

**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА****Алієв Е.Б.**

к.т.н., завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва

*Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України***Aliyev Ye.***Institute of oilseeds of Ukraine***УДК 631.362:533.6.011****ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ
ПЕРЕМІЩЕННЯ НАСІННЕВОГО
МАТЕРІАЛУ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР
ПІД ДІЄЮ ВІБРУЮЧОЇ ПОВЕРХНІ**

Завдання розділення насіння за масою і щільністю в основному зводиться до технологічного процесу вібросепарації. Розуміючи всі складнощі математичного описання необхідно дослідити процес переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією вібруючої поверхні. Метою досліджень є проведення чисельного моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією вібруючої поверхні і визначення її раціональних режимних параметрів. В результаті досліджень отримані залежності зміни коефіцієнта заповнення і продуктивності від подачі насіння, кутів нахилу вібруючої поверхні, частоти коливальних амплітуди коливальних і швидкості повітряного потоку.

Ключові слова: чисельне моделювання, насіння, потік, вібруюча поверхня, сепарація, повітря, переміщення.

Постановка проблеми. Завдання розділення насіння за масою і щільністю (питомій вазі, фактурі) в основному зводиться до технологічного процесу вібросепарації. Очевидно, що при однакових геометричних розмірах, що досягається попереднім калібруванням, насіння меншої маси під впливом вібруючої поверхні відхиляються від лінійної траєкторії сильніше ніж біль важкі насінини. Однак даний процес описати дуже складно в зв'язку із великою кількістю взаємодій між насінинами і вібруючою поверхнею. Розуміючи всі складнощі поставленого завдання необхідно дослідити процес переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією вібруючої поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз літературних джерел та фахових наукових публікацій [1-4], дослідженню процесу переміщення насінневого матеріалу під дією вібруючої поверхні 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. Дослідженнями [5-7] запропоновано вирішення

подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано при моделюванні в програмному пакеті STAR-CCM+.

Формування мети дослідження.

Провести чисельне моделювання механіко-технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією вібруючої поверхні і визначити її раціональні режимні параметри.

Методи досліджень. Задачею даного моделювання було визначення функції розподілу насіння за фракціями. За фізичні моделі було обрано наступні: k - ε модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, модель дискретних елементів, модель багатофазної взаємодії [8-10]. Для побудови фізико-математичної моделі необхідно прийняти припущення про те що насінини представляються у вигляді однакових еліпсоїдів з визначеною густиною і ефективним діаметром. Для реалізації моделювання 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 - $9,8 \text{ м/с}^2$; 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 віброуючої поверхні (рисунок 1). Віброуюча поверхня мала форму квадрата із стороною 2 м. Поверхня виконує періодичний рух по трьом координатам за законом:

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

де A - амплітуда коливань, м; ψ - частота коливань, с^{-1} . Кути нахилу решета α і β задається шляхом зміни кутів нахилу прискорення вільного падіння \underline{g} , що є абсолютно тотожним.

Потік маси насіння був представлений 5 фракціями насіння однаковою кількістю з різним масами 1000 насінин m_{1000} в діапазоні 18-58 г з кроком 10 г.

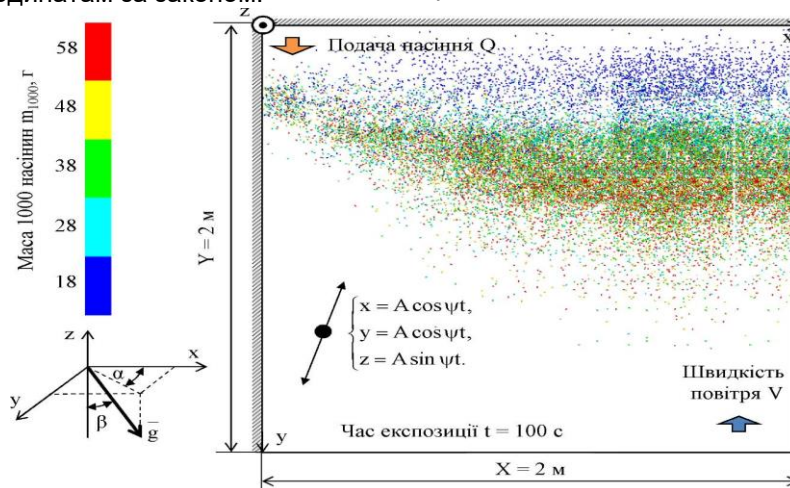


Рис. 1. Розрахункова схема процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючої поверхні

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні технологічні параметри: подача насіння Q , кути нахилу решета α і β , частота коливань решета ψ , амплітуда коливань решета A і швидкість потоку повітря V (межі варіювання представлені в таблиці 1). Повний факторний чисельний експеримент для

6 факторів і 3 рівнів варіації містить $3^6 = 729$ дослідів, що ускладнюється потужністю персонального комп'ютера і часом на обробку даних. Тому прийнято рішення провести чисельне моделювання з використанням некомпозитного плану Бокса-Бенкіна для 6 факторів. Тривалість експозиції складала 100 с.

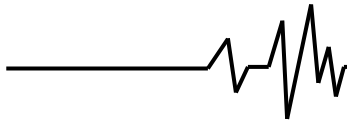
Таблиця 1.

Рівні варіацій факторів чисельного моделювання процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючої поверхні

Рівні варіацій факторів	Фактори					
	Подача насіння Q , кг/год	Кут нахилу α , °	Кут нахилу β , °	Частота коливань ψ , с^{-1}	Амплітуда коливань A , м	Швидкість повітря V , м/с
Нижній рівень (-)	40	1	1	5	0,005	3
Основний рівень (0)	55	3	3	7,5	0,01	3,5
Верхній рівень (+)	70	5	5	10	0,015	4
Інтервал варіацій факторів	15	2	2	2,5	0,005	0,5

В результаті розділення насіння під дією віброуючої решета розподіл кожної фракції по його поверхні на виході (при $x = 2 \text{ м}$) може бути

представлений нормальним розподілом із визначеним середнім \bar{y} і середньоквадратичним відхиленням σ (рисунок 3.2). Для нормального



розподілу в області $y \in [\bar{y} - 2\sigma; \bar{y} + 2\sigma]$ спостерігається ймовірність 95,45 %.

Відповідно до рисунку 2 найкраще розділення (95,45 %) досягається при умові:

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

або

$$\theta = \frac{\bar{y}_5 - \bar{y}_1}{2\sigma_1 + 2(2\sigma_2 + 2\sigma_3 + 2\sigma_4) + 2\sigma_5} \rightarrow \max. \quad (3)$$

де θ - коефіцієнт заповнення.

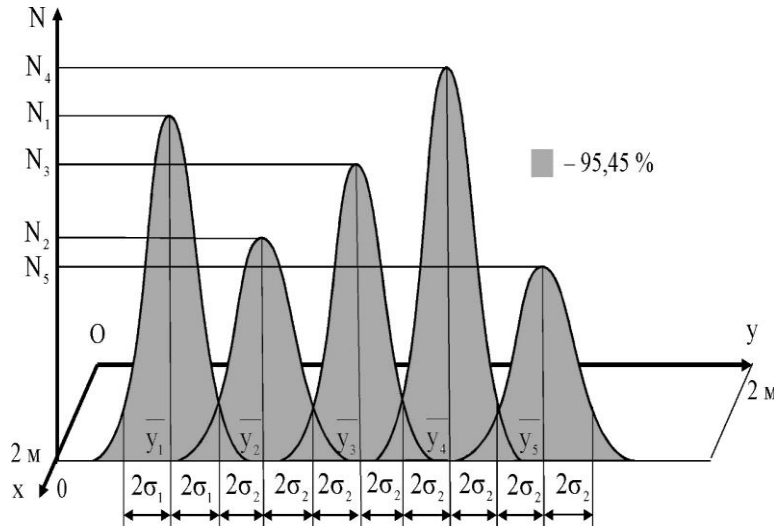


Рис.2. Функції нормального розподілу кожної фракції по області

Слід зазначити, що вся область була поділена на 200 однакових горизонтальних зон, для кожної з яких визначалось кількість насіння кожної фракції. За кількісний критерій оцінки ефективності процесу розділення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючої поверхні було прийнято продуктивність його на

виході q .

Результати досліджень. В результаті моделювання було отримано візуалізацію технологічного процесу переміщення насіннєвого матеріалу олійних культур під дією віброуючої поверхні (рисунок 3).

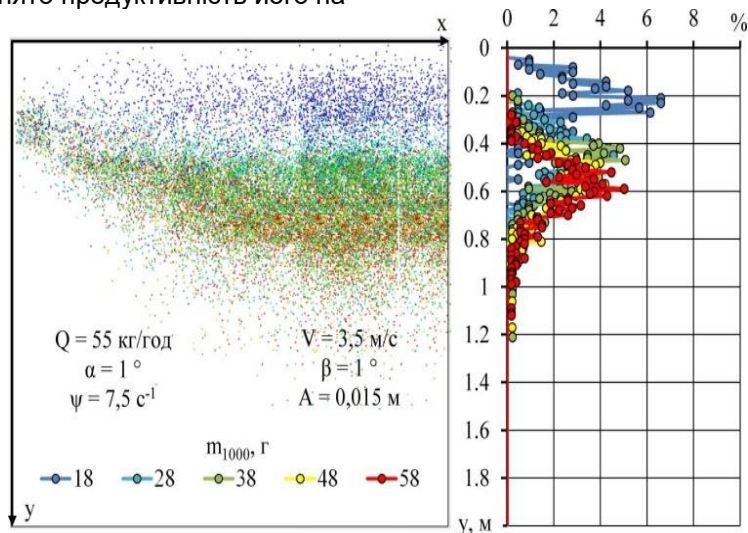


Рис. 3. Розподіл фракцій насіння на виході при $x = 2$ м під дією віброуючої поверхні

Згідно отриманих даних з використанням математичний вираз, який зв'язав програмного пакету Mathematica складено продуктивність q із факторами досліджень:



$$\begin{aligned}
 q = & -137,926 + 19,0435 \alpha - 2,04207 \alpha^2 + 5507,23 A - 334,949 \alpha A - \\
 & - 141907 A^2 - 0,727947 \beta + 149,855 A \beta - 0,00805577 Q + \\
 & + 0,101038 \alpha Q + 16,9369 A Q + 20,3619 V - 1,1223 \alpha V + 15,3577 \psi - \\
 & - 347,881 A \psi + 0,0294771 Q \psi - 1,94884 V \psi - 0,366135 \psi^2.
 \end{aligned} \quad (4)$$

Оптимальними параметрами рівняння (4) при умові максимуму продуктивності $q = 70$ кг/год є $Q = 70$ кг/год, $\alpha = 4,9^\circ$, $\beta = 5,0^\circ$, $\psi = 10,0$ с⁻¹, $A = 0,0082$ м, $V = 3,0$ м/с.

Згідно отриманих даних з використанням програмного пакету Mathematica складено математичний вираз, який зв'язав коефіцієнт заповнення θ із факторами досліджень:

$$\begin{aligned}
 \theta = & -35,8889 - 6,35462 \alpha - 4213,99 A + 19,9665 \beta - 0,222365 \alpha \beta - 0,668868 \beta^2 - \\
 & - 0,92056 Q + 11,5982 A Q + 0,0304183 \beta Q + 0,00855036 Q^2 + 107,519 V - \\
 & - 4,26185 \beta V - 13,6016 V^2 - 25,5697 \psi + 0,700329 \alpha \psi + 376,926 A \psi - \\
 & - 0,188064 \beta \psi - 0,0215429 Q \psi + 0,841809 V \psi + 0,969268 \psi^2.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Оптимальними параметрами рівняння (3.40) при умові максимуму коефіцієнта заповнення $\theta = 58,18\%$ є $Q = 70$ кг/год, $\alpha = 1,0^\circ$, $\beta = 5,0^\circ$, $\psi = 5,0$ с⁻¹, $A = 0,005$ м, $V = 3,32$ м/с.

для забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією віброуючої поверхні необхідно, щоб його продуктивність q була максимальною і дорівнювала значенню подачі насіння Q , при цьому коефіцієнта заповнення θ повинен бути максимальним:

Аналіз представлених залежностей доводить о необхідності вирішення компромісної задачі, яка полягає у наступному:

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

З використанням програмного пакету Mathematica рішенням системи рівнянь (3.41) є $\theta = 31,98\%$, $Q = q = 40,0$ кг/год, $\alpha = 3,28^\circ$, $\beta = 3,70^\circ$, $\psi = 5,0$ с⁻¹, $A = 0,011$ м, $V = 4$ м/с.

Висновки. В результаті чисельного моделювання процесу переміщення насінневого матеріалу олійних культур під дією віброуючої поверхні отримані залежності зміни коефіцієнта заповнення θ і продуктивність q подачі насіння Q , кутів нахилу віброуючої поверхні α та β , частоти коливань ψ , амплітуди коливань A і швидкості повітряного потоку V . За умови забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією віброуючої поверхні необхідно, щоб забезпечення ефективності процесу розділення насіння під дією віброуючої поверхні необхідно, щоб його продуктивність q була максимальною і дорівнювала значенню подачі насіння $Q = q = 40,0$ кг/год, при цьому коефіцієнта заповнення θ повинен бути максимальним $\theta = 31,98\%$, а $\alpha = 3,28^\circ$, $\beta = 3,70^\circ$, $\psi = 5,0$ с⁻¹, $A = 0,011$ м, $V = 4$ м/с.

Список використаних джерел

1. Wilkinson D.R. Spontaneous interparticle percolation. / D.R. Wilkinson,

S.F. Edwards // Proc. R. Soc. Lond. A. – 1982. Vol. – 381. – P. 33-51.

2. Sela N. Hydrodynamic equations for rapid flows of smooth inelastic spheres, to burnett order. / N., Sela, I. Goldhirsch // J. Fluid Mech. – 1998. Vol. – 361, – P. 41-74.

3. Resibois P. Classical Kinetic Theory of Fluids. / P. Resibois, M. de Leener // Wiley & son. New York. – 1977.

4. Schram P. P. J. M. Kinetic Theory of Gases and Plasmas. / P. P. J. M. Schram // Kluwer Academic Publishers. AA Dordrecht. – 1991.

5. Gumerov Nail A. Modeling of particle motion in viscous swirl flow between two porous cylinders / Nail A. Gumerov, R. Duraiswami // Proceedings of FEDSM'98 1998 ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting June 21-25, 1998 Washington, DC. P. 1-8.

6. Jamnani D. Modelling and Simulation of a Single Particle in Laminar Flow Regime of a Newtonian Liquid / D. Jamnani // Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference – 2009 – Bangalore. – P. 1-9.

7. Kanehl P. Particle model of the Magnus effect / P. Kanehl // Bachelor Thesis. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald – 2010 –35 P.

8. Aliev E. Research of physical and



mechanical properties of oilseed crops / E. Aliev, V. Pryshliak, V. Yaropud // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. Rzeszów – 2017. – Vol. 19. – No 3. – P. 103-108.

9. Алієв Е.Б. Чисельне моделювання механіко-технологічних процесів агропромислового виробництва. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві / Е.Б. Алієв, Ю.М. Лабатюк // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків – 2017. – Вип. 180. – С. 67-71.

10. Алієв Е.Б. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці / Е. Б. Алієв, В. М. Яропуд // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – № 2. – С. 19-23.

Список джерел в транслітерації

1. Uilkinson D.R. Spontanna mizhchastynkova perkolyatsiya / D.R. Uilkinson, S.F. Edwards // Prots. R. Soc. Lond A. – 1982. – Tom. 381. – P. 33-51.

2. Sela N. Hidrodinamichni rivnyannya dlya shvydkykh potokiv hladkykh neelastychnykh sfer do obernutoho poriyadku. / N., Sela, I. Goldhirsch // J. Fluid Mech. – 1998. – Tom. 361 – P. 41-74.

3. Rezihey P. Klasychna kinetychna teoriya ridyn / P. Resibois, M. de Leener // Villi i syn. Neyu-York. 1977r.

4. P. P. YU. M. Shram. Kynetychna teoriya haziv ta plazmy. Kluwer Academic Publishers. A. A. Dordrekht. 1991 r.

5. Gumerov Nail A. Modelyuvannya rukhu chastynok u v'yazkomu pototsi vykhrovi mizh dvoma porystymy tsylindramy / Nail A. Gumerov, R. Duraiswami // Trudy FEDSM'98 1998 Lidna narada viddilu inzhenernykh rozrobok ASME 1998-2000 Vashynhton, okruh Kolumbiya. – P. 1-8.

6. Jamnani D. Modelyuvannya ta modelyuvannya odyynchnoyi chastky v laminarnomu rezhymi potoku neyutonivskoho ridyny / D. Jamnani // Vytyah z prats Konferentsiyi COMSOL 2009 r. – Banhalor. – P. 1-9.

7. Keynkhl F. Model chastynok efektu Mahnusa / F. Keynkhl // Diplom bakalavra. Matematychnyy fakultet Ernst-Morits-Arndt-universytet Hreysvald. – 2010. – 35 P.

8. Aliyev YE. Yaropud Doslidzhennya fizyko-mekhanichnykh vlastyvostey oliynykh kultur / YE. Aliyev, V. Prykhylyak, V. Yaropud // MOTROL Komisiya z avtomobilizatsiyi ta enerhetyky v silskomu hospodarstvi. Lyublin. Rzeszów. – 2017. – Vol. 19. – № 3. – P. 103-108.

9. Aliyev YE.B. Chyselne modelyuvannya

mekhaniko-tekhnologichnykh protsesiv ahropromyslovoho vyrobnytstva. Suchasni problemy vdoskonalennya tekhnichnykh system ta tekhnolohiy u tvarynnystvi / Aliyev YE.B., Labatyuk YU.M. // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Kharkiv. – 2017. – Vyp. 180. – P. 67-71.

10. Aliyev YE.B. Fizyko-matematychnyy aparat rukhu nasinnya v povitrovomu pototsi. / YE.B. Aliyev, V.M. Yaropud // Vseukrayinskyu naukovu-tekhnichnyu zhurnal «Tekhnika, enerhetyka, transport APK» / Redkolehiya: Kaletnik H.M. (holovnyu redaktor) ta inshi. Vinnytsya – 2017. – №2 (97). – P. 19-23.

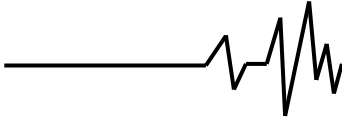
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация. Задача разделения семян по массе и плотности в основном сводится к технологическому процессу вибросепарации. Понимая все сложности математического описания необходимо исследовать процесс перемещения семенного материала масличных культур под действием вибрирующей поверхности. Целью исследований является проведение численного моделирования механико-технологического процесса перемещения семенного материала масличных культур под действием вибрирующей поверхности и определения ее рациональных режимных параметров. В результате исследований получены зависимости изменения коэффициента заполнения и производительности от подачи семян, угла наклона вибрирующей поверхности, частоты колебаний, амплитуды колебаний и скорости воздушного потока.

Ключевые слова: численное моделирование, семена, поток, вибрирующая поверхность, сепарация, воздуха, перемещение.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS MOVEMENT OF THE SEED MATERIAL OF OIL-CROPS UNDER ACTION VIBRATING SURFACE

Annotation. The task of dividing seeds by mass and density is basically reduced to the technological process of vibroseparation. Understanding all the complexities of mathematical description, it is necessary to study the process of moving the seed material of oil-bearing crops under the action of a vibrating



surface. The purpose of the research is to perform a numerical simulation of the mechanical and technological process of moving the seed material of oil-bearing crops under the action of a vibrating surface and to determine its rational regime parameters. As a result of the research, the dependence of the change in the filling factor and

productivity on the supply of seeds, the angle of inclination of the vibrating surface, the frequency of oscillations, the amplitude of the oscillations, and the speed of the air flow are obtained.

Key words: numerical modeling, seeds, flow, vibrating surface, separation, air.

Відомості про автора

Алієв Ельчин Бахтияр огли – кандидат технічних наук, завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва Інституту олійних культур НААН України (вул. Інститутська 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., Україна, 70417, e-mail: aliev@meta.ua).

Алиев Эльчин Бахтияр оглы – кандидат технических наук, заведующий отделом технико-технологического обеспечения семеноводства Института масличных культур НААН Украины (ул. Институтская 1, с. Солнечное, Запорожский р-н, Запорожская обл., Украина, 70417, e-mail: aliev @ meta.ua).

Aliyev Yelchin Bakhtiyar Ogly – Ph.D., head of the department of technological and technological support of seedling of the Institute of oilseeds of Ukraine, (Institutskaya St. 1, Sonyachne village, Zaporozhye district, Zaporozhye region, Ukraine, 70417, e-mail: aliev @ meta.ua)