

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

**РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІКО-
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ НАСІННЄВОГО
МАТЕРІАЛУ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ПІД ДІЄЮ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ**

Система диференційних рівнянь процесу переміщення насіння в повітряному потоці в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами. Запропоновано вирішення подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано при моделюванні в програмному пакеті STAR-CCM+. При моделюванні процесу методом кінцевих елементів задаються початкові положення швидкості насіння і повітряного потоку.

© Е. Б. Алієв

Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожну насінину в кожній інтервал часу. Для кожної насінини обчислюється результуюча сила і також вирішується задача Коші на вибраному відрізку часу, результатом якої є початкові дані для наступного кроку. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k - ϵ модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, модель дискретних елементів, модель багатофазної взаємодії. Метод дискретних елементів базується на законах збереження імпульсу і моменту імпульсу для Лагранжових моделей багатофазного середовища. В результаті чисельного моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією повітряного потоку визначені раціональні режимні параметри при умові максимуму коефіцієнта заповнення θ : ефективний діаметр насіння $D_p = 3\text{мм}$, подача насіння $Q = 0,03\text{ кг/с}$ і швидкість повітря $V = 15\text{ м/с}$.

Ключові слова: насіння, аеродинаміка, моделювання, потік, повітря, параметри.

Постановка проблеми

Завдання розділення насіння за щільністю (питомій вазі, фактурі) зводиться до попереднього його калібрування за геометричними розмірами. В іншому випадку з'являється дві змінні: парусність і щільність. Очевидно, що при однаковій щільності насіння меншої маси під впливом повітряного потоку летить далі, а насіння більшої маси – ближче. Крім того, в залежності від орієнтації насінини до вектору швидкості повітряного потоку з'являється діапазон парусності, що призводить до випадкової траєкторії руху насінини. Звичайно, при тривалому впливі повітряного потоку насіння займе найбільш аеродинамічне положення, при якому спостерігається найменший опір.

Окрім вище зазначеного, потік повітря повинен мати рівномірну структуру, як за параметрами турбулентності (масштаб і інтенсивність), так і по епюрі швидкості.

Розуміючи всі складнощі поставленого завдання, необхідно дослідити процес переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією повітряного потоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показав аналіз літературних джерел та фахових наукових публікацій [1–3], дослідженню процесу переміщення насінневого матеріалу під дією повітряного потоку присвячено багато теорій та методик розрахунку координатних положень насіння. В основу цих досліджень покладено фізико-математичний апарат переміщення матеріальної точки під дією різноманітних сил, що не враховує взаємодію насіння між собою, які мають випадкове початкове положення. Задача взаємодії потоку насіння з повітряним потоком відноситься до класичної задачі газодинаміки двофазних потоків. Система диференціальних рівнянь процесу переміщення насіння у повітряному потоці в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами. Дослідженнями [4–6] запропоновано вирішення подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано при моделюванні в програмному пакеті STAR-CCM+.

Мета, завдання та методика досліджень

Провести чисельне моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією повітряного потоку і визначити його раціональні режимні параметри.

При моделюванні процесу методом кінцевих елементів задаються початкові положення, швидкості насінин і повітряного потоку. Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожну насінину у кожній інтервал часу. Для кожної насінини обчислюється результуюча сила і також вирішується задача Коші на вибраному відрізку часу, результатом якої є початкові дані для наступного кроку. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k - ϵ модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, модель дискретних елементів, модель багатофазної взаємодії [7–9]. Метод дискретних елементів базується на законах збереження імпульсу і моменту імпульсу для Лагранжевих моделей багатофазного середовища. Однак для побудови фізико-математичної моделі необхідно прийняти припущення про те, що насінини представляються у вигляді однакових еліпсоїдів з визначеною густиною і ефективним діаметром.

Були прийняті фізико-механічні властивості насіння: коефіцієнт Пуассона – 0,5; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 200-1000 кг/м³; коефіцієнт тертя спокою – 0,8; нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5; коефіцієнт опору кочення – 0,3. Властивості середовища були наступні: середовище – повітря; динамічна в'язкість – $1,85508 \cdot 10^{-5}$ Па·с; турбулентне число Прандтля – 0,9; прискорення вільного падіння – 9,8 м/с²; температура – 293 К; тиск – 101325 Па. Розмір комірки сітки моделювання складав 0,001 м.

Для реалізації чисельного моделювання було складено розрахункову схему процесу переміщення падаючого насіння під дією повітряного потоку (рис. 1).

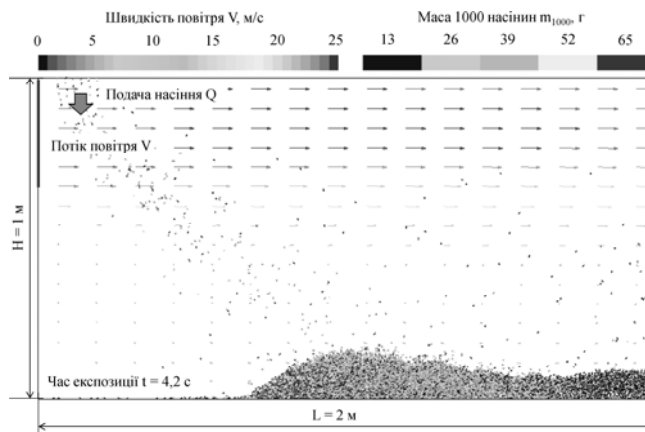


Рис. 1. Розрахункова схема процесу переміщення падаючого насіння під дією повітряного потоку

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні технологічні параметри: ефективний діаметр насінини D_p , швидкість подачі повітря V , подача насіння Q , ширина отвору подачі повітря S (межі варіювання представлені в табл. 1).

Таблиця 1. Рівні варіацій факторами чисельного моделювання процесу переміщення насіння у повітряному потоці

Рівні варіацій факторів	Фактори		
	ефективний діаметр насіння D_p , мм	подача насіння Q , кг/с	швидкість повітря V , м/с
Верхній рівень (+)	7	0,09	25
Основний рівень (0)	5	0,06	20
Нижній рівень (-)	3	0,03	15
Інтервал варіацій факторів	2	0,03	5

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – $3^3 = 27$. Потік маси насіння був представлений 5 фракцій насіння однаковою кількістю з однаковим ефективним діаметром і щільністю в діапазоні 200–1000 кг/м³. При цьому маса 1000 насінин для визначеного ефективного діаметра представлена в табл. 2.

Таблиця 2. Маса 1000 насінин для визначеного ефективного діаметра m_{1000} , г

Ефективний діаметр насіння D_p , мм	Щільність насіння ρ , кг/м ³				
	200	400	600	800	1000
3	3	6	9	12	15
5	13	26	39	52	65
7	36	72	108	144	180

В результаті розділення насіння під дією повітряного потоку розподіл кожної фракції по довжині області може бути представлений нормальним розподілом із визначеним середнім \bar{X} і середньоквадратичним відхиленням σ . Для нормального розподілу в області $x \in [\bar{X} - 2\sigma; \bar{X} + 2\sigma]$ спостерігається ймовірність 95,45 %. Найкраще розділення (95,45 %) досягається за умови:

$$2\sigma_1 + 2(2\sigma_2 + 2\sigma_3 + 2\sigma_4) + 2\sigma_5 \leq \bar{X}_5 - \bar{X}_1, \quad (1)$$

або

$$\theta = \frac{\bar{X}_5 - \bar{X}_1}{2\sigma_1 + 2(2\sigma_2 + 2\sigma_3 + 2\sigma_4) + 2\sigma_5} \rightarrow \max. \quad (2)$$

де θ – коефіцієнт заповнення.

Слід зазначити, що вся область була поділена на 20 однакових вертикальних зон, для кожної з яких визначалося кількість насіння кожної фракції. Тривалість експозиції складала від 3 до 7 с.

Результати досліджень

В результаті моделювання було отримано візуалізацію технологічного процесу переміщення падаючого насінневого матеріалу олійних культур під дією повітряного потоку (рис. 2–4).

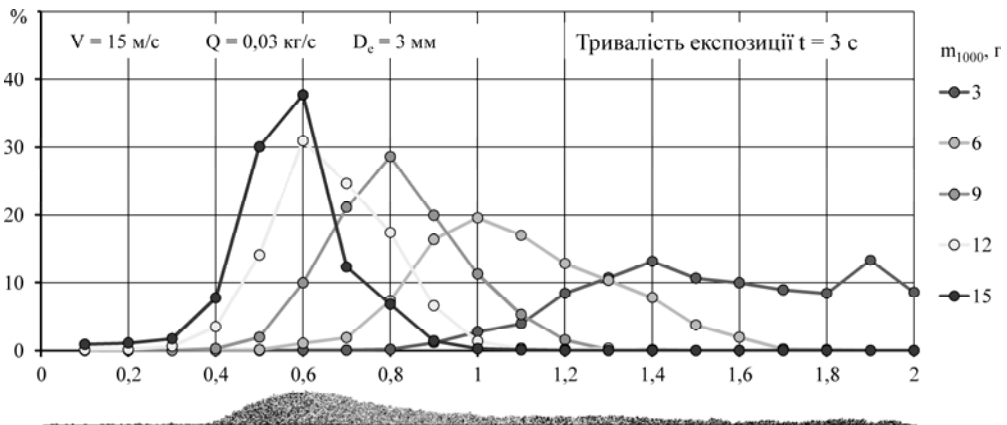


Рис. 2. Розподіл фракцій насіння ефективного діаметра $D_e = 3$ мм по довжині області, що утворився під впливом повітряного потоку

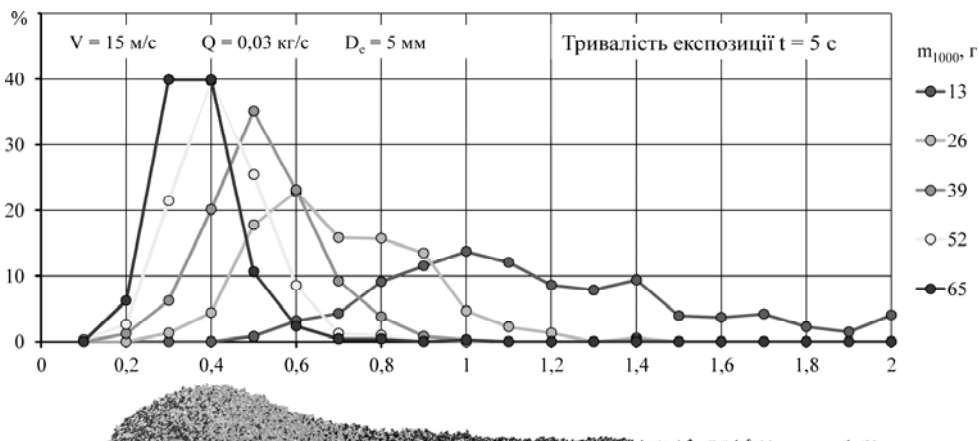


Рис. 3. Розподіл фракцій насіння ефективного діаметра $D_e = 5$ мм по довжині області, що утворився під впливом повітряного потоку

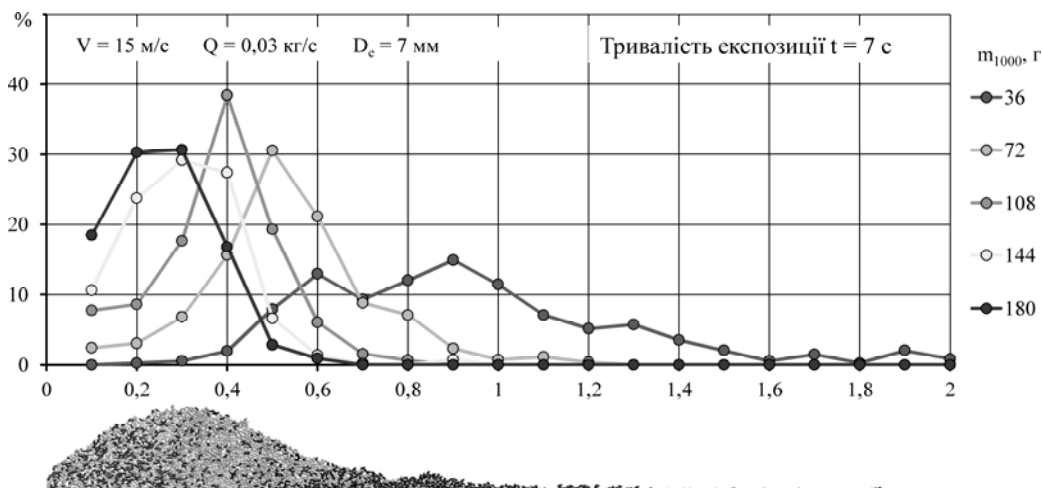


Рис. 3. Розподіл фракцій насіння ефективного діаметра $D_e = 7$ мм по довжині області, що утворився під впливом повітряного потоку

Відповідно для кожного дослідження для кожної фракції насіння був розрахований критерій χ^2 , згідно з яким розподіл насіння по довжині області відповідає нормальному розподілу.

Згідно з отриманими даними з використанням програмного пакету Mathematica складено математичний вираз, який зв'язав коефіцієнт заповнення θ із ефективним діаметром насіння D_p , подачею насіння Q і швидкістю повітря V :

$$\theta = 0,601375 - 0,0557372 D_p - 0,00711689 D_p^2 - 3,45982 Q - 0,115523 D_p Q - 2,33729 Q^2 + 0,00181584 V + 0,00683085 D_p V + 0,159939 Q V - 0,00138784 V^2. \quad (3)$$

Графічна інтерпретація залежності (3) представлена на рис. 4.

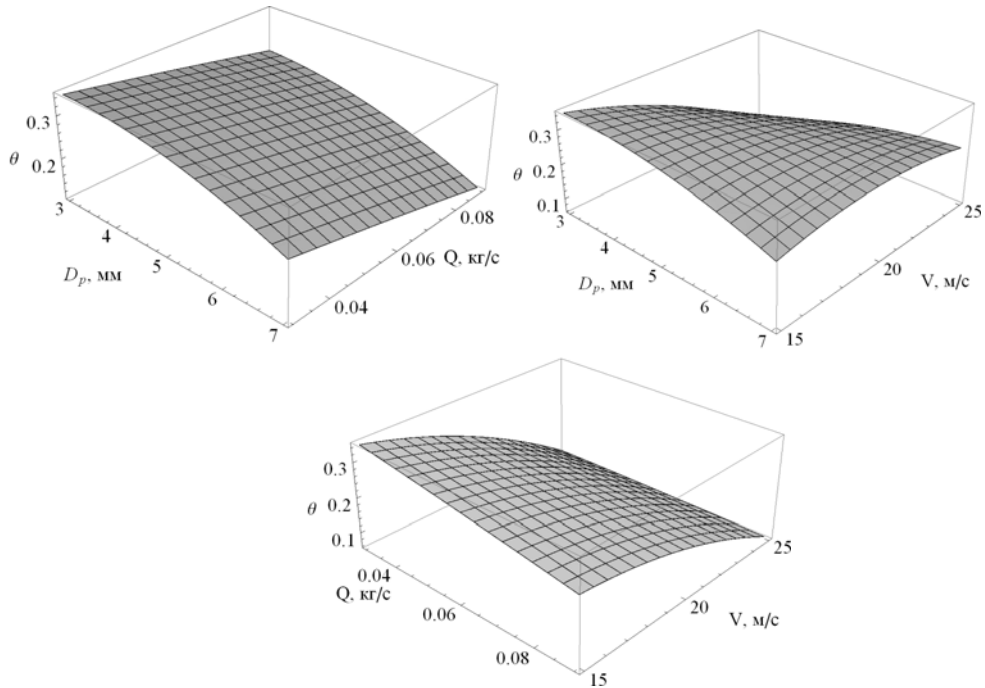


Рис. 4. Залежність коефіцієнта заповнення θ від ефективного діаметра насіння D_p , подачі насіння Q і швидкістю повітря V

Раціональними параметрами рівняння (3) при умові максимуму коефіцієнта заповнення $\theta \in D_p = 3$ мм, $Q = 0,03$ кг/с, $V = 15$ м/с.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У результаті чисельного моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією повітряного потоку визначені раціональні режимні параметри за умови максимуму коефіцієнта заповнення θ : ефективний діаметр насіння $D_p = 3$ мм, подача насіння $Q = 0,03$ кг/с і швидкість повітря $V = 15$ м/с.

У подальших дослідженнях передбачено проведення експериментальних досліджень процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур і розробка науково-технологічних основ щодо його розділення на відповідні фракції.

Література

1. Нуруллин Э. Г. Математическая модель движения семян в основной камере пневмомеханического протравливателя / Э. Г. Нуруллин, И. М. Салахов, А. В. Дмитриев // Вестник Казанского ГАУ. – 2014 – № 1 (31). – С. 69–72.
 2. Сычугов Н. П. Расчет воздухораспределителей равномерной подачи (отсоса) воздуха через отверстия / Н. П. Сычугов, Ю. В. Сычугов, А. Н. Сычугов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : межвуз. сб. науч. тр. / Вятская ГСХА. – 2008. – Вып. 8. – С. 210–214.
 3. Тищенко Л. Н. Гидродинамика сепарирования зерна : монография / Л. Н. Тищенко, В. П. Ольшанский, С. В. Ольшанский. – Харьков : Міськдрук, 2010. – 174 с.
 4. Pertti Broas. Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes / Pertti Broas // Valtion teknillinen tutkimuskeskus Symposium “Virtual prototyping”. – Espoo, 2001. – P. 73–81.
 5. Bai C. Modelling of spray impingement processes / C. Bai. – Ph.D Thesis, University of London, 1996. – 142 p.
 6. Cundall P. A. A discrete numerical model for granular assemblies / P. A. Cundall, O. D. L. Strack // Geotechnique. – 1979. – 29. – P. 47–65.
 7. Кривцов А. М. Деформация и разрушение твердых тел с микроструктурой / А. М. Кривцов. – М. : Физматлит, 2007. – 304 с.
 8. Walton O. R. Numerical simulation of inclined chute flows of monodisperse, inelastic, frictional spheres / Mechanics of Materials – № 16. – 1993. – P. 239–247.
 9. Crowe C. T. Multiphase Flows with Droplets and Particles / C. T. Crowe, M. Sommerfeld, Y. Tsuji. – Boca Raton : CRC Press, 1998. – 487 p.
-
-