

## ГІДРОДИНАМІКА СИСТЕМИ ТВЕРДЕ ТІЛО – РІДИНА – ГАЗ ПІД ЧАС НАНЕСЕННЯ ПОКРИТЬ У ЗВАЖЕНОМУ СТАНІ

© Нагурський О.А., 2010

Виконано теоретичні та експериментальні дослідження комплексного впливу рідкої фази на гідродинамічні параметри псевдозрідженого шару дисперсного матеріалу. Встановлено, що рідка фаза, як компонент псевдозрідженого шару і оболонка, яка формується на поверхні частинок матеріалу, вимагають додаткових енергетичних затрат на підтримання заданих гідродинамічних параметрів. Отримана аналітична залежність для розрахунку зміни гідродинамічних показників роботи апарата псевдозрідженого шару.

Theoretical and experimental researches of complex influence of liquid phase are conducted on hydrodynamic parameters pseudo the fluidized layer of dispersible material. It is set that liquid phase, as a component pseudo the fluidized layer and shell which is formed on-the-spot particles of material, require additional power expenses on maintenance of hydrodynamic preset a parameter. Analytical dependence is got for the calculation of change of hydrodynamic indexes of work of vehicle pseudo the fluidized layer.

**Постановка проблеми.** Закономірності гідродинамічних процесів псевдозрідженого шару дисперсного матеріалу достатньо вивчені і широко описані в науково-технічній літературі [1–3]. Досліджували із двома об'єктами: дисперсним матеріалом і зріджуючим агентом (газ або рідина). Під час капсулювання в апаратах зваженого шару окрім матеріалу та псевдозріджуючого повітря в робочій зоні присутній розчин або розплав плівкоутворювача. Отже, утворюється система з трьома взаємодіючими компонентами, які перебувають в різних агрегатних станах: тверде тіло – рідина – газ. Під час капсулювання на поверхні частинок матеріалу формується покриття, яке змінює фізичні параметри твердого матеріалу, що впливають на гідродинаміку, – густину і розміри. Гідродинамічний режим псевдозрідженого шару є одним із визначальних параметрів тепло-, масообміну під час капсулювання дисперсного матеріалу. Враховуючи це, необхідним є дослідження впливу рідинної фази на перебіг цього процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальні властивості зважених систем визначаються фізичними характеристиками матеріалу, швидкістю газу, перепадом тиску в шарі, геометричними параметрами шару, режимом псевдозрідження [1–3]. Всі ці параметри є взаємопов'язані і здійснюють різний вплив на кінетику процесу. Під час практичних розрахунків технологічних параметрів в апаратах псевдозрідженого стану використовують такі вихідні дані, як діаметр частинок матеріалу та його густина, в'язкість та густина зріджуючого агента, порожність шару матеріалу. Технологічні параметри, які визначають під час розрахунків, є: швидкість зріджуючого агента, перепад тисків у шарі матеріалу, висота шару.

**Мета роботи.** Метою роботи є вивчення впливу диспергованої рідкої фази на основні гідродинамічні показники псевдозрідженого шару твердого матеріалу під час капсулювання розчинами плівкоутворюючих композицій.

Складаючи математичну модель, розглядаємо монодисперсний шар твердого матеріалу, який безперервно зрошується рідиною.

Вважали, що цей процес здійснюється за таких умов:

- шар матеріалу перебуває в стані стійкого псевдозрідження;
- рідина, яка подається, перебуває у вигляді окремих частинок у вільному просторі шару;
- швидкість та температура псевдозріджуючого агента залишаються постійними по висоті шару;
- апарат періодичної дії, циліндричної дії.

Під час капсулювання плівкоутворююча композиція подається в шар матеріалу у диспергованому вигляді. Осідаючи на поверхні частинок, краплина плівкоутворювача припиняє своє існування як самостійний об'єкт процесу. Однак зрошення матеріалу відбувається, під час нарощування покриття, безперервно. Це дає підстави припустити, що в певному об'ємі шару існує суміш дисперсних матеріалів з частинок розмірів  $d_1$  і  $d_2$ . У першому наближенні вважатимемо, що розміри та густина частинок матеріалу залишаються незмінними.

Зростає вага шару матеріалу, оскільки з'являється другий компонент. Напір псевдозріджуючого повітря, необхідний для підтримання шару матеріалу у зваженому стані, визначається за рівнянням [1– 3]:

$$\Delta p = \frac{G}{S} \quad (1)$$

де  $G$  – вага шару матеріалу, кг;  $S$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>.

Вага шару матеріалу складається з ваги твердих частинок  $G_T$  і диспергованої рідкої фази  $G_P$ . Вважатимемо, що загальний опір шару  $\Delta p$  складається з опору твердих частинок  $\Delta p_T$  і рідини  $\Delta p_P$ , та відповідно записати рівняння (1) для кожного компоненту окремо:

$$\Delta p_T = \frac{G_T}{S} \quad (2)$$

$$\Delta p_P = \frac{G_P}{S} \quad (3)$$

Збільшення необхідного напору повітря у разі подавання диспергованої рідкої фази по відношенню до самого твердого матеріалу, враховуючи рівняння (1), (2), (3), можна подати у вигляді такої залежності:

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_T} = 1 + \frac{G_P}{G_T} \quad (4)$$

Співвідношення  $\Delta p / \Delta p_T$  позначимо через  $K_z$  і назовемо гідродинамічним коефіцієнтом зрошення, який показує в скільки разів зростає гідравлічний опір псевдозрідженого шару матеріалу, зрошеного рідинною фазою порівняно з сухим.

Важливим параметром процесу, як було відзначено вище, є також швидкість повітря в апараті. Напір, який створює вентилятор, пов'язаний з його продуктивністю такою залежністю [4, 5]:

$$N = \frac{Q \Delta p}{1000 \eta} \quad (5)$$

де  $Q$  – продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $N$  – потужність приводу, кВт;  $\eta$  – ККД вентилятора.

З цього рівняння виразимо  $\Delta p$  і запишемо окремо, відповідно, для зрошеного і сухого матеріалу:

$$\Delta p = \frac{1000 N \eta}{Q} \quad (6)$$

$$\Delta p_T = \frac{1000 N \eta}{Q_T} \quad (7)$$

Враховуючи отримані рівняння, співвідношення  $\Delta p / \Delta p_T$  у цьому випадку матиме такий вигляд:

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_T} = \frac{Q_T}{Q} \quad (8)$$

або з врахуванням  $K_r$  можна записати:

$$Q = Q_T / K_r \quad (9)$$

У цьому рівнянні об'ємну витрату повітря запишемо через його швидкість  $w$ , скоротивши подібні члени, отримаємо

$$w = w_T / K_r \quad (10)$$

Це рівняння дає змогу визначити зміну швидкості псевдозріджуючого агенту у разі зрошення шару матеріалу рідиною.

Рідина під час зрошення псевдозрідженого шару перебуває в трьох видах:

- 1) окремих краплин у просторі поміж частинок матеріалу;
- 2) тонкої плівки на поверхні частинок;
- 3) пари в середовищі псевдозріджуючого повітря.

Перший і другий види збільшують вагу дисперсного шару, а отже, мають визначальний вплив на гідродинамічні параметри. Третій збільшує загальну витрату пароповітряної суміші, впливом якої можна знехтувати. Здійснення теоретичних розрахунків вимагає визначення кількості рідини, яка перебуває в рідкому стані.

Задля розв'язання цієї задачі приймаємо такі допущення:

- вся рідина випаровується в об'ємі шару і не виноситься за його межі;
- у разі введення в шар, рідина займає всю площу поперечного перерізу і рухається в режимі ідеального витіснення;
- швидкість руху рідини та пари дорівнює швидкості руху псевдозріджуючого повітря.

Тоді можемо записати, що маса води в шарі дорівнюватиме:

$$G_e = m_o \tau \quad (11)$$

де  $m_o$  – масова витрата води на вході в апарат, кг/с;  $\tau$  – час перебування води в шарі, с.

Час перебування води в шарі в цьому випадку можна визначити з такого рівняння:

$$\tau = \frac{H}{w \varepsilon} \quad (12)$$

Прийmemo лінійний характер зміни кількості води в рідкому стані. Тоді її можна описати рівнянням такого вигляду:

$$m = G_b - aH \quad (13)$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності.

Ця величина за фізичним змістом є кількість випареної рідини відносно висоти шару матеріалу із розмірністю [кг/м].

Тоді кількість води у рідкому стані можна визначити шляхом інтегрування біжучої маси води в будь-якому перерізі шару:

$$G_p = \frac{\int_0^H m dH}{H} \quad (14)$$

або з врахуванням рівнянь (11), (12) і (13):

$$G_p = \frac{\int_0^H \left( \frac{m_o H}{w \varepsilon} - aH \right) dH}{H} \quad (15)$$

У результаті інтегрування отримуємо таку залежність:

$$G_p = \left( \frac{m_0}{w\varepsilon} - a \right) \frac{H}{2} \quad (16)$$

Це рівняння дає змогу визначити кількість рідкої фази в об'ємі псевдозрідженого шару дисперсного матеріалу.

Записавши рівняння (4) з врахуванням (16), отримаємо

$$K_r = 1 + \frac{H}{2G_r} \left( \frac{m_0}{w\varepsilon} - a \right) \quad (17)$$

Це рівняння дає змогу теоретично розрахувати зміну гідродинамічних умов роботи апарата псевдозрідженого шару під час зрошення його рідинною фазою.

Розробляючи математичні залежності впливу рідинної фази на гідродинаміку псевдозрідженого шару, вважали, що вага шару матеріалу залишається незмінною. Однак, під час капсулювання дисперсного матеріалу на його поверхні формується оболонка, яка збільшує розміри і масу частинки. Маса нанесеного покриття може досягати 20 % від маси матеріалу, тому доцільним є врахування впливу зміни маси псевдозрідженого шару на гідродинаміку процесу. Для цього в рівнянні (3.2) до ваги твердих частинок необхідно додати вагу покриття. Кількість полімеру в шарі матеріалу за час тривалості процесу безперервно зростає. Масу полімера можна визначити за таким рівнянням:

$$G_n = m_n C_n \tau_n \quad (18)$$

де  $m_n$  – інтенсивність подавання плівкоутворюючого розчину в шар матеріалу, кг/с;  $C_n$  – концентрація плівкоутворюючої композиції в розчині, % мас;  $\tau_n$  – час нанесення плівкового покриття, с.

Тоді рівняння (4) перепишемо з врахуванням маси полімеру

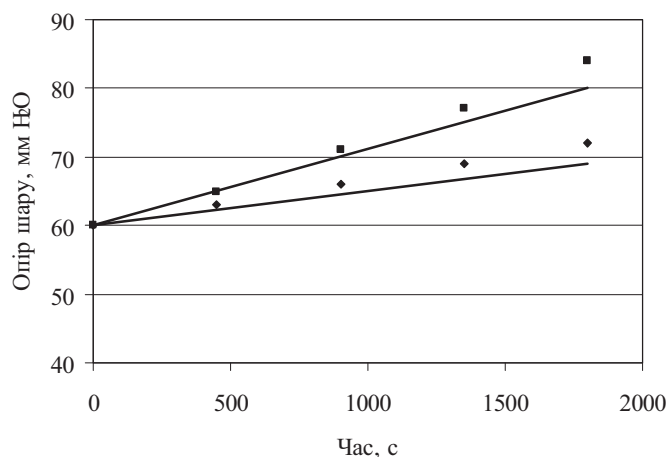
$$\frac{\Delta p}{\Delta p_T} = 1 + \frac{G_p + G_n}{G_T} \quad (19)$$

Відповідно, рівняння для визначення гідродинамічного коефіцієнта зрошення, з врахуванням (18) і (19), запишемо такому вигляді:

$$K_r = 1 + \frac{1}{G_T} \left[ \frac{H}{2} \left( \frac{m_0}{w\varepsilon} - a \right) + m_n C_n \tau_n \right] \quad (20)$$

Отримана залежність дає можливість розраховувати зміну гідродинамічних параметрів псевдозрідженого шару дисперсного матеріалу під час його капсулювання плівкоутворюючими композиціями.

З метою перевірки отриманої математичної залежності впливу капсулювання дисперсного матеріалу на гідродинамічні параметри псевдозрідженого шару розраховували зміни опору за рівняннями (1), (20) для умов проведення експериментальних досліджень. Результати в графічному вигляді наведені на рисунку. Як видно із отриманих залежностей різниця між теоретичними і експериментальними значеннями опору псевдозрідженого шару зростає із збільшенням часу процесу. Це явище можна пояснити тим, що в об'ємі оболонки перебуває певна частка вологи, кількість



Порівняння експериментальних (точки) і теоретичних (лінії) результатів впливу капсулювання на опір псевдозрідженого шару за різної витрати плівкоутворюючого розчину ( $10^3$  кг/с):  
1 – 0,15, 2 – 0,3

якої збільшується із відповідним зростанням товщини покриття. Це не враховували під час написання математичних залежностей процесу. У реальних умовах, здійснюючи капсулювання дисперсних матеріалів, існує стадія досушування покриття, у результаті якого видаляється зайвий розчинник [6].

Розрахунок значення середньоквадратичного відхилення показав, що ця величина не перевищує, для випадку зрошення шару дистильованою водою, 27 %. Це вказує на адекватність отриманої математичної моделі експериментальним даним.

**Висновки.** У результаті виконаних теретичних та експериментальних досліджень встановлено вплив диспергової рідкої фази на гідродинаміку капсулювання твердих матеріалів в стані псевдозрідження. Отримані аналітичні залежності можна використати під час розрахунків технологічних параметрів роботи установок псевдозрідженого шару з капсулювання дисперсних матеріалів.

1. Куниш Д., Левенитиль О. *Промышленное псевдооживление. США, 1969 / Пер. с англ. под ред. М.Г. Слинько и др.* – М.: Химия, 1976. – 448 с. 2. Гельперин Н.И., Айништейн В.Г., Кваша В.Б. *Основы техники псевдооживления.* – М.: Химия, 1967. – 664 с. 3. *Псевдооживление / Под ред. И. Девидсона и Д. Харрисона; Пер. с англ. под ред. проф. Н.И. Гельперина.* – М.: Химия, 1974. – 728 с. 4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. *Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.* – Л.: Химия, 1987. – 576 с. 5. Кафаров В.В. *Методы кибернетики в химии и химической технологии.* – М.: Химия, 1985. – 448 с. 6. Демчук И.А. *Разработка технологии и моделирования процессов капсулирования твердых лекарственных форм в псевдооживленном слое: Дис. ...канд техн. наук: 05.17.08.* – Львов, 1991. – 203 с. – Машинопис.

УДК 66.047.45

О.Р. Попович, Ю.Й. Ятчишин, Г.З. Кіндій, М.В. Леськів  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра екології та охорони навколишнього середовища

## АНАЛІЗ ПОЛІТИКИ ПЕРЕДОВИХ КРАЇН СВІТУ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАПРАЦЬОВАНОЇ СТРАТЕГІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ

© Попович О.Р., Ятчишин Ю.Й., Кіндій М.В., Леськів Г.З., 2010

**Запропоновано шлях до покращання економіки держави та вирішення проблеми охорони довкілля, збільшення ринку екологічно чистої продукції через введення пільг у систему оподаткування для підприємств, які використовують екологічно чисті технології.**

**It is suggested the way for the improvement of economy of our state, solving the problem of environment protection, increasing of the market of ecological pure production through the introduction of privileges into the system of taxation for enterprises, which use ecological pure technologies.**

**Вступ:** Відомо, що благоустрій кожної країни залежить від стану економіки і здоров'я населення, а здоров'я насамперед залежить від екологічного стану середовища. Тому проблема прийняття оптимальної стратегії поводження з твердими побутовими відходами [1–8], які створюють значну екологічну загрозу розвитку людства, є актуальною, а вирішення її сприятиме збалансованому сталому розвитку суспільства.