2} \ln(r_c - a). \quad (8)$$

Тоді рівняння кінетики процесу фізичного розчинення порожнини затопленим струменем має вигляд

$$\ln\left(\frac{r - a}{r_c - a}\right) = 3a^2 B \frac{t^{m+1}}{m+1} \quad (9)$$

або

$$r = a + (r_c + a) \exp\left(3a^2 B \frac{t^{m+1}}{m+1}\right). \quad (10)$$

Одержане рівняння дає можливість визначити зміну радіуса (розмірів) напівсфери в часі при розчиненні затопленим струменем води, що витікає із нерухомого сопла радіусом r_c . Для цього необхідно експериментальним шляхом з рівняння (1) визначити \bar{K}_c у відповідні моменти часу. Маючи залежність $\bar{K}_c = f(t)$, згідно з рівнянням (2) будемо графік у координатах $\ln(\bar{K}_0 - \bar{K}_c) - \ln t$. По тангенсу кута нахилу прямої визначаємо коефіцієнт m , а по відрізьку, який відсікає пряма на осі абсцис, – коефіцієнт A .

1. Аксельруд Г.А. *Массообмен в системе твердое тело – жидкость*. – Львов, 1970.
2. Молчанов А.Д., Тимофеев И.Л. *Интенсификация геотехнологических процессов растворения и выщелачивания*. – Львов, 1988.

УДК 62-54:621.646.3:532.542:532.135

Вадим Орел
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ У ГІДРАВЛІЧНІЙ СИСТЕМІ ВВЕДЕННЯМ У ПОТІК ДОДАТКІВ

© Орел Вадим, 2002

In clause the possibility of regulation of the flow rate in pipework by change of hydraulic resistances by enter into a flow the hydrodynamic active additives is shown.

Введенням гідродинамічно активних додатків (ГДАД) у потік рідини забезпечується управління його параметрами [1]. До ГДАД належать високомолекулярні полімери та міцелотвірні поверхнево-активні речовини (МПАР). Залежно від концентрації цих додатків і від геометричних характеристик протічного каналу може відбуватися зменшення чи збільшення втрат енергії в останньому. При цьому зменшення втрат досягається в трубах постійного поперечного перерізу (ефект Томса) та при малих його змінах, коли в потоці переважають втрати тертя. При значних змінах перерізу спостерігається тільки збільшення втрат [2]. Цю властивість ГДАД можна використати при регулюванні витрати рідини як один із способів ресурсо- та енергозаощадження [1].

З погляду регулювання витрати рідини можуть виникати дві задачі, що принципово не відрізняються [3]:

1. У гідравлічній системі замкнутого типу, наприклад в контурі, в якому циркулює рідина, що приводиться в рух насосом (ця задача має сенс лише тоді, коли виникають труднощі в регулюванні витрати рідини насосом). Тут можна вважати заданою потужність, що підводиться до насоса.

2. У гідравлічній системі розімкнутого типу. Прикладом цієї задачі є процес регульованого витікання рідини з достатньо великої ємності крізь більш вузький протічний тракт; при цьому процес може бути як безперервним (при сталому перепаді тиску), так і дискретним, одноразовим, зі змінним рівнем в ємності.

При використанні у розімкнутих гідравлічних системах ефективними є високомолекулярні полімери, в замкнутих – МПАР [4].

Для розв'язання задачі регулювання витрати рідини за допомогою ГДАД стосовно до гідравлічної системи розімкнутого типу необхідно підібрати таке значення концентрації C полімерних додатків, щоб при заданому перепаді тиску (напорі) забезпечити необхідне значення витрати Q_s . За регульовальну характеристику приймемо залежність Q_s/Q_w від $f(C)$, де Q_w – витрата без введення у потік рідини ГДАД.

Оскільки перепад напору H витрачається на подолання опору гідравлічної системи $\zeta \cdot \frac{V^2}{2g}$ та створення швидкісного напору на виході $\alpha \cdot \frac{V^2}{2g}$, то згідно з рівнянням Бернуллі

$$H = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g} + \alpha \cdot \frac{V^2}{2g} = (\zeta + \alpha) \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{\zeta + \alpha}{2g\omega^2} \cdot Q^2, \quad (1)$$

де V – середня швидкість руху рідини в трубі; ζ – коефіцієнт опору системи; α – коректив кінетичної енергії (коефіцієнт Коріоліса); Q – витрата рідини в трубі; ω – площа поперечного перерізу труби.

У загальному випадку коефіцієнт опору системи ζ складається з опору регульованої ділянки $\zeta_{\text{рег}}$ та нерегульованого опору $\zeta_{\text{нер}}$ решта частини гідравлічної системи, тобто $\zeta = \zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}}$. При цьому $\zeta_{\text{рег}} \gg \zeta_{\text{нер}}$, оскільки очевидно, що якщо опір регульованої ділянки набагато менший від загального опору системи, то навіть значна зміна коефіцієнта $\zeta_{\text{рег}}$ за рахунок введення ГДАД у потік рідини не призведе до істотної зміни витрати рідини в системі [3].

Прирівнявши згідно з формулою (1) перепад напору при введенні полімерних додатків і без них, одержимо

$$\frac{Q_s}{Q_w} = \sqrt{\frac{\zeta_w + \alpha_w}{\zeta_s + \alpha_s}} \approx \sqrt{\frac{\zeta_{w\text{рег}} + \zeta_{w\text{нер}} + \alpha_w}{\zeta_{s\text{рег}} + \zeta_{w\text{нер}} + \alpha_w}}, \quad (2)$$

тут $\zeta_{s\text{нер}} \approx \zeta_{w\text{нер}}$ та $\alpha_s \approx \alpha_w$, що є неістотним [5, 6].

Якщо за аналогією з [3] коефіцієнт опору регульованої ділянки визначати залежністю

$$\zeta_{s\text{рег}} = \zeta_{w\text{рег}} \cdot [1 + f(C)], \quad (3)$$

то

$$\frac{Q_s}{Q_w} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\zeta_{w\text{пер}} \cdot f(C)}{\zeta_{w\text{пер}} + \zeta_{w\text{нер}} + \alpha_w}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_* \cdot f(C)}}, \quad (4)$$

де ζ_* – коефіцієнт,

$$\zeta_* = \frac{\zeta_{w\text{пер}}}{\zeta_{w\text{пер}} + \zeta_{w\text{нер}} + \alpha_w}. \quad (5)$$

Зазначимо, що для гідравлічної системи замкнутого типу коефіцієнт ζ_* визначатиметься також за формулою (5), але в знаменнику буде відсутній коректив кінетичної енергії α_w .

Зміна коефіцієнта опору труб різноманітної форми є основою регулювання витрати рідини [3].

З відомих форм протічних каналів, які мають досить великий опір та є технологічними з точки зору виготовлення у виробничих умовах, найбільшу перспективу становлять круглі раптові розширення та звуження трубопроводів [3]. Вплив ГДАД на втрати енергії в місцевих опорах виявляється в трубах, діаметри яких менші за 50 мм [7]. У зв'язку з цим за необхідності регулювання витрати більшої, ніж здатний пропустити один такий канал, паралельно з'єднують потрібну їх кількість.

Для визначення $f(C)$ подамо формулу (3) у такому вигляді:

$$f(C) = \frac{\zeta_{s\text{пер}}}{\zeta_{w\text{пер}}} - 1 = - \left(1 - \frac{\zeta_{s\text{пер}}}{\zeta_{w\text{пер}}} \right) = - \frac{\Delta\zeta}{\zeta}, \quad (6)$$

де $\Delta\zeta/\zeta$ – ефект впливу ГДАД на втрати енергії в опорах регульованої ділянки гідравлічної системи.

Економічну вигоду від застосування ГДАД у циліндричних трубах можна одержати тільки при використанні розчинів з концентраціями, що знаходяться на ділянці росту ефективності розчину до оптимальної C_{opt} [8]. А ефект впливу додатків при $C \leq C_{\text{opt}}$ оцінюється формулою [9]

$$\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = \left(\frac{\Delta\zeta}{\zeta} \right)_{\text{max}} \cdot \frac{\alpha \cdot C}{1 + \alpha \cdot C}, \quad (7)$$

де $(\Delta\zeta/\zeta)_{\text{max}}$ – максимальний ефект впливу додатків, який відповідає концентрації C_{opt} ; α – константа, що визначається експериментально.

Для раптових розширення та звуження труб графічна залежність $\Delta\zeta/\zeta$ від C якісно однакова з аналогічною залежністю для циліндричної труби [10]. Це означає, що формулу (7) можна використовувати для цих місцевих опорів.

Для зручності при користуванні в інженерних розрахунках подамо формулу (7) у такому вигляді:

$$\frac{\Delta\zeta}{\zeta} = \frac{C}{a + b \cdot C}, \quad (8)$$

де a , b – експериментальні коефіцієнти, які обчислюються, наприклад, за методом найменших квадратів.

Тоді регульовальна характеристика набуває вигляду:

$$\frac{Q_{\Pi}}{Q_{\text{в}}} \approx \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta_* \cdot \frac{C}{a + b \cdot C}}}. \quad (9)$$

Отже, задачу регулювання витрати рідини за допомогою ГДАД розв'язано у більш загальному вигляді. Позаяк при стабілізації витрати рідини, яка витікає з резервуара при змінному напорі [5, 6, 11], та розподілі витрат рідини між декількома трубопроводами [12] як регульований опір використовувалися циліндричні труби: гладкі та макрошорсткі, виконані у вигляді послідовності рівновіддалених раптових звужень та розширень [13].

1. Чернюк В.В., Жук В.М., Піцишин Б.С., Орел В.І. Управління параметрами потоків введенням гідродинамічно активних додатків // *Захист довкілля від техногенного впливу: Зб. наук. праць.* – 1997. – № 1. – С. 69–74. 2. Чернюк В.В., Жук В.М., Піцишин Б.С., Орел В.І. Вплив додатків поліакриламиду на опір раптових звужень і розширень труб // *Гидроаэромеханика в инженерной практике: Юбилейная науч. – техн. конф. Программа и тезисы докладов.* – 28 – 30 мая 1998 г. – Киев, 1998. – С. 60 – 61. 3. Щербинин Э.В. Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле. – Рига, 1973. – 304 с. 4. Повх І.Л. Зменшення турбулентного тертя – основне джерело економії енергії // *Вісн. АН УРСР.* – 1982. – №11. – С.66 – 74. 5. Чернюк В.В., Жук В.М. Стабілізація витрати рідини, що витікає з резервуара при змінному напорі // *Вісн. Держ. ун – ту “Львів. політехн.”. Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація.* – 1996. – № 304. – С. 76 – 80. 6. Чернюк В., Жук В. Стабілізація витрати води домішками в автоматизованій протипожежній системі з живильним резервуаром // *Сучасні проблеми водопостачання і знешкодження стічних вод: Укр.-пол. наук.-техн. конф.* – 1996 р., жовтень. – Львів, 1996. – С. 75 – 85. 7. Гнатив Р.М., Чернюк В.В. Влияние полимерных добавок на местные потери напора в трубопроводах // *Вестн Львов. политехн. ин-та. "Теплоэнергетические системы и устройства".* – 1989. – № 237. – С.17 – 20. 8. Семенов Б.Н. Безымпультный ввод полимерных добавок в течение для снижения трения // *Сиб. физ. – техн. ж. (Изв. СО АН СССР).* – 1991. – Вып.4. – С.90 – 98. 9. Белоусов Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей. – Новосибирск, 1986. – 144 с. 10. Чернюк В.В., Левицкий Б.Ф. О влиянии добавок полиакриламида на сопротивление внезапных сужений и расширений труб // *Вестн. Львов. политехн. ин-та. "Теплоэнергетические и электромеханические системы".* – 1984. – №184. – С. 123 – 126. 11. Патент 21829 Україна, МКВ G 05 D 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. – 3.1.234 – 3.1.235. 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. Калашиников В.Н. Течение растворов полимеров по трубкам с переменным сечением. – М., 1980. – 49 с. (Препринт / Ин-т проблем механики АН СССР; № 164).