

УДК 631.333

ОСНОВИ ПРИГОТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ДОБРІВ І АГРОХІМІКАТІВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВОДУ ЕНЕРГІЇ

Б.Х. Драганов, доктор технічних наук

Ю.А. Борхаленко, кандидат технічних наук

Наведена математична модель гідродинамічних і тепломасообмінних процесів обумовлених дискретно-імпульсного вводу енергії. Виконаний аналіз даних, отриманих методом CFD-моделі. Визначений рівень ефективності добрив і агрохімікатів при їх гомогенізації дискретно-імпульсним вводом енергії.

Математичне моделювання, агрохімікати, CFD-модель, дискретно-імпульсний ввід енергії, рівняння Нав'є-Стокса.

Мета дослідження – розробити метод підвищення ефективності добрив і агрохімікатів на основі технології дискретно-імпульсного вводу енергії.

Матеріал і метод дослідження. Агрохімічні засоби життєдіяльності рослин з використанням агрохімікатів представляють собою ефективний шлях підвищення продуктивності вирощуваних сільськогосподарських культур. Одним з факторів, що визначають ефективність гетерогенних, як правило, агрохімікатів, є їх рівень гомогенності. Найефективнішою технологією як в енергетичному відношенні і ступеня однорідності компонентів, ґрунтується на концепції дискретно-імпульсного вводу енергії.

В інституті технічної теплофізики НАН України метод дискретно-імпульсного вводу енергії широко використовується у багатьох технологічних процесах. У даній статті викладені одні з перших результатів використання положень дискретно-імпульсного вводу енергії в агропромисловому комплексі.

У технологіях дискретно-імпульсного вводу енергії використовується відповідна апаратура. В даному випадку використовувався роторно-імпульсний апарат (РПА). Конструкція потокової частини апарату показаний на рис.1.

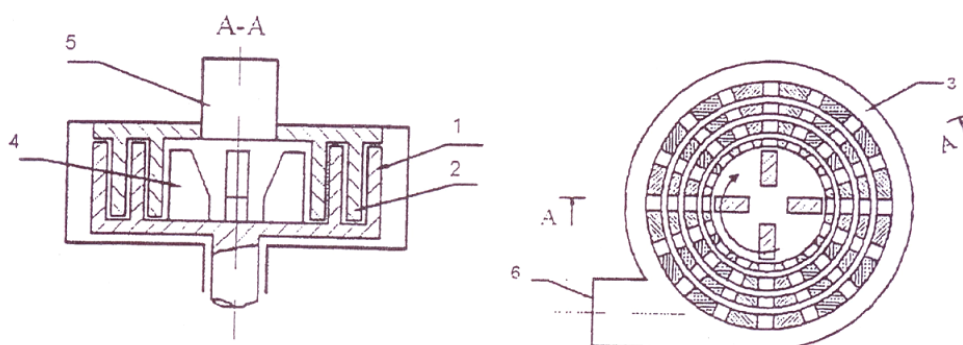


Рис.1. Конструкційна схема РПА

Система рівнянь (Нав'є-Стокса), записана в циліндричних координатах, включає рівняння руху:

$$p \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\phi}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \phi} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \phi^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

$$p \left(\frac{\partial v_\phi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + \frac{v_\phi}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi} + \frac{v_r v_\phi}{r} + v_z \frac{\partial v_\phi}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial \phi} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial r} - \frac{v_\phi}{r^2} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\phi}{\partial \phi^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \phi} + \frac{\partial^2 v_\phi}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$p \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\phi}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \phi} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

де γ – параметр, який характеризує ширину циркуляційного потоку; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості; p – тиск, Па; і рівняння нерозривності має вигляд:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

В цих рівняннях прийняті позначення v_r, v_ϕ, v_z – складові швидкості в напрямі відповідно до радіальної, колової і осової координат.

Рівняння енергії відповідає першому закону термодинаміки для елементарного об'єму рухомого середовища. Для випадку, в якому розглядаються швидкості накопичування внутрішньої і кінетичної енергії, визначається швидкість підводу теплоти і швидкість виконання роботи:

$$Qd\tau + Ld\tau = p[du + d(w^2/2)], \quad (5)$$

де Q – кількість теплоти, Дж; τ – час змішування, с; L – довжина вертикальної проекції об'єму рухомого середовища, м; du – зміна внутрішньої енергії, Дж; $d(w^2/2)$ – зміна кінетичної енергії частинок, Дж.

Доведено, що динаміка руху частинки в об'ємі рідини описується системою рівнянь гідродинаміки і тепло масообміну. Для руху нестикованої рідини в наших умовах (на міжфазній межі розподілу з боку рідкої фази) можна застосувати рівняння Релея-Ламба, для якого визначені граничні умови (густина – 1,34-1,01 г/см³, час змішування 500-750 с) для дискретно-імпульсного вводу енергії:

$$\frac{dV_R}{dr} = (p - p_1 - 1,5\rho V_R^2 - 2\tau) / R - 4\mu_1 V_R / pR_a, \quad (6)$$

де V_R – швидкість бульбашки рідини, м/с; p – тиск, Па; μ_1 – динамічний коефіцієнт в'язкості, Нс/м²; ρ – густина рідини, г/см³; R_a – радіус бульбашки, мм.

Комп'ютерним моделюванням процесу перемішування 15 л добрива КАС та 30 л води встановлено оптимальний час виконання операції, який необхідний для високої гомогенізації розчину та недопущення неефективних енергетичних витрат (рис.2). На основі проведеного аналізу процесу перемішування, отриманого в результаті комп'ютерного моделювання, зроблено висновок, що гомогенізація двокомпонентного середовища «рідина-рідина» настає в період з 120 до 720 с з початку часу перемішування, а збільшення часу перемішування до 3600 с не змінює густини розчину КАС, а власне і ступеня перемішування. В процесі перемішування розчину за перші 2,5 % від загального часу перемішування відбувається зміна густини розчину на 90,9 %, а за решту 97,5 % часу густина розчину змінюється на 9,1 %.

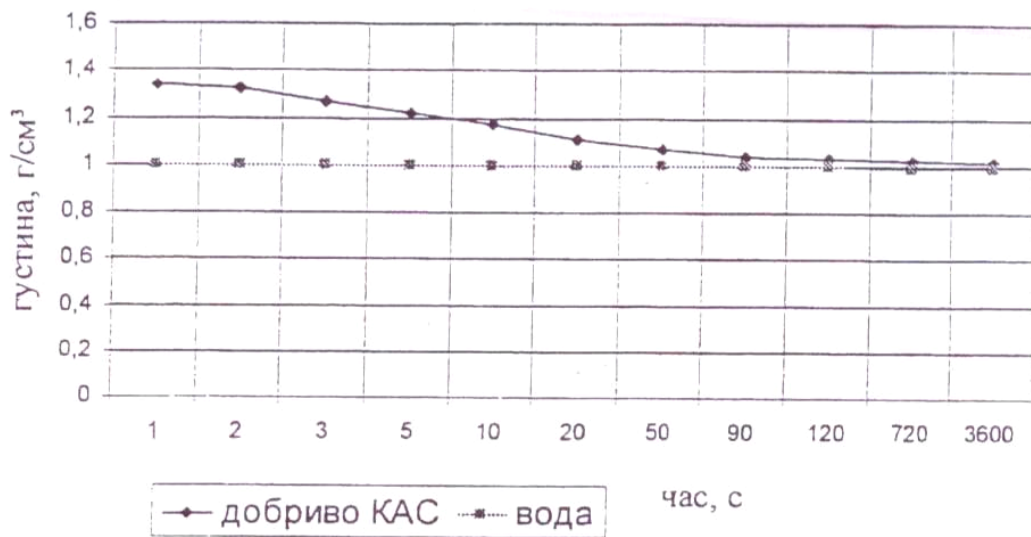


Рис. 2. Зміна густини основного (води) і складового компоненту в процесі приготування добрива КАС (карбамідно-аміачна суміш)

Доведено, що потік рідини в радіальному і осьовому напрямках відсутній, а рівняння Нав'є-Стокса набуває такого вигляду:

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} - \frac{V}{r^2} = 0. \quad (7)$$

Граничні умови визначені у вигляді

$$V = \omega R_p \text{ при } r = R_p; V = 0, \text{ при } r = R_c; R_p \leq r \leq R_c. \quad (8)$$

За цих умов отримуємо:

$$V = \frac{\omega R_p^2 R_c^2 - \omega R_p^2 r^2}{(R_c^2 - R_p^2)^2 r}, \quad (9)$$

де R_p – радіус зовнішньої поверхні ротора, м; R_c – внутрішньої поверхні ротора, м; r – радіус змінний радіус, м; ω – кутова швидкість, 1/с; V – середньо-масова швидкість, м/с.

Основним показником якості змішування суміші є ступінь дисперсності і розмір частинок речовини (рис. 3.).

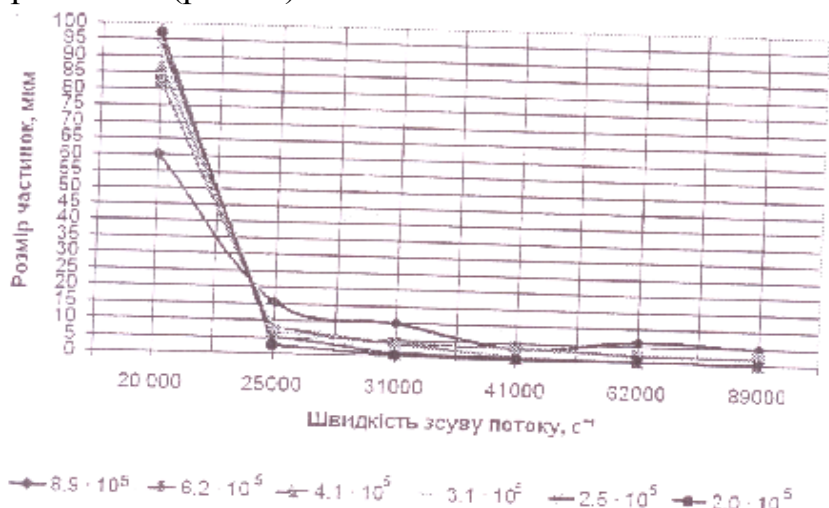


Рис. 3. Графік залежності розмірів часток суміші від швидкості зсуву потоку при перемішуванні

Для параметрів $t = 0 - 3600$ с, $\rho = 1,34 - 1,01$ г/см³ побудовано поверхню відгуку залежності густини розчину від часу змішування для добрива КАС (рис. 4.).

Оптимальні параметри режиму роботи РПА при перемішуванні розчину добрива КАС характеризуються точкою «А» на поверхні відгуку.

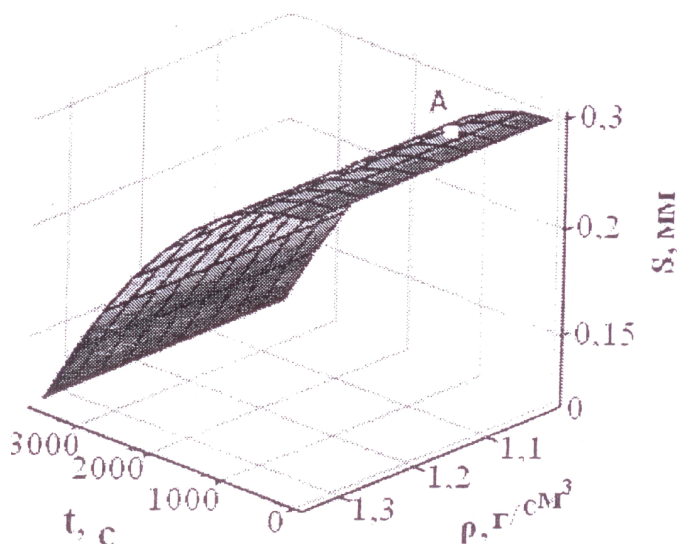


Рис. 4. Поверхня відгуку залежності густини розчину від часу змішування для добрива КАС

Аналіз отриманих результатів комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження в процесі перемішування наближається до однорідної консистенції в межах часу від 120 до 720 с.

На основі аналізу графіків гомогенізації добрива КАС визначена залежність параметрів та оптимальний режим роботи РПА.

Теоретичні та експериментальні дослідження показують, що застосування добрив КАС, змішаного за принципом дискретно-імпульсного вводу енергії, є перспективним з точки зору енерго- та ресурсозбереження.

Висновки

У результаті комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження гетерогенних середовищ показано, що ефективно використання принципу дискретно-імпульсного вводу енергії. В процесі перемішування розчину за перші 2,5% від загального часу перемішування відбувається зміна густини розчину на 90,9 %, а за решту 97,5% часу густина змінюється на 9,1 %. Використання принципу дискретно-імпульсного вводу енергії для приготування розчинів агрохімікатів дало можливість використати різні види енергетичного впливу на оброблюване середовище для досягнення високого ступеня гомогенізації (однорідності) з мінімальними енергетичними затратами.

Список літератури

1. Долінський А.А. Фізичні основи математичні підходи та технологічні аспекти використання метода дискретно-імпульсного вводу енергії для керування кінетикою протікання нанорівневих процесів в дисперсних та супрамолекулярних системах / А.А. Долінський, А.О. Авраменко, Г.К. Іваніцький // Пром. теплотехніка. – Т.36. – №1, 2014. – С. 3-17.
2. Драганов Б.Х. Математичне моделювання процесу механічної гомогенізації багатофазних середовищ / Б.Х. Драганов, М.М. Доля, Ю.О. Борхаленко // Аграрна наука і освіта, 2006. – №1-2. – С. 105-107.

Приведена математическая модель гидродинамических и тепломассо-обменных процессов, обусловленных дискретно-импульсного ввода энергии. Выполнен анализ данных, полученных методом CFD-модели. Определен уровень эффективности удобрений и агрохимикатов при их гомогенизации дискретно-импульсным вводом энергии.

Математическое моделирование, агрохимикаты, CFD-модель, дискретно-импульсный ввод энергии, уравнение Навье-Стокса.

A mathematical model of hydrodynamic and heat and mass transfer processes due to discrete input pulse energy. The analysis of the data obtained by the CFD model. The level of efficiency of fertilizers and agro-chemicals in their homogenization of discrete-pulse energy input.

Mathematical modeling, agrochemicals, CFD- model of discrete-pulse energy input, the Navier-Stokes equations.