

**Алієв Е. Б.**

д.т.н., старший дослідник

**Лупко К. О.**

аспірант

*Дніпровський державний  
аграрно-економічний  
університет***Aliiev E**Doctor of Technical Sciences,  
senior researcher**Lupko K.**

postgraduate student

***Dnipro State Agrarian and  
Economic University*****УДК 631.362.34****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-1-4****МЕТОДИКА СИМУЛЯЦІЇ ПРОЦЕСУ  
СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВОГО  
МАТЕРІАЛУ ДРІБНОНАСІННЄВИХ  
КУЛЬТУР НА ЦИЛІНДРИЧНОМУ  
ЧАРУНКОВОМУ ТРІЄРІ**

*Важливим процесом обробки насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур є сепарація. Цей процес заснований на техніко-технологічних принципах розділення насіннєвого матеріалу в залежності від відмінностей фізико-механічних властивостей окремих компонентів насіннєвого матеріалу. Якість насіннєвого матеріалу напряму залежить від якості сепарації. Циліндричні трієри – насіннеочисні машини, призначені для розділення насіння, що відрізняється за довжиною. Робочим органом трієра є циліндр із внутрішньою чарунковою поверхнею та збірним бункером, який встановлено на осьовій опорі циліндра. Принцип роботи трієра заснований на обертанні циліндра, під час якого до чарунок потрапляють насінини з різними геометричними розмірами. Метою дослідження є застосування чисельного моделювання для визначення теоретичних закономірностей зміни технологічних параметрів процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур від конструктивно-режимних параметрів циліндричного чарункового трієра. Розроблено модель процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур на циліндричному чарунковому трієрі в програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+. Спираючись на фізико-механічні властивості насіннєвого матеріалу на прикладі насіння гірчиці, заданих початкових і граничних умов циліндричного чарункового трієра отримано візуалізацію процесу сепарації в залежності від факторів досліджень (кількості насінин і домішок в насіннєвій суміші, частоти обертання циліндра трієра і діаметра циліндра трієра). Наступним етапом досліджень є визначення залежності значень мінімального і максимального кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від факторів досліджень..*

**Ключові слова:** моделювання, трієри, дрібнонасіннєві культури, сепарація.

**Вступ.** Одним з найважливіших процесів обробки насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур є процес сепарації, який застосовується на різних стадіях обробки насіннєвого матеріалу. Процес сепарації заснований на техніко-технологічних принципах розділення насіннєвого матеріалу, основою яких є відмінність фізико-механічних властивостей окремих складових. До таких властивостей належать форма, розмір, маса, питома вага, стан поверхні та інші властивості, що характеризують основне насіння та домішки. Від якості сепарації насіннєвого

матеріалу залежить якість насіннєвого матеріалу та його стабільність під час зберігання, а якість сепарації в свою чергу залежить від правильного підбору обладнання для очищення насіння.

Циліндричні трієри – насіннеочисні машини, призначені для розділення насіння, що відрізняється за довжиною. Робочим органом трієра є циліндр із внутрішньою чарунковою поверхнею та збірним бункером, який встановлено на осьовій опорі циліндра. Принцип роботи трієра заснований на обертанні циліндра, під час якого до чарунок



потрапляють насінини з різними геометричними розмірами. [1] Довгі насінини мають низьку опору в стані спокою та переносяться за напрямком обертання циліндра і під певним кутом випадають з чарунки. Короткі насінини мають високу опору в стані спокою і також випадають з чарунок, але під іншим кутом. Все насіння повинно випадати з чарунок і це залежить від конструктивно-режимних параметрів обладнання, до яких належать частота обертання циліндра та його діаметр.

Отже, необхідно провести чисельне моделювання для визначення теоретичних закономірностей зміни технологічних параметрів процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінних культур залежно від конструктивно-режимних параметрів циліндричного чарункового трієра.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для вирішення подібних задач було проведено ряд досліджень. [2-6] Так, у зв'язку зі зростаючими потребами у високоякісній візуалізації з можливістю для глядача зануритися у віртуальне середовище було проведено попереднє техніко-економічне обґрунтування, метою якого було визначити переваги та проблеми, пов'язані з візуалізацією у віртуальній кімнаті типу CAVE [2]. Дисертація [3] присвячена розробці методології прогнозування подій, що відбуваються при ударі струменя дизельного палива в стінки камери згоряння. Побудовано математичну модель пристінкових плівок, що утворюються в результаті розпилення. У статті [4] експериментальні дані розподілу твердих часток в горизонтальних трубопроводах були змодельовані з використанням CFD та методу дискретних елементів (DEM). У дослідженнях [5] за допомогою програмного пакету STAR-CCM+ були застосовані умови підвищення ефективності видалення дрібних частинок з існуючого циклону. У дослідженнях [6] описано спробу візуалізувати поведінку потоку в різноманітних геометричних умовах труби. Авторами були отримані значення контурів тиску та швидкості на різних частинах труби, в якій вода є середовищем.

На підставі згаданих досліджень було запропоновано використання методу кінцевих елементів для вирішення поставлених задач, який було реалізовано у програмному пакеті STAR-CCM+. Моделювання процесу може бути здійснено за допомогою різних підходів, таких як емпіричні, аналіз структури потоків матеріалу за допомогою функції розподілення часу перебування часток, механіки суцільних середовищ, ентропійно-інформаційні та статистичні методи. В даний час у дослідженнях широко використовуються такі типові математичні моделі структури потоку

матеріалу, як моделі ідеального витиснення та ідеального змішування, дифузійні та комбіновані моделі (джерела [7], [8], [9] вказують на це).

#### **Мета та завдання дослідження.**

Метою чисельного моделювання є встановлення теоретичних закономірностей, що визначають зміну технологічних параметрів процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінних культур від конструктивно-режимних параметрів циліндричного чарункового трієра.

Підхід комплексного системного аналізу передбачає якісний аналіз фізико-механічної системи, що включає два рівні ієрархії фізико-механічних ефектів та явищ: фізико-механічні явища в елементарному об'ємі (мікрорівень) та фізико-механічні явища в об'ємі всього апарату (макрорівень).

Тому необхідно провести чисельне моделювання процесу переміщення насінневого матеріалу дрібнонасінних культур під дією циліндра чарункового трієра, що обертається, і визначити його фізико-математичну модель.

**Виклад основного матеріалу.** При застосуванні методу кінцевих елементів для моделювання процесу, спочатку визначаються початкові параметри, такі як положення і швидкість насінин та повітряного потоку. Потім, використовуючи фізичні закони контактної взаємодії, відповідні зусилля, що діють на кожну насінину в кожен інтервал часу, обчислюються з урахуванням початкових даних. Для кожної насінини обчислюється сумарне зусилля, і розв'язується задача Коші на заданому відрізку часу, щоб отримати початкові дані для наступного кроку. Для моделювання чисельної моделі було використано наступні фізичні моделі: k-ε модель турбулентної розділеної течії, поле сили тяжіння, модель реального газу Ван-дер-Ваальса, модель дискретних елементів та модель багатофазної взаємодії [10-12]. Метод дискретних елементів заснований на законах збереження імпульсу та моменту імпульсу для Лагранжевих моделей багатофазного середовища. Однак для побудови фізико-математичної моделі потрібно зробити припущення, що насіння представлені у вигляді однакових еліпсоїдів з визначеною щільністю та ефективним діаметром..

В якості моделі насіння були прийняті насінини гірчиці, фізико-механічні властивості яких були наступними: коефіцієнт Пуассона – 0,5; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 700 кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт тертя спокою – 0,8; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5; коефіцієнт опору кочення – 0,3; нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5. Модель насінини гірчиці є



куля (рис. 1). При цьому ефективний діаметр насіння підпорядковується нормальному розподілу і характеризується густиною ймовірності (рис. 2):

$$f(d_g, \bar{d}_g, \sigma_g) = \frac{1}{\sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(d_g - \bar{d}_g)^2}{2\sigma_g^2}\right), \quad (1)$$

де  $\bar{d}_g = 0,002$  м – середнє значення ефективного діаметра насіння, м;  $\sigma_g = 0,001$  м – середнє квадратичне відхилення ефективного діаметра насіння, м.

При цьому насіння можуть мати ефективний діаметр, який знаходиться в діапазоні  $d_g \in [d_{gmin}; d_{gmax}]$ , де  $d_{gmin} = 0,001$  м – мінімальне значення ефективного діаметра насінини, м;  $d_{gmax} = 0,003$  м – максимальне значення ефективного діаметра насінини, м.

Насіннева суміш представлялась у вигляді двох компонентів: насіння основної культури і домішок.

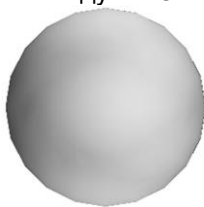
В якості моделі домішок у насінневій суміші були прийняті наступні фізико-механічні властивості: модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність

– 700 кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт опору кочення – 0,3; коефіцієнт Пуассона – 0,5; нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5; коефіцієнт тертя спокою – 0,8; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5. Модель домішок приведена на рис. 1, б. При цьому ефективний діаметр домішок підпорядковується нормальному розподілу і характеризується густиною ймовірності (рис. 2):

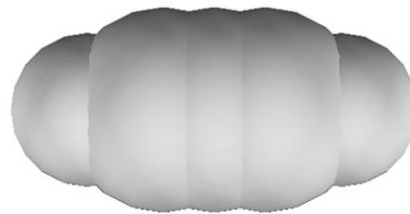
$$f(d_i, \bar{d}_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(d_i - \bar{d}_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad (2)$$

де  $\bar{d}_i = 0,003$  м – середнє значення ефективного діаметра домішки, м;  $\sigma_i = 0,001$  м – середнє квадратичне відхилення ефективного діаметра домішки, м.

При цьому домішки можуть мати ефективний діаметр, який знаходиться в діапазоні  $d_i \in [d_{imin}; d_{imax}]$ , де  $d_{imin} = 0,002$  м – мінімальне значення ефективного діаметра домішки, м;  $d_{imax} = 0,004$  м – максимальне значення ефективного діаметра домішки, м.



а



б

Рис. 1. Моделі насіння (а) і домішок (б)

Властивості середовища були наступні: середовище – повітря; прискорення вільного падіння – 9,8 м/с<sup>2</sup>; турбулентне число Прандтля – 0,9; температура – 293 К; динамічна в'язкість – 1,85508 10<sup>-5</sup> Па·с; тиск – 101325 Па.

Сітка моделі – це область, в якій відбувається процес сепарації насінневого матеріалу. Вона обмежена поверхнею, завдяки якій насінневий матеріал не буде її перетинати.

Сітка моделі представлена у вигляді багатограничних комірок різного розміру. Важливим є те, що розмір комірки впливає на якість розрахунку (чим менша чарунка, тим вище якість) і відповідно, впливає на час розрахунку. В результаті попереднього модулювання встановлено, що раціональний розмір комірки сітки моделювання складає 0,0012 м (рис. 3).

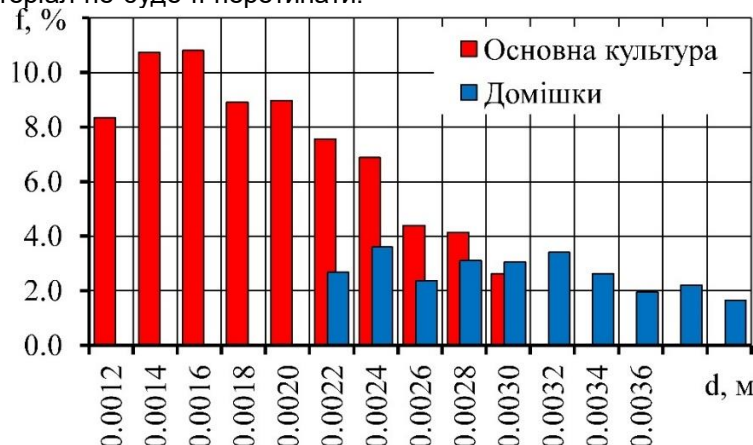


Рис. 2. Розподіл кількості насінин основної культури і домішок за їх ефективним



діаметром

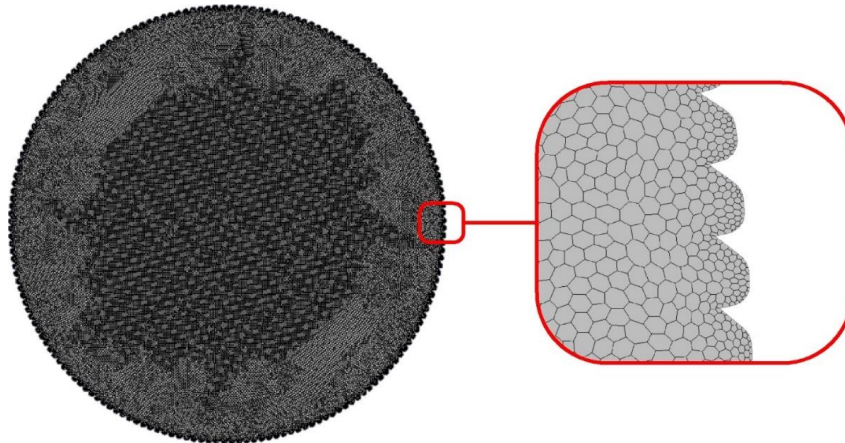


Рис. 3. Сітка моделі чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+

Чисельне моделювання процесу розділення насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур за довжиною було проведено наступним чином.

Розрахункова схема циліндричного чарункового трієра представлена на рис. 4.

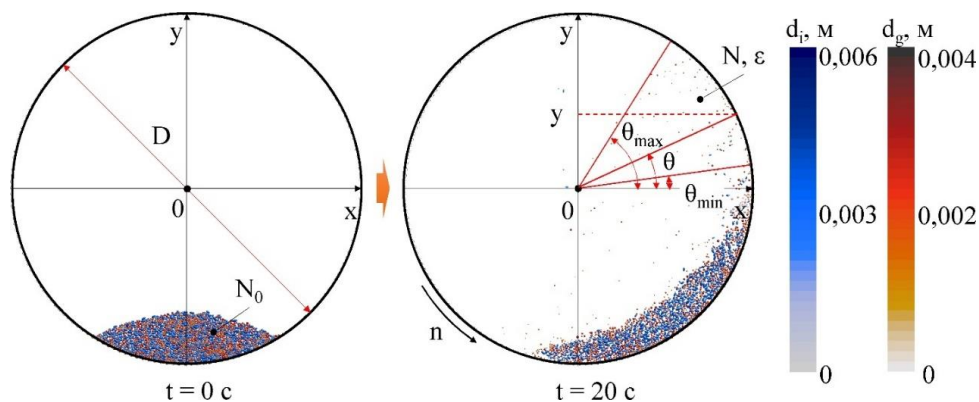


Рис. 4. Розрахункова схема циліндричного чарункового трієра для чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+

На рисунку 4 представлено два плоских зображення циліндра чарункового трієра з насіннєвим матеріалом у поперечному розрізі в системі координат  $xOy$ : з лівої сторони циліндр у стані спокою, з правої сторони – під час обертання за годинниковою стрілкою упродовж 20 секунд. Діаметр циліндра  $D$  постійний. Важливими критеріями було визначення максимального  $\theta_{\max}$  та мінімального  $\theta_{\min}$  кутів повороту на моментах сходу першого компоненту насіннєвого матеріалу та останнього. Кількість насінин  $N_0$  у проміжку між  $\theta_{\max}$  та  $\theta_{\min}$  є опосередкованим показником продуктивності трієра, оскільки під час обертання циліндра насіннєвий матеріал піднімається за траєкторією руху. Під час обертання циліндра трієра довгі домішки випадають з чарунок не доходячи до області  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ , але має місце поняття

випадковості, при якому за випадкових умов домішка доходить до області між  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ . Якість процесу сепарації насіннєвого матеріалу залежить від кількості домішок, що потрапили до проміжку між  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ .

Факторами для чисельного моделювання є діаметр циліндра трієрного сепаратора  $D$ , частота його обертання  $n$  і кількість насінин в насіннєвій суміші  $N_0$  в початковий момент часу.

В момент виходу насінини з чарунки фіксувалося значення кута  $\theta$  полярної системи координат і координати у декартової системи координат згідно рис. 4. Приклад розподілу висоти розміщення компонентів насіннєвої суміші в залежності від їх ефективного діаметра приведено на рис. 5

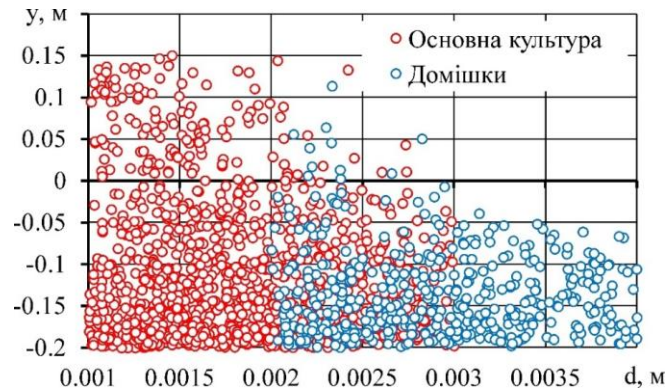


Рис. 5. Розподіл висоти у розміщення компонентів насінневої суміші в залежності від їх ефективного діаметра  $d$  при  $D = 0,4$  м,  $n = 45$  об/хв,  $N_0 = 2000$  шт.

**Результати досліджень.** Отримано візуалізацію процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур на циліндричному чарунковому трієрі з використанням чисельного моделювання. Ця візуалізація представлена на рисунках 6-8.

На рис. 6 представлено візуалізацію процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від кількості насінин і домішок в насінній суміші  $N_0$ . На рисунку показані три плоскі зображення циліндрів трієра у поперечному розрізі з постійним діаметром  $D = 0,4$  м, з постійною частотою обертання циліндра  $n = 45$  об/хв. У першому випадку кількість насінин  $N_0 = 1000$  шт, у другому  $N_0 = 3000$  шт, у третьому випадку  $N_0 = 5000$  шт. Під час обертання циліндра у кожному випадку за траєкторією руху циліндра насінневий матеріал піднімається на певну висоту. При найменшій кількості насіння (при  $N_0$

$= 1000$  шт) видно, що більша частина (25,3 %) насінневого матеріалу піднімається за напрямком обертання циліндра з початкової точки до кута  $\theta$ , при  $N_0 = 3000$  шт піднімається більша кількість насінневого матеріалу – 32,2 % від загальної кількості, при  $N_0 = 5000$  шт – ще більша (36,6 %). З рисунку видно, що зі збільшенням кількості насінневого матеріалу, утворюється так званий, «мертвий шар» матеріалу, який позначений на рисунках білими областями у вигляді дуги. Ця область називається мертвою через відсутність перемішування шарів насінневого матеріалу, оскільки постійна частота та діаметр циліндра не пристосовані для сепарації великої кількості насінневого матеріалу. Вилучення «мертвого шару» при більшій кількості насінневого матеріалу можна досягти за рахунок збільшення частоти обертання циліндра трієра або збільшення діаметру циліндра.

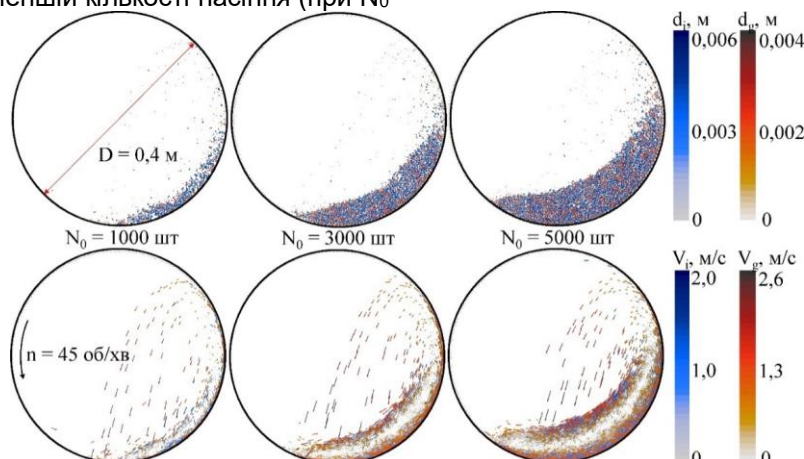


Рис. 6. Візуалізація процесу сепарації на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від кількості домішок і насінин в насінній суміші  $N_0$

На рис. 7 представлено візуалізація процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від частоти обертання циліндра трієра  $n$ . На рисунку 7 показані три плоскі зображення циліндрів трієра

у поперечному розрізі з постійним діаметром  $D = 0,4$  м, постійною кількістю насінневого матеріалу  $N_0 = 3000$  шт, та різною частотою обертання циліндрів  $n = 30$  об/хв,  $n = 45$  об/хв,  $n = 60$  об/хв.. У випадку з найменшою частотою обертання  $n = 30$  об/хв, більша частина



насіннєвого матеріалу не доходить до області  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ , а значить обрана частота не ефективна. Також з рисунку видно «мертвий шар» насіннєвого матеріалу, кількість якого можна зменшити за рахунок збільшення частоти обертання циліндра. За частоти обертання циліндра  $n = 45$  об/хв. видно, що насіннєвий матеріал доходить до області  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ , але в такому випадку також присутній «мертвий шар». У випадку з частотою

обертання циліндра  $n = 60$  об/хв., насіннєвий матеріал перелітає область  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ , але при цьому зменшується мертвий шар. Найбільш доцільною є середня частота обертання циліндра, а саме  $n = 45$  об/хв.

На рис. 8 представлено візуалізацію процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від діаметра циліндра трієра  $D$ .

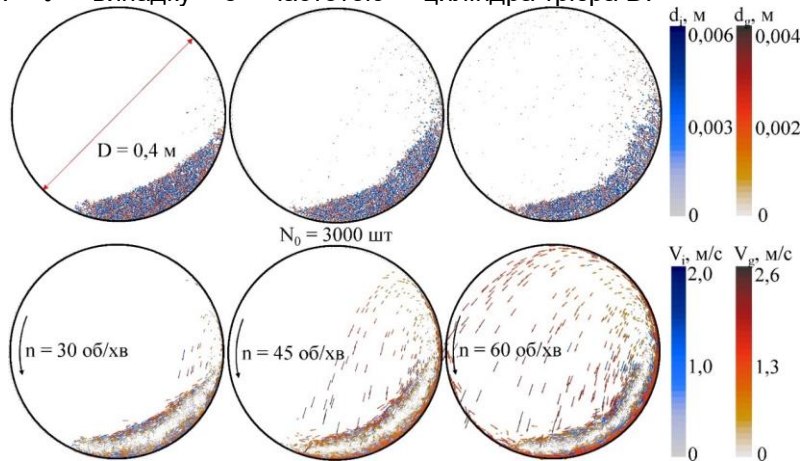


Рис. 7. Візуалізація процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від частоти обертання циліндра  $n$

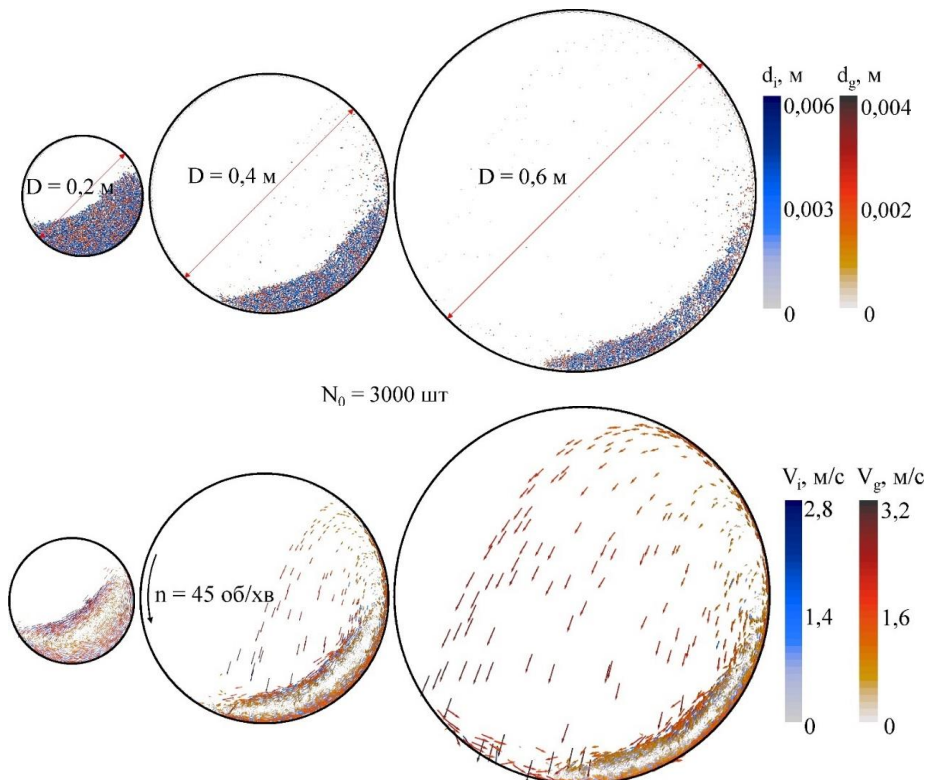


Рис. 8. Візуалізація процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур на циліндричному чарунковому трієрі в залежності від діаметра циліндра  $D$

На рисунку 8 показані три плоскі зображення циліндрів трієра у поперечному розрізі з постійною кількістю насіннєвого матеріалу  $N_0 = 3000$  шт, постійною частотою

обертання  $n = 45$  об/хв. та різними діаметрами циліндра, що становлять  $D = 0,2$  м,  $D = 0,4$  м,  $D = 0,6$  м. За найменшого діаметру циліндра насіннєвий матеріал заповнює внутрішню



область циліндра практично наполовину; при обертанні циліндра лише невелика кількість насіннєвого матеріалу піднімається до області між  $\theta_{\max}$  та  $\theta_{\min}$ , в той час уся інша маса утворює «мертвий шар». Найменший діаметр циліндра використовувати в подальших дослідженнях недоцільно, оскільки ефективність сепарації в такому випадку буде мінімальною.

У випадку середнього діаметру під час обертання циліндра насіннєвий матеріал піднімається до області між  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ . У випадку з найбільшим діаметром  $D = 0,6$  м під час обертання циліндра більша частина насіннєвого матеріалу перелітає область між  $\theta_{\min}$  та  $\theta_{\max}$ , але саме в даному випадку спостерігається найменший «мертвий шар», на відміну від перших двох випадків. З рисунку видно, що найдоцільніше в подальших дослідженнях використовувати циліндр з діаметром  $D = 0,4$  м.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Розроблено модель процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур на циліндричному чарунковому трієрі в програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+. Спираючись на фізико-механічні властивості насіннєвого матеріалу на прикладі насіння гірчиці, заданих початкових і граничних умов циліндричного чарункового трієра отримано візуалізацію процесу сепарації в залежності від факторів досліджень (кількості насінин і домішок в насіннєвій суміші  $N_0$ , частоти обертання циліндра трієра  $n$  і діаметра циліндра трієра  $D$ ). Наступним етапом досліджень є визначення залежності значень мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від факторів досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Aliiev, E., Lupko, K. Prerequisites for the creation of a mechatronic system of indented cylinders for the separation of fine seeds. *Scientific Horizons*. 2021. Vol.24(3). P. 75-86.
2. Pertti Broas. Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. *Trans. VTT Symposium Virtual prototyping*. Espoo. 2001. February 1 st. P. 73–81.
3. Bai C. Modelling of spray impingement processes. Ph.D Thesis. University of London. 1996. 449 p.
4. Dominik Kubicki, Simon Lo. Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO. 2012. P. 1–6.
5. Sang Won Han, Won Joo Lee, Sang Jun Lee. Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation.

World Academy of Science, Engineering and Technology. 2012. Vol. 6. P. 411–415.

6. Satish G., Ashok Kumar K., Vara Prasad V., Pasha Sk. M. Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2013. Vol. 2. P. 41–45.

7. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering*. Springer. 2014. 260 p.

8. Иванец, В. Н., Бакин, И. А., Белоусов, Г. Н. Энтропийный подход к оценке процесса смешивания сыпучих материалов. *Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья*. 2002. №11. С. 16-18.

9. Бакин, И. А., Белоусов, Г. Н., Саблинский, А. И. Моделирование процесса смешивания энтропийно – информационным методом. *Новые технологии в научных исследованиях в образовании. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. 2001. Ч. 1. Юпра.

10. Bai, C., Gosman, A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. *SAE Technical Paper Series*. 1995. 21 p.

11. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k- $\epsilon$  Turbulence Model. *CFD Letters*. 2009. Vol. 1(2). P. 87-94.

12. Wallin, S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. *Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden*. 2000. 124 p.

#### References

- [1] Aliiev, E., & Lupko, K. (2021). *Prerequisites for the creation of a mechatronic system of indented cylinders for the separation of fine seeds*. *Scientific Horizons*. Vol.24(3). P. 75-86 [in English].
- [2] Pertti Broas. (2001). *Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes*. *Trans. VTT Symposium Virtual prototyping*. Espoo. Finland. February 1 st. P. 73–81 [in English].
- [3] Bai C. (1996). *Modelling of spray impingement processes*. Ph.D Thesis. University of London. 449 p. [in English].
- [4] Dominik Kubicki, Simon Lo. (2012). *Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models*. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia (10-12 December 2012). P. 1–6 [in English].
- [5] Sang Won Han, Won Joo Lee, Sang Jun Lee. (2012). *Study on the Particle Removal*



*Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation.* World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 6. P. 411–415 [in Korean].

[6] Satish G., Ashok Kumar K., Vara Prasad V., Pasha Sk. M. (2013). *Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software.* IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 2. P. 41–45 [in English].

[7] Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. (2014). *Basic Transport Phenomena in Materials Engineering.* Springer. 260 p. [in English].

[8] Ivanets V. N., Bakin I. A., Belousov G. N. (2002). *Entropy Approach to the Evaluation of the Process of Mixing Bulk Materials.* Storage and processing of agricultural raw materials. Vol. 11. P. 16-18 [in Russian].

[9] Bakin I. A., Belousov G. N., Sablinsky A. I. (2001). *Modeling of the mixing process by the entropy-information method.* New technologies in scientific research in education. Materials of the All-Russian scientific-practical conference. Vol. 1. Yurga [in Russian].

[10] Bai, C., Gosman, A. D. (1995). *Development of methodology for spray impingement simulation.* SAE Technical Paper Series. 21 p [in English].

[11] Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. (2009). *Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k-ε Turbulence Model.* CFD Letters. Vol. 1(2). P. 87-94 [in English].

[12] Wallin, S. (2000). *Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models.* Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 124 p [in English].

## **SIMULATION THE PROCESS OF SEPARATION OF SEED MATERIAL OF SMALL-SEED CULTURES ON INDENTED CYLINDER**

*Separation is an important process of processing seed material of small-seeded crops. This process is based on technical and technological principles of separation of seed material depending on differences in physical and mechanical properties of individual components of seed material. The quality of seed directly depends on the quality of separation. Cylindrical triers are seed cleaning machines designed to separate seeds that differ in length. The working body of the trier is a cylinder with an inner honeycomb surface and a prefabricated hopper, which is mounted on the axial support of the cylinder. The principle of operation of the trier is based on the rotation of the cylinder, during which the cells get seeds of different geometric sizes. The aim of the study is to determine the theoretical patterns of change of technological parameters of the process of separation of seed material of small-seeded crops from the design and regime parameters of the cylindrical honeycomb trier by numerical simulation. A model of the process of separation of seeds of small-seeded crops on a cylindrical honeycomb trier in the Simcenter STAR-CCM+ software package has been developed. Based on the physical and mechanical properties of seed material on the example of mustard seeds, the initial and boundary conditions of the cylindrical honeycomb trier, the separation process is visualized depending on research factors (number of seeds and impurities in the seed mixture, trier cylinder and trier cylinder diameter). The next stage of research is to determine the dependence of the values of the minimum and maximum angles of seed exit from the cell of the trier cylinder on the research factors.*

**Key words:** modeling, indented cylinders, small seed crops, separation.

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Алієв Ельчин Бахтияр огли** – доктор технічних наук, старший дослідник, професор кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: [aliev@meta.ua](mailto:aliev@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

**Лупко Кристина Олегівна** – здобувачка ступеня доктора філософії Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: [kristina.dsau@gmail.com](mailto:kristina.dsau@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9237-5659>).

**Elchyn Aliiev** – Doctor of technical sciences, senior researcher, professor of the technical systems engineering department of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: [aliev@meta.ua](mailto:aliev@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

**Krystyna Lupko** – Ph.D. student of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: [kristina.dsau@gmail.com](mailto:kristina.dsau@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9237-5659>).