

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИСНИХ ДВОФАЗНИХ ТЕЧІЙ У ВЕРТИКАЛЬНИХ ТРУБАХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Представлено аналіз особливостей застосування рівняння збереження енергії для визначення втрат на тертя при русі двофазного високов'язкого потоку у вертикальному трубопроводі, висвітлено результати обробки експериментальних даних за допомогою рівняння, співставлено результати узагальнення експериментальних досліджень при застосуванні рівняння збереження енергії та рівняння імпульсів.

Ключові слова: двофазні потоки, високов'язкі рідини, рівняння енергії, циркуляція, теплотехнологічні установки, енергоефективність, втрати на тертя, дійсний об'ємний газовміст.

Abstract

There have been submitted the analysis of the specific application of the energy equation to determine the friction losses of two-phase high-viscosity flow in a vertical pipe, the results of the experimental data using the energy equation have been showed, the results of generalization of experimental research in the application of energy equation and momentum equation have been compared

Keywords: two-phase flows, high-viscosity, energy equation, circulation, thermal heating installation, energy efficiency, friction losses, actual volume gas-content.

Вступ

Насьогодні в більшій мірі досліджена гідродинаміка пароводяних потоків для умов великої енергетики. Наприклад, нормативний метод [1], що складений для котельних агрегатів з тиском більше 1 МПа (10 кгс/см^2) і обігріваними трубами з внутрішнім діаметром від 10 до 150 мм, узагальнює значний об'єм експериментальних, теоретичних і числових досліджень пароводяних потоків у всій області параметрів роботи котлоагрегатів.

Проте не в повній мірі вирішена проблема стосовно обладнання в теплотехнологічних системах, де рідинна фаза є в'язкою і високов'язкою. Враховуючи те, що в такому обладнанні реалізуються двофазні потоками з високов'язкими і в'язкими рідинами, потреба в дослідженні таких потоків є актуальною.

Відомо, що втрати тиску у двофазному потоці складаються із трьох складових: втрат на тертя, на прискорення і гравітаційної складової. Відносна величина цих складових залежить від рівняння збереження, яке покладено в їх основу, рівняння енергії, кількості руху або гомогенного потоку. Рівняння гомогенного потоку менш точно, ніж два інших, описує експериментальні дані в широкому діапазоні умов [2].

За умов аналізу інформації по втратах тиску у трубопроводі з двофазними вертикальними потоком виявляється, що більша частина з обробки експериментальних досліджень базується на рівнянні збереження імпульсу. В [3] досліджено і узагальнено закономірності течії високов'язких двофазних течій: у вертикальних трубах і кільцевих каналах з еквівалентним діаметром $6,1 \leq D_{\text{екв}} \leq 500$ мм при $P=0,055-0,131$ Мпа, в'язкість рідкої фази змінюється в 130 разів.

Деякі дослідники стверджують, що при аналізі падіння тиску у вертикальному каналі рівняння збереження енергії має переваги над рівнянням імпульсів, інші вважають навпаки [4].

В даному випадку досліджуються високов'язкі двофазні потоки і тому прийнято за доцільне дослідити цю проблему із застосуванням рівняння збереження енергії з метою подальшого вдосконалення математичного моделювання гідродинамічних процесів в теплотехнологічному обладнанні.

Мета роботи: підвищення енергетичної та екологічної ефективності теплотехнологічних, хіміко-технологічних установок за рахунок удосконалення математичних моделей в'язких і високов'язких двофазних потоків, які реалізуються в елементах цих установок.

Експериментальні дослідження двофазних потоків.

За основу для узагальнення було взято дослідження [3], які проводилися на вертикальній установці, максимально наближеній до реальних умов, а експериментальна ділянка якої – до натурної труби, що має місце в теплообмінних апаратах. Довжина стабілізаційної ділянки становить $l_{ст}=1,5$ м, довжина експериментальної ділянки $l_{тр}=2,033$ м, внутрішній діаметр труби – $D=0,0327$ м. Експериментальний стенд являє собою контур, де здійснюється природня циркуляція. В контурі є опускна і підйомна ділянки, сепараційний пристрій. Змішування рідини з газом відбувається на нижній ділянці. Для визначення дійсного об'ємного паровмісту ϕ у вертикальних трубах авторами [1] був використаний метод відсічки потоку швидкозапірними клапанами (час перекриття $\tau = 0,015$ с). В процесі проведення досліджень заміряються об'ємні витрати рідини V_1 , повітря V_2 , температури суміші $t_c=30$ °С, загальний перепад тиску на експериментальній ділянці ΔP . Досліджуваним потоком є суміш цукрового розчину з концентрацією сухих речовин $CP=51,5$ %, 62 % і $68,7$ % та повітря.

Результати узагальнення експериментальних досліджень

В результаті узагальнення досліджень на основі рівняння збереження енергії за допомогою програми статистичного аналізу даних Statistica 7 отримано апроксимуючу залежність для всього діапазону експериментальних точок з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,976$ у такому вигляді:

$$\Psi_{\text{дв}} = 91,6 \cdot Fr_o^{-0,26} \cdot Fr_c^{-0,43} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{0,15} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{-0,12} \cdot Re_1^{-0,08}, \quad (1)$$

де $\Psi_{\text{розр}}$ — поправка на двофазність; μ_1, μ_2 — динамічна в'язкість рідинної і газової фаз, ρ_1, ρ_2 — густина рідинної і газової фаз; Fr_c — критерії Фруда суміші, Re_1 — критерій Рейнольдса для рідини.

Результати узагальнення з формули (1) представлені на рис. 1 у вигляді (2):

$$\hat{A} \equiv \frac{\Psi_{\text{дв}}}{Fr_o^{-0,3} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{0,15} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{-0,12} \cdot Re_1^{-0,08}} = f(Fr_c). \quad (2)$$

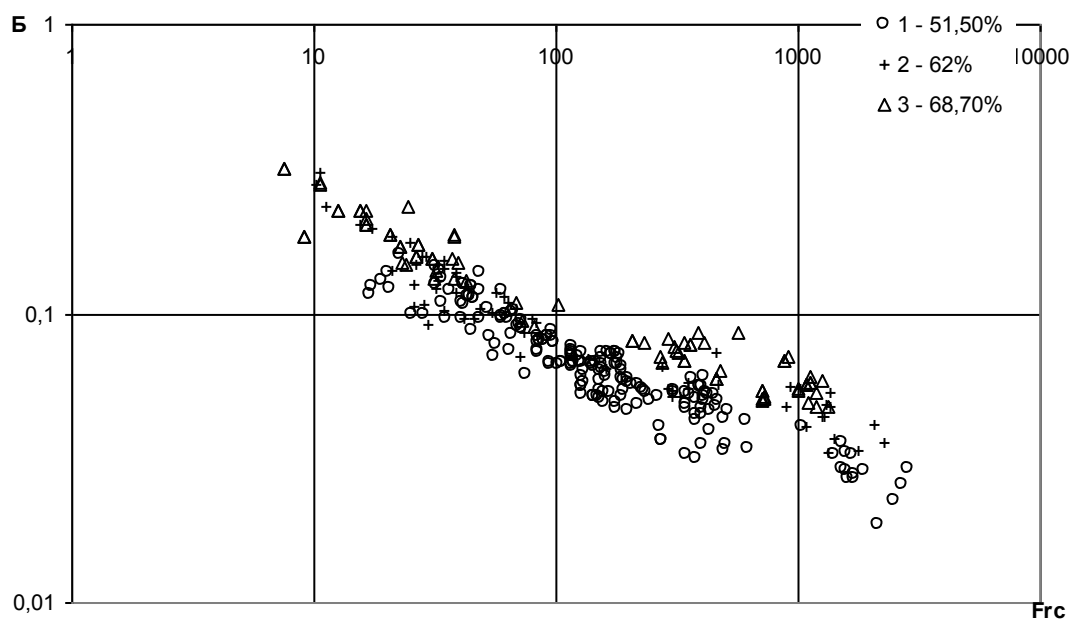


Рис. 1 – Суміш цукровий розчин+повітря: 1-CP=51,5 %, 2-62 %, 3-68,7 %

В результаті аналізу рис. 1 виділено три області: перша область при значеннях критерію Фруда суміші $Fr_c \leq 300$ (швидкість суміші $W_c \leq 10,4$ м/с); друга – при $300 < Fr_c \leq 750$ ($10,4$ м/с $< W_c \leq 15,5$ м/с); третя – при $Fr_c > 750$ ($W_c > 15,5$ м/с).

В другій області при $300 < Fr_c \leq 750$ на дослідній ділянці експериментального стенду реалізується снарядний режим. В цій області зі збільшенням довжини снарядів розвиваються пульсації потоку. В цій же області збільшується розкид експериментальних точок (рис.1), відповідно величина коефіцієнту детермінації R^2 зменшується, що і показала додаткова статистична обробка експериментальних даних в цій області.

Обробка експериментальних результатів статичними методами при $Fr_c \leq 300$ дозволила отримати залежність у вигляді $\Psi = f(\rho_2/\rho_1, Re_1, \mu_1/\mu_2, Fr_c, Fr_0)$ з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,982$. Дана область викликає практичний інтерес за умов розробки ерліфтних теплообмінників в системі біогазових установок.

Висновки

Узагальнено експериментальні результати по визначенню втрат тиску на тертя високов'язких вертикальних двофазних потоків з використанням рівняння балансу енергії для умов експлуатації теплотехнологічного обладнання.

Це дозволило виділити три області: перша область при значеннях критерію Фруда суміші $Fr_c \leq 300$ (швидкість суміші $W_c \leq 10,4$ м/с); друга – при $300 < Fr_c \leq 750$ ($10,4$ м/с $< W_c \leq 15,5$ м/с); третя – при $Fr_c > 750$ ($W_c > 15,5$ м/с). Область експериментальних точок при $Fr_c \leq 300$, де снарядний режим знаходиться в стадії зародження, описується залежністю з такими параметрами $\Psi = f(\rho_2/\rho_1, Re_1, \mu_1/\mu_2, Fr_0, Fr_c)$, при цьому коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,982$. В діапазоні $300 < Fr_c \leq 750$ довжина повітряних снарядів зростає, що призводить до збільшення розкиду точок і зменшення значення коефіцієнту детермінації за умов статистичного опису процесів.

Узагальнено увесь діапазон експериментальних точок при значеннях критерію Фруда суміші $Fr_c = 9-2900$, отримано залежність з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,976$.

Отримані результати обробки експериментальних даних двофазних високов'язких потоків на основі рівняння збереження енергії можуть застосовуватись для розрахунку при розробці елементів біотехнологічного і теплотехнологічного обладнання, де реалізуються високов'язкі двофазні течії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балдина О. М. Гидравлический расчёт котельных агрегатов (нормативный метод) / О. М. Балдина, А. В. Локшин, Д. Ф. Петерсон. — М.: Энергия, 1978 г. – 256 с.
2. Ткаченко С. Й. Самозакипаючі потоки в дренажних каналах теплотехнологічних систем / С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163 с.
3. Ткаченко С. Й. Обобщенные методы расчёта теплогидродинамических процессов и применение их для оптимизации выпарных установок: автореферат / С. Й. Ткаченко. — Москва, 1988. – 39 с
4. Баттерворс Д. Теплопередача в двофазном потоке / Д. Баттерворс, Г. Хьюитт — М. Энергия , 1980. – 328 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – доктор технічних наук, професор, Вінницький Національний Технічний університет, завідувач кафедри теплоенергетика, м. Вінниця; тел.: (063) 502-54-43; e-mail: Stahit@mail.ru.

Бочкова Ольга Юрївна – Вінницький Національний Технічний університет, аспірант кафедри теплоенергетика, тел.: (098) 628-58-97; e-mail: Olichkab888@gmail.com.

Степанова Наталія Дмитрівна – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри теплоенергетика, тел.: (063) 063-49-58 e-mail: Stepanovand@mail.ru.

Tkachenko Stanislav Iosipovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Vinnica National Technical University, Head at the Department of Thermal Power Engineering, tel.:(063) 502-54-43; e-mail: Stahit@mail.ru

Bochkova Olga Uriivna – Vinnica National Technical University, post graduate student at the Department of Thermal Power Engineering, tel.: (098)-628-58-97; e-mail:Olichkab888@gmail.com.

Stepanova Nataliya Dmytrivna - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Vinnica National Technical University, Associate Professor at the Department of Thermal Power Engineering, tel.: (063)-063-49-58; e-mail: Stepanovand@mail.ru.