

РЕГУЛЮВАННЯ НАПОРУ В ГІДРАВЛІЧНІЙ СИСТЕМІ

© Орел В.І., 2013

Розв'язано задачу регулювання напору в трубопроводі гідравлічної системи. У результаті аналізу напірної регулювальної характеристики трубопроводу визначено фактори енергоощадності.

Ключові слова: регулювання напору, гідравлічна система, трубопровід, регулювальна характеристика.

The problem of the pressure control in the pipeline of hydraulic system is solved. An analysis of the regulating characteristics of the pipeline pressure adjusting the factors of energy saving.

Key words: pressure control, hydraulic system, pipeline, regulating characteristics.

Вступ

Головним завданням при розрахунку трубопроводів є визначення загального перепаду тиску на робочій ділянці трубопроводу з подальшим обчисленням потужності, необхідної для транспортування рідини певної об'ємної витрати [1, с. 243]. При цьому в системах трубопровідного транспорту необхідним є зменшення втрат енергії [2]. Так, причинами збільшення втрат напору в трубопроводі та підвищення витрат електроенергії при транспортуванні рідин є неправильна конфігурація трубопроводу, його поганий стан та засміченість, несправність чи неповне відкриття запірно-регулювальних пристроїв тощо [3].

У [4] наведено огляд регулювання тиску в напрямку збільшення його перепаду такими способами: дроселювання потоку; дія на потік струменями керування; турбулізація ламінарного потоку; створення в потоці кавітаційної ділянки; закручування потоку; комплексний вплив на потік. Показано [5], що дроселювання потоку є енергомарнотратним способом. У низці випадків регулювання тиску вимагає одночасного використання різних видів енергії в одному пристрої: електричної, гідравлічної і пневматичної, що ускладнює процес [6]. При цьому будь-яке регулювання тиску неодмінно призводить до порушення витрати середовища, котре протікає крізь регулятор [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розглянемо гідравлічну систему розіркненого типу, наприклад, при витіканні рідини з резервуару великої площі перерізу крізь трубопровід. Оскільки перепад напору ΔH на робочій ділянці напірного трубопроводу, з якого відбувається витікання рідини, витрачається на подолання

його опору $\zeta_{\text{пр}} \cdot \frac{Q^2}{2g\omega^2}$ та створення швидкісного напору на виході $\alpha \cdot \frac{Q^2}{2g\omega^2}$, то, згідно із рівнянням Бернуллі, характеристика трубопроводу [7, с. 270]:

$$\Delta H = (\zeta_{\text{пр}} + \alpha) \cdot \frac{Q^2}{2g\omega^2}, \quad (1)$$

де Q – витрата рідини в трубопроводі з площею поперечного перерізу ω ; α – коректив кінетичної енергії; $\zeta_{\text{пр}}$ – коефіцієнт приведенного гідравлічного опору.

Формулу (1) можна представити у вигляді моделі для статичного режиму потоку рідини [5], яку використовують для оцінювання енергетичних затрат при транспортуванні матеріального середовища по трубопроводу. А саме:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g\omega^2\eta_{\text{тр}}} , \quad (2)$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трубопроводу [5], за фізичною суттю

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{\Delta H_v}{\Delta H} , \quad (4)$$

де ΔH_v – частка перепаду напору, яка витрачається на створення в трубопроводі швидкісного напору $\frac{Q^2}{2g\omega^2}$.

З іншого боку, ККД трубопроводу

$$\eta_{\text{тр}} = \mu_{\text{тр}}^2 , \quad (5)$$

де $\mu_{\text{тр}}$ – коефіцієнт витрати трубопроводу

$$\mu_{\text{тр}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_{\text{пр}} + \alpha}} . \quad (6)$$

Згідно з [5], коефіцієнт приведенного гідравлічного опору трубопроводу

$$\zeta_{\text{пр}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} + \Sigma \zeta_{\text{МГО}} + \zeta_a ; \quad (7)$$

де $\lambda \cdot \frac{L}{d}$ – коефіцієнт опору трубопроводу; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; $\zeta_{\text{МГО}}$ – коефіцієнт місцевого гідравлічного опору; ζ_a – коефіцієнт опору, який вноситься робочим органом запірно-регулювальної арматури.

Мета дослідження

Метою роботи є одержання напірної регулювальної характеристики трубопроводу. Для досягнення поставленої мети необхідно представити цю характеристику як залежність від параметрів регулювання.

Одержання напірної регулювальної характеристики трубопроводу

Прирівняємо, згідно з формулою (2), витрату рідини у разі заходів, скерованих на зменшення втрат енергії в трубопроводі та без них, одержимо напірну регулювальну характеристику трубопроводу:

$$\frac{\Delta H_{\text{зм}}}{\Delta H} = \frac{\eta_{\text{тр}}}{(\eta_{\text{тр}})_{\text{зм}}} = \frac{(\zeta_{\text{пр}} + \alpha)_{\text{зм}}}{\zeta_{\text{пр}} + \alpha} . \quad (8)$$

Збільшення ККД трубопроводу можна досягти зменшенням втрат напору за довжиною, кількості поворотів трубопроводу, опору повністю відкритої арматури тощо. Найвагомішим з перелічених факторів з погляду найбільших резервів для збереження енергії є втрати напору за довжиною [5] в довгих трубопроводах. Вплив зміни кінетичної енергії потоку є дуже істотним тоді, коли на малих за довжиною ділянках трубопроводу значно трансформується профіль швидкості, чи при $\lambda_{\text{зм}}/\lambda < 0,5$ [8], де симплекс $\lambda_{\text{зм}}/\lambda$ характеризує ефективність заходів, скерованих на зменшення втрат енергії в циліндричних трубах гідравлічної системи за рахунок зміни коефіцієнта гідравлічного тертя λ .

У загальному випадку коефіцієнт приведенного гідравлічного опору трубопроводу $\zeta_{\text{пр}}$ складається з коефіцієнта гідравлічного опору регульованої ділянки $\zeta_{\text{рег}}$ та коефіцієнта нерегульованого опору $\zeta_{\text{нер}}$ решти частини трубопроводу, тобто [7, с. 270]

$$\zeta_{\text{пр}} = \zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} . \quad (9)$$

Тоді формулу (8) перепишемо так:

$$\frac{\Delta H_{\text{зм}}}{\Delta H} = \frac{(\zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} + \alpha)_{\text{зм}}}{\zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} + \alpha} \approx \frac{(\zeta_{\text{рег}} + \alpha)_{\text{зм}} + \zeta_{\text{нер}}}{(\zeta_{\text{рег}} + \alpha) + \zeta_{\text{нер}}} . \quad (10)$$

Коефіцієнт опору регульованої ділянки визначимо за залежністю, аналогічною наведеній у [7, с. 249, 250, 270]:

$$(\zeta_{\text{рег}})_{\text{зм}} = \zeta_{\text{рег}} \cdot [1 + f(\text{рег})] , \quad (11)$$

де $f(\text{рег})$ – функція регулювання, що враховує заходи, скеровані на зменшення втрат енергії в трубопроводі гідравлічної системи, то регульовальна характеристика набуває вигляду:

$$\frac{\Delta H_{\text{зм}}}{\Delta H} \approx \frac{\zeta_{\text{рег}} \cdot [1 + f(\text{рег})] + \zeta_{\text{нер}} + \alpha_{\text{зм}}}{\zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} + \alpha} = 1 + [\alpha_* + \zeta_* \cdot f(\text{рег})] . \quad (12)$$

де α_* – коефіцієнт, який враховує зміну кінетичної енергії потоку в гідравлічній системі,

$$\alpha_* = \frac{\alpha_{\text{зм}} - \alpha}{\zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} + \alpha} ; \quad (13)$$

ζ_* – коефіцієнт регулювання, що визначає глибину регулювання,

$$\zeta_* = \frac{\zeta_{\text{рег}}}{\zeta_{\text{рег}} + \zeta_{\text{нер}} + \alpha} . \quad (14)$$

При цьому $\zeta_{\text{рег}} \gg \zeta_{\text{нер}}$ [7, с.268], оскільки в іншому разі навіть значна зміна коефіцієнта $\zeta_{\text{рег}}$ не призведе до істотної зміни перепаду напору . Тому формула (14) наближено виглядатиме так:

$$\zeta_* \approx \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\zeta_{\text{рег}}}} . \quad (15)$$

Для розвиненої турбулентної течії рідини, коли профіль швидкості не змінюється за довжиною трубопроводу, зміною корективу кінетичної енергії можна нехтувати, тобто вважати $\alpha_{\text{зм}} \approx \alpha$. Саме це було зроблено в [9]. Тоді, згідно з формулою (13), коефіцієнт $\alpha_* \approx 0$, а формулу (12) можна переписати як:

$$\frac{\Delta H_{\text{зм}}}{\Delta H} \approx 1 + \zeta_* \cdot f(\text{рег}) . \quad (16)$$

Зазначимо, що формулу (16) можна використовувати й для гідравлічної системи замкнутого типу, але тоді у знаменнику формул (14) та (15) буде відсутній коректив кінетичної енергії α .

З аналізу формули (16) випливає, що для зменшення втрат енергії в трубопроводі, тобто

$$\frac{\Delta H_{\text{зм}}}{\Delta H} < 1 , \text{ необхідно, щоб функція регулювання } f(\text{рег}) < 0 .$$

Наведені формули можна застосовувати, наприклад, для зменшення робочого тиску в послабленому перерізі трубопроводу [10]. Крім того, зміна тиску, прикладеного на початку трубопроводу, – один з можливих способів керування витратою рідини в ньому [5, 11].

Висновки

У загальному вигляді розв'язано задачу регулювання напору в трубопроводі гідравлічної системи. Аналіз напірної регулювальної характеристики вказує, що зменшення втрат енергії можна досягти або в довгих трубопроводах, або на малих ділянках трубопроводів зі значною трансформацією профілю швидкості.

1. Дейч М.Е. Гидрогазодинамика: Учеб. пособие для вузов / М.Е. Дейч, А.Е. Зарянкин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 384 с.
2. Повх И.Л. Гидродинамика труб переменного сечения / И.Л. Повх, Н.В. Фиошин // Инж.-физ. журн. – 1992. – Т. 62, № 4. – С.525-533.
3. Суходоля Олександр. Енергоощадні заходи на помпових станціях / О. Суходоля // Ринок інсталяцій. – 2003. – №1. – С.8–11.
4. Чернюк В.В. Регулювання тиску в гідравлічних і пневматичних системах / В.В. Чернюк // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2000. – № 404. – С.14–18.
5. Гоппе Г.Г. Методы и технические средства энерго- и ресурсосберегающего управления турбомеханизмами : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» / Г.Г. Гоппе; ГОУ ВПО “Иркутский государственный университет путей сообщения” ФАЖТ России. – Иркутск, 2009. – 36 с. – Режим доступа: www.oldvak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/techn/2009/07-09/GoppeGG.pdf.
6. Чернюк В.В. Регулювання інтегральних параметрів напірних потоків рідин гідродинамічно активними додатками : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.23.16 «Гідравліка та інженерна гідрологія» / В.В. Чернюк; Київський національний університет будівництва й архітектури. – К., 2010. – 38 с.
7. Щербинин Э.В. Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле / Э.В. Щербинин. – Рига: Зинатне, 1973. – 304 с.
8. Кулик В.М. Влияние молекулярной массы полиэтиленоксида на динамику снижения сопротивления / В.М. Кулик // Инж.-физ. журн. – 1998. – Т.71, № 3. – С.491–495.
9. Чернюк В.В. Стабілізація витрати рідини, що витікає з резервуару при змінному напорі / В.В. Чернюк, В.М. Жук // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація”. – 1996. – №304. – С.76–80.
10. Хуссейн М.Н.А. Улучшение параметров работы нефтепроводов путем применения противотурбулентных присадок : автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 25.00.19 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / М.Н.А. Хуссейн; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2009. – 22 с. – Режим доступа: www.dev.scholar.ru/speciality.php?page=4&spec_id=38.
11. Орел В. Регулювання витрати рідини у гідравлічній системі введенням у потік додатків / В. Орел // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація”. – 2002. – № 460. – С.172–175.