

М.Ф.Юрим, к.т.н., доц., А.В.Сибірний, к.б.н., Я.М.Ханик, д.т.н., проф., О.-Р.В.Мартиняк, к.т.н., доц., О.С.Філяк, к.б.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРОДИНАМІКИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ХІМІЧНОГО РОЗЧИНЕННЯ ФОСФОГІПСУ

Одержана математична модель гідродинаміки пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу в пульсуючому потоці рідкої фази. Перевірена адекватність і оцінена параметрична чутливість моделі. Модель може бути використана для опису будь-якого масообмінного пристрою з циркуляційним контуром і пульсуючим потоком рідкої фази.

В теперішній час однією з найбільш актуальних проблем є проблема масштабування промислових апаратів з оптимальними властивостями, отримання кількісного опису процесів, що проходять в них, передбачення основних характеристик цих апаратів при переході від одного масштабу до іншого. У зв'язку з цим зросла роль математичного моделювання як важливої передумови збільшення темпів переходу від масштабу лабораторних установок до апаратів промислових розмірів.

Об'єктом дослідження є пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу з пульсуючим потоком рідкого середовища, схема якого показана на рис. 1.

Даний пристрій суміщає простоту конструкції з високою ефективністю процесів масообміну в системі тверда фаза-рідина, що відкриває сприятливі умови для використання його в галузі охорони навколишнього середовища та в різних галузях хімічної промисловості.

Відомо, що в системах з твердою фазою, якою є фосфогіпс, швидкість процесу масообміну (розчинення) лімітується дифузією із пор, тому що тверда фаза представляє собою сегреговану систему і процес розчинення в частинках різного розміру проходить з різною швидкістю. Ось чому для отримання однакового ступеня розчинення твердої фази необхідно забезпечити відповідний час перебування частинок кожного розміру в реакційній зоні пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу [1, 2, 5]. Досліджуваний пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу дозволяє реалізувати таку можливість.

Пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу містить реактор 1, зібраний із конічних труб, верхня із яких оснащена патрубком 4 для відведення твердого сульфату амонію, а нижня - патрубком 5 для підведення газоподібної вуглекислоти, і за допомогою перистальтичного насоса 6 з'єднана із циркуляційним контуром, який складається із вертикальної труби 2, у верхній частині якої знаходиться сепаратор 3, а в нижній - патрубок підведення аміачно-фосфогіпсової суспензії 7, який оснащений вібронасосом 8, поміщеним у посудину 9 з аміачно-фосфогіпсовою суспензією.

Пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу працює наступним чином. Попередньо приготована аміачно-фосфогіпсова суспензія із посудини 9 вібронасосом 8 подається у патрубок 7, звідки перистальтичним насосом 6 засмоктується одночасно із потоком суспензії, яка опускається по циркуляційній трубі 2 і направляється в реактор 1, у якому проходить інтенсивне розчинення фосфогіпсу в пульсуючому потоці з крупномасштабними амплітудами пульсацій. З реактора реакційна суміш поступає у сепаратор 3, де відбувається розділення трифазної системи з відведенням газоподібної фази, а нерозчинена суспензія подається в трубу 2 де проходить її повторне розчинення у пульсуючому потоці, який утворюється внаслідок засмоктування суспензії перистальтичним насосом 6. Готовий твердий продукт у вигляді пульпи аміачно-кальцієвих добрив відводиться патрубком 4, звідки він поступає на подальшу переробку.

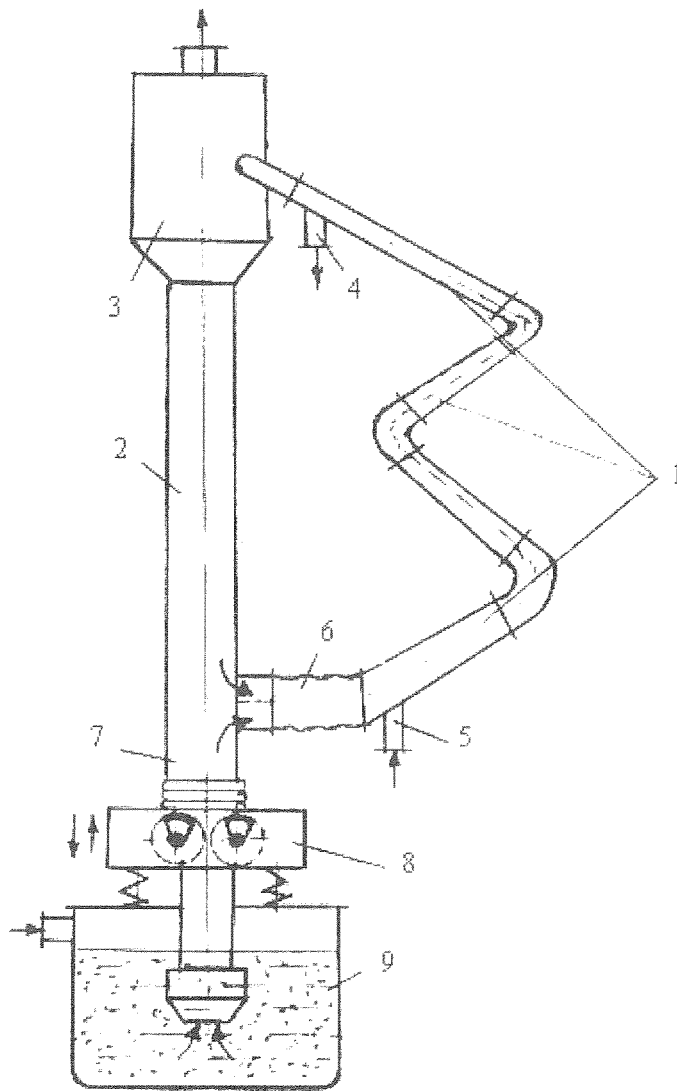


Рис. 1. Схема досліджуваного пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

З'єднання реактора з циркуляційним контуром за допомогою перистальтичного насоса і оснащення патрубка підведення аміачно-фосфогіпсової суспензії вібронасосом забезпечують створення пульсуючого потоку суспензії крупномасштабних амплітудних характеристик як в реакторі, так і в циркуляційному контурі пристрою.

У наш час розроблений математичний апарат, який дозволяє з достатньою точністю описати гідродинаміку і масообмін в технологічних пристроях різних типів [2, 3, 5]. З метою опису гідродинаміки досліджуваного пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу доцільно використати коміркову модель із зворотними потоками [1, 2]. Із врахуванням особливостей конструкції розглянутого пристрою, за основу математичного опису прийнята комбінована модель структури потоків, яка складається із двох паралельних зон, об'єднаних потоком рециркуляції. Через велику швидкість руху суспензії в трубах реактора (діаметр труб набагато менший за їх довжину) зворотний потік тут практично відсутній. Тому, з метою опису гідродинаміки в трубах реактора пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу прийнято коміркову модель, а для циркуляційної труби пристрою – коміркову модель із зворотними потоками [1, 2, 3]. Структура потоків такої моделі показана на рис. 2. Із врахуванням прийнятих позначень і схеми структури потоків приведеної на рис. 2, модель гідродинаміки пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу можливо описати наступною системою диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta V}{V_0} \frac{dC_1}{d\tau} = C_0 + fC_2 - [(1+f) - \varphi] C_1 - \varphi \cdot C_1 \\ \frac{\Delta V}{V_0} \frac{dC_j}{d\tau} = f \cdot C_{j+1} + [(1+f) - \varphi] \cdot C_{j-1} - f \cdot C_j - [(1+f) - \varphi] \cdot C_j \\ \frac{\Delta V}{V_0} \frac{dC_n}{d\tau} = \varphi \cdot C_m + [(1+f) - \varphi] \cdot C_{n-1} - f \cdot C_n - C_n \\ \frac{\Delta V_1'}{V_0} \frac{dC_1'}{d\tau} = \varphi \cdot (C_1 - C_1') \\ \frac{\Delta V_1'}{V_0} \frac{dC_i'}{d\tau} = \varphi \cdot (C_{i-1} - C_i') \\ \frac{\Delta V_1'}{V_0} \frac{dC_m'}{d\tau} = \varphi \cdot (C_{m-1} - C_m') \end{array} \right. \quad (1)$$

де $\Delta V_1' = V_1'/m$ – об'єм ділянки труб реактора пристрою, m^3 ;
 $\Delta V = V/n$ – об'єм ділянки циркуляційної труби пристрою, m^3 ;
 $\eta = V_1/V_0 = (V_0 + \omega) - U/V_0 = (1+f) - \varphi$ – відносна доля прямого потоку суспензії;
 $f = \omega/V_0$ – відносна доля зворотного потоку суспензії;
 $\varphi = U/V_0$ – відносна доля потоку рециркуляції;
 V – вільний об'єм циркуляційної труби пристрою, m^3 ;
 V_1' – вільний об'єм труб реактора пристрою, m^3 ;
 n – число комірок циркуляційної труби пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу;
 m – число комірок труб реактора пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

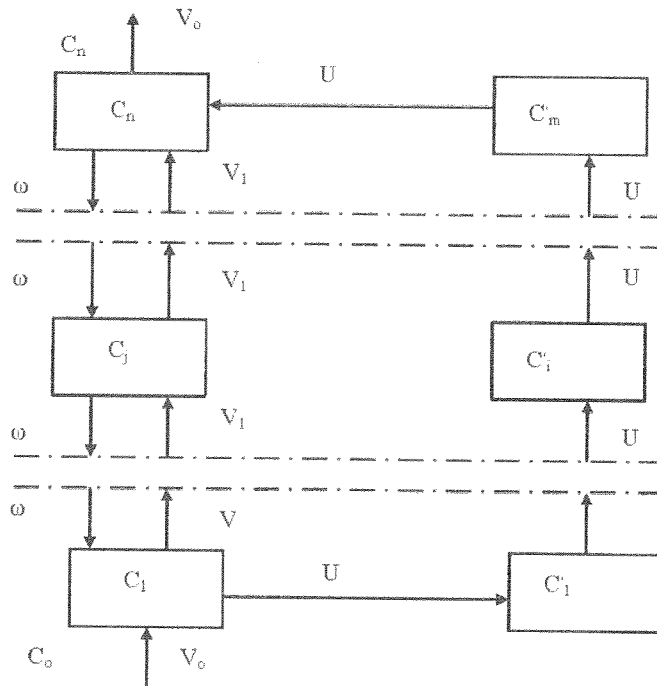


Рис. 2. Структура потоків моделі досліджуваного пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

V_1 - прями́й поті́к моделі, $\text{м}^3/\text{с}$;
 ω - зворотний поті́к моделі, $\text{м}^3/\text{с}$;
 U - поті́к рециркуляції, $\text{м}^3/\text{с}$;
 C_i - значення концентрації індикатора в i -й комі́рці труб реактора пристрою, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 C_j - значення концентрації індикатора в j -й комі́рці циркуляційного контура, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 V_0 - об'ємні витрати (навантаження на пристрій), $\text{м}^3/\text{с}$;
 C_0 - концентрація індикатора на вході в пристрій для хімічного розчинення фосфогіпсу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Система (1) інтегрувалась на ПК методом Рунге-Кутта [4]. Блок-схема алгоритму розв'язку системи (1) наведена на рис. 3, результати розв'язку - на рис. 4.

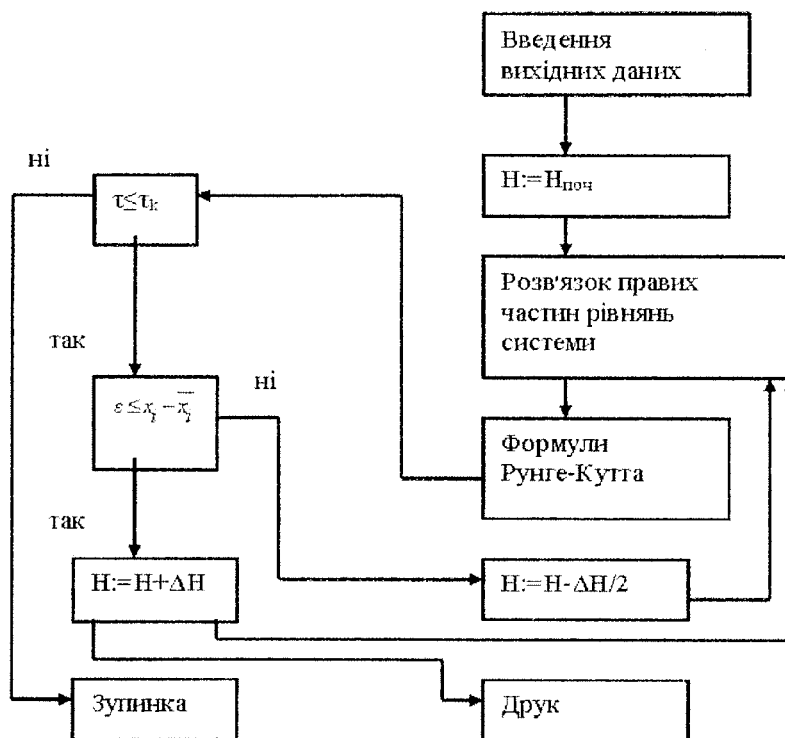


Рис. 3. Блок-схема алгоритму розв'язку системи рівнянь (1).

Для перевірки адекватності моделі знято експериментальну С-криву на виході модельованого пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

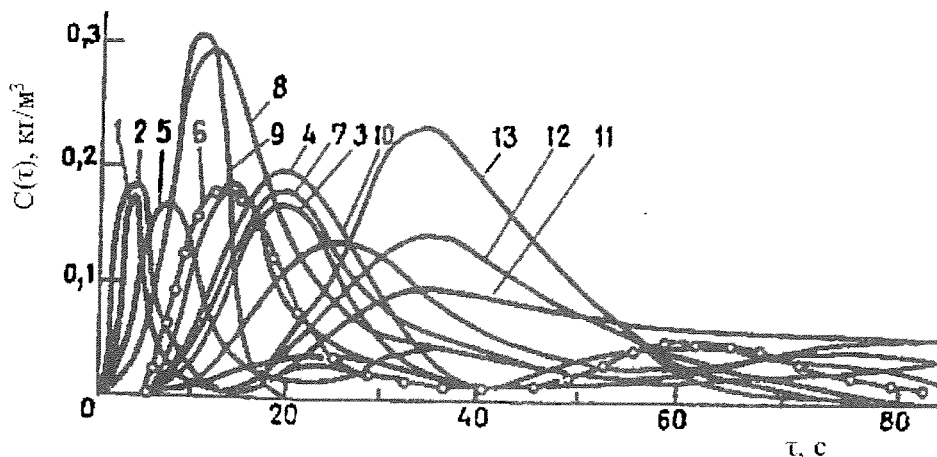


Рис. 4. Оцінка параметричної чутливості моделі (точками позначена експериментальна С-крива), отримана на виході модельованого пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

Результати експериментальних досліджень вказані на рис. 4, де точками позначена експериментальна С-крива. Отримана експериментальним шляхом С-крива достатньо задовільно співпадає з теоретичною (рис. 4, крива 6), одержаною шляхом розв'язку системи (1). Ця обставина дозволяє зробити висновок, що система (1) адекватно описує гідродинаміку досліджуваного пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу.

При математичному моделюванні пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу виникає задача оцінки параметричної чутливості моделі, яку необхідно проводити, як при перевірці адекватності моделі і об'єкта дослідження, так і при визначенні параметрів моделі згідно експериментального профілю концентрацій. При цьому точність визначення констант моделі залежить від чутливості характеристик процесу до зміни шуканого параметру. Оцінку параметричної чутливості проводили за наступними параметрами: η - доля прямого потоку в циркуляційній трубі пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу; f - доля зворотного потоку в циркуляційній трубі пристрою; ϕ - доля потоку рециркуляції; V_0 - навантаження на пристрій.

Якісна оцінка впливу на профіль концентрацій вказаних параметрів показана на рис. 4. Відлік комірок моделі здійснювався зі сторони входу суспензії. Кількісна оцінка впливу параметрів моделі на середній час перебування і дисперсію приведена в таблиці. Номер за порядком в таблиці відповідає номеру кривої на рис. 4.

Таблиця

Кількісна оцінка впливу параметрів моделі на середній час перебування і дисперсію моделі.

№ з/П	F	H	Ф	$V_0 \cdot 10^5, \text{M}^3/\text{C}$	T, C	$\Sigma \tau^2$
1	1,5	1,0	1,5	8,1	9,58	9,16
2	1,5	0,5	2,0	8,1	10,15	8,91
3	1,5	0,5	2,0	1,4	33,14	0,47
4	3,5	1,0	1,5	1,4	31,09	0,83
5	3,5	1,5	3,0	2,8	15,74	3,36
6	3,5	1,5	3,0	1,4	26,13	2,24
7	1,5	1,5	6,0	1,4	22,46	0,73
8	2,0	-1,5	4,0	1,4	27,45	1,21
9	2,0	-1,0	4,0	1,4	11,32	1,48
10	2,0	1,0	2,0	1,4	37,50	0,31
11	2,0	2,0	1,0	1,4	48,35	0,16
12	0,5	0,5	1,0	1,4	44,06	0,87
13	0,5	0,5	2,0	1,4	46,67	0,72

Отже, запропонована у статті математична модель гідродинаміки пристрою для хімічного розчинення фосфогіпсу, дозволяє здійснити перехід від масштабів установки лабораторних розмірів до установки промислового зразка, на основі одержаного в статті оптимального варіанту його конструкції. Це дає можливість значно скоротити термін впровадження установки у виробничий процес переробки фосфогіпсу. На сьогоднішній день відповідних аналогів конструкції пристроїв для переробки фосфогіпсу у вітчизняних і зарубіжних наукових джерелах не знайдено. Цей факт свідчить про новизну запропонованого пристрою та його ефективність для утилізації відходів фосфогіпсу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Солтис М. М., Загордонський В. П. Теоретичні основи процесів хімічної технології. - Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. - 430 с.
2. Кафаров В. В. Методи кібернетики в хімії і хімічеській технології. - М.: Хімія, 1986. - 465 с.
3. Батунер Л. М., Позин М. Е. Математичеські методи в хімічеській техніці. - Л.: Хімія, 1988. - 820 с.
4. Кафаров В. В., Ветохин В. Н., Бояринов А. И. Программування і вичислювальні методи в хімії і хімічеській технології. - М.: Наука, 1982. - 480 с.
5. Рудавський Ю.К., Мокрий С. М., Піх З. Г., та інші. Математичні методи в хімії та хімічній технології. - Львів: Світ, 1993. - 206 с.

УДК 614.842.86

Б.В. Штайн, ад'юнкт, Б.В. Болібрех, к.т.н, доцент, начальник кафедри (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОСТІЙКИХ ПАРАМЕТРІВ СПЕЦМАТЕРІАЛУ ТЕПЛОЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКА

Стаття присвячена створенню приладу для дослідження теплозахисних параметрів спецматеріалу теплозахисного одягу пожежника при комплексній дії на нього теплової радіації (інфрачервоного випромінювання, відкритого полум'я, конвекційного і контактного тепла).

Одним із засобів призначених для забезпечення відповідного захисту пожежника в умовах теплової радіації є захисний одяг. Рівень захисту залежить від теплопровідності, горючості та здатності верху матеріалу відбивати інфрачервоне випромінювання, а також від його конструктивного виконання.

Випробовування захисного одягу пожежника проводиться у відповідності з Державним стандартом України 4366 «Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробовування» [1], який розроблено і гармонізовано відповідно до Європейського ISO 11613:1999, та Міжнародного стандартів EN 469:1995. На сьогоднішній день в Україні існують певні вимоги і методики випробовування (табл. 1) .

Таблиця 1

Показники якості теплозахисного одягу загального типу

Показник	Норми ТЗОЗТ пожежника
Тривкість до дії теплового випромінювання за поверхневої густини теплового потоку, с, не менше: -7 кВт/м ² -40 кВт/м ²	180 10
Тривкість до дії відкритого полум'я: - тривалість залишкового горіння, с, не більше; - тривалість залишкового тління, с не більше ніж	2 2
Тривкість до дії температури (теплостійкість), с, не менше: - 300 °С	300
Тривкість до контакту з нагрітою до 400 °С твердою поверхнею, с, не менше:	7