

Схема експериментальної установки дослідження кінетики вивільнення  $NH_4^+$  і  $NO_3^-$  іонів через полімерну оболонку:  
 1 – іонометр типу N5123A, 2 – вимірювальний електрод, 3 – мішалка,  
 4 – капсульовані частинки, 5 – вимірювальна комірка, 6 – електрод порівняння, 7 – термометр

**Висновки.** Ця методика не містить трудомістких стадій хімічного аналізу, визначення концентрації компонентів не вимагає відбору проб, що змінює об'єм розчину та вносить додаткові ускладнення у проведенні експериментальних досліджень. Використання іономіра, селективних електродів та теоретичного обґрунтування процесу дозволяє отримувати достовірні дані при дослідженні процесу сумісного вивільнення речовин через полімерну оболонку.

1. Злобін Ю.А. *Основи екології.* – К.: Вид-во "Лібра", 1998. – 248 с. 2. Кувшинников И.М. *Минеральные удобрения и соли. Свойства и способы их улучшения.* – М.: Химия, 1987. – 255 с. 3. *Химический энциклопедический словарь.* – М.: Советская энциклопедия, 1983.

УДК 661.015.23

Я.М. Гумницький, В.М. Сеньків, М.Ф. Юрим  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра екології та охорони навколишнього середовища

## ОЦІНКА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КАПІЛЯРАХ ПРИ ВАКУУМУВАННІ

© Гумницький Я.М., Сеньків В.М., Юрим М.Ф., 2004

**Досліджено пароутворення у капілярах при вакуумуванні. Проведено статистичну оцінку частоти утворення бульбашок пари. Показано, що цей показник залежить від температури в системі.**

**Process of steam generation in capillaries at vacuum processing is studied. Statistical estimation of frequency of bubble formation is made. Is showed, that this parameter depends on the temperature of system.**

**Постановка проблеми.** Кипіння рідини пов'язане з утворенням в ній бульбашок пари. Утворення бульбашок пари значно інтенсифікується за наявності в рідині центрів кипіння. За таких умов одержуються бульбашки меншого розміру.

Використання в якості центрів кипіння лінійних капілярів дає змогу також отримувати в апараті бульбашки заданого діаметра. Таким чином лінійні капіляри можна використовувати як генератори парової фази.

Дослідженню такого процесу, як утворення бульбашок пари в капілярі при вакуумуванні, не приділено достатньої уваги, тому постановку цієї задачі вважаємо своєчасною та доцільною. При цьому важливе значення має оцінка частоти виходу бульбашок парової фази з капіляра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування кипіння рідини під вакуумом дозволяє інтенсифікувати процес екстрагування завдяки значному перемішуванню в рідині [1]. У більшості роботах, пов'язаних із вивченням кипіння рідин, досліджується цей процес без використання вакуумування [3]. У патентній літературі описано генератор парової фази у вигляді підігрівача, над яким розміщений шар із кульок хімічно інертного матеріалу, розміщеного між двома перфорованими решітками [2].

**Мета роботи.** Оцінка частоти утворення бульбашок пари в одиночному капілярі в умовах кипіння рідини під вакуумом.

Процеси, що перебігають в присутності рідкої і твердої фази, знаходять широке застосування в різних галузях хімічної, фармацевтичної, нафтохімічної та харчової промисловості, в галузях. Сюди належать екстрагування, розчинення, вилуговування. Одним з методів їх інтенсифікації є використання кипіння рідини під вакуумом.

При кипінні рідини під вакуумом парова фаза у вигляді бульбашок утворюється як на поверхні твердої фази, так і у капілярах пористого тіла. Розширюючись у капілярі, бульбашка пари виходить в основну масу рідини. Збільшення кількості парової фази забезпечує руйнування пограничного дифузійного шару, що веде до зменшення енергетичних витрат під час екстрагування цільового компонента.

Інтенсивність утворення бульбашок пари залежить від багатьох параметрів: температури та тиску в системі, густини рідини, в'язкості, поверхневого натягу, наявності домішок і т. д. За наявності в рідині центрів кипіння утворення парової фази значно інтенсифікується. У результаті отримується велика кількість бульбашок пари, що веде до інтенсивного перемішування рідини в апараті. Це дає змогу значно прискорювати процеси тепло- та масообміну. Крім того, знижуються затрати на перемішування рідини.

Застосування вакуумування дає змогу також знизити температуру кипіння рідини. Отже, зменшуються енергозатрати, пов'язані з нагріванням рідини. Крім того, це дозволяє працювати з компонентами системи, що не витримують високих температур.

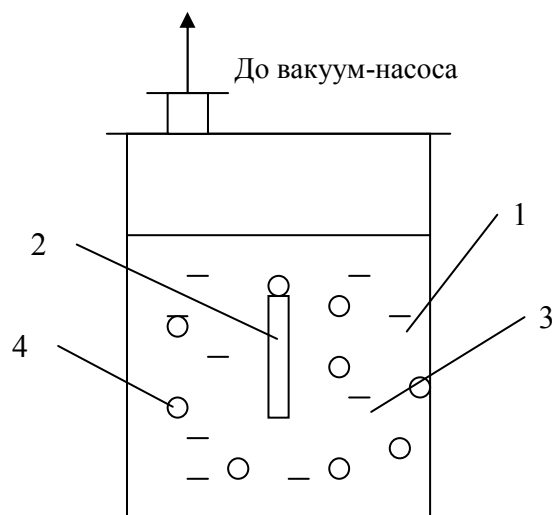
Враховуючи вищенаведене та на основі аналізу літературних джерел із досліджуваної тематики, вивчення процесу пароутворення у лінійних капілярах в умовах кипіння рідини під вакуумом має теоретичне значення для оцінювання процесу екстрагування з пористих тіл.

У роботі було проведено експериментальне дослідження частоти утворення бульбашок пари у модельних лінійних капілярах на експериментальній установці, яка описана в [4]. Схему установки показано на рисунку.

Методика проведення експерименту полягала в наступному. Виготовлені із скла лінійні капіляри завдовжки 30 мм і діаметром 1 мм закріплювались в реакторі експериментальної установки 1. Реактор заповнювався до певного об'єму рідиною 3. В цьому разі ми взяли дистильовану воду. Реактор нагрівався до температури кипіння, після чого вмикався вакуум-насос і в реакторі створювався необхідний вакуум, який відповідав температурі кипіння рідини.

При досягненні сталого кипіння в рідину поміщали порожній капіляр. Після цього фіксувався час виходу певної кількості бульбашок пари з капіляра. Досліди проводились до отримання такої кількості результатів, яка давала б нам змогу з достатньо великою достовірністю оцінити частоту цього процесу.

Перша група дослідів проводилася з метою оцінити вплив способу розміщення капіляра на частоту виходу бульбашок пари. Для цього, дотримуючись вищевказаної методики, капіляр розміщували в реакторі спочатку вертикально, потім горизонтально, а потім під кутом 45°. У всіх випадках визначалася частота утворення бульбашок пари.



*Експериментальне дослідження процесу утворення бульбашок пари в капілярі:  
1 – реактор; 2 – капіляр; 3 – рідина; 4 – бульбашка пари*

Друга група дослідів проводилася для оцінки впливу температури в системі на частоту виділення бульбашок пари. Експерименти проводили, змінюючи температуру рідини в реакторі в інтервалі 65...95 °С.

Статистичне оброблення експериментальних даних проводилася для визначення середнього значення частоти виходу бульбашок пари з капіляра і встановлення існування залежності цього параметра від умов проведення дослідів (температури та способу розміщення капіляра). Було використано методику оцінки результатів досліджень, наведену в [4]. Середні значення частоти виходу бульбашок пари наведені в таблиці.

#### Частота виходу бульбашок пари з капіляра

Температура, °С	Частота виходу, 1/с		
	вертикальне розміщення	горизонтальне розміщення	під кутом 45°
65	2,22	2,22	2,21
70	2,3	2,31	2,3
75	2,38	2,39	2,38
80	3,05	3,03	3,04
85	3,12	3,11	3,12
90	3,22	3,21	3,21
95	3,57	3,57	3,57

**Висновки.** Результати оцінки експериментальних даних, отриманих при різних способах розміщення капілярів, показують, що цей параметр не впливає на частоту виходу бульбашок пари.

Результати оцінки другої групи дослідів показують, що із зростанням температури рідини зростає і частота виходу бульбашок пари. Отриманий коефіцієнт кореляції ( $r=0,96$ ) показує достатньо тісну залежність між цими параметрами.

1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (система твердое тело-жидкость). – Л.: Химия, 1974. 2. Декларацийний патент на винахід №28632А. Массообмінний апарат для системи тверда фаза-рідина. – 2000, Бюл. № 5–11 3. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. – М.: Химия, 1972. 4. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. – Л.: Химия, 1971. 5. Гумницький Я.М., Венгер Л.О., Юрим М.Ф. Оцінка зовнішньої дифузійної стадії екстрагування з позиції не стаціонарності при вакуумуванні системи // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 426. – С. 68–73.