

ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИПАРОВУВАННЯ РОЗЧИННИКІВ ПРИ КАПСУЛЮВАННІ ДИСПЕРСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

В. Ф. Сіренко, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Метою даної статті є вивчення можливості вдосконалення процесу випаровування розчинників при капсулюванні гранул мінеральних добрив. У пропонованій статті, велика увага приділяється аналітичній оцінці процесу випаровування і його інтенсифікації. Використано рівняння швидкості випаровування, що включає швидкість повітря відносно поверхні матеріалу гранул; різницю тисків насиченої пари біля вологої поверхні матеріалу та парціального тиску водяної пари в потоці висушуючого повітря.

Ключові слова: випаровування, волога, пара, теплова енергія, ефективність, процес, швидкість, табличні дані.

Постановка проблеми в загальному вигляді. В сучасних процесах обробітку часток крупнодисперсних матеріалів з метою надання їм нових необхідних властивостей все частіше звертаються до нанесення на поверхні різноманітних оболонок.

Такий процес отримав назву капсулювання і його застосовують при виготовленні і відповідній обробці найрізноманітніших продуктів і матеріалів при виробництві хімічних і біологічно активних речовин, фармацевтичних і косметичних препаратів, харчових продуктів, насіння сільськогосподарських культур, тощо.

Оболонка, нанесена на частинки дисперсного матеріалу, може виконувати захисні функції від впливу оточуючого середовища, запобігати пило-виділенню, випаровуванню небажаних речовин, надає основним речовинам нових нехарактерних для них властивостей, зокрема сповільнену або вибірково розчинність, пролонговану і дозовану дію лікарських препаратів і дію мікроелементів хімічних речовин на насіння і рослини с-г культур.

Значний ефект досягається при застосуванні мінеральних добрив із програмованою розчинністю. Дослідники знаходять матеріали покриття, що регулюють надходження поживних речовин в ґрунт в задані агротехнічні терміни [1,2].

Добрива повільної дії є чудовою альтернативою розчинним добривам. Внаслідок того, що поживні речовини вивільняються в меншій мірі протягом сезону, рослини мають змогу споживати максимум поживних речовин без їх втрат в навколишнє середовище шляхом вимивання. Добрива пролонгованої дії є більш зручними з точки зору меншої частоти внесення їх в ґрунт. Крім того навіть при великих дозах внесення добрив рослинам не загрожують опіки, проте, важливо дотримуватися рекомендацій щодо дози їх внесення.

Добривами із запланованою розчинністю вважаються також різні капсульовані туки, гранули яких покриваються різними матеріалами (сірка, синтетичні плівки, бітуми і т.д.). Різні покриття гранул наносяться з метою обмеження розчинності добрив у ґрунті. Покриття гранул можуть повільно деградувати під дією хімічних,

мікробіологічних і фізичних факторів.

В Сумському національному аграрному університеті, (раніше, Сумський філіал Харківського сільськогосподарського інституту ім. В. О. Докучаєва) під керівництвом Краєвського О.І. було розроблено декілька вдосконалених конструкцій пристроїв для нанесення покриття у вигляді плівки та інкрустованого шару на крупнодисперсні матеріали, зокрема, на таблетки, гранульовані матеріали, насіння сільськогосподарських культур. Ці розробки захищені авторськими свідоцтвами СРСР [3,4].

Всі застосовані технології базуються на нанесенні покриття в рідкому або зволоженому стані із наступним видаленням розчинників. В процесі висихання покриття оболонка стає міцною, що дає можливість використовувати оброблений дисперсний матеріал за призначенням. Найбільш поширеним розчинником є вода. Тому далі будемо розглядати закономірності зневоднення рідких плівок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У випадку використання низькоконцентрованих розчинів, процес випаровування розчинника із шару розчину, що потрапив на поверхню частинки і до моменту твердіння плівкової оболонки можна розглядати як випаровування чистого розчинника [5].

На видалення основної маси розчинника витрачається найбільша кількість енергії. В завершальній стадії при випаровуванні незначної кількості рідини процес слід розглядати, як сушку в другому періоді при змінній швидкості теплообміну. Таким чином, визначальним для знаходження шляхів енергозбереження є перший період.

Видалення поверхневої вологи не впливає на якість матеріалу і не залежить від його властивостей. Матеріал екранований вологою і не боїться перегріву, його температура залишається незмінною / $Q_m = \text{const}$ /. Тому інтенсифікація процесу сушіння здійснюється в основному в першому періоді.

Питанням дослідження теплообміну в процесі капсулювання гранул мінеральних добрив присвячено ряд досліджень. Для фізичної ре-

алізації процесу капсулювання необхідно, щоб кількість розчинника, яка потрапляє на поверхню частинки, не перевищувала його кількості, що видаляється з поверхні у газове середовище. Тому в роботі [6] було встановлено кінетичні закономірності процесу капсулювання гранульованих мінеральних добрив розробленою плівкоутворюючою композицією. Експериментальним шляхом визначені коефіцієнти масовіддачі води від плівки в оточуюче середовище.

Також, в дисертаційній роботі [6] були отримані розрахункові залежності, що дозволяють визначити з необхідною для проектних розрахунків точністю коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі в процесі капсулювання гранульованої нітроамфоски в стані псевдозрідження. Але ці залежності в явному вигляді не дають можливості визначити шляхи інтенсифікації процесів тепломасообміну і, тим більше, намітити шляхи економії енергозатрат.

Формулювання цілей статті. На основі аналізу літературних джерел і результатів експериментальних досліджень встановити і дати рекомендації щодо інтенсифікації процесів тепломасообміну при капсулюванні гранульованих мінеральних добрив.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для того, щоб речовина покриття міцно з'єдналася з поверхнею гранули потрібно видалити розчинник, найчастіше – це вода. Вирішальним щодо визначення об'ємів і розмірів апарату для видалення вологи є час випаровування рідини із поверхні часток, який безпосередньо залежить від інтенсивності процесу.

Процес видалення вологи це є складний тепломасообмінний процес, і його можна розглядати як сушку, так і випаровування рідини. [5]. В першому випадку для повного опису і для проектного розрахунку необхідно визначити досить значну кількість фізико-механічних параметрів матеріалу, рідини і теплоносія, а також виконати підрахунок багатьох критеріїв подібності.

Більш простішим шляхом є використання напівемпіричних формул для знаходження інтенсивності випаровування води із поверхні гранул, що значно спрощує отримання розрахункових виразів.

Тематика тепломасообміну при інкрустації гранул мінеральних добрив була розглянута в останніх дослідженнях [7] . Відразу слід відмітити, що матеріал гранул є більш проникним для вологи і внаслідок цього зовнішня плівка покриття формується із більшою швидкістю.

В цій роботі, виходячи із теплового балансу процесів в робочій камері, був отриманий важливий вираз для визначення температури рідкого дисперсійного середовища (води) на поверхні частинок. Рівняння складено за умови, що робоча зона апарату ізольована і втрати тепла в навколишнє середовище відсутні

$$t_{роз} = \frac{G_{пов}C_{пов}(t_{вх} - t_{вих}) + G_{роз}(C_{роз}t_{пр} - r_{роз})}{G_{роз}C_{роз}} \quad (1)$$

де $G_{роз}$ – витрата рідкого дисперсійного середовища (води), кг/с;

$C_{роз}$ – теплоємність рідкого дисперсійного середовища (води), Дж/кг К;

$G_{пов}$ – витрата теплоносія (повітря), кг/с;

$C_{пов}$ – теплоємність теплоносія (повітря) , Дж/кгК;

$t_{роз}$ – температура плівкоутворюючої суспензії на поверхні гранули, °С;

$t_{пр}$ – початкова температура плівкоутворюючої суспензії, °С;

$r_{роз}$ – питома теплота пароутворення рідкого дисперсійного середовища (води), Дж/кг.

$t_{вх}$, $t_{вих}$ – температура підсушуючого повітря, відповідно, на вході і на виході із робочої зони апарату, °С.

Причому, внаслідок балансу - кількість теплоти, що надходить від повітря дорівнює кількості енергії, що витрачається на випаровування води. Температура рідини в плівці на протязі більшої частини часу є сталою величиною, окрім нетривалого періоду прогріву зволоженого матеріалу.

Найбільш прийнятним виразом для визначення швидкості (інтенсивності) випарюванні води з вологої поверхні матеріалу гранули (як для першого періоду сушки) є емпіричне рівняння [8]

$$G = 0,04075w^{0,8}(P_{нас} - p_n), \quad (2)$$

де G - інтенсивність випарювання води, кг/(м²год);

w - відносна швидкість повітря і матеріалу, м/с;

$P_{нас}$ – тиск насиченої пари в шарі повітря біля поверхні вологого матеріалу для температури мокрого термометру, Па.

p_n – парціальний тиск пари в повітрі, що проходить над поверхнею, Па.

Для визначення цих тисків потрібно знати або задатися температурою повітря на вході $t_{вх}$, а також визначити температуру мокрого термометра t_m .

Зрозуміло, що інтенсивність процесу випаровування залежить не тільки від температурного режиму, а і від вологовмісту повітря на вході в апарат $x_{вх}$ (кг вологи)/(кг сухого матеріалу), який визначається відносною вологістю. В цьому випадку парціальний тиск знаходимо за формулою [8]

$$p_n = \frac{Px_{вх}}{x_{вх} + 0,622}, \quad (3)$$

де p_n -парціальний тиск водяної пари, Па;

$x_{вх}$ – вологовміст повітря, що подається для підсушування, кг/кг;

P – барометричний тиск, для наших широт 750 мм рт. ст., або $\sim P=100000$ Па.

Вологовміст простіше всього знаходити із I-х діаграми [8] для вологого повітря при відомій температурі та відносній вологості ϕ .

Із теорії сушки відомо, що в першому періоді сушки, що відповідає нашому процесу, величина ентальпії сушильного агента є величина стала і дорівнює

$$I = (c_{cn} + c_n x) t + r_{poz} x = (1,01 + 1,97x) t + 2493x \quad (4)$$

де I – ентальпія вологого повітря, кДж/кг;

t – температура вологого повітря, °С;

c_{cn} , c_n – питома теплоємність сухого повітря, питома теплоємність сухої водяної пари, кДж/кг °С; $c_{cn} = 1,006$, $c_n = 1,968$.

Тиск насиченої водяної пари наближено можна визначити із I-х діаграми для вологого повітря, скористатися таблицями [10] або, точніше, за аналітичним виразом [9]

$$P = e^{(1500,3 + 23,5t)/(234+t)} \quad (5)$$

В цьому літературному джерелі [9] також приведена формула для визначення температу-

ри мокрого термометра

$$t_m = \frac{-6,14 + 0,651I}{1 + 0,0097 - 3,12 \cdot 10^{-6} I^2} \quad (6)$$

Похибка визначення не перевищує 0,6%.

З метою оцінки висушуючого потенціалу за формулами (3 – 6) провели підрахунок другого співмножника ($P_{нас} - P_n$) в формулі (2) при значеннях вологовмісту і температурах повітря в природньому стані і нагрітому до прийнятних температур, результати занесені в таблицю 1.

При підрахунках впливу швидкості повітря до уваги було взято, що швидкість витання гранул добрив розміром 2-5 мм складає 9-11 м/сек, а з іншого боку гідравлічний опір повітряного тракту зростає в квадратичній залежності, тому обмежилися верхньою межею 4 м/сек, результати занесені в таблицю 2.

При наявності вільної вологи у вигляді плівки на поверхні гранули необхідна інтенсивність випаровування вологи може бути досягнута до потрібних значень шляхом збільшення швидкості обдуву поверхні гранул, а також підігрівом зовнішнього повітря.

Таблиця 1. Різниця парціальних тисків насиченої водяної пари ($P_{нас} - P_n$) при температурах мокрого термометра і водяної пари в потоці висушуючого агента, Па.

Вологовміст повітря, кг/кг	Температура повітря на вході °С					
	10	15	20	30	40	50
0,005	287	490	676	1108	1574	2060
0,01		65	246	1063	1173	1652
0,015			43	514	987	1478
0,02				407	836	1345
0,025				203	716	1304
0,03					502	1280

Таблиця 2. Підрахунок першого множника в формулі (2) при різних значеннях відносної швидкості повітря.

w	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
w0,8	0,574	1,0	1,38	1,741	2,081	2,408	2,724	3,031

Так збільшення швидкості повітря від 1 до 4 м/с підвищує інтенсивність випаровування в 3 рази. Щоб забезпечити таке ж підвищення ефективності тепловим методом потрібно підігрівати зовнішнє повітря до 40-50 °С.

Перший спосіб потребує вдосконалення конструкцій апаратів з метою забезпечення збільшених швидкостей контакту повітря із потоком гранульованих добрив при мінімальних пошкодженнях поверхні. А в другому випадку потрібні більші капітальні затрати на установку топки і

експлуатаційні затрати на саме паливо.

Висновки. В ході проведеного аналізу застосування процесів капсулювання гранул і насіння, була приділена основна увага опису процесів випаровування вологи із рідинної плівки на поверхні гранул. Розроблена спрощена методика розрахунку швидкості випарювання вологи, що включає відносну швидкість повітря і різницю тисків пари біля поверхні і в потоці повітря. В цій методиці в явному вигляді позначені шляхи підвищення інтенсивності процесу.

Список використаної літератури:

1. Бунько В.Я. Встановлення оптимального складу плівкоутворюючої композиції капсульованого мінерального добрива / Бунько В.Я., Мальований М.С., Нагурський О.А., Дружок В.М. // Екологічна безпека, Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, Випуск 4/2012 (75), Кременчук. – 2012. – С.135-139.
2. О.А. Нагурський, В.В. Вашук. Технологічні особливості капсулювання нітроамфоски в апараті киплячого шару // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 5/6 (53) Харьков. - 2011. - С.12-14.
3. А. С. 1210906 А СССР, МКИ 4 В 05 13/00, В 01 D 3/20 1981. Установка для нанесения пленочных покрытий на гранулированные материалы. / А. И. Краевский, Ю. С. Шепелев, Л. Б. Ливак и Н. М. Смяян (СССР). – № 3742854/23-05; Заявлено 21.05.84; Опубликовано 15.02.86, Бюл. № 6. — 2 с.

4. А. с. 1537255 А1 СССР, МКИ 5 А61 J 3/06, В 05 С 19/00. Установка для нанесения защитных покрытий на гранулы / А. И. Краевский (СССР). – № 4199880/31-05; Заявлено 05.01.87; Опубликовано 23.01.90, Бюл. № 3. — 4 с.

5. Теоретичні основи капсулювання дисперсних матеріалів : конструкції, технології, управління : навч. посібник / Є. Устянич ; - 2-ге вид., доп. - Львів : Українська акад. друкарства, 2008. - 400 с.

6. Бунько Василь Ярославович. Тепломасообмін процесів отримання та використання мінеральних добрив, капсульованих водною суспензією плівкоутворювача: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Бунько Василь Ярославович. – Бережани, 2013. – 142 с. – Бібліогр.: с. 130 -142.

7. Тепломасообмін процесу капсулювання мінеральних добрив водним розчином плівкоутворюючої композиції палигорськит–меляса / М. С. Мальований, О. А. Нагурський, В. Я. Бунько, В. М. Дружок / Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві// Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2012. – №3(74). – С.117-120.

8. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 10-е, пер. и доп. Л., Химия, 1987. – 576с.

9. Гаврилкин В. Аналитическое определение параметров влажного воздуха / Гаврилкин Владимир, Куранов Евгений // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – № 2 – С.148-151.

Сіренко В.Ф. Пути интенсификации процесса испарения растворителей при капсулировании дисперсных сельскохозяйственных материалов

Целью данной статьи является изучение возможности совершенствования процесса испарения растворителей при капсулировании гранул минеральных удобрений. В предлагаемой статье, большое внимание уделяется аналитической оценке процесса испарения и его интенсификации. Использовано уравнение скорости испарения , включающий скорость воздуха относительно поверхности материала гранул; разность давлений насыщенного пара возле влажной поверхности материала и парциального давления водяного пара в потоке высушивающего воздуха.

Ключевые слова: *испарение, влага, пар, тепловая энергия, эффективность, процесс, скорость, табличные данные .*

Sirenko V. The ways of intensification of the process of evaporation of the solvents under kapuluan dispersed agricultural materials

The process of applying a variety of shells on the proportion of dispersed materials is called encapsulation. A special effect is achieved when applied to the granules of mineral fertilizers membranes, inhibit the solubility of nutrients.

Technologies for the deposition of shells consists of a coating process in liquid or wet state, followed by evaporation of the solvent.

The purpose of this article is to investigate the possibility of improving the process of evaporation of the solvents under encapsulation of fertilizer granules.

In the article, much attention is paid to the analytical evaluation of the evaporation process and its intensification.

Used the equation of evaporation , including the speed of the air relative to the surface of the material of the granules and the pressure of saturated steam near the wet surface of the material and the partial pressure of water vapor in the stream of air for drying.

The evaporation of the liquid film on the surface of the granules can be increased to the desired values in two ways:

- increase the speed of the air relative to the surface of the granules;*
- preheat air for drying .*

The first method is limited by the velocity of air, therefore, significantly increases the hydraulic resistance. The application of the second method requires the expenditure of funds for the purchase of a heater of air and fuel costs.

Keywords: *dispersed materials, encapsulation, liquid film, evaporation, moisture, steam, thermal energy, efficiency, process, the speed, tabular data .*

Стаття надійшла в редакцію 15.09.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кочмола М.М.