

На правах рукопису

БУНЬКО ВАСИЛЬ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 661.152:66.096.5-932.2

**ТЕПЛОМАСООБМІН ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ТА
ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ,
КАПСУЛЬОВАНИХ ВОДНОЮ СУСПЕНЗІЄЮ
ПЛІВКОУТВОРЮВАЧА**

05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Суми -2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Відокремленому підрозділі Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри прикладної екології та збалансованого природокористування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ульєв Леонід Михайлович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри «Інтегровані технології, процеси та апарати».

кандидат технічних наук, доцент
Юхименко Микола Петрович
Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв».

Захист відбудеться 29 листопада 2013 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 Сумського державного університету за адресою: 40007, Сумський державний університет, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Сумський державний університет, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

Автореферат розісланий «25 » жовтня 2013 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, к.т.н., доц.



Гурець Л.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Капсулювання, як метод модифікації експлуатаційних властивостей, набув широкого застосування, зокрема у хімічній галузі та сільськогосподарському виробництві. Він дає змогу змінювати фізичні та хімічні властивості речовин, дозволяючи оптимізувати їх експлуатаційні параметри. Поширеним методом капсулювання твердих дисперсних речовин є нанесення покриття у стані псевдозрідження. Капсулювання гранульованих мінеральних добрив проводиться з метою ізолювання поверхні частинок від негативної дії факторів довкілля та сповільнення швидкості їх розчинення у середовищі споживання. Така форма дає змогу подовжити дію добрив на значний час, зменшивши їх кількість, періодичність внесення, а також втрати елементів живлення добрив у навколишнє середовище. Однак, через високу вартість капсульованих добрива, порівняно із традиційними не знайшли широкого застосування у сільськогосподарському виробництві. Тому розроблення та запровадження нових технологій капсульованих мінеральних добрив, які б передбачали використання дешевих та ефективних матеріалів для створення капсули, дасть змогу отримати необхідну кількість економічно доцільних та екологічно безпечних добрив для агропромислового комплексу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» і виконувалась відповідно до науково-технічної програми «Розробка наукового та інформаційного забезпечення сталого розвитку сільської місцевості західного регіону України» (номер державної реєстрації 0108U008826) на замовлення Міністерства освіти і науки України у 2008 році.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є дослідження закономірностей процесів отримання та використання мінеральних добрив, капсульованих водною суспензією плівкоутворювача на основі природних дисперсних сорбентів та зв'язуючого природного походження.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити плівкоутворюючу композицію «зв'язуюче - дисперсний мінерал» та вивчити її механічні властивості у різних співвідношеннях складників;
- дослідити гідродинаміку та кінетику тепломасообміну процесу нанесення покриття на поверхню частинок гранульованого мінерального добрива у псевдозрідженому стані;
- розробити математичну модель процесу капсулювання полідисперсної суміші твердого матеріалу в псевдозрідженому стані;
- запропонувати принципову технологічну схему капсулювання гранульованого мінерального добрива розробленою плівкоутворюючою композицією;
- дослідити процес масоперенесення елементів живлення із капсульованих мінеральних добрив;
- провести тестові дослідження капсульованих мінеральних добрив.

Об'єкт дослідження – процес капсулювання гранульованої нітроамофоски сумішшю меляса – природний сорбент та процес вивільнення цільового компоненту із капсули.

Предмет дослідження – гідродинаміка, тепло- та масообмін у системі гранульоване добриво – вода – повітря під час капсулювання у стані псевдозрідження та, кінетика масоперенесення елементів живлення з капсульованих частинок.

Методи досліджень Для теоретичних досліджень використовувався системний науково-обґрунтований аналіз та моделювання процесів. Дослідження процесу капсулювання включали аналітичні дослідження з використанням сучасної контрольно-виміральної апаратури та провідних методик в галузях аналітичної хімії та математичне моделювання хіміко-технологічних процесів. Для визначення концентрації мінерального добрива (нітроамофоски) у розчині застосовувався кондуктометричний метод. Для побудови графічних залежностей та одержання розв'язків математичних моделей застосовувались комп'ютерні технології.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше розроблено плівкоутворюючу композицію меляса – палигорськіт, придатну для капсулювання гранульованих мінеральних добрив.
2. Вперше визначено вплив водного розчину плівкоутворюючої композиції меляса – палигорськіт на гідродинаміку процесу капсулювання нітроамофоски в апараті киплячого шару.
3. Вперше досліджено умови та визначено кінетичні коефіцієнти тепло- та масовіддачі під час капсулювання гранульованої нітроамофоски сумішшю меляса – палигорськіт.
4. Вперше досліджено кінетику масоперенесення розчину нітроамофоски через оболонку меляса-палигорськіт та визначено коефіцієнт внутрішньої дифузії.
5. Отримали подальший розвиток закономірності капсулювання дисперсних матеріалів у стані псевдозрідження та масоперенесення із капсульованих частинок.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані аналітичні залежності розрахунку гідродинамічних параметрів, тепло- та масообміну процесу капсулювання шару нітроамофоски водною суспензією суміші меляса-палигорськіт, що дає змогу встановлювати оптимальні технологічні параметри процесу капсулювання, з метою отримання якісного покриття. Встановлена математична залежність параметрів покриття від дисперсності твердого матеріалу. Визначена проникність покриття дасть можливість прогнозувати агрономічну ефективність капсульованих добрив. Результати дисертаційної роботи передані в Державне підприємство "Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів" для виготовлення дослідно-промислових партій капсульованих мінеральних добрив. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» у лекційних курсах та курсах практичних робіт з дисциплін «Ґрунтознавство», «Екологічна хімія», «Агроекологія», «Теплотехніка» та «Гідравліка».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертації, проведено теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язані з отриманням та використанням мінеральних добрив,

капсульованих композицією на основі палигорськіту та меляси, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, виконано його статистичну обробку, сформульовано науково обґрунтовані висновки.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації обговорювались на: 3-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Вінниця, 2011), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Регіональні та транс-кордонні проблеми екологічної безпеки» (Горбуновські читання, Чернівці, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (Київ, 2011 р.)

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 10 друкованих працях, з них одна стаття у міжнародному науковому журналі, 4 статті в наукових фахових виданнях України, 2 статті у інших виданнях, 3 доповіді, опубліковані у матеріалах конференцій, отримано 1 патент України.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 129 сторінках основного тексту, містить 35 рисунків, 11 таблиць, у бібліографії наведено 113 літературних джерел і додатки на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету, визначено об'єкт, предмет, методи досліджень і задачі, які розв'язуються в роботі, сформульована наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію, структуру та обсяг роботи, визначені положення, які мають наукове й практичне значення.

У першому розділі наведено огляд літератури з проблем застосування процесу капсулювання для модифікування властивостей дисперсних матеріалів. Першим у 1953 році Д. Вурстер запропонував покриття фармакологічних препаратів. Пізніше тематика капсулювання твердих лікарських форм широко висвітлювалася у працях Р. Сингезера, Т.А. Грошового, З.С. Житомирського, Н.И. Рощина, Я.М. Гумницького, І.А., Демчука, Є.П. Устянича, О.М. Флісюка. Проблемами капсулювання гранульованих мінеральних добрив займалися А.Г.Ліпін, Л.Н.Овчінніков, Нагурський О.А. та ін. Наведені результати показують складність процесів, котрі проходять під час капсулювання і підтверджують те, що для найбільш точного опису закономірностей отримання та застосування капсульованих матеріалів необхідно застосовувати результати експериментальних досліджень, отримані безпосередньо для конкретних речовин, властивості яких визначають кінетику та динаміку процесу. Отримані висновки стали основою для вибору теми дисертації, визначення її мети, обґрунтування суті науково-технічної задачі, шляхів і методів її вирішення, що і складає зміст наступних розділів дисертації.

У другому розділі наведено загальну характеристику об'єкту та предмету дослідження. Наведено основні фізико-хімічні характеристики матеріалів, що використовувалися для експериментальних досліджень. Як твердий дисперсний матеріал використовували гранульовану нітроамофоску, яка широко застосову-

ється як комплексне мінеральне добриво. Для капсулювання гранульованих мінеральних добрив розроблена плівкоутворювальна композиція, яка складається із суміші палигорськіт-меляса у співвідношенні 5:4. Ці речовини та їх співвідношення були обрані на основі аналізу даних експериментальних досліджень механічної міцності покриття. Палигорськіт є природнім мінералом, який складається із здвоєних ланцюгів кремнієкисневих тетраєдрів, що витягнуті паралельно осі симетрії. Як зв'язуючий компонент використовувалась меляса бурякова Радехівського цукрового заводу. Меляса - побічний продукт бурякоцукрового виробництва, густа брунатна рідина, що залишається після переробки цукрових буряків як відходи виробництва цукру.

Наведено методику та результати дослідження механічних властивостей плівкоутворюючої композиції, методику визначення втрат напору у шарі матеріалу під час капсулювання. Покриття гранул мінерального добрива здійснювалось в апараті псевдозрідженого стану циліндричного типу періодичної дії. Визначення концентрації компонентів добрива у будь-який момент часу під час проведення процесу їх вивільнення із капсульованих частинок здійснювалось кондуктометричним методом, що оснований на вимірюванні електропровідності розчинів із використанням електронного кондуктометра *Sension 5*. Тестування капсульованих повільнодіючих мінеральних добрив здійснювалось згідно Європейської норми EN 13266:2001.

У третьому розділі наведено результати дослідження особливостей гідродинаміки, тепло- та масообміну в процесі капсулювання добрив.

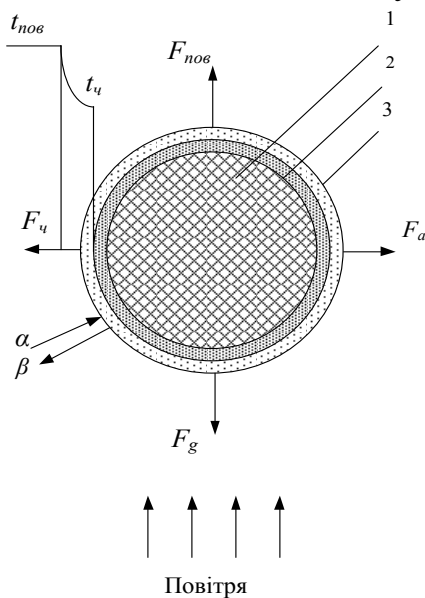


Рисунок 1 - Схема взаємодії між частиною матеріалу, зріджуваним повітрям та плівкоутворюючим розчином: 1-ядро частинки, 2-оболонка, 3-плівкоутворюючий розчин.

Під дією теплової енергії, яка передається від зріджувачого повітря із температурою t_{nov} до поверхні частинок із температурою t_u , відбувається випаровування розчинника та затвердіння матеріалу оболонки. Пара розчинника відводиться від поверхні частинок зріджувальним повітрям і викидається із робочої

Показано, що капсулювання дисперсного матеріалу у стані псевдозрідження розчином плівкоутворюючої композиції супроводжується сумісним перебігом процесів взаємодії між повітрям, яке виконує роль зріджувального агента та теплоносія, твердими частинками та рідиною, яка постійно подається у робочу зону апарату. Частинка твердого матеріалу (рис.1) підтримується у завислому стані повітрям, сила тиску повітря на поверхню частинки F_{nov} , зрівноважує силу земного тяжіння F_g .

Рух частинок у робочій зоні апарату призводить до співударянь між ними та стінками апарату. На поверхню частинок наноситься плівкоутворюючий розчин.

зони апарату. Інтенсивність процесу теплообміну між повітрям та твердим матеріалом характеризується коефіцієнтом тепловіддачі α , а видалення пари розчинника – коефіцієнтом масовіддачі β . Плівкоутворювач, який знаходиться на поверхні частинок, змінює реологічні властивості твердого матеріалу, що призводить до зміни гідродинамічних параметрів роботи апарату.

Вплив рідкої фази на гідродинаміку шару матеріалу у стані псевдозрідження встановлювався на основі експериментальних даних. На рис.2 наведено залежності опору шару гранульованої нітроамофоски під час капсулювання водною суспензією палигорськіт – бурякова меляса від швидкості зріджуючого повітря за різної інтенсивності зрошення.

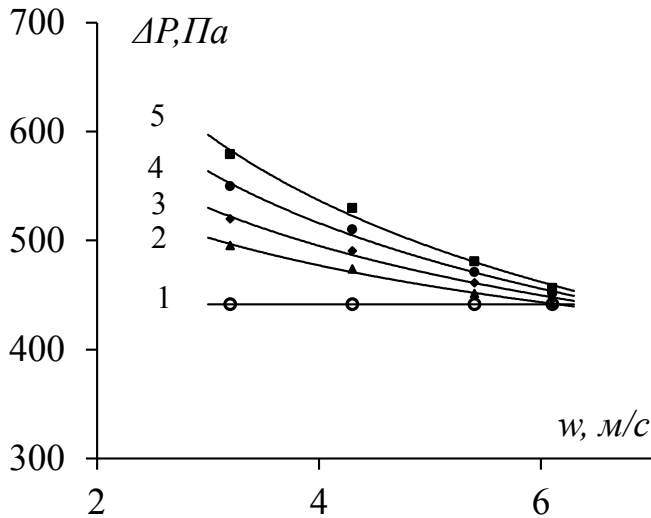


Рисунок 2 - Залежність опору ΔP (Па) шару гранульованої нітроамофоски у стані псевдозрідження від швидкості повітря w (м/с) за різної витрати плівкоутворювача G_c (кг/кг·с): 1 – 0; 2 – 0,0006; 3 – 0,00075; 4 – 0,0009; 5 – 0,0012

Функціональна залежність гідравлічного опору шару дисперсного матеріалу у стані псевдозрідження від швидкості зріджуючого повітря під час капсулювання відрізняється від такої ж залежності для сухого матеріалу, що пояснюється наявністю на поверхні частинок плівкоутворювального розчину. Плівкоутворювальний розчин змінює реологічні властивості шару матеріалу в силу збільшення сил злипання між частинками. Як видно із рис.2, збільшення швидкості зріджуючого повітря та зменшення витрати плівкоутворювача зменшує різницю між опором зрошеного та сухого шару дисперсного матеріалу. Це можна пояснити зменшенням площі поверхні частинок, на якій знаходиться плівкоутворювальний розчин. Отри-

мані результати представлені у вигляді залежності безрозмірних величин $\Delta P_p/\Delta P_c = f(w_p/w)$ (рис.3). Залежність $\Delta P_p/\Delta P_c = f(w_p/w)$ вважали експоненційною, яка описується рівнянням виду:

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} = A \cdot \exp\left(\frac{w_p}{w} B\right) \quad (1)$$

Значення констант A і B знаходили шляхом апроксимації експериментальних даних. Значення константи A для різних значень швидкості є практично однаковим і приблизно рівним одиниці. З метою встановлення залежності константи B від швидкості повітря, будували графік, наведений на рис.4. На основі рис.4 визначали залежність константи B від швидкості зріджуючого повітря, яка при підстановці у (1) дала змогу отримати рівняння для розрахунку зміни гідравлічного опору шару матеріалу в стані псевдозрідження в умовах зрошення в залежності від витрати рідини та швидкості зріджуючого повітря:

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} = \exp\left(\frac{w_p}{w}(-0,00004w + 1,306)\right) \quad (2)$$

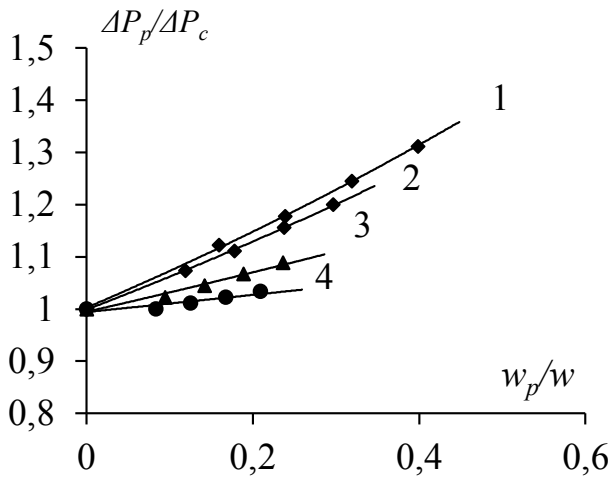


Рисунок 3 - Графічна залежність $\Delta P_p/\Delta P_c = f(w_p/w)$ для шару нітроамофоски в стані псевдозрідження за різної швидкості повітря (м/с): 1 – 3,2; 2 – 4,3; 3 – 5,4; 4 – 6,1

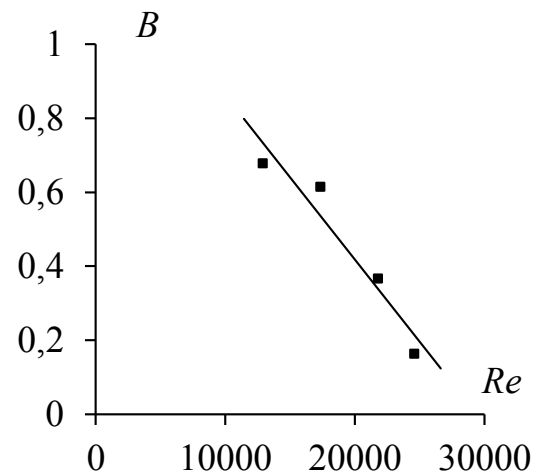


Рисунок 4 - Залежність константи B від швидкості повітря для шару нітроамофоски в стані псевдозрідження

Середньоквадратичне відхилення експериментальних та теоретичних, розрахованих за рівнянням (2), значень $\Delta P_p/\Delta P_c$, коливається в межах 5,2 - 9,1%.

Для теоретичного аналізу закономірностей теплообміну процесу капсулювання в стані псевдозрідження приймаємо, що робоча зона апарату ізольована і втрати тепла в навколишнє середовище відсутні. Виходячи з цього, кількість тепла $Q_{роз}$ (Вт), яка витрачається на нагрівання та випаровування води, буде дорівнювати:

$$Q_{роз} = G_{нов} C_{нов} (t_{вх} - t_{вих}) \quad (3)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні частинок дисперсного матеріалу можна визначити за кінетичним рівнянням:

$$Q = \alpha \bar{F} (\bar{t}_{нов} - t_ч) \quad (4)$$

Для розрахунку температури рідкого дисперсійного середовища (води) на поверхні частинки отримана залежність:

$$t_{роз} = \frac{G_{нов} C_{нов} (t_{вх} - t_{вих}) + G_{роз} (C_{роз} t_{пр} - r_{роз})}{G_{роз} C_{роз}} \quad (5)$$

Рівняння (3), (4) і (5) утворюють систему, яка дозволяє розрахувати усереднений за висотою шару матеріалу коефіцієнт тепловіддачі від зріджуючого повітря до поверхні частинок, на якій формується покриття (плівка).

Плівка на поверхні частинки дисперсного матеріалу формується в процесі випаровування води з плівкоутворюючої суспензії. Швидкість випаровування води визначає інтенсивність подачі плівкоутворюючої суспензії в шар матеріалу. Кінетика нарощування покриття залежить від інтенсивності видалення розчинника, що характеризується коефіцієнтом масовіддачі β пари розчинника від поверхні частинки, який визначали із кінетичного рівняння:

$$\beta = \frac{\Delta M}{F_{\tau} \Delta \tau (\rho_{нас} - \rho)} \quad (6)$$

Вихідні параметри проведення експериментальних досліджень тепломасообміну та їх результати, із використанням яких проводили розрахунок значення коефіцієнту тепловіддачі α від зріджуючого повітря до поверхні частинок матеріалу, на якій формується покриття, наведені в таблиці 1. Результати розрахунку у графічному виді наведені на рис.5. Отримана залежність показує, що із зростанням швидкості повітря збільшується інтенсивність теплообміну, що корелюється із результатами досліджень теплообміну у дисперсних середовищах інших авторів. Узагальнення експериментальних результатів проводилось за рівнянням:

$$Nu_e = A \times Re_e^n \times Pr^m \quad (7)$$

Враховуючи, що фізичні параметри повітря змінювалися у вузькому діапазоні, приймали $Nu_e \sim Pr^{0,33}$. Для визначення невідомих коефіцієнтів «A» і «n» рівняння (7) експериментальні значення зображали залежністю $Nu_e/Pr^{0,33} = f(Re_e)$ в логарифмічній системі координат (рис.6).

Таблиця 1 - Результати досліджень тепломасообміну під час капсулювання нітроамофоски водною суспензією суміші палигорськіт-меляса

№	Величина	Розмірність	Позначення	Числове значення			
1.	Маса завантаженого матеріалу	кг	$M_{\text{ч}}$	0,4			
2.	Середній діаметр частинок	$\text{м} \cdot 10^3$	d	2,13			
3.	Кількість частинок нітроамофоски	шт	$N_{\text{ч}}$	41240			
4.	Початкова температура плівкоутворюючого розчину	°C	t_{np}	18			
5.	Температура повітря на вході в робочу зону апарату	°C	t_{ex}	75			
6.	Витрата плівкоутворюючого розчину	кг/с·кг	G_p	0,0054			
7.	Фіктивна швидкість зріджуючого повітря	м/с	w	3,2	4,3	5,4	6,1
8.	Температура повітря на виході з робочої зони апарату	°C	$t_{\text{вих}}$	51,4	59,1	62,7	65,9
9.	Відносна вологість повітря на виході з апарату	%	φ	23	19	16	14

Узагальнення експериментальних значень дозволило представити залежність (7) для визначення коефіцієнту тепловіддачі під час капсулювання нітроамофоски в стані псевдозрідження:

$$Nu = 0,017 Re^{0,8} Pr^{0,33} \quad (8)$$

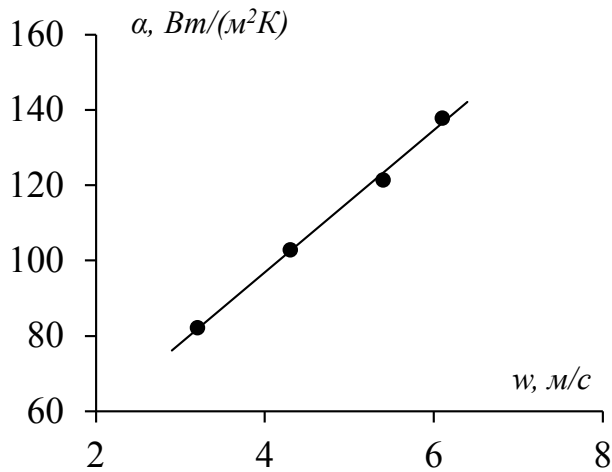


Рисунок 5 - Залежність коефіцієнтів тепловіддачі α від швидкості зріджуючого повітря w для процесу капсулювання нітроамофоски водною суспензією палигорськіт-меляса.

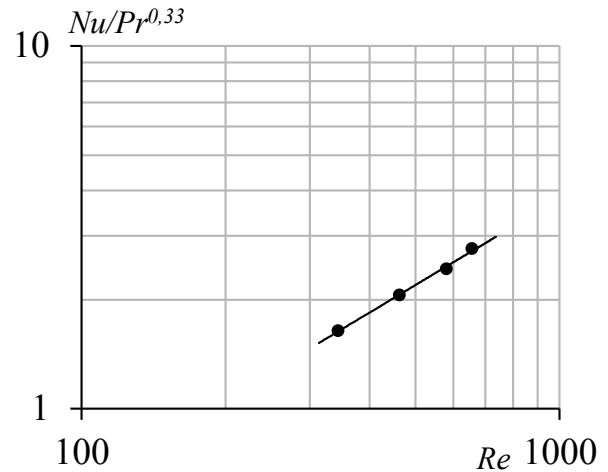


Рисунок 6 - Узагальнення результатів експериментального визначення коефіцієнтів тепловіддачі процесу капсулювання нітроамофоски водною суспензією палигорськіт-меляса.

Відносна похибка між експериментальними значеннями і розрахованими за залежністю (8) не перевищує 10,1%.

За результатами експериментальних досліджень (табл.1) розраховували значення коефіцієнтів масовіддачі водяної пари від поверхні частинки в середовище зріджуючого повітря, які у залежності від фіктивної швидкості зріджуючого повітря w , наведено на рис. 7.

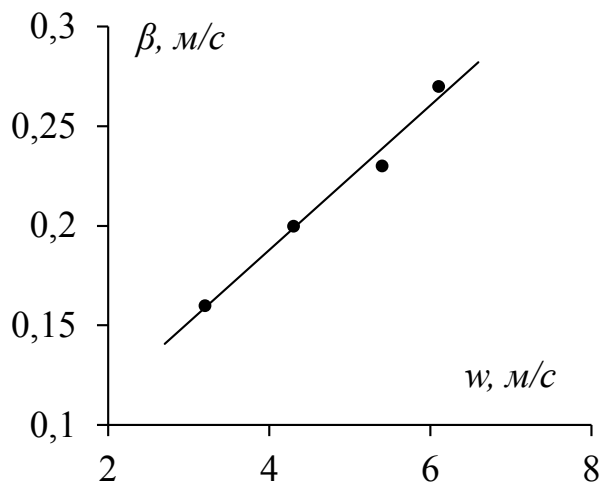


Рисунок 7 - Залежність коефіцієнту масовіддачі водяної пари від фіктивної швидкості зріджуючого повітря

Для узагальнення отриманих результатів коефіцієнти масовіддачі представляли у вигляді безрозмірних комплексів Sh , Sc у залежності від числа Re :

$$Sh = A \cdot Sc^n \cdot Re^m \quad (9)$$

Аналогічно, як і для теплообміну, враховуючи те, що фізичні параметри повітря змінювалися незначно, згідно рекомендацій приймали, що $Sh \sim Sc^{0.33}$.

Невідомі значення коефіцієнтів A , n , m визначали із графічної залежності $Sh/Sc^{0.33} = f(Re)$, отриманої на основі експериментальних даних (рис.8).

Узагальнення експериментальних значень дозволило представити залежність (9) для визначення коефіцієнту масовіддачі під час капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдо зрідження у вигляді:

$$Sh = 0,056Re^{0,8}Sc^{0,33} \quad (10)$$

Відносна похибка між експериментальними значеннями і розрахованими за залежністю (10) не перевищує 10,7%.

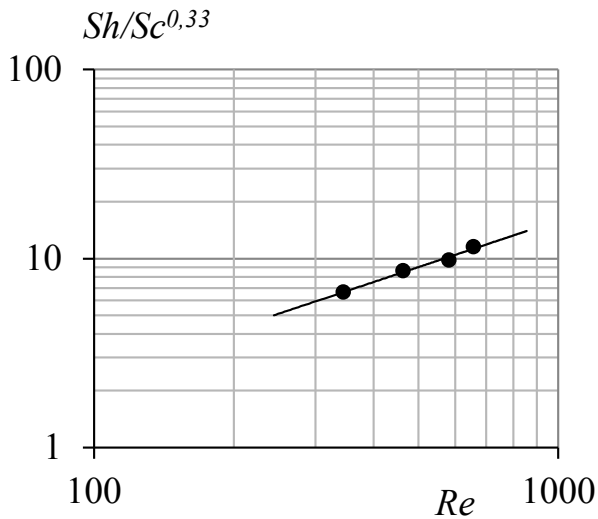


Рисунок 8 - Узагальнення результатів експериментального визначення коефіцієнтів масовіддачі процесу капсулювання нітроамфоски водною суспензією палигорськіт-меляса

сеного покриття та геометричними розмірами частинок R_2 і R_1 , яка описується співвідношенням:

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{N_{ч2} R_2^2}{N_{ч1} R_1^2}, \quad (12)$$

Аналіз рівняння (12) показує, що товщина оболонки у полідисперсній суміші є обернено пропорційна кількості частинок і їх радіусу у квадраті.

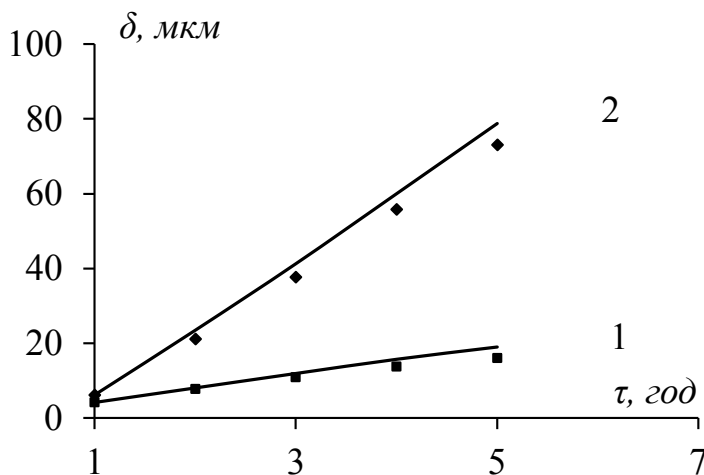


Рисунок 9 - Порівняння експериментальних (точки) та теоретичних (лінії) кінетичних кривих процесу нарощування оболонки із суміші палигорськіт - меляса на частинках різного радіусу, мм: 1 – 2, 2 – 1

Проведені узагальнення експериментальних даних тепло та масообміну критеріальними залежностями, дали змогу отримати рівняння для розрахунку значення коефіцієнту масовіддачі β якщо відоме значення коефіцієнту тепловіддачі α :

$$\beta = 3,29 \frac{\alpha}{c \cdot \rho} Le^{0,67} \quad (11)$$

У четвертому розділі наведено обґрунтування та практичне застосування результатів досліджень гідродинаміки та тепломасообміну процесу капсулювання дисперсних матеріалів у стані псевдозрідження. В результаті досліджень процесу капсулювання полідисперсного шару матеріалу встановлена залежність між товщиною нане-

сеного покриття та геометричними розмірами частинок R_2 і R_1 , яка описується співвідношенням:

Для перевірки закономірностей капсулювання полідисперсних сумішей проводили дослідження шару, який складався з частинок розмірів 1 та 2 мм в кількості 500 шт кожної фракції. В процесі капсулювання через кожну годину відбирали по 20 частинок різних розмірів і визначали масу нанесеної на поверхню плівки. Результати досліджень представлені на рис.9. Розрахунок значення середньоквадратичного відхилення показав, що ця величина коливається в межах 7÷11%.

Запропонований алгоритм розрахунку основних технологіч-

них параметрів процесу капсулювання із урахуванням специфіки взаємодії в системі твердий дисперсний матеріал – рідина – повітря в апараті псевдозрі-

дженого шару, за допомогою якого розраховано параметри капсулювання гранульованої нітроамфоски 10% (мас) водною суспензією суміші палигорськіт меляса у співвідношенні 5:4. Результати розрахунків наведені у табл.2.

Таблиця 2 - Технологічні параметри капсулювання нітроамфоски водною суспензією палигорськіт-меляса

Напір повітря, Па	535
Швидкість повітря, м/с	4,5
Витрата плівкоутворювача, $10^6 \text{ м}^3/(\text{с кг})$	0,5
Час капсулювання (хв.) для досягнення маси покриття 1% (мас) від маси добрива	2,42
Маса матеріалу в апараті, кг	0,4
Температура повітря на вході в апарат, °С	75

Для планування промислового впровадження розроблена принципова технологічна схема промислової установки із виробництва капсульованих добрив (рис.10).

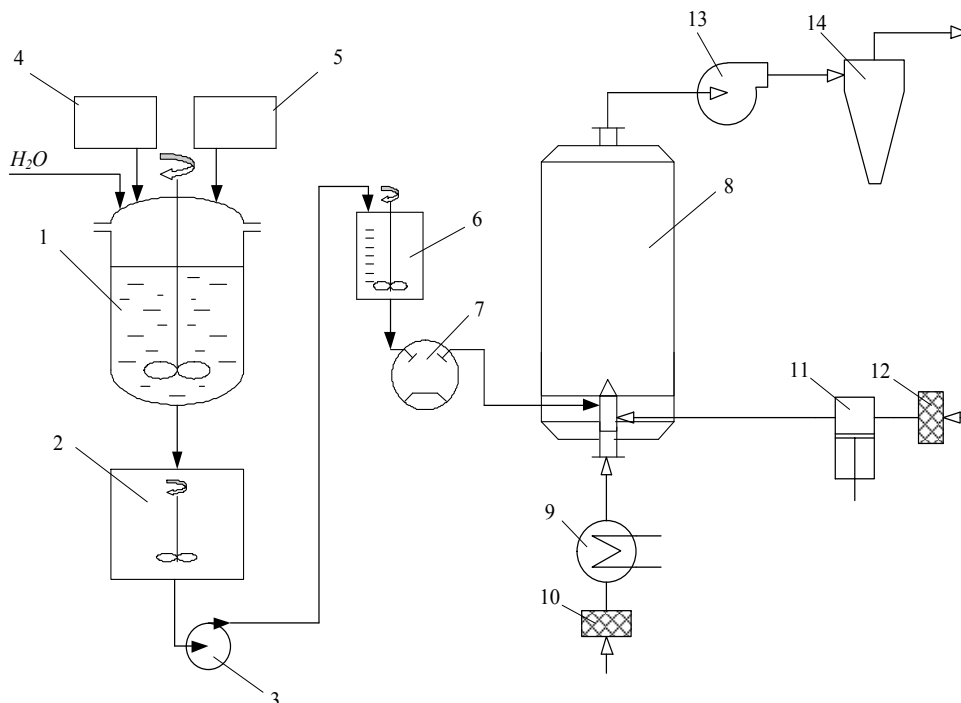


Рисунок 10 - Принципова технологічна схема капсулювання гранульованої нітроамфоски композицією на основі палигорськіту та меляси: 1 – ємність для приготування капсулоутворюючої композиції; 2 – збірник, обладнаний перемішувачем; 3 – насос; 4 – дозатор палигорськіту; 5 – дозатор меляси; 6 – дозатор капсулоутворюючої композиції; 7 – насос-дозатор; 8 – апарат киплячого шару; 9 – калорифер; 10, 12 – повітряні фільтри; 11 – компресор; 13 – газодувка; 14 – система очищення відпрацьованих газів.

Удосконалена конструкція апарату киплячого шару періодичної дії для капсулювання гранульованої нітроамфоски водною дисперсією плівкоутворювача.

Принцип роботи удосконаленого апарату полягає у встановленні на певній висоті над основними розпилювальними пристроями додаткових форсунок та диференціальним розподілом плівкоутворювальної суспензії між ними. За рахунок цього досягається більш рівномірний розподіл плівкоутворювача поверхнею дисперсного матеріалу. Задля вирішення такої задачі, необхідно було визначити місця розташування додаткових форсунок та кількості плівкоутворювача, який на них подається. Для визначення місця розташування додаткових форсунок досліджували інтенсивність тепломасообмінних процесів з висотою шару за температурними показниками (рис.11).

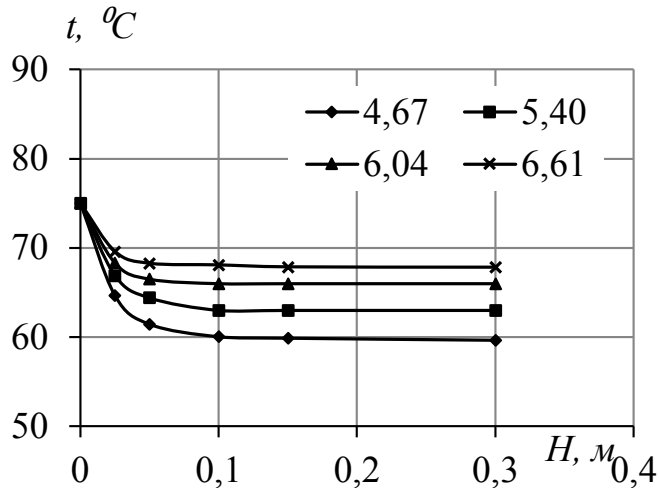


Рисунок 11 - Розподіл температури повітря по висоті шару нітроамофоски в процесі капсулювання в звичайному апараті ПШ за різної швидкості повітря, (м/с)

Під час капсулювання на поверхні частинок проходить теплообмін між зріджуючим повітрям та розчином плівкоутворювача. Підведена теплова енергія витрачається лише на випаровування рідкого дисперсійного середовища. Тому за зміною температури зріджуючого повітря можна робити висновок про перебіг масообміну між поверхнею частинок та зріджуючим повітрям. Аналіз отриманих даних показує, що найбільш інтенсивно процес теплообміну, а отже, і процес випаровування розчинника проходить на висоті, яка лежить в межах 15-30% висоти шару в стані

псевдозрідження, у залежності від швидкості повітря. На основі цього можна стверджувати про можливість встановлення додаткових форсунок на висоті 50% висоти шару матеріалу, залишаючи 20% запасу для досушування частинок. Кількість плівкоутворювача, який можна подати на додаткові форсунки, є різницею між максимальною та дійсною витратою розчину в умовах капсулювання в апараті, обладнанім лише основними розпилювачами. Максимальну витрату плівкоутворювача визначали за кількістю розчинника, який може випаруватися з поверхні частинок. В подальшому експериментальним шляхом визначали дійсну витрату плівкоутворювача G_d на додаткових форсунках, за якої відсутнє утворення агломератів.

Результати теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень інтенсивності зрошення шару нітроамофоски 10% водною дисперсією суміші меляса – палигорськит у співвідношенні 5:4 під час капсулювання в апараті киплячого шару циліндричного типу на 1 кг добрива, приведені в таблиці 3.

Як видно із наведених даних (табл.3.), додаткове встановлення розпилюючих форсунок на висоті, що відповідає 50% висоти шару нітроамофоски у стані псевдозрідження, дає можливість збільшити дійсну витрату плівкоутворювача, в залежності від швидкості повітря, від 75,9 - 83,5% до 93,7 - 97,1%.

Таблиця 3 - Технологічні параметри капсулювання нітроамофоски

Швидкість повітря, м/с		4,67	5,40	6,04	6,61
Коефіцієнт масовіддачі, м/с		0,32	0,35	0,39	0,43
Витрата плівкоутворювача, 10^4 кг/с	G_{max}	5,55	5,85	6,22	6,58
	G_p	4,21	4,62	5,06	5,49
	G_{dmax}	1,34	1,23	1,16	1,09
	G_d	0,99	0,95	0,92	0,90
Сумарна дійсна витрата (G_p+G_d), 10^4 , кг/с		5,20	5,57	5,98	6,39
Відносна різниця, %	$(G_{max}-G_p)/G_{max}$	24,1	21,0	18,6	16,5
	$(G_{max}-(G_p+G_d))/G_{max}$	6,3	4,8	3,8	2,9

У п'ятому розділі наведені результати досліджень основних властивостей капсульованої сумішшю палигорськіт-меляса гранульованої нітроамофоски.

Оболонка на поверхні гранули добрива зменшує інтенсивність розчинення діючої речовини ґрунтовими водами. Для забезпечення необхідної швидкості вивільнення елементів живлення з капсульованого добрива, необхідно дослідити провідність отриманого покриття. Здійснюючи теоретичний опис процесу розчинення мінеральних добрив через оболонку на поверхні гранули приймаємо, що фізичні властивості покриття залишаються незмінні. Швидкість вивільнення компонентів живлення через оболонку в середовище розчинника залежить в тій чи іншій мірі від багатьох факторів. Визначальні з них - це товщина покриття та природа плівкоутворювача. Для теоретичного розрахунку кінетики вивільнення компонентів добрива через оболонку, отримане рівняння виду:

$$\ln\left(\frac{C_s}{C_s - C_p}\right) = -\frac{kF}{W_p}\tau \quad (13)$$

В наведеному рівнянні (13) параметри оболонки (товщина та проникність) впливають на інтенсивність розчинення через коефіцієнт масопередачі:

$$k = \frac{1}{\delta/D_2 + 1/\beta} \quad (14)$$

Значення коефіцієнту масовіддачі компонентів добрива від поверхні оболонки у середовище розчинника β визначали експериментально. Для цього частинку нітроамофоски витримували в посудині з дистильованою водою певний час τ . Потім її виймали, висушували до постійної маси і зважуванням визначали втрату маси ΔM . Використовуючи кінетичне рівняння:

$$\beta = \frac{\Delta M}{FC_s \tau}, \quad (15)$$

знаходили значення коефіцієнту масовіддачі в умовах вільної конвекції. Оскільки час розчинення τ був невеликий, то концентрація нітроамофоски у великому об'ємі води була настільки малою, що можна було прийняти її значення рівним нулю. Визначене таким чином середнє з п'яти близьких значення коефіцієнту масовіддачі β склало $\beta = 2,35(\pm 0,03) \times 10^{-6}$ м/с.

Коефіцієнт масопередачі знаходили графічно з рівняння (13). Для цього проводили дослідження процесу вивільнення компонентів нітроамофоски через оболонку, отриману з використанням композиції палигорськіт – меляса із масовим співвідношенням 5:4. Величина покриття складала 20% і 10% від маси добрива. З метою максимально точного розрахунку площі розчинення, для досліджень, які нами проводились, відбирали частинки правильної кулястої форми діаметром $4 \cdot 10^{-3}$ м. За результатами досліджень будували графіки залежності величини $\ln(C_s / (C_s - C_p))$ від часу проведення процесу τ , наведені на рисунку 12, причому тангенс кута нахилу кривої дорівнює величині $-kF/W_p$.

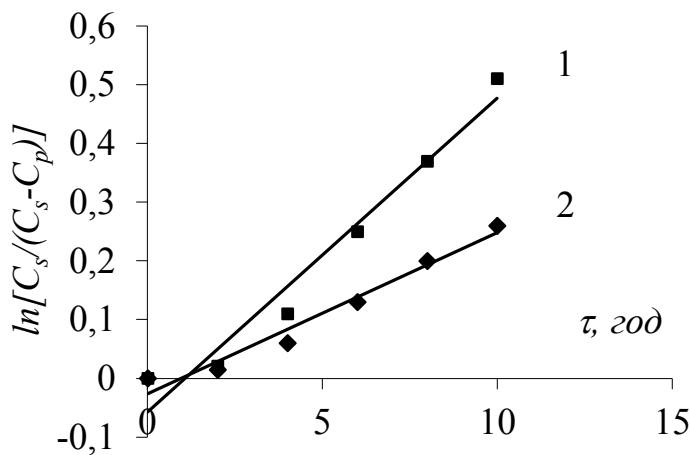


Рисунок 12 - Графічні залежності, які використовувались для знаходження коефіцієнту масопередачі через оболонку палигорськіт + меляса (величина покриття від маси добрива 1 - 10%, 2 - 20%).

За тангенсом кута нахилу кінетичної кривої визначали значення коефіцієнту масо передачі k , а за рівнянням (14) розраховували коефіцієнт дифузії цільового компоненту у матеріалі оболонки на поверхні частинки. Отримане шляхом розрахунків значення коефіцієнту дифузії $D_2 = 6,34 \cdot 10^{-10}$ м²/с. Середньоквадратичне відхилення експериментальних та теоретичних величин, отриманих за допомогою рівняння (13), не перевищує 17%.

Капсулювання мінеральних добрив проводиться з метою, в

першу чергу для зменшення інтенсивності вивільнення в ґрунтові води легкорозчинних речовин. Згідно європейських норм, які висуваються до повільнодіючих капсульованих мінеральних добрив, необхідно приймати до уваги такі критерії оцінювання їх ефективності:

- вивільнення активного компоненту за 24 години повинно складати не більше 15% масових;
- вивільнення активного компоненту за 28 днів повинно складати не більше 75% масових;
- вивільнення активного компоненту за час повного терміну вивільнення повинно складати не менше 75% масових.

Результати тестових досліджень нітроамофоски, капсульованої композицією палигорськіт - меляса, приведені на рис. 13.

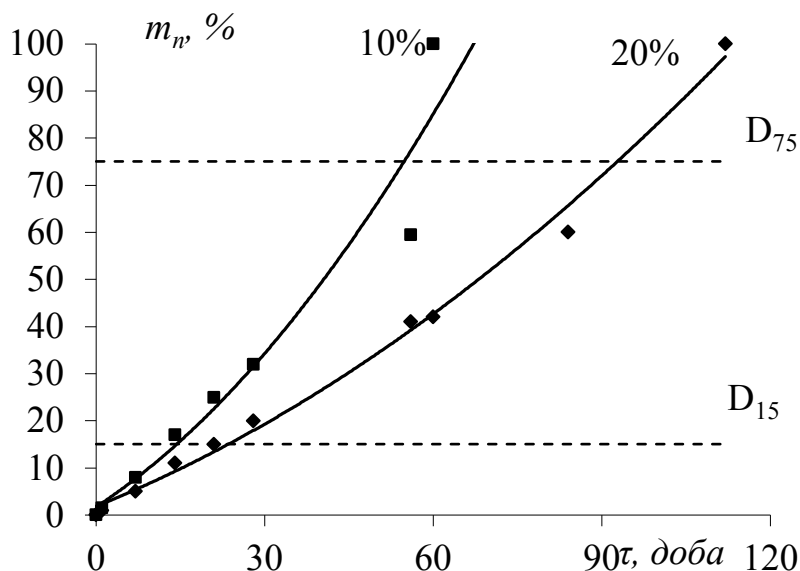


Рисунок 13 - Кінетичні залежності вивільнення нітроамофоски з капсульованих частинок, покритих оболонкою палигорськіт-меляса різної товщини.

Як видно із наведених на рис.13 залежностей нітроамофоска, капсульована плівкою на основі композиції палигорськіт-меляса в кількості 20% від маси добрива, може застосовуватися як добриво пролонгованої дії з повним терміном вивільнення до 3-х місяців.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна задача – створення наукових засад розробки та вдосконалення технологічних параметрів процесу та обладнання для капсулювання гранульованих мінеральних добрив водною суспензією плівкоутворювача на основі природних дисперсних сорбентів та зв'язуючого, що дає змогу знизити непродуктивні втрати елементів живлення та зменшити негативну дію залишкових агрохімікатів на довкілля.

1. Капсулювання дисперсних матеріалів проводиться різними фізичними, фізико-хімічними та хімічними методами. Однак, найбільш доцільним для капсулювання гранульованих мінеральних добрив, є нанесення покриття у стані псевдозрідження. Такий процес характеризується складною взаємодією у трьохфазній системі тверде тіло – рідина – газ.

2. У результаті аналізу фізико-хімічних властивостей природних мінералів, меляси та нітроамофоски, розроблено плівкоутворюючу композицію для капсулювання складу палигорськіт - меляса у співвідношенні 5:4 (Патент 78081 UA МПК C05F 5/00).

3. Отримане рівняння для розрахунку гідравлічного опору шару матеріалу в залежності від інтенсивності зрошення плівкоутворюючою композицією і швидкості псевдозріджуючого повітря системи нітроамофоска – палигорськіт –

На початковій стадії вивільнення компонентів добрива з капсули зростання концентрації носило лінійний характер. Через деякий час спостерігалось механічне руйнування оболонки, що призводило до різкого збільшення інтенсивності вивільнення. Виходячи з цього покриття на основі композиції палигорськіт - меляса, маса якого складає менше 20% від маси добрива, може застосовуватися як захисна оболонка для запобігання злежуваності добрив та насичення його додатковими мікроелементами.

меляса забезпечує збільшення точності теоретичних розрахунків з 10,7 -12,% до 5,2 - 9,1%.

4. Узагальнення експериментальних значень дало змогу отримати: критеріальні залежності для визначення з точністю до 10,1% коефіцієнта тепловіддачі, та з точністю до 10,7% - коефіцієнта масовіддачі; отримати рівняння для розрахунку коефіцієнту масовіддачі за відомим значення коефіцієнту тепловіддачі процесу капсулювання нітроамофоски водною суспензією палигорськіт – меляса в стані псевдозрідження.

5. Розроблена математична модель процесу капсулювання шару зернистого матеріалу різного дисперсного складу дає змогу з точністю 7 - 11% розраховувати товщину оболонки на поверхні частинок суміші.

6. На основі запропонованого алгоритму розраховані основні технологічні параметри процесу капсулювання нітроамофоски водною суспензією палигорськіт – меляса із урахуванням специфіки взаємодії в системі твердий дисперсний матеріал – рідина – повітря в апараті псевдозрідженого шару.

7. Розроблено принципову технологічну схему капсулювання нітроамофоски із застосуванням розробленої плівкоутворювальної композиції.

8. У результаті аналізу закономірностей тепломасообміну під час капсулювання нітроамофоски водною суспензією плівкоутворювача, удосконалена робота апарату псевдозрідженого стану, що дало змогу підвищити ефективність роботи установки періодичної дії з 75,9 - 83,5% до 93,7 - 97,1% за рахунок встановлення додаткового поясу форсунок та забезпечення кращого розподілу плівкоутворювача поверхнею частинок добрива та, відповідно, скоротити час капсулювання на 14,0 - 18,9%.

9. З метою теоретичного прогнозування кінетики та часу повного вивільнення компонентів добрива з капсули проведені дослідження проникності покриття на основі суміші палигорськіт – меляса у співвідношенні 5:4. Визначено коефіцієнт внутрішньої дифузії компонентів нітроамофоски у матеріалі оболонки D_2 , який дорівнює $6,34 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

10. Аналіз результатів тестових випробувань капсульованих добрив згідно EN 13266:2001 показав, що нітроамофоска, капсульована композицією палигорськіт - меляса у співвідношенні 5:4 в кількості 20% від маси добрива, може застосовуватися як добриво пролонгованої дії з повним терміном вивільнення до 3-ох місяців.

Основні умовні позначення

S – площа поперечного січення сопла розпилювального пристрою, м^2 ; ΔP_p , ΔP_c – опір, відповідно, зрошеного і сухого шару матеріалу, Па; w_p – швидкість рідини на виході із розпилювача, м/с; $G_{нов}$ – витрата зріджуючого повітря, кг/с; $C_{нов}$ – теплоємність зріджуючого повітря, Дж/кг·К; $t_{вх}$, $t_{вих}$ – температура зріджуючого повітря, відповідно, на вході і на виході робочої зони апарату, °С; $G_{роз}$ – витрата рідкого дисперсійного середовища (води), кг/с; $C_{роз}$ – теплоємність рідкого дисперсійного середовища (води), Дж/кг·К; $t_{роз}$ – температура плівкоутворюючої суспензії на поверхні частинок, °С; t_{np} – початкова температура плівкоутворюючої суспензії, °С; $r_{роз}$ – питома теплота пароутворення рідкого дис-

персійного середовища (води), Дж/кг; \bar{F} - середня площа теплообміну в процесі капсулювання, м²; $\bar{t}_{нов}$ - середня температура повітря в робочій зоні апарату, °С; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²К; t_u - температура поверхні частинки, °С; M - маса випареного рідкого дисперсійного середовища (води), кг; β - коефіцієнт масовіддачі пари рідкого дисперсійного середовища (води) від поверхні частинки в середовище зріджуючого агенту; $\rho_{нас}$ - густина пари рідкого дисперсійного середовища (води) в стані насичення за умов процесу, кг/м³; ρ - дійсна густина рідкого дисперсійного середовища (води) в робочій зоні апарату, кг/м³; R_1, R_2 - розміри частинок у полідисперсній суміші, м; $N_{ч1}, N_{ч2}$ - кількість частинок розмірів R_1 і R_2 у полідисперсній суміші, шт.; D_2 - коефіцієнт дифузії компоненту в оболонці, м²/с; β - коефіцієнт масовіддачі компоненту в рідкій фазі, м/с; C_s - концентрація насичення речовини, кг/м³; F - площа поверхні масообміну, площа твердої фази, що розчиняється, м²; δ - товщина оболонки, м; ρ_s - густина твердої фази, кг/м³; τ - час процесу, с; W_p - об'єм розчинника, м³; k - коефіцієнт масопередачі розчину із компонентів мінерального добрива з капсульованої частинки в середовище зовнішнього розчинника, кг/(м²с); M - маса добрива, що розчиняється всередині капсули в будь-який момент часу, кг;

Безрозмірні комплекси: $Re = wdp/\mu$ - число Рейнольдса; $Nu = ad/\lambda$ - число Нусельта; $Pr = \nu/a$ - число Прандтля; $Sh = \beta l/D$ - число Шервуда; $Sc = \nu/D$ - число Шмідта.

Список праць за темою дисертації

Статті у міжнародних наукових виданнях

1. Малеваный Мирослав. Использование природных сорбентов в природоохранных агротехнологиях/ Мирослав Малеваный, Василий Бунько, Татьяна Гажула, Зоряна Однориг//Устойчиво развитие. - 2013., №10(июнь). - С.126-133. *(проведення експериментів та аналіз їх результатів)*.

Статті у фахових виданнях з технічних наук

1. Нагурський О.А. Особливості капсулювання гранульованих мінеральних добрив в апаратах киплячого шару / О.А.Нагурський, М.С.Мальований, В.Я. Бунько // Хімічна промисловість України. - 2012. - № 5. - С.55-58. *(проведення та аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

2. Мальований М.С. Тепломасообмін процесу капсулювання мінеральних добрив водним розчином плівкоутворюючої композиції палигорськіт - меляса / М.С.Мальований, О.А.Нагурський, В.Я.Бунько, В.М.Друзюк // Вісник Кременчуцького НУ ім. Михайла Остроградського «Екологічна безпека». - 2012. - Вип.2/2012 (74). - С.117-120. *(проведення та аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

3. Бунько В.Я. Встановлення оптимального складу плівкоутворюючої композиції капсульованого мінерального добрива /В.Я.Бунько, М.С.Мальований, О.А.Нагурський, В.М.Друзюк//Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського «Екологічна безпека». - 2012. - Вип. 4/2012 (75). - С.135-139. . *(підготовка експерименту, проведення досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування)*.

4. Бунько В.Я. Дослідження проникності покриття екологічно безпечних капсульованих мінеральних добрив /В.Я.Бунько, М.С.Мальований, О.А.Нагурський, В.М.Друзюк // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського «Екологічна безпека». – 2012. - Вип. 1/2012 (13). - С.94-98. . *(підготовка експерименту, проведення досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування).*

Статті у інших виданнях

1. Петрус Р. Застосування природних сорбентів у природоохоронних цілях / Р.Петрус, М.Мальований, Г.Сакалова, В.Бунько//Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво». - 2012. – Вип. 171. - Ч. 1. - С.139-143. *(проведення досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування).*
2. Бунько В.Я. Екологічні аспекти застосування капсульованих мінеральних добрив/ В.Я.Бунько, М.С.Мальований, О.А.Нагурський//Екоінформ. – 2012. - №12. – С.7 – 9 *(проведення аналіз впливу застосування капсульованих мінеральних добрив на стан навколишнього середовища).*

Матеріали наукових конференцій

1. Мальований М.С. Теоретичні основи застосування екологічно безпечних добрив пролонгованої дії, капсульованих плівкою на основі мелених мінералів та зв'язуючого органічного походження /М.С.Мальований, В.Я.Бунько, О.А.Нагурський // 3-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, Вінниця. – 2011. - С.410-412. *(проведення експериментальних досліджень та аналіз їх результатів).*
2. Мальований М.С. Мінімізації екологічної небезпеки від забруднення довкілля незасвоєних рослинами мінеральними добривами/ М.С.Мальований, В.Я.Бунько, О.А.Нагурський // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Регіональні та транскордонні проблеми екологічної безпеки» (Горбуновські читання), Чернівці. - 2011.- С.95-96. *(проведення експериментальних досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування).*
3. Бунько В.Я. Забезпечення охорони навколишнього середовища в рослинництві шляхом застосування капсульованих добрив/ В.Я.Бунько, М.С.Мальований // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування», м.Київ. – 2011. - С.13-14. *(проведення експериментальних досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування).*

Патенти

1. Патент України на корисну модель № 78081 МПК С05F 5/00 «Полімерна дисперсія для капсулювання добрив», Мальований М.С., Нагурський О.А., Бунько В.Я. заявл. 06.08.2012 р., опубл. бюл. № 5.-11.03.2013.

АНОТАЦІЯ

Бунько В.Я. Тепломасообмін процесів отримання та використання мінеральних добрив, капсульованих водною суспензією плівкоутворювача. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Сумський державний університет, Суми, 2013.

Дисертація присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням гідродинаміки, тепло- та масообміну процесу капсулювання гранульованих мінеральних добрив водною суспензією плівкоутворюючої композиції та кінетики вивільнення компонентів добрив із капсульованих частинок. Розроблено плівкоутворюючу композицію для капсулювання складу палигорськіт - меляса у співвідношенні 5:4.

Отримане рівняння для розрахунку гідравлічного опору шару матеріалу в залежності від інтенсивності зрошення плівкоутворюючою композицією і швидкості псевдозріджуючого повітря системи нітроамофоска – палигорськіт – меляса, критеріальні залежності для визначення коефіцієнта тепловіддачі та коефіцієнта масовіддачі; рівняння для розрахунку коефіцієнту масовіддачі за відомим значення коефіцієнту тепловіддачі.

Розроблена математична модель процесу капсулювання шару зернистого матеріалу різного дисперсного складу. Розраховані основні технологічні параметри процесу капсулювання нітроамофоски водною суспензією палигорськіт – меляса із урахуванням специфіки взаємодії в системі твердий дисперсний матеріал – рідина – повітря в апараті псевдозрідженого шару. Розроблено принципову технологічну схему капсулювання нітроамофоски із застосуванням розробленої плівкоутворюючої композиції. Удосконалена робота апарату псевдозрідженого стану. Визначено коефіцієнт внутрішньої дифузії компонентів нітроамофоски у матеріалі оболонки. Основні результати передані для впровадження у виробництво і застосування капсульованих мінеральних добрив та у навчальний процес.

Ключові слова: гранульована нітроамофоска, капсулювання, гідродинаміка, теплообмін, масообмін, псевдозрідження, екстрагування, математичні моделі.

АННОТАЦИЯ

Бунько В.Я. Тепломассообмен процессов получения и использования минеральных удобрений, капсулированных водной суспензией пленкообразователя. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. – Сумской государственной университет, Сумы, 2013.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям гидродинамики, тепло- и массообмена процесса капсулирования гранулированных минеральных удобрений водной суспензией пленкообразующей композиции и кинетики высвобождения компонентов удобрений из капсулирован-

ных частиц. Разработано пленкообразующую композицию для капсулирования состава палыгорскит - меласса в соотношении 5:4.

Проведены исследования гидродинамики слоя гранулированной нитроаммофоски в процессе капсулирования в состоянии псевдооживления водной суспензией смеси палыгорскит - меласса. Определено, что сопротивление слоя материала имеет функциональную зависимость от скорости воздуха и расхода раствора - пленкообразователя. На основании обобщенных экспериментальных данных получено уравнение для описания гидродинамики капсулирования нитроаммофоски в состоянии псевдооживления с учетом взаимодействия твердое тело – жидкость - воздух.

Исследована кинетика теплообмена в шаре гранулированной нитроаммофоски в процессе капсулирования водной суспензией смеси палыгорскит - меласса. Для обобщения экспериментальных данных использованы критерии подобия, на основании которых получены зависимости для определения коэффициентов тепло- и массоотдачи.

Разработана математическая модель процесса капсулирования слоя зернистого материала различного дисперсного состава и установлено, что для полидисперсионной смеси частиц соотношение толщин оболочек обратно пропорционально соотношению площади поверхностей частиц в первой степени, а соотношение радиусов частиц обратнопропорциональное соотношению площади поверхностей частиц в квадрате.

Предложена принципиальная технологическая схема капсулирования гранулированных минеральных удобрений водной суспензией пленкообразователя. На основании экспериментальных исследований теплообмена, обосновано улучшение работы аппарата для капсулирования минеральных удобрений за счет обеспечения более равномерного распределения пленкообразователя по поверхности материала.

Проведены исследования проницаемости покрытия, состоящего из смеси палыгорскит – меласса в соотношении 5:4. Определен коэффициент внутренней диффузии компонентов нитроаммофоски в материале оболочки. Анализ результатов тестовых испытаний капсулированных удобрений показал, что нитроаммофоска, капсулированная композицией палыгорскит - меласса в соотношении 5:4 в количестве 20% от массы удобрения, может использоваться как удобрение пролонгированного действия с полным периодом высвобождения до 3-х месяцев.

Основные результаты переданы для внедрения в производство и усовершенствование технологии применения капсулированных минеральных удобрений, а также в учебный процесс.

Ключевые слова: *гранулированная нитроаммофоска, капсулирование, гидродинамика, теплообмен, массообмен, псевдооживление, экстрагирование, математические модели.*

SUMMARY

Bunko V.Y. Heat and mass transfer processes of production and use of fertilizers encapsulated with film-forming aqueous suspension- Manuscript.

Thesis for PhD degree by specialization 21.06.01–Ecological safety.– Sumy State University Ministry of Education and Science, Youth and Sport of Ukraine, Sumy, 2013.

The dissertation is dedicated to theoretical and experimental study of hydrodynamics, heat and mass transfer process of granular fertilizer encapsulation with film-forming aqueous suspension and kinetics of fertilizer components release from encapsulated particles. Film-forming encapsulation composition, which comprise of palygorskite - molasses mixture in the ratio 5:4, was developed.

The obtained results led to development of (1) the equation for calculating the hydraulic resistance of material layer depending on the rate of irrigation with film-forming composition and the speed of fluidization air in the system fertilizer - palygorskite – molasses; (2) criterion dependences for determining the heat and mass transfer coefficient; and (3) the equation for calculating the mass transfer coefficient having the known value of heat transfer coefficient.

The mathematical model of encapsulation of layer of granular material with different particle sizes was developed. The main technological parameters of encapsulating NPK fertilizer with an aqueous suspension of palygorskite - molasses mixture were calculated taking into account specific interactions in the system of solid particulate material - liquid - air in a fluidized bed reactor. A fundamental technological scheme of NPK fertilizer encapsulation with film-forming composition was developed. The performance of fluidized bed reactor was improved. The diffusion coefficients of NPK fertilizer internal components in the material of the shell were determined. The main results were passed for implementation in production of capsulated fertilizers and the teaching process.

Keywords: *granulated NPK fertilizer, encapsulation, hydrodynamics, heat transfer, mass transfer, fluidization, extraction, mathematic model.*

Підписано до друку 24.10.2013. Формат 60x84/16
Друк офсетний. умов. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Папір офсетний. Зам. № 24/10
Надруковано у НВДЦ «Нововведення»
47501, обл. Тернопільська, м. Бережани, вул. Академічна, 20
Тел./факс: (03548) 2-18-15