УДК 004.89:633.854.78 DOI: 10.36710/IOC-2025-39-18

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ІЗ ВЕРТИКАЛЬНИМ ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ

Е. Б. Алієв[1], І. М. Кудрявцев[1], М. І. Кудрявцев[1], О. Ю. Алієва[2]

[1] Дніпровський державний аграрно-економічний університет
[2] Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

Метою дослідження є визначення оптимальних конструктивних і режимних параметрів аеродинамічного сепаратора насіння олійних культур із вертикальним повітряним потоком для підвищення ефективності сепарації, продуктивності та енергоефективності. Проведено чисельне моделювання процесу сепарації у Simcenter Star-CCM+ з використанням CFD-DEM підходу, що дозволило оцінити рух частинок насіннєвої суміші, їх взаємодію з повітряним потоком та між собою, а також вплив фракційного складу на ефективність процесу. Експериментальна перевірка проводилась на аеродинамічному сепараторі із вертикальним повітряним потоком, обладнаному блоком завантаження з віброживильником, пневмосепараційним каналом, повітророзподільником, камерою розрідження та осадовою камерою. Визначено оптимальні режими роботи сепаратора, що забезпечують максимальний вміст ядер соняшнику в зоні збору, високий рівень продуктивності та мінімальні енергетичні витрати. Результати дослідження дозволяють сформулювати аналітичні залежності для оптимізації конструктивних і режимних параметрів аеродинамічних сепараторів та можуть бути використані для вдосконалення технологічних процесів підготовки насіння олійних культур на промислових підприємствах.

Ключові слова: аеродинамічний сепаратор, вертикальний повітряний потік, оптимізація параметрів, насіння олійних культур, CFD-DEM моделювання, продуктивність, енергоефективність.

Вступ. Актуальність проблеми сепарації насіння олійних культур обумовлена необхідністю підвищення якості сировини та ефективності технологічних процесів на підприємствах олійно-жирової промисловості. Якість насіння безпосередньо впливає на вихід олії, її хімічні та технологічні властивості, а також на формування шроту та побічних продуктів (Revtyo et al. 2023; Aliiev et al. 2017). Сучасні тенденції розвитку агропромислового комплексу вимагають застосування високопродуктивного обладнання, здатного забезпечувати точну та економічну сепарацію насіння з мінімальними втратами (Stepanenko 2020; Kaminsky et al. 2000; Bredykhin 2003).

Одним із перспективних напрямів є використання аеродинамічних сепараторів із вертикальним повітряним потоком, які дозволяють розділяти насіння за масою, формою та розмірами за рахунок різниці аеродинамічних характеристик компонентів суміші (Kyurchev 2018; Kyurchev et al. 2012; Nesterenko et al. 2017). Проте ефективність роботи таких сепараторів значною

Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Corresponding author

мірою залежить від взаємодії конструктивних і режимних параметрів – геометрії робочої камери, швидкості та напрямку повітряного потоку, подачі насіння, а також регулювання витрат енергії. Недостатньо оптимізовані параметри призводять до зниження продуктивності, нерівномірності очищення та підвищених енергетичних витрат (Kotov et al. 2017; Kotov et al. 2023; Stepanenko et al. 2022).

У роботах (Stepanenko et al. 2023; Stepanenko et al. 2022) аналізуються різні конструкції аеродинамічних сепараторів, зокрема форми та розміри робочих камер, типи повітряних каналів та системи подачі насіння. Зазначено, що оптимізація геометрії робочої зони може значно підвищити ефективність сепарації шляхом зменшення турбулентності та забезпечення рівномірного розподілу повітряного потоку.

Дослідження (Rogovskii et al. 2019) зосереджуються на впливі швидкості та напрямку повітряного потоку, а також на режимах подачі насіння на ефективність сепарації. Встановлено, що оптимальні значення цих параметрів залежать від фізико-механічних властивостей насіння та можуть варіюватися в залежності від конкретних умов експлуатації сепаратора.

У роботах (Kotov et al. 2019; Adamchuk et al. 2021) застосовуються методи математичного моделювання для аналізу процесу аеродинамічної сепарації. Розроблені математичні моделі дозволяють прогнозувати ефективність сепарації в залежності від змінюваних параметрів, що є основою для подальшої оптимізації конструкції та режимів роботи сепаратора.

Незважаючи на значний обсяг досліджень у цій галузі (Kharchenko et al. 2024; Kharchenko et al. 2025), існують певні прогалини, зокрема відсутність єдиних рекомендацій щодо оптимальних параметрів для різних видів насіння олійних культур та недостатня увага до енергетичних аспектів процесу. Подальші дослідження повинні зосереджуватися на розробці універсальних методів оптимізації, що враховують різноманітність фізико-механічних властивостей насіння та умови експлуатації сепараторів.

Мета дослідження полягає у визначенні оптимальних поєднань конструктивних і режимних параметрів аеродинамічного сепаратора насіння олійних культур із вертикальним повітряним потоком для забезпечення високої якості сепарації, підвищення продуктивності та зниження енергоспоживання.

Матеріали і методи досліджень. Аеродинамічний сепаратор із вертикальним повітряним потоком для очищення насіннєвого матеріалу соняшнику складається з блоку завантаження, пневмосепараційного каналу, повітророзподільника, камери розрідження та осадової камери. Блок завантаження включає завантажувальний бункер і віброживильник з електронним регулятором коливань, що дозволяє налаштовувати амплітуду, частоту та інтенсивність подачі насіння. Пневмосепараційний канал обладнано джерелом вертикального повітряного потоку (регульований вентилятор) і патрубками для подачі насіння, виведення очищеного матеріалу та видалення сміття. Повітряний потік подається знизу вгору через повітророзподільник, який розташований під кутом 40–45° і забезпечує рівномірне формування «повітряної подушки» в зоні сепарації. У верхній частині каналу розташована камера розрідження з відбійником і патрубком для виводу повітря та пилу. Осадова камера містить пірамідальний бункер, шнек, віддушину, збірники очищеного насіння та сміття. Для підвищення продуктивності конструкція може включати

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

два блоки завантаження, два пневмосепараційні канали та блок розподілення з бункером і вібратором. Під час роботи вентилятор створює вертикальний висхідний повітряний потік, який через повітророзподільник формує стабільну зону сепарації. Насіння подається із завантажувального бункера віброживильником у канал, де відбувається розділення часток за питомою вагою та аеродинамічними властивостями: очищене насіння потрапляє у збірник, а сміття та пил виводяться через камеру розрідження та осадову камеру у відповідний збірник.

Моделювання роботи аеродинамічного сепаратора із вертикальним повітряним потоком виконано в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+. Для моделювання двофазного потоку повітря та частинок відходів насіннєвої суміші соняшнику застосовано CFD-DEM підхід. Це дозволило теоретично оцінити рух частинок у різних зонах сепаратора з вертикальним напрямком повітряного потоку. Газова фаза (повітря) розглядалася як нестислива рідина, а компоненти відходів насіннєвої суміші – як окремі тверді частинки, рух яких описувався другим законом Ньютона. Для відображення взаємодії частинок із повітрям застосовувався метод двостороннього зв'язку, який враховував вплив частинок на газову фазу та навпаки. Взаємодія частинок між собою та з поверхнями конструкції моделювалася методом DEM із використанням теорії контактної взаємодії Герца–Міндліна. Оскільки модель Герца–Міндліна передбачає сферичні частинки, а форма компонентів відходів соняшнику значно відрізняється від сферичної, для моделювання застосовували метод апроксимації довільної форми частинок нерозривним скупченням сферичних субчастинок. Кожна складна форма компонента представлялася кількома субчастинками з постійною відстанню від центру маси.

Для моделювання відходи насіння поділено на три основні групи: ядро соняшнику, лушпиння та дрібні частинки. В табл. 1 показано етапи побудови 3D-моделі та відповідної DEM-моделі з різною кількістю сферичних субчастинок, що залежала від ступеня кулястості компонентів.

Сітчасті моделі формувалися за допомогою генератора багатогранних комірок і поверхневої сітки з базовим розміром комірки 0,02 м. Використовувалися фізичні моделі: ідеального газу, роздільної течії газу, лагранжевої багатофазності, взаємодії Герца–Міндліна та опору кочення. Форма кожної частинки задавалась координатним методом. Для турбулентності застосовувалася стандартна модель k-ε.

Граничні умови при моделюванні встановлювалися так: на вході повітряного потоку – «швидкість на вході», на виході – «тиск на виході». Фізико-механічні властивості компонентів насіннєвої суміші та їх взаємодії наведено у табл. 1. Властивості повітря для моделювання: молярна маса – 28,8 г/моль, динамічна в'язкість – $1{,}86 \cdot 10^{-5}$ Па·с. Вектор сили тяжіння визначено координатами (0,0; 0,0; -9,81) м/с². Моделювання виконувалося нестаціонарним неявним методом з кроком 0,001 с та п'ятьма ітераціями на кожному кроці. Для переміщення частинок DEM число Куранта варіювалося в межах 0,05–0,35.

На першому етапі чисельного моделювання досліджено вплив подачі відходів насіннєвої суміші соняшнику та фракційного складу її компонентів на ефективність процесу сепарації шляхом аналізу взаємодії потоків насіння та повітря. Схема моделювання представлена на рис. 1.

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Таблиця 1

Середні характеристики фізико-механічних властивостей компонентів відходів насіннєвої суміші

Властивість	Ядро соняшника	Лушпиння	Дрібні частинки
Представлення форми компонентів насіннєвої суміші соняшнику через набір сферичних субчастинок			
Щільність матеріалу, кг/м^3	980±20	520±30	210±40
Модуль пружності, МПа	1,06±0,12	1,22±0,16	0,51±0,12
Коефіцієнт статичного тертя об поверхню	0,38±0,16	0,31±0,13	0,24±0,05
Коефіцієнт Пуассона	0,27±0,05	0,31±0,07	0,21±0,06
Коефіцієнт статичного тертя між частинками	0,41±0,05	0,47±0,08	0,37±0,08
Коефіцієнт пружного відскоку (коефіцієнт відновлення)	0,43±0,11	0,34±0,13	0,35±0,11
Коефіцієнт опору коченню	0,37±0,03	0,32±0,04	0,36±0,08

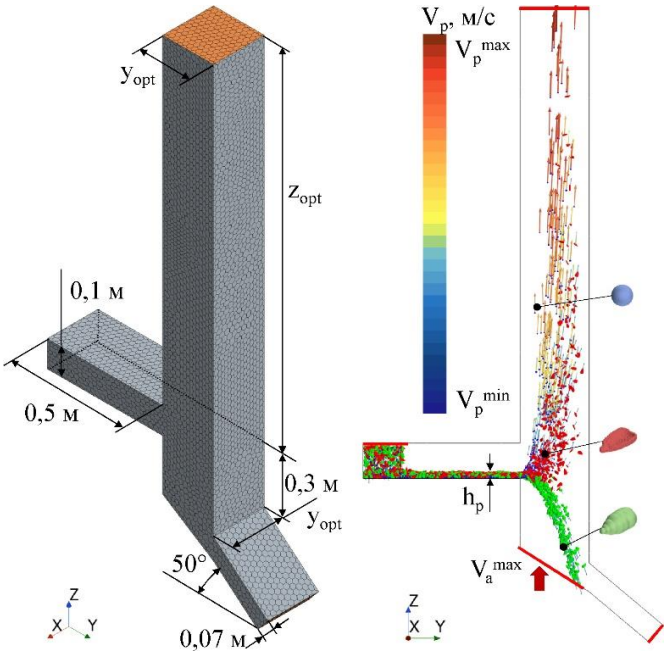

Рис. 1. **Моделювання процесу аеродинамічного розділення компонентів насіннєвої суміші соняшнику в повітряному каналі**

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Передбачається, що насіннєву суміш попередньо калібрували на решетах, а ефективний діаметр компонентів знаходиться в межах 0,008–0,014 м. За умови фіксованих швидкості стрічкового конвеєра V_{p-opt} та його ширини y_{opt}, подача визначається висотою шару відходів насіннєвої суміші h_p. Тому як фактори дослідження обрано: висоту шару насіннєвої суміші h_p (0,02–0,08 м) та швидкість вертикального повітряного потоку V_a (1–6 м/с). Для проведення чисельного експерименту використано повнофакторний план із двома факторами на п'яти рівнях. Критерієм ефективності сепарації визначено вміст ядер соняшнику в зоні збору η_{k-k}, який має досягати максимального значення. Для обґрунтування режимних параметрів вертикального аеродинамічного сепаратора залежно від складу засміченої насіннєвої суміші проведено другий етап чисельного моделювання (рис. 2).

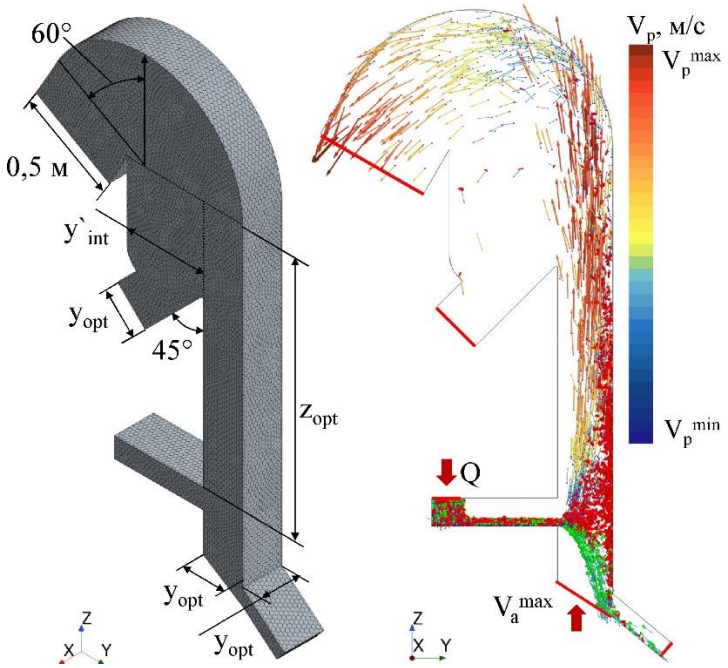

Рис. 2. **Схематичне представлення аеродинамічного розділення компонентів насіннєвої суміші соняшнику у повітряному каналі**

У цьому етапі дослідження факторами обрано: швидкість повітряного потоку V_a (1–5 м/с), подачу насіннєвої суміші q (50–150 кг/год), фракційний вміст компонентів у суміші: ψ_h – лушпиння, ψ_d – дрібні частинки, ψ_k – ядра. При цьому виконується умова: $\psi_h + \psi_d + \psi_k = 1$.

Критерієм оцінки якості сепарації визначають вміст кожного компонента відходів у відповідних забірниках η. На основі попередніх досліджень ефективність роботи вертикального аеродинамічного сепаратора оцінюється через коефіцієнт розподілу δ, який визначається як середнє значення вмісту компонентів у відповідних забірниках: $\delta = \left(\eta_{h-h} + \eta_{d-d} + \eta_{k-k}\right)/3$

Було проведені експериментальні дослідження на обладнанні СС-001 (ТОВ «Сортувальні машини»), яке представлено на рис. 3.

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Для проведення експериментальних досліджень обрано такі фактори варіювання: подача суміші насіння соняшнику q (40–160 кг/год); швидкість висхідного повітряного потоку V_a (1–6 м/с); вміст ядер соняшнику у вихідній суміші ψ_k (0,1–0,8).

Регулювання подачі матеріалу здійснювалося віброживильником, частоту і амплітуду коливань якого змінювали за допомогою електронного регулятора. Швидкість вертикального повітряного потоку змінювали частотним перетворювачем електродвигуна вентилятора, що дозволяло підтримувати стабільні режими сепарації. Фракційний склад насіннєвої суміші коригували шляхом додавання необхідної кількості ядер або лушпиння та ретельного перемішування для отримання заданих пропорцій ψ_h, ψ_d, ψ_k. Для оцінки ефективності процесу використано такі критерії: коефіцієнт розподілу δ, частка ядер соняшнику в зоні прийому забірника η_{k-k} та споживана електрична потужність P.

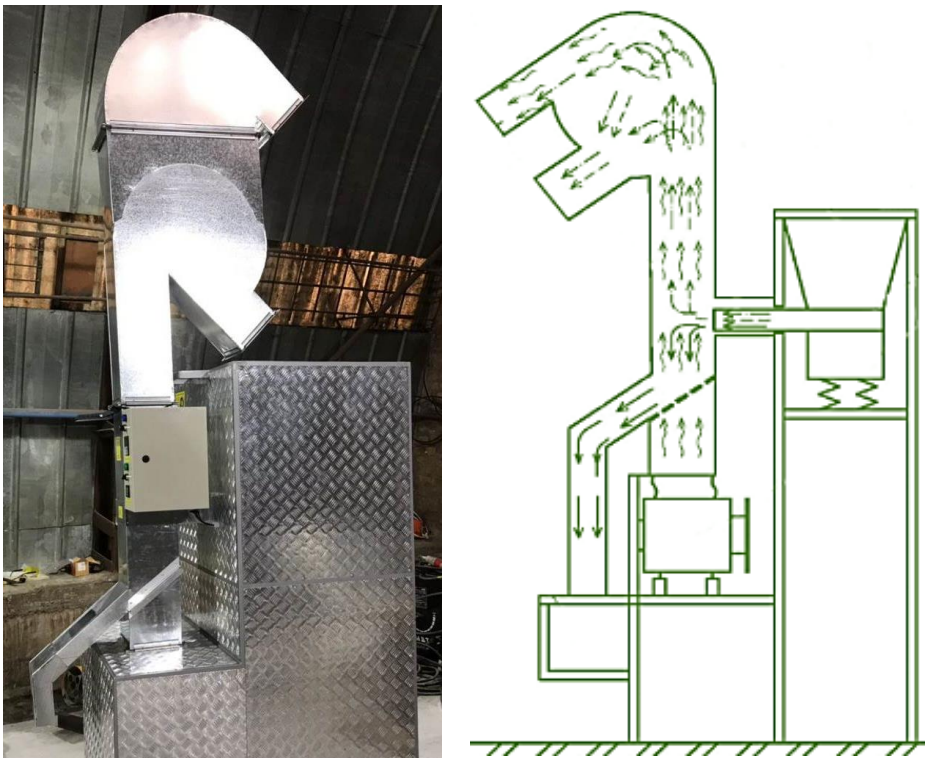

Рис. 3. **Зовнішній вигляд і схема дослідного зразка аеродинамічного сепаратора з вертикальним напрямком повітряного потоку**

Вміст ядер соняшнику η_{k-k} визначали методом відбору проб і ручного зважування після сепарації. Споживану потужність P визначали за показами електричного лічильника протягом фіксованого проміжку часу. Експеримент проведено за планом Бокса–Бенкена для трьох факторів на трьох рівнях варіювання. Загальна кількість дослідів становила 15, кожен із них виконано триразово для забезпечення статистичної достовірності результатів.

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Результати досліджень та їхнє обговорення. На першому етапі чисельного моделювання взаємодії потоків відходів насіннєвої суміші соняшнику та вертикального повітряного потоку в пневмосепараційному каналі за допомогою Wolfram Cloud було отримано регресійне рівняння другого порядку, яке описує залежність вмісту ядер соняшнику в зоні збору η_{k-k} від досліджуваних факторів (рис. 4):

$$\eta_{k-k} = 0,7184 + 3,194\ h_p - 61,4286\ h_p^{\,2} + 0,09962\ V_a - 0,4\ h_p V_a - 0,00957\ V_a^{\,2}. \qquad (1)$$

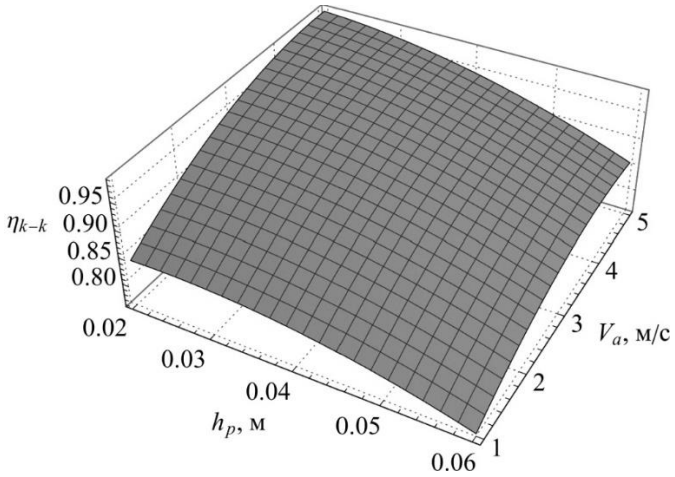

Рис. 4. **Залежність вмісту ядер соняшнику η_{k-k} у зоні збору від висоти шару відходів насіннєвої суміші соняшнику h_p та швидкості повітряного потоку V_a**

Також визначено рівняння регресії другого порядку для продуктивності процесу сепарації (q) та об'ємних витрат повітря (Q_a) генератора повітряного потоку:

$$q = -2,93657 + 3480,4 h_p, \qquad (2)$$

$$Q_a = -10,0686 + 174,8 V_a. \qquad (3)$$

Оскільки ефективність роботи сепаратора визначається максимальним вмістом ядер соняшнику η_{k-k} при високій продуктивності (q) та мінімальних об'ємних витратах повітря (Q_a), було вирішено систему рівнянь для оптимізації факторів дослідження.

Розв'язання системи рівнянь (1)–(3) у Wolfram Cloud дозволило отримати оптимальні значення факторів:

$$\eta_{k-k} \to \max,\quad q \to \max,\quad Q_a \to \min,$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{\eta_{k-k} - \min(\eta_{k-k})}{\max(\eta_{k-k}) - \min(\eta_{k-k})} \frac{q - \min(q)}{\max(q) - \min(q)} \frac{\max(Q_a) - Q_a}{\max(Q_a) - \min(Q_a)} \to \max. \qquad (4)$$

При цьому результати моделювання: $h_p = 0,036$ м, $V_a = 3,42$ м/с, $\eta_{k-k} = 0,94$, $q = 122,9$ кг/год, $Q_a = 588$ м^3/год

Другий етап чисельного моделювання дозволив оцінити вплив фракційного складу компонентів насіннєвої суміші (ψ_h, ψ_d, ψ_k) на процес

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

сепарації. Було розраховано рівняння регресії неповного третього порядку, що описує залежність коефіцієнта розподілу δ від вмісту компонентів в розкодованому вигляді (рис. 5):

$$\delta = 2,98887 - 2,84910\psi_d + 0,801344\psi_d^2 - 2,84956\psi_h + 1,77292\psi_d\psi_h + 0,798766\psi_h^2 - \\ -2,84577\psi_k + 1,76357\psi_d\psi_k + 1,76845\psi_h\psi_k - 1,77364\psi_d\psi_h\psi_k + 0,800972\psi_k^2. \quad (5)$$

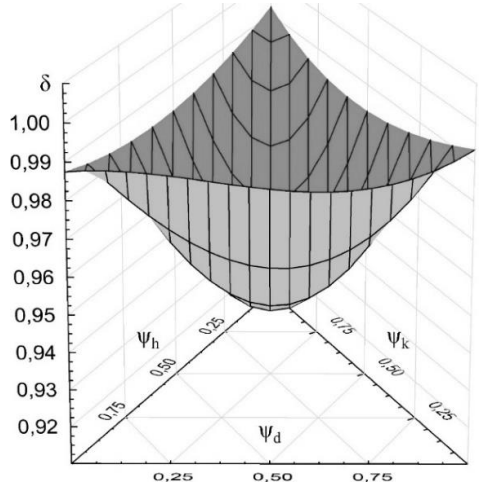

Рис. 5. **Вплив процентного вмісту фракцій насіннєвої суміші ψ_h, ψ_d, ψ_k на розподільну здатність δ вертикального аеродинамічного сепаратора**

Далі отримано рівняння регресії другого порядку, що показує залежність коефіцієнта розподілу δ від швидкості вертикального повітряного потоку V_a та подачі насіннєвої суміші q (рис. 6):

$$\delta = 0,84132 + 0,0002836q - 2,56\cdot10^{-6}q^2 + 0,0627486V_a - 0,0000956qV_a - 0,00597143V_a^2. \quad (6)$$

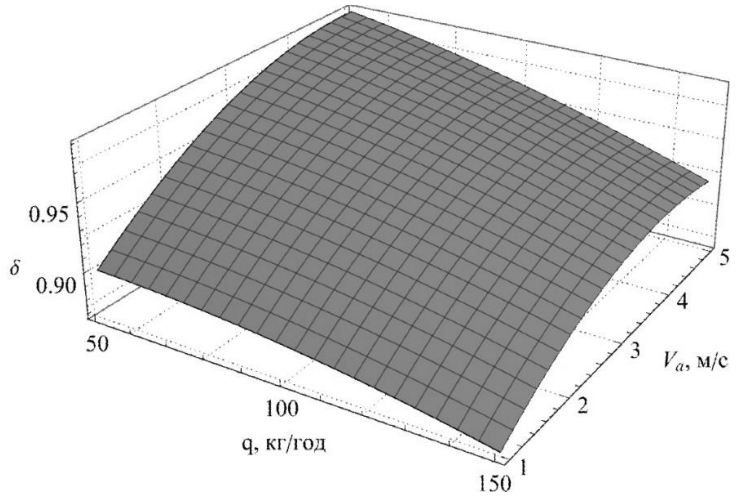

Рис. 6. **Взаємозв'язок коефіцієнта розподілу δ із подачею суміші q та швидкістю повітряного потоку V_a**

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Для забезпечення високої якості сепарації (δ) при достатньо високій продуктивності q та оптимізованих об'ємних витратах повітря Q_a використовується відповідна математична умова оптимізації

$$\delta \to \max,\quad q \to \max,\quad Q_a \to \min,$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{\delta - \min(\delta)}{\max(\delta) - \min(\delta)} \frac{q - \min(q)}{\max(q) - \min(q)} \frac{\max(V_a) - V_a}{\max(V_a) - \min(V_a)} \to \max. \quad (7)$$

Розв'язання цієї системи рівнянь у Wolfram Cloud дозволило визначити раціональні значення режимних факторів: подача насіннєвої суміші q та швидкість вертикального повітряного потоку V_a: $q = 133$ кг / год, $V_a = 2{,}46$ м / с, $\delta = 0{,}92$.

Для аеродинамічного сепаратора із вертикальним повітряним потоком за допомогою програмного середовища Wolfram Cloud побудовано математичні моделі другого порядку, які описують вплив основних конструктивно-режимних параметрів на ефективність процесу розділення насіннєвої суміші соняшнику (рис. 7–8):

$$\eta_{k-k} = 0{,}748552 - 4{,}48333 \cdot 10^{-6} q^2 + 0{,}000934167\, q - 0{,}0000833333\, V_a q + 0{,}0736458\, V_a - 0{,}00736458\, V_a^2 + 0{,}0347917\, \psi_k. \quad (8)$$

$$\delta = 0{,}799747 - 0{,}000341667\, q + 0{,}0613542\, V_a - 0{,}00667014\, V_a^2 + 0{,}0641667\, \psi_k. \quad (9)$$

Отримано рівняння регресії, що відображає залежність вмісту ядер соняшнику у фракції забірника від подачі суміші, швидкості вертикального повітряного потоку та початкового вмісту компонентів у суміші. Аналіз показав, що зі збільшенням швидкості повітря до певного оптимуму покращується відокремлення легких домішок і підвищується концентрація ядер у відповідній зоні осадження. Максимальне значення показника $\eta_{k-k} = 0{,}976$ досягнуто при подачі суміші близько 61 кг/год, швидкості повітряного потоку 4,6 м/с та вмісті ядер у суміші $\psi_k = 0{,}8$.

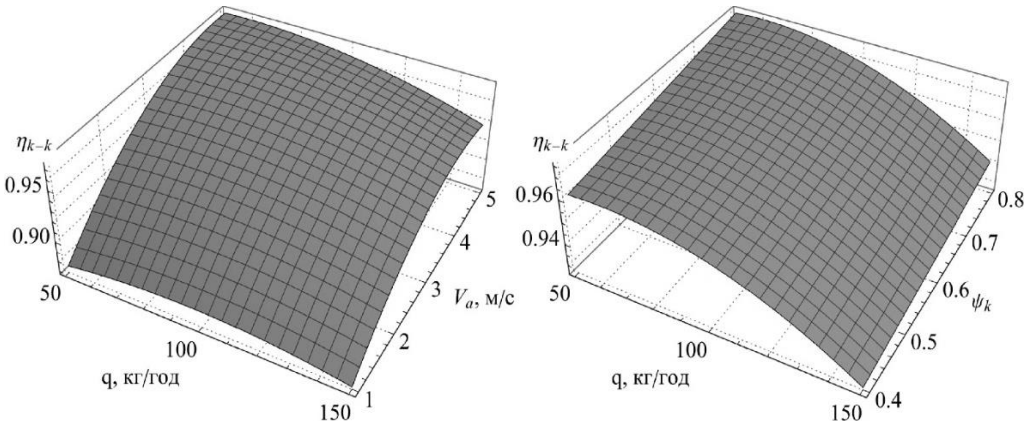

Рис. 7. **Експериментальна залежність частки ядер соняшнику у зоні їх відбору η_{k-k} від подачі суміші віброживильником q, швидкості вертикального повітряного потоку V_a та початкового вмісту ядер у насіннєвій суміші ψ_k.**

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Крім того, розраховано рівняння регресії, яке описує залежність споживаної потужності P від подачі суміші та швидкості потоку

$$P = 48,616 + 1,2729q + 127,94V_a. \quad (10)$$

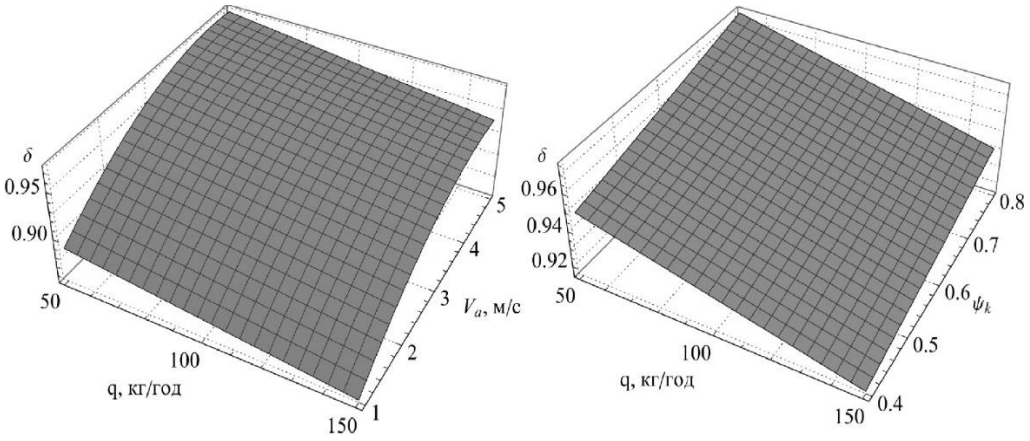

Рис. 8. **Експериментальна залежність коефіцієнта розподілу δ від швидкості повітряного потоку V_a, подачі суміші q і вмісту ядер соняшнику у вихідній суміші ψ_k**

Встановлено, що енергетичні витрати зростають зі збільшенням обох параметрів, а мінімальне значення потужності (P ≈ 240 Вт) досягається при подачі 50 кг/год і швидкості повітря 1 м/с.

Як показав проведений аналіз, оптимальні параметри режиму роботи, визначені за окремими критеріями, не збігаються між собою, що вимагає постановки та розв'язання компромісної задачі багатокритеріальної оптимізації. Ефективне функціонування аеродинамічного сепаратора з вертикальним повітряним потоком можливе лише за умови одночасного досягнення максимальної частки ядер та насіння соняшнику в області їх відбору (η_{k-k}), підвищення продуктивності віброживильника (q) і зменшення споживаної потужності (P):

$$\eta_{k-k} \to \max,\ \ \delta \to \max,\ \ q \to \max,\ \ P \to \min,$$
$$\Downarrow$$
$$\frac{\eta_{k-k} - \min(\eta_{k-k})}{\max(\eta_{k-k}) - \min(\eta_{k-k})} \frac{\delta - \min(\delta)}{\max(\delta) - \min(\delta)} \frac{q - \min(q)}{\max(q) - \min(q)} \frac{\max(P) - P}{\max(P) - \min(P)} \to \max. \quad (11)$$

З метою визначення оптимального співвідношення цих показників було сформульовано систему рівнянь, що враховує вплив основних факторів, і розв'язано її в середовищі Wolfram Cloud. У результаті розрахунків отримано аналітичні залежності, які описують зміну продуктивності віброживильника q та швидкості вертикального повітряного потоку V_a залежно від частки ядер у вихідній насіннєвій суміші ψ_k:

$$q = 38,352\psi_k + 108,89, \quad (12)$$

$$V_a = -2,5013\psi_k + 4,378. \quad (13)$$

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Висновки. Проведене дослідження дозволило визначити оптимальні поєднання конструктивних і режимних параметрів аеродинамічного сепаратора насіння олійних культур із вертикальним повітряним потоком.

За допомогою чисельного моделювання у Simcenter Star-CCM+ та CFD-DEM підходу визначено рух частинок насіннєвої суміші в каналі сепаратора, враховано взаємодію частинок між собою та з газовою фазою, а також їх вплив на ефективність процесу. Для моделювання складної форми компонентів відходів насіння застосовано метод апроксимації довільної форми сферичними субчастинками.

Встановлено, що ефективність сепарації суттєво залежить від висоти шару насіннєвої суміші, швидкості вертикального повітряного потоку та фракційного складу суміші. Оптимальні умови роботи забезпечують максимальну частку ядер соняшнику в зоні збору ($\eta_{k-k} \approx 0{,}976$) при подачі суміші близько 61 кг/год, швидкості повітряного потоку 4,6 м/с та вмісті ядер у суміші $\psi_k = 0{,}8$.

Було отримано регресійні моделі другого порядку для прогнозування вмісту ядер у зоні відбору, продуктивності сепаратора та об’ємних витрат повітря. Аналіз показав, що максимізація частки ядер, підвищення продуктивності та зменшення енергоспоживання не збігаються за окремими критеріями, що потребує багатокритеріальної оптимізації. Розв’язання цієї задачі дозволило сформулювати аналітичні залежності, які описують вплив режимних факторів на ефективність сепарації залежно від складу насіннєвої суміші.

Отримані результати підтверджують можливість підвищення якості сепарації, продуктивності та енергоефективності роботи вертикального аеродинамічного сепаратора шляхом оптимізації конструктивних і режимних параметрів. Ці дані можуть бути використані для вдосконалення існуючих технологічних процесів підготовки насіння олійних культур на промислових підприємствах.

References

Adamchuk V, Bulgakov V, Gadzalo I, Ivanovs S, Stepanenko S, Holovach I, Ihnatiev Y (2021) Theoretical Study of Vibrocentrifugal Separation of Grain Mixtures on a Sieveless Seed-cleaning Machine. Journal of latvia university of life sciences and technologies. Rural sustainability research. 46 (341): 116–124 DOI: 10.2478/plua-2021-0023

Aliiev EB, Patsula OM, Hrytsenko VT (2017) Technology of complex waste-free processing of oilseed cake with the production of high-quality complete protein additives in the form of pellets and solid biofuel: Scientific and methodological recommendations. Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Electronic analogue of the printed edition (e-book). Zaporizhzhia: STATUS.

Bredykhin VV (2003) Justification of the parameters of the process of vibropneumatic centrifugal separation of seed mixtures by seed density. Author's abstract of the dissertation... candidate of technical sciences: 05.05.11. Kharkiv. 20.

Kaminsky VD, Babich MD (2000) Processing and storage of agricultural products: a textbook for universities. Odesa: Aspect. 460.

Kharchenko S, Samborski S, Kharchenko , Korzec-Strzałka I, Stelmakh A (2024) Dynamics of loose materials and oscillations of cylindrical perforated sifting

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

surfaces with volumetric riffles. Advances in Science and Technology Research Journal. 18 (8): 238–255. DOI: 10.12913/22998624/194114

Kharchenko S, Samborski S, Kharchenko F, Kotliarevskyi I (2024) Determination of Hole Blocking Conditions for Perforated Sifting Surfaces. Advances in Science and Technology Research Journal. 18 (5): 342–360. DOI: 10.12913/22998624/190483

Kharchenko S, Samborski S, Al Afif R, Kharchenko F, Kłonica M, Piven M (2025) Development of a Methodology for Assessing Mechanical Damage in Biological Objects: Impact Parameters and Micro-Damage Analysis. Materials. 18. 2075 DOI: 10.3390/ma18092075.

Kyurchev SV (2018) Methodology for studying the influence of sunflower seed moisture on the rational air flow velocity in a pneumogravity separator. Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine. Kyiv: NUBIP. 296: 139–141

Kyurchev SV, Kolodiy OS (2012) Analysis of methods for increasing crop yields and requirements for separated material. Collection of scientific papers. Series: Technical sciences. Vinnytsia: VNAU. 11. 2 (66): 322–327

Kotov BI, Stepanenko SP, Kalinichenko RA, Shvydya VO, Lisetsky VO (2017) Modeling of technological processes in typical facilities for post-harvest processing and grain storage. Modeling of technological processes in typical facilities for post-harvest processing and grain storage (separation, drying, active ventilation, cooling). Monograph. Nizhyn. 552.

Kotov BI, Stepanenko JP (2023) Fundamentals of the theory and technology of air separation of grain materials. monograph. Kyiv: CP Komprint. 427.

Kotov BI, Stepanenko S (2019) Theoretical research of separation process grain mixtures. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10 (4): 137–143. DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.147-153

Nesterenko OV, Leshchenko SM, Vasylkovskyi OM, Petrenko DI (2017) Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH - Agricultural Engineering 53(3). 65-70

Revtyo OYa, Naboka VV (2023) Sunflower in Ukraine – status, problems, prospects (review). Tavria Scientific Bulletin. 128: 170–178 DOI: 10.32851/2226-0099.2022.128.23

Rogovskii I, Titova L, Trokhaniak V, Trokhaniak O, Stepanenko S (2019) Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. In: Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 12 (61): 117–128 DOI: 10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10

Stepanenko SP (2020) Mechanical and technological justification of processes and equipment for sieveless fractionation of grain materials: dissertation ... Dr. Tech. Sciences: 05.05.11. Hlevakha. 687

Stepanenko S, Kotov B, Kuzmych A, Shvydia V, Kalinichenko R, Kharchenko S, Shchur T, Kocira S, Kwaśniewski D, Dziki D (2022) To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. Processes. 10. 1929 DOI: 10.3390/pr10101929

Stepanenko S, Kotov B, Kuzmych A, Kalinichenko R, Hryshchenko V (2023) Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel.

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва

Journal of Central European Agriculture. 24 (1): 225–235 DOI: 10.5513/JCEA01/24.1.3732

Stepanenko S, Kotov B, Kuzmych A, Shvydia V, Kalinichenko R, Kharchenko S, Shchur T, Kocira S, Kwaśniewski D, Dziki D (2022) To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. Processes. 10. 1929 DOI: 10.3390/pr10101929

OPTIMIZATION OF DESIGN AND OPERATIONAL PARAMETERS OF A VERTICAL AIRFLOW SEED SEPARATOR FOR OILSEED CROPS

E. B. Aliiev[1], **I. M. Kudriavtsev**[1], **M. I. Kudriavtsev**[1], **O. Yu. Aliieva**[2]

[1] *Dnipro State Agrarian and Economic University*
[2] *Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

The aim of the study is to determine the optimal design and operational parameters of a vertical airflow seed separator for oilseed crops to improve separation efficiency, productivity, and energy efficiency. Numerical modeling of the separation process was performed in Simcenter Star-CCM+ using the CFD-DEM approach, which allowed the assessment of the motion of seed mixture particles, their interaction with the airflow and with each other, as well as the influence of the fractional composition on the process efficiency. Experimental verification was carried out on a vertical airflow seed separator equipped with a loading unit with a vibratory feeder, a pneumatic separation channel, an air distributor, a suction chamber, and a settling chamber. The optimal operating modes of the separator were determined, ensuring maximum sunflower kernel content in the collection zone, high productivity, and minimal energy consumption. The results of the study allow the formulation of analytical dependencies for optimizing the design and operational parameters of aerodynamic separators and can be used to improve the technological processes of preparing oilseed crops at industrial enterprises.

Key words: aerodynamic separator, vertical airflow, parameter optimization, oilseed crops, CFD-DEM modeling, productivity, energy efficiency.

© Е. Б. Алієв, І. М. Кудрявцев, М. І. Кудрявцев, О. Ю. Алієва