

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИРКУЛЯЦІЇ У ВИПАРНОМУ АПАРАТІ З ВИНЕСЕНОЮ ЗОНОЮ КИПІННЯ ЗА УМОВ ВАКУУМА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано необхідність застосування декількох підходів для розрахунку гідродинамічних процесів у випарному апараті з винесеною зоною кипіння. Проаналізовано переваги та недоліки цих методик, співставлено результати визначення параметрів циркуляції при їх використанні. Зроблено висновок, що застосування декількох підходів сприяє підвищенню достовірності результатів розрахунку зважаючи на обмежену кількість досліджень процесів у випарних апаратах з винесеною зоною кипіння.

Ключові слова: двофазні потоки, випарні апарати, зона кипіння, циркуляція, гідродинамічні процеси, дійсний об'ємний паровміст.

Abstract

There was explained the necessity of use of multiple approaches for hydrodynamic processes in the evaporator with removed haulage zone of boiling. There were analyzed advantages and disadvantages of these methods, the results of determining the parameters of the circulation were compared as well. It has been concluded that the use of multiple approaches improves the reliability of the results of calculation despite the limited amount of research of processes in removed haulage evaporators with boiling zone.

Keywords: two-phasic flows, evaporators, boiling zone, circulation, hydrodynamic processes, full surround steam-content.

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 обігріваськими 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. Також відомі дослідження процесів в апаратах, в яких двофазні потоки рухаються в горизонтальних трубах з діаметром $d > 200 \text{ мм}$ [2].

В результаті аналізу літературної інформації встановлено, що існуюче число досліджень відноситься до умов роботи котлових агрегатів, парових турбін, атомних реакторів, приладів нафтогазової промисловості.

Проте не в повній мірі досліджена гідродинаміка пароводяних потоків в теплотехнологічному обладнанні, труби в якому виконанні вертикальними з діаметром $d \approx 500 \text{ мм}$, і які працюють в умовах низького тиску і вакууму.

Наприклад, випарники з винесеною зоною кипіння працюють зазвичай під вакуумом або при тиску, близькому до атмосферного, їх труби виконуються вертикальними з діаметром $d \geq 500 \text{ мм}$. Температура води в них не перевищує $100-105^\circ\text{C}$. Випарники такого типу широко використовують для опріснення морської води [3]. В трубах скипання таких випарних апаратів двофазні потоки рухаються без підведення теплоти.

Дослідження даного типу обладнання одиничні або їх узагалі немає [4]. Однак розраховувати теплогідродинамічні процеси в них необхідно. Тому існуюча методика розрахунку параметрів циркуляції такого випарного апарату [3] була співставлена із підходом, який описано в [4, 5], залежності отримано експериментально для більш широкого діапазону умов.

Відомо, що розрахунок циркуляції у випарному апараті зводиться до рішення двох основних рівнянь – рівняння балансів тиску і рівняння матеріального балансу. Методика розрахунку циркуляції широковідома і наведена в [1]. Основним у розрахунку гідродинаміки даного апарату – вміння визначати дійсний об'ємний паровміст φ , складові втрат тиску на тертя і на прискорення, тому нами розглянуто два підходи для цього.

У першому підході для визначення параметрів циркуляції, який описано в [3], враховано відсутність номограм для визначення φ при низьких тисках (у даному випарному апараті тиск $p=0,065$ МПа), тому в [3] пропонується методика, яка одержана для барботажного шару за [6].

Автори [3] при розгляді потоку, що складається з невеликих пазирів сферичної форми, які рухаються без ковзання, і крупних пазирів, які рухаються швидше оточуючого їх середовища, показали, що як для умов барботажу, так і для умов, коли приведена швидкість руху рідини $w_0 \neq 0$, дійсний паровміст визначають за запропонованою ними залежністю:

$$\varphi = \beta \cdot \left[1 + \left(\frac{w^*}{w_{cm}} \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

де $w^* = w_{\text{гвз}} \cdot \psi_v$ – групова швидкість спливання бульбашок, м/с; β – витратний об’ємний паровміст; $w_{\text{гвз}}$ – швидкість спливання одиночної бульбашки в нерухомому середовищі, м/с; w_{cm} – швидкість руху пароводяної суміші, м/с; ψ_v – фактор взаємодії.

Для визначення групової швидкості бульбашок застосовано формулу Франк-Каменецького:

$$w \cong 1,5 \cdot \sqrt[4]{g \cdot \sigma \cdot (\rho_1 - \rho_2) / (\rho_2)^2}, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, м²/с; ρ_1 , ρ_2 – густина рідинної і парової фаз, відповідно, кг/м³.

Ця залежність дійсна, коли діаметр каналу значно більший, ніж розмір крупних бульбашок.

Із аналізу експериментальних даних, що визначають дійсний паровміст в різних режимах, значення фактору взаємодії:

$$\psi_v = 1,4 \cdot (\rho_1 / \rho_2)^{1/5} \left[1 - (\rho_1 / \rho_2) \right]^5. \quad (3)$$

Типова крива, що встановлює залежність $\varphi = f(\beta, w^*/w_{cm})$ приведена на рис. 3.17 в [3], де нанесені дані, що отримані при русі потоку в вертикальній трубі і в умовах барботажу.

Запропонований нами другий підхід для визначення показників циркуляції, який детально наведений в [4, 5], базується на прямих експериментальних дослідженнях двофазних потоків в умовах проточних течій для випарних апаратів і випарників з природною циркуляцією. Експериментальні результати для визначення дійсного об’ємного паровмісту представлено аналітичними залежностями, що враховують механізм протікаючих процесів. Найбільш широке узагальнення при відносному русі фаз при низькому тиску і вакуумі можуть отримати при виборі безрозмірних величин S_r і S_{r0} в якості визначаючих параметрів. Також автори вважають доцільним введення критерію Галілея Ga в число визначаючих параметрів, так він враховує вплив в’язкості рідкої фази на процес. Після перетворення для конкретних експериментальних даних система приймає вигляд $S_r, S_{r0} = f(Ga, We, \rho)$ [4]. Експериментальний матеріал описано узагальнюючими залежностями, приведеними нижче.

При $Ga^{1/3} < 800$ параметр S_{r0} визначається з рівняння:

$$S_{r0} = 0,123 \cdot \rho^{0,05} \cdot \left(\frac{1}{D^*} \right)^{-0,04} \cdot \left(D^* / \sqrt[3]{v_1^2 / g} \right)^{0,25}, \quad (4)$$

де D^* – лінійний розмір експериментальної ділянки, для круглої труби $D^* = D$, м; $\rho = \rho_1 / \rho_2$ – відносна густина суміші, v_1 – кінематична в’язкість рідкої фази, м²/с; Ga – критерій Галілея.

При значенні $Ga^{1/3} > 800$ параметр ковзання фаз S_{r0} :

$$S_{r0} = 0,65 \cdot \rho^{0,05} \left(\frac{1}{D^*} \right)^{0,25}. \quad (5)$$

При $Ga^{1/3} < 800$ параметр S_r :

$$S_r = 1,85 \cdot \rho^{0,05} \cdot \left(\frac{1}{D^*} \right)^{-0,04} \cdot \left(D^* / \sqrt[3]{v_1^2 / g} \right)^{-0,125}. \quad (6)$$

При $Ga^{1/3} > 800$ параметр S_r :

$$S_r = 0,8 \cdot \rho^{0,05} \cdot \left(\frac{1}{D^*} \right)^{-0,04}. \quad (7)$$

Параметри S_r і S_{r0} дозволяють однозначно визначити дійсний паровміст при заданих значеннях приведеної швидкості рідини і газу за допомогою такої залежності:

$$\varphi = 0,5 \cdot \left[\frac{w_{cm}}{0,35 \cdot S_{r0} \cdot \sqrt{g \cdot D} + S_r \cdot w_0''} + 1 \right] - \left[0,25 \cdot \left(\frac{w_{cm}}{0,35 \cdot S_{r0} \cdot \sqrt{g \cdot D} + S_r \cdot w_0''} + 1 \right)^2 - \left(\frac{w_0''}{0,35 \cdot S_{r0} \cdot \sqrt{gD} + S_r \cdot w_0''} + 1 \right) \right]^{0,5} \quad (8)$$

Діапазон зміни параметрів, для яких рекомендується дана методика: вертикальні труби з діаметром $D=12,2 \dots 500$ мм; тиск $p=0,055 \dots 0,131$ МПа; приведена швидкість руху рідини $w_0'=0,06 \dots 1,62$ м/с; приведена швидкість руху парової фази $w_0''=0,1 \dots 32,6$ м/с.

Схема циркуляції випарного апарату представлена в [3], основні розміри, що характеризують циркуляційний контур, такі: секція зібрана з 1600 труб з діаметром $d=38 \times 2,5$ мм і довжиною $l=4000$ мм, три опускні труби з діаметром $d_{on}=800$ мм, діаметр і довжина підйомної труби $D=1400$ мм і $L_n=3600$ мм. Рівень води у випарнику відстані $h=200$ мм від вихідного перерізу підйомної труби. Гідродинамічний розрахунок даного контуру виконувався при значеннях швидкості циркуляції $w_0=0,6; 0,7$ і $0,8$ м/с.

В результаті розрахунку циркуляції випарного апарату із застосуванням методик [3] і [4, 5] для визначення значень об'ємного паровмісту φ , було отримано розбіжність результатів, яка становить близько 18-19 %. Незважаючи на це, застосування запропонованого нами підходу [4, 5] для визначення φ у випадку розрахунку циркуляції у даному випадку є допустимим, так як він має експериментальне підтвердження на основі дослідження двофазних проточних середовищ у апаратах з вертикальними трубами з $d > 200$ мм.

Для визначення дійсної швидкості циркуляції у контурі випарника за даних умов задавались значеннями швидкості циркуляції $w_0=0,6; 0,7$ і $0,8$ м. Побудувавши криві зміни корисного напору і втрат в лініях, по яким рухається вода до перерізу труби, де починається самовипаровування, отримали в точці перетину цих кривих шукане значення швидкості циркуляції, що дорівнює $w_0=0,7$ м/с при застосуванні методики [3] і $w_0=0,63$ м/с - за умов використання запропонованої нами методики [4, 5], що зображено на рис. 1:

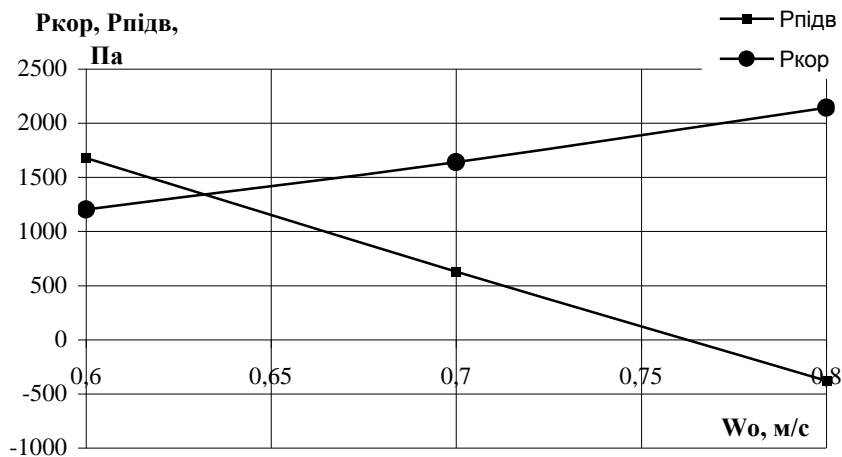


Рисунок 1 – Визначення швидкості циркуляції в трубах гріючої секції за [4,5]

Висновки

Співставлено два підходи для розрахунку параметрів циркуляції випарних апаратів з винесеною зоною кипіння зважаючи на обмежену кількість експериментальних досліджень двофазних потоків в такому типі обладнання.

Аналізуючи результати співставлення значень дійсного об'ємного паровмісту за методикою [3] і [4, 5] було отримано розбіжність результатів 18-19 %. Шукане значення швидкості циркуляції w_0 при застосуванні запропонованої нами методики [4,5] складає 0,63 м/с, а за умови використання методики [2] – $w_0=0,7$ м/с. Отже, значення швидкості циркуляції в контурі даного випарного апарату слід очікувати в межах 0,63...0,7 м/с.

Така розбіжність результатів є допустимою, так як запропонована нами методика [4,5] для розрахунку циркуляції базується на експериментальних дослідженнях двофазних середовищ проточних систем, тобто придатна для випарного апарату з винесеною зоною кипіння. Випарні установки для опріснення води мають великі габаритні розміри і високу вартість, тому застосування декількох методик для отримання даних сприяє підвищенню надійності розрахунку таких апаратів.

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. Мамаев В. А. Гидродинамика газо-жидкостных смесей в трубах / В. А. Мамаев, Г. Э. Одишария, Н. И. Семенов, А. А. Точигин. – М.: Недра, 1969 г. – 206 с.
3. Кутепов А. М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.
4. Федоткин, И. М. Теплогидродинамические процессы в выпарных аппаратах [Текст] / И. М. Федоткин, С. Й. Ткаченко. – К.: Техника. – 1975. – 212 с.
5. Ткаченко С. Й. Застосування рівняння енергії для визначення втрат на тертя у вертикальному високов'язкому двофазному потоці/С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова, О. Ю. Бочкова//– Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 10 (1182). – С. 50–55. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X.
6. Лабунцов Д. А. Паросодержание двухфазного адиабатного потока в вертикальных каналах / Д. А. Лабунцов, И. П. Корнюхин, Э. А. Захаров // - Теплоэнергетика, 1968, №4, С. 62-68.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри теплоенергетики, м. Вінниця; e-mail: Stahit@mail.ru.

Бочкова Ольга Юрївна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Olichkab888@gmail.com.

Tkachenko Stanislav Iosipovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Vinnica National Technical University, Head at the Department of Thermal Power Engineering, e-mail: Stahit@mail.ru

Bochkova Olga Uriivna – Vinnica National Technical University, post graduate student at the Department of Thermal Power Engineering, e-mail: Olichkab888@gmail.com.