

УДК 504.062:574, 504.7:574, 66.02

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ ПРОЦЕСУ КАПСУЛЮВАННЯ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СТАНІ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

Наведено результати експериментальних досліджень теплообміну процесу капсулювання водним розчином плівкоутворювача дисперсних матеріалів в стані псевдозрідження

Ключові слова: теплообмін, капсулювання, псевдозрідження

Приведены результаты экспериментальных исследований теплообмена процесса капсулирования водным раствором пленкообразователя дисперсных материалов в состоянии псевдооживления

Ключевые слова: теплообмен, капсулирование, псевдооживление

Results of experimental investigations of heat exchange during encapsulation of disperse materials in fluid bed by water solution of film-former are presented

Keywords: heat exchange, encapsulation, fluid bed

О. А. Нагурський

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (032) 258-24-53

E-mail: nahurskyy@mail.ru

Я. М. Гумницький

Доктор технічних наук, професор*

*Кафедра "Екологія та охорона навколишнього середовища"

Національний університет "Львівська політехніка"
вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, 79013

Контактний тел.: (032) 258-23-54, 097-471-63-74

E-mail: jgumnitsky@ukr.net

1. Вступ

Однією з глобальних екологічних проблем сьогодення є забруднення навколишнього середовища залишковими мінеральними добривами [1,2,3,4,5,6,7]. Високопродуктивне сільськогосподарське виробництво ґрунтується на інтенсивному використанні мінеральних добрив, що є необхідним для компенсації вносу разом із урожаєм біогенних елементів [8,9,10,11]. В той же час відомо, що з добрив, внесених в ґрунт, тільки частина засвоюється рослинами. В середньому для усіх сільськогосподарських культур коефіцієнт використання добрив становить: азотних – 50-60%, фосфорних 10-25%, калійних – 50-60% [12]. З цим пов'язано ряд екологічних проблем, таких як: засолення ґрунтів, проникнення компонентів добрив у підземні водні горизонти, їх змив поверхневими водами, забруднення водойм, тощо. Одним із шляхів запобігання забруднення навколишнього середовища мінеральними добривами є використання добрив пролонгованої дії, зокрема капсульованих добрив. Вони забезпечують рослини макро- та мікроелементами протягом вегетаційного періоду або більш тривалий час (кілька

років). Застосування капсульованих добрив також продовжує час його дії і зменшення втрат до водних та повітряних басейнів.

Капсулювання гранульованих мінеральних добрив в силу великотонажності виробництва логічно проводити у високоінтенсивних апаратах киплячого стану. визначаються головним чином теплофізичними характеристиками. Теплообмінні процеси між твердою речовиною, тепловим агентом та плівкою утворюючої рідиною визначають тривалість основної технологічної стадії – нашарування покриття на поверхню гранул, а також і енергетичні затрати в цілому. Представляє практичне зацікавлення дослідження теплообміну процесу капсулювання в киплячому стані нітроамофоски, як комплексного широко використовуваного мінерального добрива, водними розчинами плівко утворюючих композицій.

2. Мета роботи

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі по висоті шару в процесі капсулювання нітроамофоски водним

розчином плівкоутворювача в залежності від швидкості повітря.

Нітроамофоска представляє собою висококонцентроване універсальне азотно-фосфорно-калійне гранульоване мінеральне добриво повністю розчинне у воді, містить поживні речовини в однакових співвідношеннях (16-16-16). Гранулометричний склад: частинки розміром від 5 до 3 мм - 60,5% мас., від 1 до 2 мм - 36,7% мас., менше 1 мм - 2,8% мас.

3. Результати дослідження та їх теоретична інтерпретація

Експерименти проводили на установці та за методикою наведеною у роботі [13].

Мінеральні добрива володіють водопоглинальними властивостями. Щоби уникнути впливу просоченої в гліб частинки матеріалу вологи на результати дослідження проводили паралельно з модельними частинками і з нітроамофоскою. в якості модельного матеріалу використовували частинки кулястої форми, виготовлені з полістиролу, діаметром $5,5 \times 10^{-3}$ м, густина матеріалу 1600 кг/м^3 . у мінерального добрива відсівали фракцію, меншу за 3 мм. розподіл температур в шарі дисперсного матеріалу, який перебуває в стані псевдозрідження і зрошується водою представлений на рис. 1 – модельні частинки, і на рис. 2 – нітроамофоска.

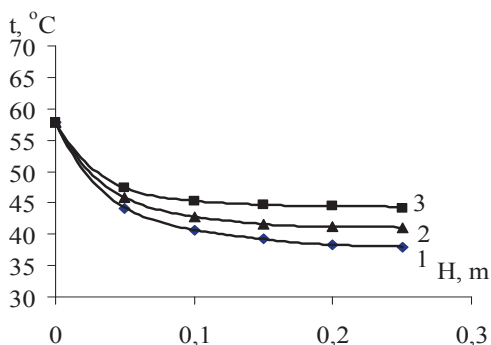


Рис. 1. Розподіл температури повітря по висоті шару модельних частинок за швидкості, (м/с): 1 – 8,5; 2 – 10,5; 3 – 12,1

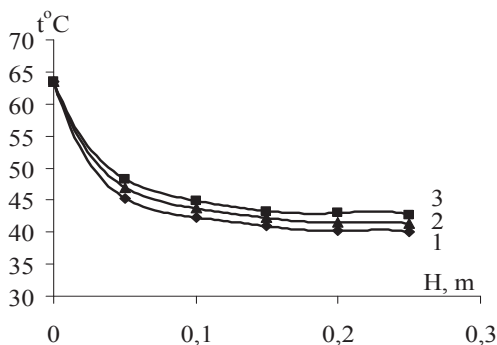


Рис. 2. Розподіл температури повітря по висоті шару нітроамофоски за швидкості, (м/с): 1 – 8,5; 2 – 10,5; 3 – 12,1

Із отриманих результатів видно, що процес теплообміну в умовах зрошення шару частинок рідиною можна умовно розділити на дві стадії:

- теплообмін в умовах зрошення поверхні частинки;
- теплообмін за відсутності рідини на поверхні частинки.

змочення поверхні частинки рідиною можливе лише безпосередньо біля розпилюючої форсунки. Тут же теплообмін проходить з максимальною інтенсивністю. Цьому випадку відповідає ділянка кривої (рис. 2) на відрізку від 0 см до 0,1 м.

Теоретичний опис теплообмінних процесів у псевдозрідженому стані ускладнюється тим, що практично неможливо виміряти температуру поверхні твердих частинок, що перебувають у апараті. У випадку капсульовання на поверхні частинки знаходиться розчинник, що випаровується. Тому можемо прийняти для зони інтенсивного випаровування, що температура поверхні частинок дорівнює температурі мокрого термометра. Також вважаємо, що шар монодисперсний і складається з частинок кулястої форми. В такому разі можемо записати рівняння теплового балансу:

$$V_c \rho_c \left(t + \frac{\partial t}{\partial h} dh \right) + rdW \quad (1)$$

де V_c – витрата псевдозріджуючого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина псевдозріджуючого повітря, кг/м^3 ; c – теплоємність псевдозріджуючого повітря, $\text{Дж}/(\text{кг}\times\text{К})$; t – температура псевдозріджуючого повітря на нижній границі деякого виділеного елементарного об'єму шару дисперсного матеріалу, К ; r – питома теплота пароутворення води, $\text{Дж}/\text{кг}$; W – кількість випареної вологи, $\text{кг}/\text{с}$; h – біжуча висота шару частинок, м .

Кількість видаленої з поверхні dF частинок вологи можна визначити з наступного рівняння:

$$rdW = \alpha dF (t - t_{\text{MT}}) \quad (2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від псевдозріджуючого повітря до поверхні частинки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{град})$; t_{MT} – температура мокрого термометра, К .

Площа поверхні частинок у виділеному об'ємі можна визначити із наступного рівняння, вираженого через геометричні параметри шару:

$$dF = \frac{6M(1-\epsilon)}{\rho_s d_0 H_0 (1-\epsilon_0)} dh \quad (3)$$

де M – маса частинок, кг ; ρ_s – густина матеріалу частинок, кг/м^3 ; d_0 – діаметр частинок, м ; H_0 – висота шару матеріалу у нерухомому шарі, м ; ϵ_0 – величина газовмісту в нерухомому стані; ϵ – величина газовмісту в рухомому стані.

Ліва частина рівняння (2) представляє собою кількість тепла, що витрачається на випаровування, а права – кількість тепла, підведена конвекцією до поверхні частинок. Перепишемо дане рівняння, з врахуванням (3), та розділимо змінні диференціювання:

$$rdW = \chi (t - t_{\text{MT}}) dh \quad (4)$$

де

$$\chi = \frac{\alpha_0 M (1 - \epsilon)}{\rho_s d_0 H_0 (1 - \epsilon_0)} \tag{5}$$

В рівнянні (1) розкриваємо дужки та скорочуємо подібні члени лівої та правої частини. В результаті, з врахуванням рівняння (4), отримуємо:

$$-V_c \rho c \frac{\partial t}{\partial z} dz = \chi (t - t_{MT}) dh \tag{6}$$

Скоротивши подібні члени, записуємо у інтегральному виді:

$$\int_{t_n}^t \frac{dt}{t - t_{MT}} = -\frac{\chi}{V_c \rho c} \int_0^z dh \tag{7}$$

Інтегрування даного рівняння дає наступний результат:

$$\ln \frac{t - t_{MT}}{t_n - t_{MT}} = -\frac{\chi}{V_c \rho c} h \tag{8}$$

Значення коефіцієнту тепловіддачі від псевдозріджуючого повітря до поверхні частинки в процесі випаровування розчинника для зони максимального змочення частинок рідиною $\square_{вол}$, знаходимо графічним методом. Для цього будували графіки залежності

$$\ln \frac{t - t_{MT}}{t_n - t_{MT}}$$

від біжучої висоти h , представлені на рис. 3 і рис. 4. при цьому тангенс кута нахилу кривої дорівнює

$$-\frac{\chi}{V_c \rho c}$$

для визначення тангенсу кута нахилу кривої в зоні максимального змочення поверхні частинки вибирали ділянку експериментальної кривої на проміжку від 0 до 0,1 м.

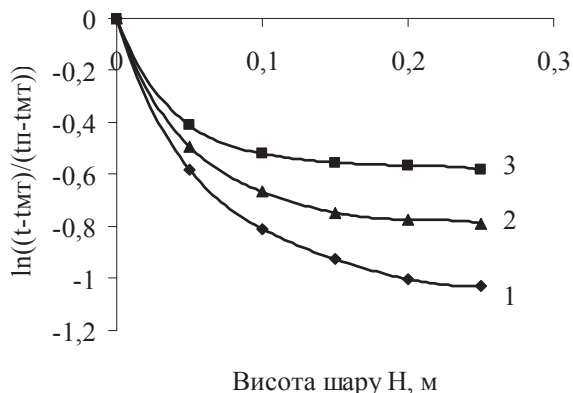


Рис. 3. Графічні залежності для визначення коефіцієнту тепловіддачі у шарі модельних частинок за швидкості, (м/с): 1 – 8,5; 2 – 10,5; 3 – 12,1

За допомогою рівняння (5) визначаємо значення коефіцієнту тепловіддачі від псевдозріджуючого повітря до поверхні частинки. Отримані значення кое-

фіцієнтів тепловіддачі є усередненими для виділеної висоти шару. Зростання швидкості псевдозріджуючого повітря призводить до інтенсифікації процесу теплообміну.

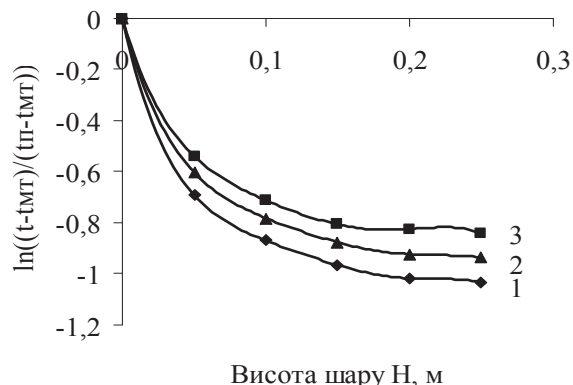


Рис. 4. Графічні залежності для визначення коефіцієнту тепловіддачі у шарі нітроламофоски за швидкості, (м/с): 1 – 8,5; 2 – 10,5; 3 – 12,1

Узагальнення експериментальних результатів проводилось за рівнянням [14]:

$$Nu = A \times Re^n \times Pr^m \tag{9}$$

Враховуючи, що фізичні параметри повітря змінювалися у вузькому діапазоні, приймаємо $Nu_e \sim Pr^{0,33}$ [9]. Для визначення невідомих коефіцієнтів «А» і «n» рівняння (9) експериментальні значення представляли залежністю $Nu_e / Pr^{0,33} = f(Re_e)$ у логарифмічній системі координат (рис. 5).

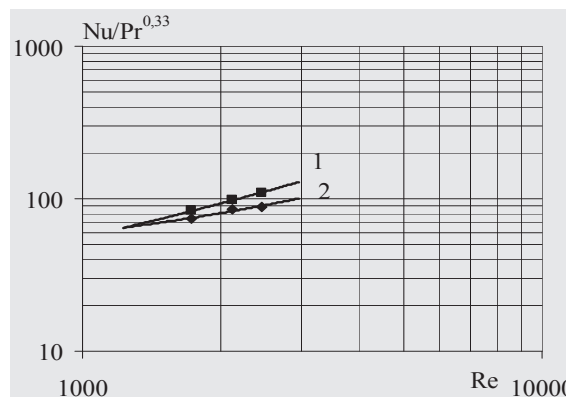


Рис. 5. результати експериментального визначення коефіцієнтів тепловіддачі при зрошенні шару дисперсного матеріалу в стані псевдо зрідження: 1- гранули нітроамфоски, 2 – модельні частинки

Представлені залежності, отримані для модельних частинок та гранул нітроамфоски практично співпадають між собою. Це дозволяє зробити припущення, що можливе просочування вологи в глиб частинки матеріалу практично не впливає на залежність теплообміну від швидкості повітря.

Кінцеве рівняння для нітрамофоски має такий вид:

$$Nu_e = 0,087 \cdot Re_e^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \tag{10}$$

Дане рівняння дозволяє прогнозувати теплообмін процесу капсулювання в стані псевдозрідження гранульованої нітроамфоски водними розчинами плівкоутворювачів.

Величина числа Нусельта аналогічно як і коефіцієнта тепловіддачі залежить від швидкості псевдозріджуючого повітря, що корелюється із даними, наведеними у роботі [15] для пластмасових кульок.

Література

1. Білявський Г.О. Падун М.М. Фурдуй Р.С. Основи загальної екології: 2-ге вид.-К., 1995.-368с.
2. Кучерявий В.П. Екологія: Львів.-"Світ".-2001.-500с.
3. Назарук М.М. Основи екології та соціоекології: Львів.-"За вільну Україну".-1997.-210с.
4. Охорона навколишнього середовища та використання природних ресурсів. Статист. Довідник.-К., 1992.
5. Теоретические и прикладные исследования в области технологии минеральных удобрений. Сборник статей, Л., Химия, 1984.
6. Реймерс .Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.-1994.
7. Сільськогосподарська екологія (під редакцією В. К. М'якушенка), К., Урожай, 1992р., 264с
8. Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. Okologi individen. Populaceonen. Lebesqemeinschaft. Basel. Boston. Berlin.-1991.
9. Mayer H. Europaische Walder.-Stuttgart-New-York:Fisher.-1986.
10. Plachter H. Naturschutz.-Stuttgart-New-York:Fisher.-1986.
11. Troyan P. Ekologia ogolna. Warszawa:PWN, 1986.
12. Городній М.М. Шикула М.К. "Агроекологія"-К.: "Вища школа", 1993 р.
13. Нагурський О.А., Сороківський А.Я. Методика визначення температурних показників процесу капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдо зрідження // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Хімія, технологія речовин та їх застосування», № 644 , Львів, 2009, с. 180-185
14. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. – М.: Химия, 1981. – 812 с.
15. Кунин Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление. США , 1969. Пер. с англ. Под ред. М.Г. Слинко и Г.С. Яблонского. М., Химия, 1976. – 448 с.