

УДК 631.362.3

Результати чисельного моделювання процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета

Алієв Е. Б., к.т.н., завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва, Інститут олійних культур НААН

Анотація

Система диференційних рівнянь процесу переміщення насіння під дією віброуючого решета в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами. Запропоновано вирішення подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано при моделюванні в програмному пакеті STAR-CCM+.

Мета. Підвищення ефективності механіко-технологічного процесу розділення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета шляхом обґрунтування його раціональних режимних параметрів.

Методи. При моделюванні процесу методом кінцевих елементів задаються початкові положення і швидкості насінин. Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожен насінини 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: $k-\varepsilon$ 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.

Результати. У результаті чисельного моделювання процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета отримані залежності зміни сумарної концентрації і продуктивності від подачі насіння, кута нахилу решета, частоти коливань решета й амплітуди коливань решета.

Висновки. За умови забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією віброуючого решета необхідно, щоб його продуктивність була максимальною і дорівнювала значенню подачі насіння, при цьому сумарна концентрація насіння θ повинна бути максимальною.

Ключові слова: насіння, віброуюче решето, псевдорозріджений шар, моделювання, метод дискретних елементів, параметри

UDC 631.362.3

Results of numerical modeling of the process of moving the seed material of oil-bearing crops under the action of a vibrating sieve

Aliyev E. B., Ph.D., Head of the department of technical and technological support of seed production, Institute of Oilseeds of the NAAS

Annotation

The system of differential equations of the process of moving seeds under the action of a vibrating sieve in general form is not solved by analytical methods. A solution of such systems is proposed by the finite element method, which is

implemented in modeling in the software package STAR-CCM+.

Purpose. Improvement of the efficiency of the mechano-technological process of separation of seed material of oilseeds under the action of a vibrating sieve by substantiating its rational regime parameters.

Methods. When modeling the process by the finite element method, the initial positions and speeds of the seeds are set. Then, based on these initial data of given physical laws of contact interaction, the forces acting on each seed in each time interval are calculated. For each seed, the resultant force is calculated and the Cauchy problem is also solved in the selected time interval, the result of which is the initial data for the next step. As physical models for numerical simulation, the following were chosen: $k-\epsilon$ divided flow turbulence model, gravity field, Van der Waals real gas model, discrete elements model, multiphase interaction model. The method of discrete elements is based on the laws of conservation of momentum and angular momentum for Lagrangian models of a multiphase medium.

Results. As a result of numerical modeling of the process of moving the seed material of oil-bearing crops under the action of a vibrating sieve, the dependences of the change in total concentration and productivity on the seed supply, the slope angle of the sieve, the frequency of sieve oscillations, and the sieve oscillation amplitude were obtained.

Conclusions. Provided that the process of seed separation under the action of the vibrating sieve is effective, it is necessary that its productivity be maximized and equal to the value of the seed supply, with the total concentration of the seeds should be maximum.

Keywords: seeds, vibrating sieve, fluidized bed, modeling, discrete elements method, parameters

УДК 631.362.3

Результаты численного моделирования процесса перемещения семенного материала масличных культур под действием вибрирующего решета

Алиев Э. Б., к.т.н., заведующий отделом технико-технологического обеспечения семеноводства, Институт масличных культур НААН

Аннотация

Система дифференциальных уравнений процесса перемещения семян под действием вибрирующего решета в общем виде не решается аналитическими методами. Предложено решение подобных систем методом конечных элементов, который реализован при моделировании в программном пакете STAR-CCM+.

Цель. Повышение эффективности механико-технологического процесса отделения семенного материала масличных культур под действием вибрационного сита путем обоснования его рациональных параметров режима.

Методы. При моделировании процесса методом конечных элементов задаются исходные положения и скорости семян. Затем, исходя из этих исходных данных заданных физических законов контактного взаимодействия, вычисляются силы, действующие на каждую семена в каждой интервал времени. Для каждого семени исчисляется результирующая сила и также решается задача Коши на выбранном отрезке времени, результатом которой является исходные данные для следующего шага. В качестве физических моделей для численного моделирования были выбраны следующие: $k-\epsilon$ модель тур-

булентности разделенной течения, поле силы тяжести, модель реального газа Ван-дер-Ваальса, модель дискретных элементов, модель многофазной взаимодействия. Метод дискретных элементов базируется на законах сохранения импульса и момента импульса для лагранжевых моделей многофазного среды.

Результаты. В результате численного моделирования процесса перемещения семенного материала масличных культур под действием вибрирующего решета получены зависимости изменения суммарной концентрацией и производительность от подачи семян, угла наклона решета, частоты колебаний решета и амплитуды колебаний решета.

Выводы. При условии обеспечения эффективности процесса разделения семян под действием вибрирующего решета необходимо, чтобы его производительность была максимальной и составляла значению подачи семян, при этом суммарная концентрация семян должна быть максимальной.

Ключевые слова: семена, вибрирующее решето, псевдосжиженный слой, моделирование, метод дискретных элементов, параметры

Постановка проблеми. Завдання розділення насіння за розміром має велике значення при калібруванні насіннєвого матеріалу олійних культур. Одним із способів зазначеного розділення насіння є переміщення його на віброуючих решетах із створення псевдорозрідженого шару. Саме фізико-математична модель псевдорозрідженого шару насіннєвого матеріалу є складною і потребує вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз літературних джерел та фахових наукових публікацій [1–3], дослідженню процесу переміщення матеріалу під дією віброуючого решета 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 частинок між собою, які мають випадкове початкове положення. Дослідженнями [4–6] запропоновано вирішення подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано при моделюванні в програмному пакеті STAR-CCM+.

Мета досліджень. Провести чисельне моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета і визначити його раціональні режимні параметри.

Матеріали і методи досліджень. В якості фізичних моделей для чисельного

моделювання процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета були обрані наступні: k-ε модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, модель дискретних елементів, модель багатофазної взаємодії.

Дослідження були проведені на насінні льону сорту Надійний. Для побудови фізико-математичної моделі необхідно прийняти припущення про те, що насінини представляються у вигляді однакових еліпсоїдів з визначеною густиною й ефективним діаметром.

Були прийняті фізико-механічні властивості насіння: коефіцієнт Пуассона – 0,5; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 800 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 – 1,85508·10⁻⁵ 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 насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета, яка покладена в основу роботи різноманітних насіннеочисних машин (рис. 1).

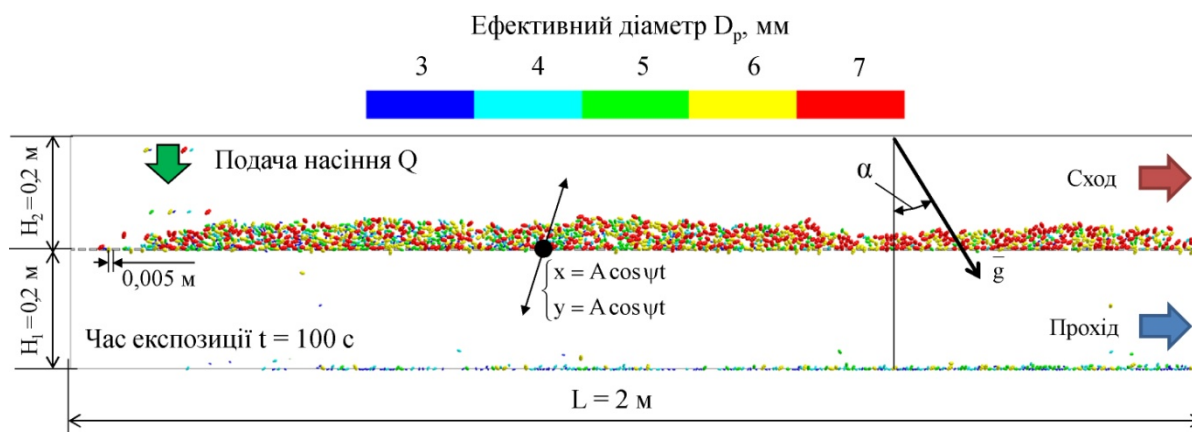


Рис. 1. Розрахункова схема процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета

Fig. 1. The calculation scheme of the process of moving the seeds of oilseed crops under the action of a vibrating sieve

Розмір отвору решета було прийнято 0,005 м. Довжина решета складала: $L = 2$ м. Решето виконує періодичний рух за двома координатами за законом:

$$x = A \cos \psi t, \quad y = A \cos \psi t, \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань, м;
 ψ – частота коливань, c^{-1} .

Потік маси насіння був представлений 5 фракціями насіння однаковою кількістю з різним ефективним діаметром D_p у діапазоні 3–7 мм з кроком 1 мм. За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні технологічні параметри: подача насіння Q , кут нахилу решета α , частота коливань решета ψ , амплітуда коливань решета A (межі варіювання представлені в табл. 1).

Таблиця 1. Рівні варіацій факторів чисельного моделювання процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета

Table 1. Levels of variations of factors of numerical simulation of the process of transfer of seed oil of oilseed crops under the action of a vibrating sieve

Рівні варіацій факторів	Фактори			
	Подача насіння Q , кг/год	Кут нахилу решета α , °	Частота коливань решета ψ , c^{-1}	Амплітуда коливань решета A , м
(–)	110	1	4	0,008
(0)	160	4	5	0,01
(+)	210	7	6	0,012
Інтервал	110	1	4	0,008

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів – $3^4 = 81$. Тривалість експозиції складала від 100 с.

У результаті моделювання досліджувалися концентрації кожної фракції насіння, які відбилися від поверхні решета (прохід) θ^n і які пройшли крізь нього (схід) θ^c . У зв'язку з тим, що розмір отвору решета було прийнято 0,005 м, необхідною умовою якісного розділення насінневої суміші є мінімізація значень концентрацій фракцій насіння 6 мм, 7 мм за проходом ($\theta_{D_p=6}^n$, $\theta_{D_p=7}^n$, відповідно) і 3 мм, 4 мм, 5 мм за сходом ($\theta_{D_p=3}^c$, $\theta_{D_p=4}^c$, $\theta_{D_p=5}^c$, відповідно). Тому в якості критерію досліджень було взято сумарну концентрацію насіння проходу і сходу, яка розраховується за формулою:

$$\theta = \theta_{D_p=6}^n + \theta_{D_p=7}^n + \theta_{D_p=3}^c + \theta_{D_p=4}^c + \theta_{D_p=5}^c. \quad (2)$$

За кількісний критерій оцінки ефективності процесу розділення насінневого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета було прийнято сумарну продуктивність за сходом і проходом:

$$q = q^n + q^c. \quad (3)$$

Результати досліджень. У результаті моделювання було отримано візуалізацію технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією віброуючого решета (рис. 2).

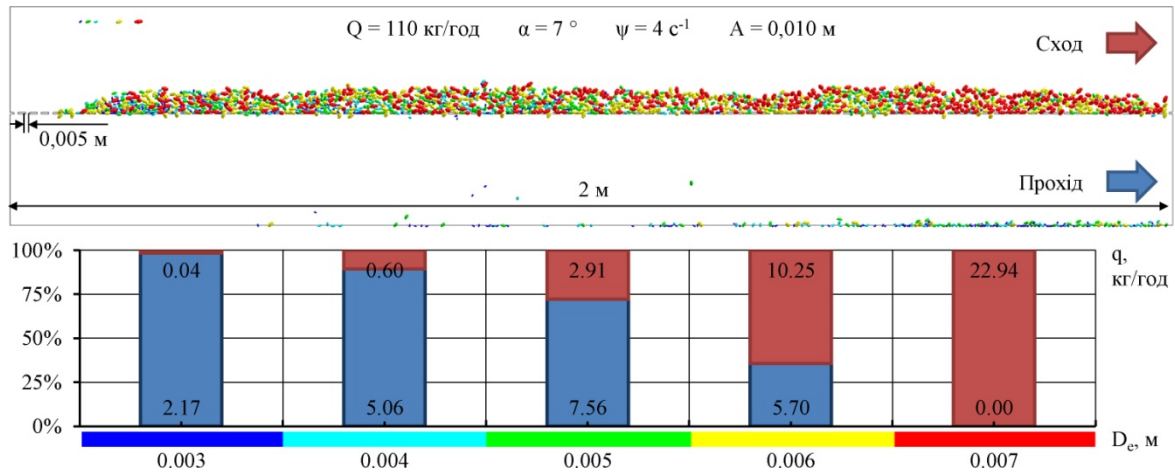


Рис. 2. Розподіл фракцій насіння на виході сходу і проходу, що утворився під дією вібруючого решета

Fig. 2. Distribution of seed fractions at the outlet of the east and the passage formed by the action of the vibrating sieve

Відповідно для кожної фракції насіння при сході та проході було визначено концентрацію і розраховано сумарну концентрацію для відповідного дослідження θ .

З використанням програмного пакету Mathematica складено математичний вираз, який зв'язав продуктивність q із факторами досліджень у вигляді:

$$q = -663,782 + 16,222 \alpha + 3357,77 A + 0,013423 Q + 243,385 \psi - 3,2444 \alpha \psi + 0,140125 Q \psi - 22,7453 \psi^2. \quad (4)$$

Графічна інтерпретація залежності (4) представлена на рисунку 3.

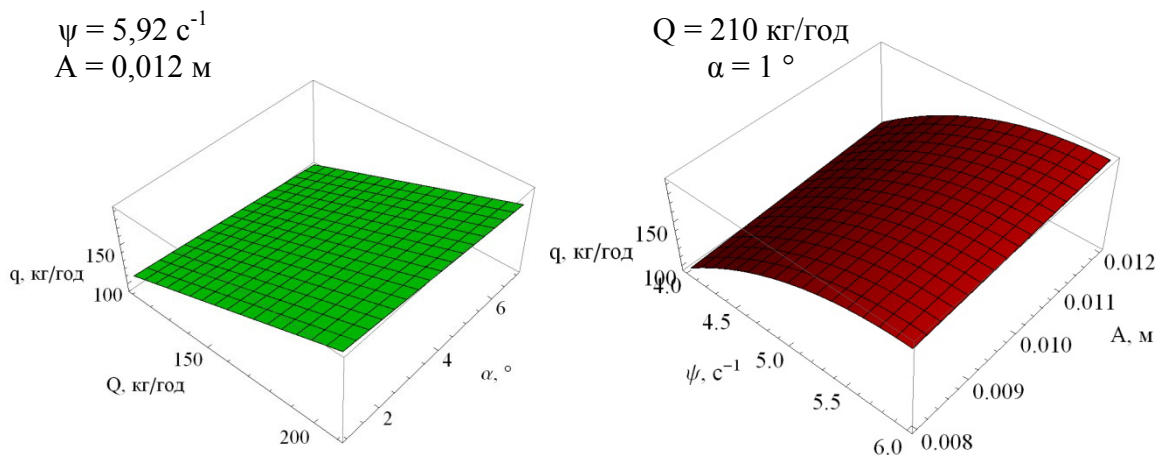


Рис. 3. Залежність продуктивності q від подачі насіння Q , кута нахилу решета α , частоти коливань решета ψ і амплітуди коливань решета A

Fig. 3. Dependence of productivity q on the supply of seed Q , slope angle of the sieve α , sieve oscillation frequency ψ and sieve oscillation amplitude A

Як видно з рисунку 3, із збільшенням подачі насіння Q і амплітуди коливань решета A продуктивність q збільшується лінійно; із зменшенням кута нахилу решета α продуктивність q не значно збільшується лінійно; при збільшенні частоти коливань решета ψ продуктивність q збільшується за параболою.

З використанням програмного пакету Mathematica складено математичний вираз, який зв'язав сумарну концентрацію насіння θ із факторами досліджень у вигляді:

$$q = 198,853 - 1,733 \alpha - 14055,2 A + 284999 A^2 + 0,0852581 Q - 39,653 \psi + 0,303737 \alpha \psi + 1364,8 A \psi - 0,0170516 Q \psi + 2,27037 \psi^2. \quad (5)$$

Графічна інтерпретація залежності (5) представлена на рисунку 4.

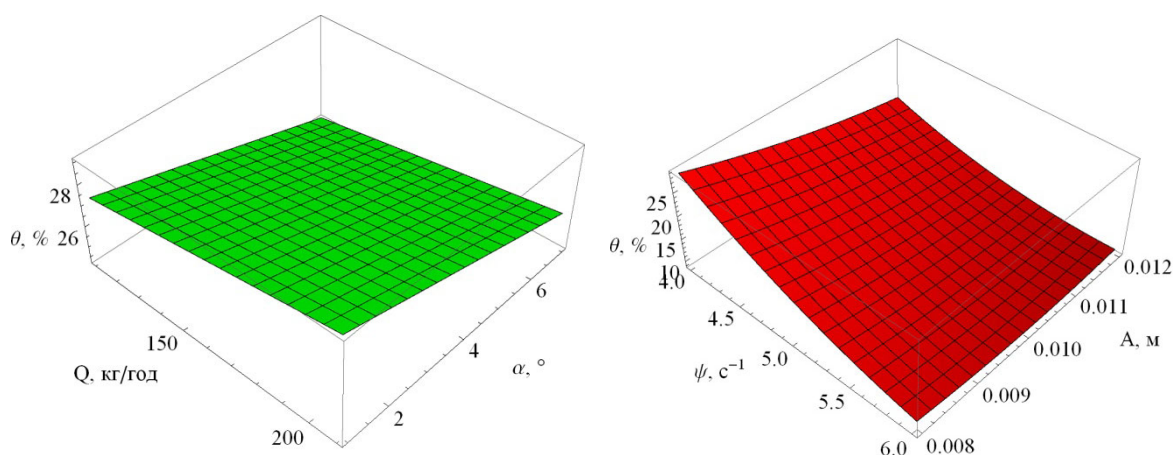


Рис. 4. Залежність сумарної концентрації насіння θ від подачі насіння Q , кута нахилу решета α , частоти коливань решета ψ і амплітуди коливань решета A

Fig. 4. The dependence of the total seed concentration θ on the supply of seed Q , the slope angle of the sieve α , the sieve frequency ψ and the amplitude of the oscillations of the sieve A

Як видно з рисунку 4, із збільшенням подачі насіння Q сумарна концентрація насіння θ збільшується лінійно; із зменшенням кута нахилу решета α сумарна концентрація насіння θ збільшується лінійно; при зменшенні частоти коливань решета ψ і амплітуди коливань решета A сумарна концентрація насіння θ збільшується за параболою.

Аналіз представлених залежностей доводить про необхідність вирішення компромісної задачі, яка полягає в наступному: для забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією вібруючого решета необхідно, щоб його продуктивність q була максимальною і дорівнювала значенню подачі насіння Q , при цьому сумарна концентрація насіння θ повинна бути максимальною:

$$\begin{cases} q(Q, \alpha, \psi, A) = Q \rightarrow \max, \\ \theta(Q, \alpha, \psi, A) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (6)$$

З використанням програмного пакету Mathematica рішенням системи рівнянь (6) є:

$$\theta = 10,9\%, \quad Q = q = 120,1 \text{ кг/год}, \quad \alpha = 1^\circ, \quad \psi = 5,68 \text{ с}^{-1}, \quad A = 0,012 \text{ м}.$$

У результаті чисельного моделювання процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією вібруючого решета отримані залежності зміни сумарної концентрації θ і продуктивності q від подачі насіння Q , кута нахилу решета α , частоти коливань решета ψ і амплітуди коливань решета A .

Висновки

За умови забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією вібруючого решета необхідно, щоб його продуктивність була максимальною і дорівнювала значенню подачі насіння, при цьому сумарна концентрація насіння θ повинна бути максимальною.

Бібліографія

1. Schiehlen W., Eberhard P. Technische Dynamik (in German). Stuttgart: Teubner, 2004.
2. Alkhalidi H., Eberhard P. Computation of Screening Phenomena in a Vertical Tumbling Cylinder. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics (PAMM)*. Berlin, Germany. 2006.
3. Eberhard P., Alkhalidi H. Efficient Computation of Colliding Particles in a Vertical Tumbling Sorting Machine. *Proceedings Second International Congress on Computational Mechanics and Simulation (ICCMS)*. Vol. 1. I. K. Publishing House, New Delhi, India. 2006. P. 81–87.
4. Pertti Broas. Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. *Trans. VTT Symposium Virtual prototyping. Espoo* (Finland, February 1 st 2001). P. 73–81.
5. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. *SAE Technical Paper Series*. 1995. 21 p.
6. Cundall P., Strack O. A. Discrete Numerical Model for Granular Assemblies. *Geotechnique*. 1979. Vol. 29. P. 47–65.