

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота на правах  
рукопису

УДК 631.362.3

**СІНЬКО Валерій Максимович**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА  
З ВЕРТИКАЛЬНИМ КАНАЛОМ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

---

(підпис)

---

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
к.т.н., Медведський О. В.

Житомир – 2021

## АНОТАЦІЯ

**Сінько В. М. Підвищення ефективності аеродинамічного сепаратора з вертикальним каналом.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021 р.

У кваліфікаційній роботі виконана оцінка технологічних схем серійних аеродинамічних сепараторів для зернової суміші, встановлено позитивні ознаки та небажані технічні рішення, запропоновано шляхи удосконалення сепаратора з вертикальним повітряним каналом.

Кваліфікаційна робота спрямована на розв'язання науково-технічної проблеми підвищення ефективності аеродинамічного сепарування зернової маси у вертикальному пневмосепаруючому каналі, встановлено аналітичні залежності впливу технологічних параметрів та режимів роботи аеродинамічного сепаратора на ефективність очищення зерна від домішок.

Запропонована поліпшена конструкція аеродинамічного сепаратора із вертикальним повітряним каналом, яка дозволяє шляхом додаткового енергетичного впливу підвищити ефективність очищення зерна від домішок.

**Ключові слова:** зернова суміш, швидкість потоку повітря, пневмоканал, фракційний склад, форма зернини

## ANNOTATION

**Sinko V. M. Improving the efficiency of the aerodynamic separator with a vertical channel.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

In the qualification work the estimation of technological schemes of serial aerodynamic separators for grain mix is carried out, positive signs and undesirable technical decisions are established, ways of improvement of the separator with a vertical air channel are offered.

Qualification work is aimed at solving the scientific and practical problem of increasing the efficiency of aerodynamic separation of grain mass in a vertical pneumatic separation channel, analytical dependences of the influence of technological parameters and modes of operation of the aerodynamic separator on the efficiency of grain cleaning.

An improved design of the aerodynamic separator with a vertical air channel is proposed, which allows increasing the efficiency of grain cleaning from impurities by additional energy impact.

**Key words:** grain mixture, air flow rate, pneumatic channel, fractional composition, grain shape

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ .....	7
1.1. Особливості технологічного процесу аеродинамічного сепарування .....	7
1.2. Особливості технологічних схем аеродинамічних сепараторів із вертикальним каналом .....	9
1.3. Висновки до розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ .....	14
2.1. Визначення параметрів повітряного потоку аеродинамічного сепаратора .....	14
2.2. Удосконалення вертикального повітряного каналу аеродинамічного сепаратора .....	17
2.3. Висновки до розділу 2 .....	20
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА .....	21
3.1. Дослідження орієнтування зернини у повітряному потоці під дією електромагнітного поля .....	21
3.2. Встановлення ефективних режимних характеристик удосконаленого аеродинамічного сепаратора .....	23
3.3. Висновки до розділу 3 .....	27
ВИСНОВКИ .....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	30

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Очищення зерна від домішок належить до важливих технологічних операцій без яких, у подальшому, неможливо отримати кінцевий продукт високої якості. Це стосується не тільки галузей виробництва круп, хлібобулочних та макаронних виробів, тощо, а також отримання якісного посівного матеріалу для галузі рослинництва. Найперше, зернову суміш, яка надходить на елеватори, потрібно очистити від домішок у вигляді мінеральних (частинки ґрунту, металу) та органічних (полова, рослинні рештки, залишки квіткових суцвіть і т.д.) включень – первинне очищення. На наступному етапі очищення виконуються операції сортування та калібрування зерна із використанням різного типу за принципом дії обладнання.

В умовах сільськогосподарських підприємств для очищення та калібрування зерна найбільш прийнятними для застосування є аеродинамічні сепаратори. Вони забезпечують не тільки очищення зерна культурної рослини від сторонніх домішок, а й виконують технологічний процес його калібрування на фракції. Це дозволить виділити із зернової маси фракції із найкращими показниками схожості, що є запорукою отримання гарного врожаю. Решту фракцій можна використати як товарне зерно, або переробити на корм для тварин. Тому, аеродинамічний сепаратор є невід’ємною складовою загального технологічного процесу попереднього очищення зерна.

Для очищення зернової маси від сторонніх домішок промисловість пропонує досить широку номенклатуру технологічного обладнання. Серійне обладнання вирізняється значними габаритами та недостатньою ефективністю роботи. У технічних характеристиках зазначається про необхідність проведення не менше двох технологічних проходів [1] для отримання належної якості ступеня очищення. Тому, виникає потреба у вивченні структурно-технологічних схем серійних аеродинамічних сепараторів з метою пошуку шляхів підвищення їх технологічної ефективності.

**Мета і задачі досліджень.** Мета досліджень – підвищення ефективності аеродинамічного сепаратора шляхом покращення взаємодії повітряного потоку із зерниною завдяки накладання силових полів.

Для досягнення поставленої мети підлягають вирішенню такі завдання:

- оцінити структурно-технологічні схеми пневмосепаруючих каналів серійного обладнання;
- визначити шляхи удосконалення аеродинамічного сепаратора із вертикальним каналом;
- встановити взаємозв'язок між повітряним режимом роботи сепаратора та орієнтуванням зернини у повітряному потоці під впливом силового поля;
- виконати оцінку технологічної ефективності удосконаленого аеродинамічного сепаратора із вертикальним каналом.

**Об'єкт дослідження** – вертикальний пневмо-розподільний канал аеродинамічного сепаратора.

**Предмет дослідження** – вплив швидкісного режиму повітряного потоку та орієнтування зернини на ефективність сепарування.

**Методи досліджень.** При вирішенні основних завдань на кваліфікаційну роботу використовували основні положення теорії математичного моделювання із застосуванням положень аеродинаміки, теплотехніки, технічної механіки та технічної термодинаміки. Теоретичні дослідження проводились з метою отримання аналітичних залежностей, які дозволяють встановити основні параметри та режими роботи пневмосепаруючого вертикального каналу з використанням силових полів.

Обробка та аналіз результатів досліджень здійснювалась з використанням теорії ймовірності, кореляційного та регресійного аналізу, використовувався програмний продукт Microsoft Excel.

**Апробація результатів роботи.** Результати пошукових та теоретичних досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на конференціях міжвузівських та міжнародній, відображені у наступних опублікованих працях:

1. Сінько В. М. Особливості процесу аеродинамічного сепарування. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 61–63.

2. Медведський О. В., Сінько В. М. Теоретичні передумови аеродинамічного сепарування. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 29–30.

3. Медведський О. В., Сінько В. М. Аеродинамічне сепарування у вертикальному каналі. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 77–79.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (20 найменувань), викладена на 31 сторінці комп'ютерного тексту, проілюстрована 12 рисунками.

# РОЗДІЛ 1

## ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

### АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ

#### 1.1. Особливості технологічного процесу аеродинамічного сепарування

В більшості машин як основна ознака подільності використовуються аеродинамічні властивості. До них відноситься критична швидкість за якої частинка перебуває у зваженому стані, тобто витає. Іншою важливою властивістю є коефіцієнт парусності, який характеризує здатність частинки здійснювати опір повітряному потоку [1, 3].

За відносного руху тіла в повітрі виникає опір який залежить від форми стану поверхні маси тіла і його розміщення в повітряному середовищі. Чим більша різниця цього опору для компонентів суміші тим існує більша імовірність їх ефективного розділення [4, 5, 6].

Повітряний потік створюється в сепараторах вентиляторами. Залежно від напрямку способу надходження та циркуляції повітря повітряні системи поділяються [4, 6]:

- за напрямком повітряного потоку – з вертикальним і похилим потоком;
- за способом надходження повітря в канали – із всмоктувальним, нагнітальним і нагнітально-всмоктувальним потоками;
- за кількістю каналів для сепарування – з одним або двома каналами;
- за способом циркуляції повітря – з розімкненим або замкненим циклом.

Системи із нагнітально-всмоктувальним потоком мають два вентилятори з яких один нагнітає повітря, а другий всмоктує. У похилому або горизонтальному повітряному потоці (рис. 1.1, а) ворох, що висипається із бункера підхоплюється ним і залежно від аеродинамічних властивостей

компонентів сепарувальної суміші переміщає їх у відділення важкої чи легкої фракції.

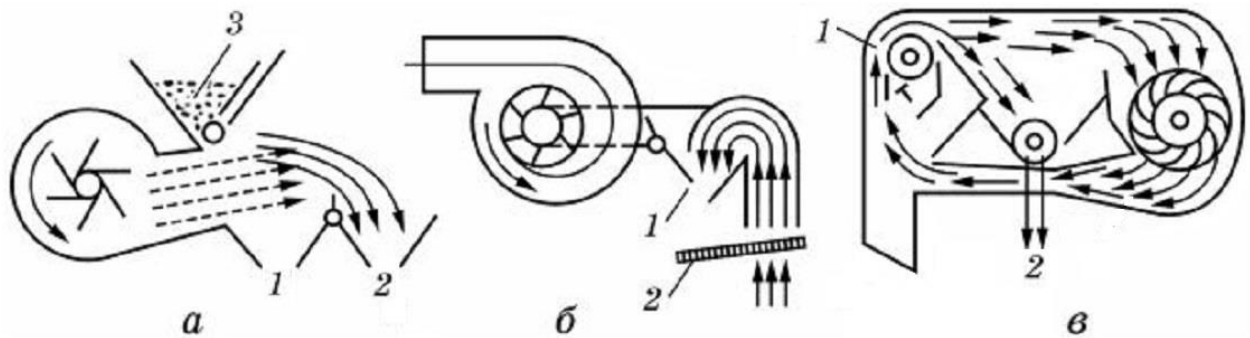


Рис. 1.1. Схеми аеродинамічних сепараторів: *a* – з похилим нагнітальним потоком; *б* – витяжний відцентровий вентилятор; *в* – з діагональним вентилятором: 1 – щупле насіння із легкими домішками; 2 – очищена фракція; 3 – бункер вихідної суміші [4, 5, 6].

У вертикальному повітряному потоці (рис. 1.1, *б*) наявні домішки легші за основне насіння піднімаються повітряним потоком із решета, а основне насіння рухається по решету та сортується за розміром. У сепараторі з діагональним вентилятором використовується комбінована система руху повітряного потоку під час поділу вихідної суміші на дві фракції (рис. 1.1, *в*) [4, 5, 6].

Відділення легкої фракції може відбуватися лише тоді, коли критичні швидкості зерна та домішок, що перебувають у зваженому стані відрізняються між собою. Розділення вихідної суміші за аеродинамічними, ваговими властивостями та станом поверхні використовується у конструкції пневмосортувальних столів (рис. 1.2) [6, 7, 8].

У пневмостолах (рис. 1.2) відділення гарного насіння, тобто з повною зрілістю, відбувається за рахунок особливостей розташування в просторі решітчастої поверхні із поздовжнім та поперечним кутом нахилу. При цьому стіл здійснює коливальний рух, а під решітчасту поверхню подається вентилятором повітря. Вихідна суміш продувається повітряним потоком і



перебуває на ній у зваженому, іншими словами, киплячому середовищі. Тому ефективність розділення зростає [3, 7, 8, 9].

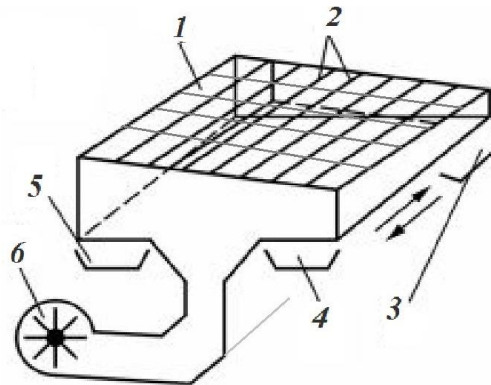


Рис. 1.2. Структурна схема пневмо-сортувального столу: 1 – основа столу; 2 – решітчаста поверхня; 3 – збір легкої фракції; 4 – збір середньої фракції; 5 – збір важкої фракції; 6 – вентилятор [6, 7, 8].

Незважаючи на різноманітність конструкційних рішень, представлені сепаратори мають недостатню ефективність, що потребує подальшого вивчення та удосконалення.

## **1.2. Особливості технологічних схем аеродинамічних сепараторів із вертикальним повітряним каналом**

Повітряний сепаратор РЗ-БСД (рис. 1.3) використовується для очистки зерна від легких домішок у елеваторних господарствах [6, 7, 8].

Принцип роботи полягає у наступному. Зернова суміш (рис. 1.3) потоком (*I*), подається у приймальну горловину, потім, взаємодіючи із відбивачем, спрямовується до воронки. Далі зернова суміш потрапляє на розподілювальний конус та сходить до кільцевого каналу. У кільцевому каналі, зернова суміш зустрічається із повітряним потоком, який виносить легкі домішки в осаджувальну камеру, а очищене зерно (*II*) надходить самопливом донизу та виводиться із машини [6, 7, 8].

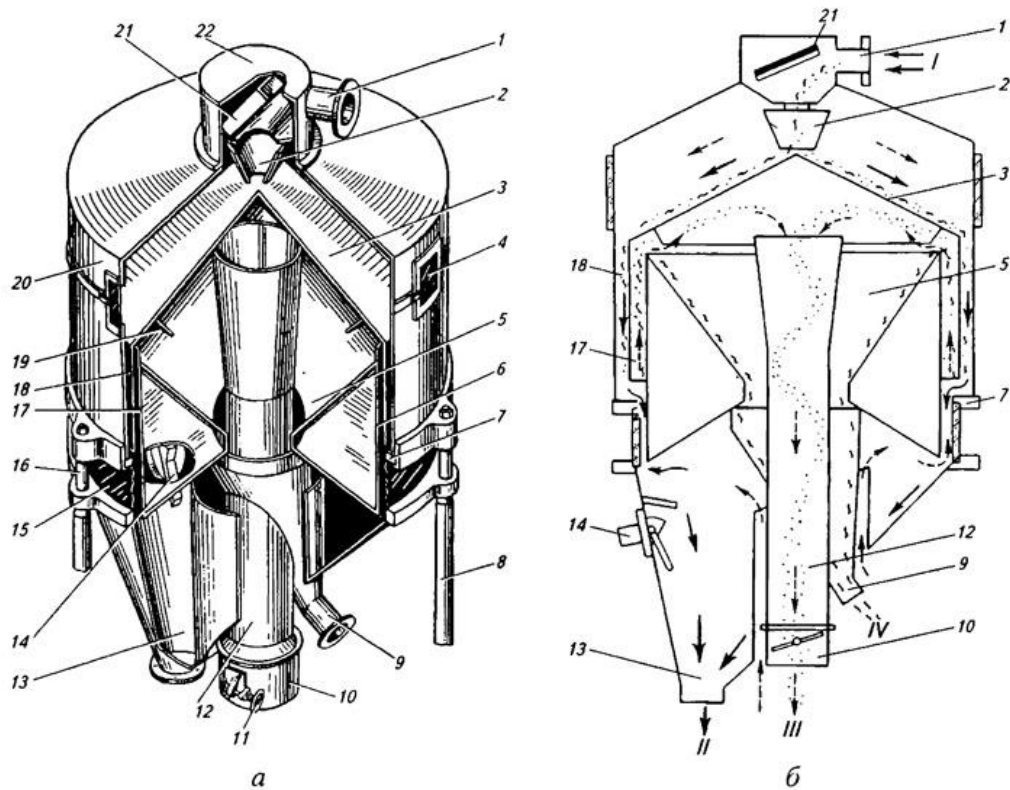


Рис. 1.3. Технологічна схема повітряного сепаратора РЗ-БСД: 1 – патрубок приймальний; 2 – воронка напрямна; 3 – розподільник; 4, 15 – вікна оглядові; 5 – камера осадова; 6 – кожух внутрішній; 7 – кільце направляє; 8 – опора; 9 – патрубок для важких відносяться; 10 – насадка дросельна; 11 – регулятор дросельної заслінки; 12 – патрубок відсмоктує; 13 – конус для очищеного зерна; 14 – електросигналізатор; 16 – стійка; 17, 18 – канали пневмосепаруючих і зовнішній; 19 – козирок; 20 – ковпак; 21 – відбивач; 22 – пристрій приймальне; I – зерно з повітрям; II – зерно очищене; III – повітря з легких відносять; IV – відноситься важкі [6, 7, 8].

В осаджувальній камері домішки повітряним потоком поділяються на дві фракції залежно від маси та густини компонентів сумішки. Частинки компонентів які мають більшу вагу (IV) виводяться із машини через шлюзовий затвор, а частинки компонентів які мають меншу масу та густину (III) спрямовуються повітряним потоком до фільтрів та циклонів для наступного очищення. Ефективність очищення зерна в сепараторі РЗ-БСД регулюють кількістю повітря за допомогою дросельного клапана, розташованого в нижній

частині відсмоктувального повітряного приводу. Рівномірність подачі зерна в сепаратор регулюють зміною кількості допоміжного повітря, що подається в сепаратор у верхній його частині. Ефективність очистки зерна в сепараторі РЗ-БСД досягає 60 %, а його продуктивність – 7 т/год. [7, 8, 9].

Повітряний сепаратор К-293 (рис. 1.4) призначений для сортування вихідного матеріалу у повітряному потоці. Технічна характеристика обладнання К-293 наведена у табл. 1.1 [9, 10].

Таблиця 1.1. Технічні дані сепаратора К-293

Показник	Значення
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	0,25
Межі встановлення швидкості повітряного потоку, м/с:	
ліва скляна трубка	3,1 – 18,0
права скляна трубка	0,4 – 3,3
Тип вентилятора	радіальний
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1050
ширина	500
висота	1050
Маса, кг	80

Принцип роботи наступний. Компоненти вихідної суміші розділяються за швидкістю витання. Навіть в межах однієї культури швидкість витання в повітряному потоці різна. Так, для озимої пшениці діапазон швидкості витання однієї зернини становить від 6,9 до 11,2 м/с, для люцерни – від 4,4 до 6,4 м/с. Тому і місце розміщення (ступінь занурення) у стовпі повітряного потоку тієї чи іншої насінини буде різна (рис. 1.4). Таким чином, обидва типи насіння можуть бути легко та правильно розділені в повітряному класифікаторі, при цьому перекриття швидкостей занурення неможливе.

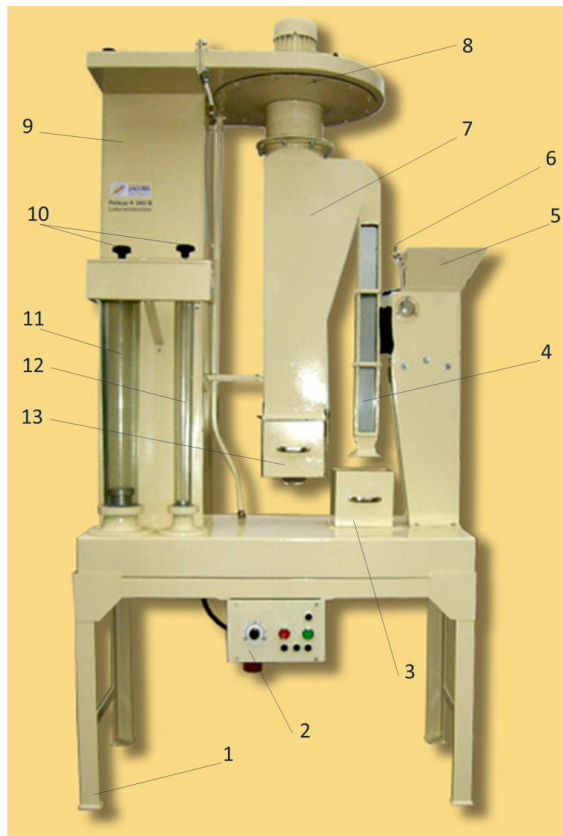


Рис. 1.4. Загальний вигляд повітряного сепаратора К-293: 1 – станина; 2 – пульт керування; 3 – приймач важких домішок; 4 – сепарувальний канал; 5 – завантажувальний бункер; 6 – регулювальний важіль; 7 – розділювальна колона; 8 – вентилятор; 9 – фільтрувальна колона; 10 – регулятор потоку повітря; 11 – вимірювальна трубка для діапазону швидкості повітря 3,1–18 м/с; 12 – вимірювальна трубка для діапазону швидкості повітря 0,4–3,3 м/с; 13 – приймач очищеного насіння [10].

Повітряний потік генерується радіальним вентилятором, що розташований зверху зі сторони зони всмоктування. Повітря, що виходить з вентилятора, очищається за допомогою фільтра, котрий змонтований у рамці для пилу та відносно дуже легких відходів, далі проходить через дві вимірювальні трубки та виходить назовні. За допомогою вимірювальних трубок визначається швидкість повітря у висхідному каналі. Одна вимірювальна трубка використовується при швидкості повітря від 0,4 до 3,3 м/с, інша – від 3,1 до 18 м/с. Одночасно працювати може тільки одна із двох вимірювальних трубок. Тому попередньо необхідно знати інформацію про характеристики

вихідного матеріалу [10]. Швидкість повітряного потоку повинна бути налагоджена таким чином, щоб важче насіння (вищі показники швидкості занурення) несуттєво впливало на повітряний потік і потрапляло до резервуару накопичення у сифонному каналі. Насіння з нижчою швидкістю занурення надходить з повітряним потоком у розділювальну колону, де воно втрачає швидкість та потрапляє до приєднаного контейнера [10].

Сепаратор К-293 розділяє компоненти вихідної суміші, що надходить для очищення, на дві фракції. Спостерігати процес можна через великі оглядові вікна висхідного каналу. Канал бункера з системою розподілу приєднаний до каналу стояка. Вібраційний жолоб бункера спрямовує масу до повітряного каналу. Регулювальний пристрій бункера дає змогу плавно регулювати ступінь надходження до каналу насіння, залежно від його характеристик. Електричний комутаційний та регулюючий пристрої розміщуються в окремій коробці, що відповідає вимогам техніки безпеки [10].

### **1.3. Висновки до розділу 1**

1. Використання аеродинамічних сепараторів у технологічних лініях очищення зерна від домішок набуло широкого поширення. Це, в першу чергу, обумовлено достатньою ефективністю очищення (60–70 %) та відносною простотою організації технологічного процесу.

2. Встановлено, що жоден серійний аеродинамічний сепаратор не забезпечує 100 % чистоту очищення, окрім цього не досягається прийнятний ступінь однорідності кожної окремої фракції. Тому, виникає потреба у пошуку шляхів підвищення ефективності очищення зерна від домішок за рахунок використання додаткового силового впливу, який би доповнив дію сил гравітації та сил аеродинамічного опору.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ

#### 2.1. Визначення параметрів повітряного потоку аеродинамічного сепаратора

Прийнято вважати [9, 11], що аеродинамічні властивості складових зернової сумішки визначаються відмінними коефіцієнтом аеродинамічного опору та критичною швидкістю потоку повітря. А критична швидкість потоку повітря може залежати як від форми та розмірів складових зернової сумішки, так і від маси, оскільки відмінна густина компонентів, стану поверхні (гладка, з ворсинками і т. д.) та розміщення окремих часточок у повітряному потоці одна відносно одної (рис. 2.1).

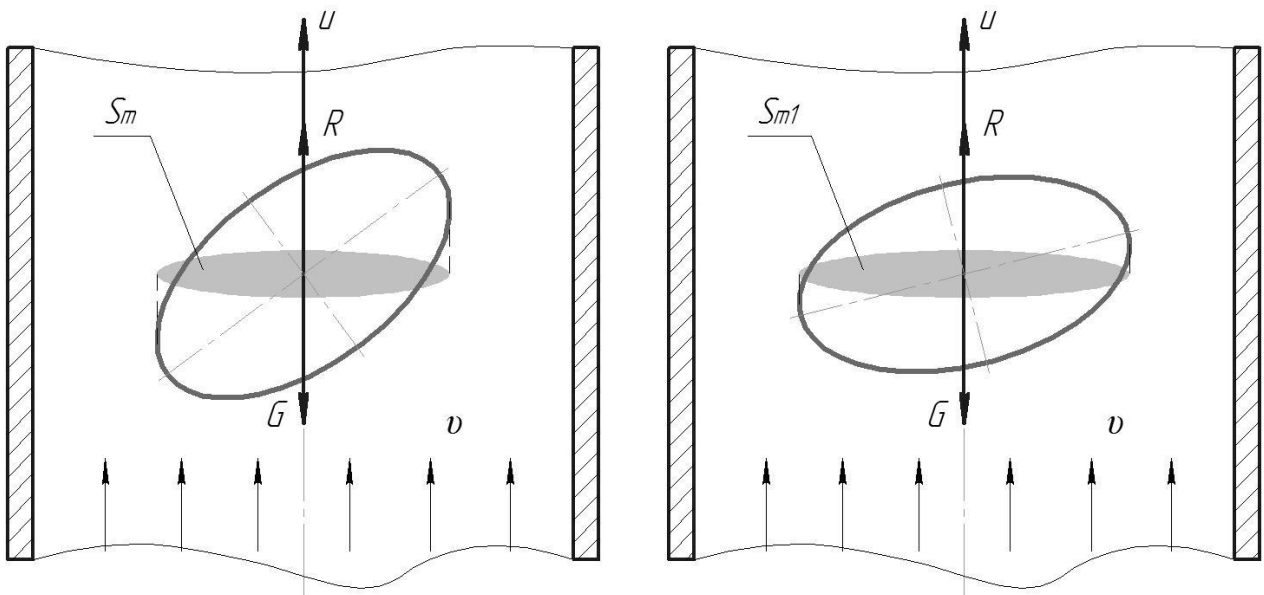


Рис. 2.1. Сили котрі діють на частинку у вертикальному повітряному потоці:  $G$  – напрям сили тяжіння;  $R$  – напрям сили опору;  $S_m$ ,  $S_{m1}$  – площі поперечного до потоку повітря перерізу часточки,  $m^2$  ( $S_m < S_{m1}$ );  $u$  – напрям швидкості переміщення часточки, м/с;  $v$  – напрям швидкості потоку повітря, м/с [11].

Відповідно до рис. 2.1, на часточку у повітряному потоці будуть діяти сили, завдяки яким складові зернової суміші будуть переміщуватись або вгору, або вниз, або залишатись у підвішеному стані залежно від аеродинамічної сили опору  $R$  [11]:

$$R = k \cdot \rho \cdot S_m \cdot (v - u)^2, \quad (2.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря, який називається аеродинамічним;  
 $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>.

За умови, коли часточка буде перебувати у нерухомому стані при дії повітряного потоку, тобто швидкість часточки рівна нулю при рівності сили опору та сили ваги ( $u=0$  та  $R=G$ ), будемо мати критичну швидкість повітряного потоку [11, 12]:

$$v_k = \sqrt{\frac{G}{k \rho S_m}}, \quad (2.2)$$

У зерновій суміші, яка піддається аеродинамічному сепаруванню присутні часточки які відрізняються одна від одної за аеродинамічними властивостями. В такому, випадку можна встановити потрібну швидкість повітряного потоку під дією якого зернова суміш поділиться на дві фракції [13].

Теоретичними передумовами встановлення коефіцієнта аеродинамічного опору є визначення коефіцієнта парусності частинки за допомогою відомої залежності [11]:

$$k_p = v_k \frac{k \cdot S_m}{m}, \quad (2.3)$$

де  $v_k$  – критична швидкість повітряного потоку, м/с;  
 $m$  – маса досліджуваної часточки, кг.

Якщо у рівняння (2.1) підставити залежність (2.2) визначення критичної швидкості повітряного потоку, отримаємо математичну залежність встановлення коефіцієнта парусності у вигляді зручної для подальшого використання формули [11]:

$$k_p = \frac{9,81}{v_k^2}. \quad (2.4)$$

Відповідно до залежності (2.4), можна стверджувати, що коефіцієнт парусності обернено-пропорційний квадрату критичної швидкості потоку повітря для конкретної часточки або зернини. Отже, зі зростанням критичної швидкості коефіцієнт парусності зменшується (рис. 2.2).

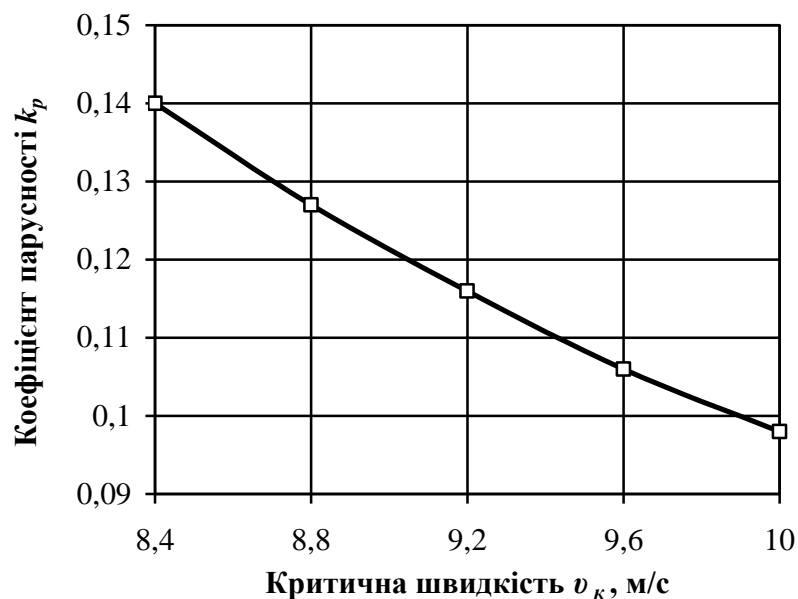


Рис. 2.2. Графік залежності коефіцієнта парусності від критичної швидкості повітряного потоку [14].

Відповідно до графічної залежності на рис. 2.2, можна припустити, що однакова критична швидкість корелює для зерна різних сільськогосподарських культур із коефіцієнтом аеродинамічного опору. Але це не так, оскільки



поданий графік недостатньо повно враховує усі фактори впливу на кінцевий результат аеродинамічного сепарування. Це стосується параметрів повітряного середовища та особливостей геометричної форми зернини чи інших відмінних від зернини часточок [14].

## **2.2. Удосконалення вертикального повітряного каналу аеродинамічного сепаратора**

Аеродинамічне сепарування втрачає свою ефективність, якщо у зерновій суміші будуть присутні компоненти схожі за своїми характеристиками – формою тіла, станом поверхні та масою. В такому випадку коефіцієнт парусності, як чинник опору повітряному потоку, не буде ефективно працювати. Тому, резервом підвищення ефективності поділу компонентів зернової сумішки на фракції може бути використання властивості їх електричної провідності. Електрична провідність у різних компонентів, наприклад насіння бур'янів або насіння інших культур, буде відмінною із-за біологічної відмінності [15, 16] та різної початкової вологості.

Вплив додаткового силового поля допомагає зорієнтувати зернину таким чином, щоб площа контакту із повітряним потоком була максимальною. За таких умов частинки які мають схожі геометричні параметри але різну біологічну природу будуть повертатись своєю більшою віссю по-різному до повітряного потоку. В наслідок цього буде і різна площа дотику з повітряним потоком, а тому зміниться і коефіцієнт парусності, і, як наслідок, для таких компонентів буде різна критична швидкість. Забезпечити такий процес можна завдяки створенню у повітряному каналі електромагнітного поля із різною напруженістю (рис. 2.3). При цьому буде і різна проникненність поля для різних по природі компонентів, що підвищить ефективність сепарування.

Окрім цього, вченими [17, 18] доведено позитивний вплив електромагнітного поля на подальшу схожість та отримання підвищеної врожайності за рахунок внутрішніх структурних змін.

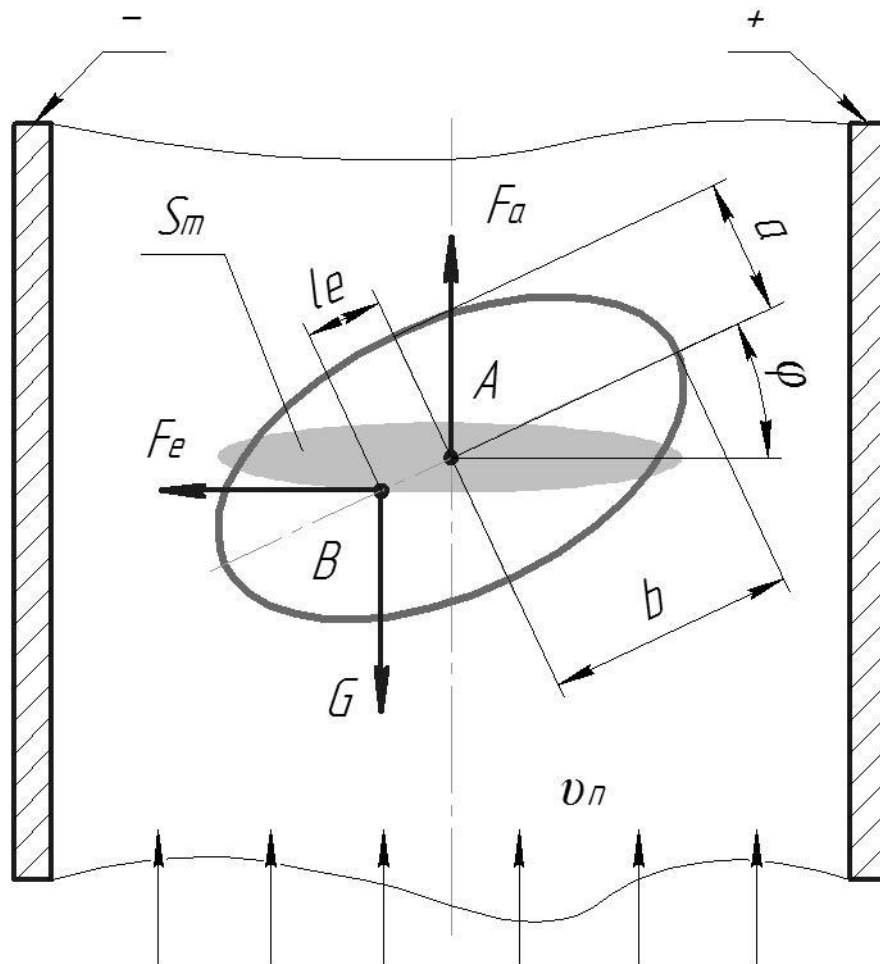


Рис. 2.3. Схема дії сил на зернину у формі еліпса:  $A$  – центр зернини;  $B$  – центр ваги зернини;  $G$  – сила ваги;  $F_a$  – сила повітряного потоку;  $F_e$  – сила електромагнітного поля;  $S_m$  – площа мідельна;  $\varphi$  – кут повороту у повітряному потоці.

Сила дії електромагнітного поля прикладена до центру ваги зернини, який відрізняється від геометричного центру, оскільки наближений до зародка зернини, визначається з врахуванням рекомендацій [19, 20] за допомогою формули:

$$F_e = E_p \cdot q_e, \quad (2.5)$$

де  $q_e$  – електричний заряд частинки;

$E_p$  – сила напруженості електромагнітного поля.

Сила дії повітряного потоку визначається з врахуванням рівнянь (2.1) та (2.2), відповідно рис. 2.3, за формулою:

$$F_a = k \cdot v_n \cdot S_m, \quad (2.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря;

$v_n$  – швидкість потоку повітря, м/с.

Відповідно до рис. 2.3, рівняння рівноваги дії представлених сил має наступний вигляд:

$$F_a \cdot l_e \cdot \cos \varphi - F_e \cdot l_e \cdot \sin \varphi, \quad (2.7)$$

де  $l_e$  – відстань між центрами геометричним та ваги, м.

Якщо прирівняти силу ваги та силу повітряного потоку, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{G \cdot l_e}{F_e \cdot l_e}, \quad (2.8)$$

Шляхом математичного перетворення рівняння (2.6) з врахуванням рівнянь (2.7–2.8), отримаємо формулу для визначення швидкості повітряного потоку:

$$v_n = \frac{G}{k \cdot a^2 \cdot b \cdot \pi} \sqrt{\frac{(a \cdot F_e \cdot l_e)^2 + (b \cdot G \cdot l_e)^2}{(F_e \cdot l_e)^2 + (G \cdot l_e)^2}}, \quad (2.9)$$

де  $a, b$  – відповідно мала та велика піввісь зернини у формі еліпса, м.

Таким чином, відповідно до аналітичної залежності можна стверджувати, що швидкість повітряного потоку зростає зі збільшенням сили ваги, що є логічним. При цьому, форма зернини наближена до круглої вимагатиме вищої швидкості потоку повітря.

### **2.3. Висновки до розділу 2**

1. Встановлено, що на часточку у повітряному потоці діють сили, взаємодія яких викликає рух компонентів зернової суміші вгору чи вниз, або залишатись у підвішеному стані, визначником чого є рівновага сили ваги та аеродинамічної сили опору. Доведено, що коефіцієнт парусності обернено-пропорційний квадрату критичної швидкості потоку повітря для конкретної часточки або зернини.

2. Встановлено, що резервом підвищення ефективності поділу компонентів зернової сумішки на фракції може бути використання властивості їх електричної провідності. Доведено, що за рахунок впливу додаткового силового поля зернина орієнтується у повітряному потоці таким чином, щоб площа контакту була максимальною. За таких умов частинки які мають схожі геометричні параметри але різну біологічну природу будуть мати різний кут повороту до повітряного потоку, тобто відмінні просторові положення.

3. Встановлена аналітична залежність, яка доводить, що зі збільшенням сили ваги зростає швидкість повітряного потоку. Також встановлено, що для зернини із формою наближеної до кулястої необхідно створювати більшу інтенсивність повітряного потоку. Перевагою виведеної залежності є відсутність потреби у даних щодо мідельного перетину зернини, достатньо мати її фізико-механічні та геометричні параметри.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

### 3.1. Дослідження орієнтування зернини у повітряному потоці під дією електромагнітного поля

Під дією електромагнітного поля зернинка буде отримувати деякий заряд і змінювати своє орієнтування, повертаючись під певним кутом. При цьому буде змінюватись кут орієнтування у горизонтальній і вертикальній площині та залежати від величини поданої на протилежні стінки вертикального пневматичного каналу напруги (рис. 3.1–3.2).

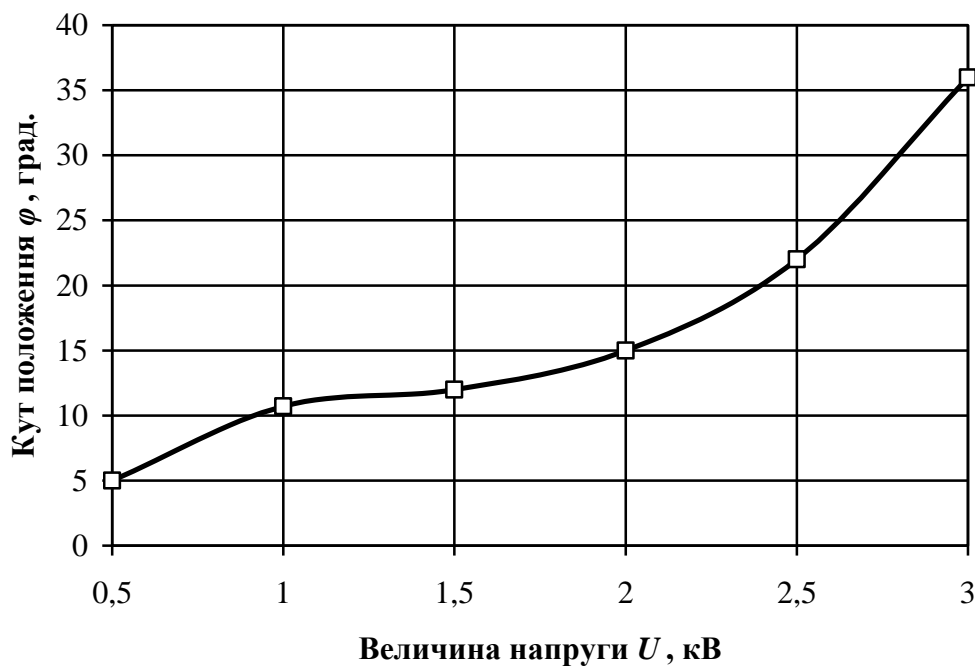


Рис. 3.1. Залежність кута положення зернини у вертикальній площині ( $\varphi$ ) від величини напруги на електродах стінки ( $U$ ) пневматичної камери.

Відповідно до графічної залежності (рис. 3.1), величина напруги електромагнітного поля на електродах впливає на кут орієнтування зернини у повітряному потоці. Так, максимальний кут повороту для зерна овса буде становити  $35^\circ$  при дії максимальної напруги у 3 кВ. Підвищувати напругу вище зазначеної як максимальна недоцільно, оскільки зернина отримує заряд сильного притягання до стінок пневмоканалу, а це не дозволяє виконувати технологічну операцію сепарування зернової суміші.

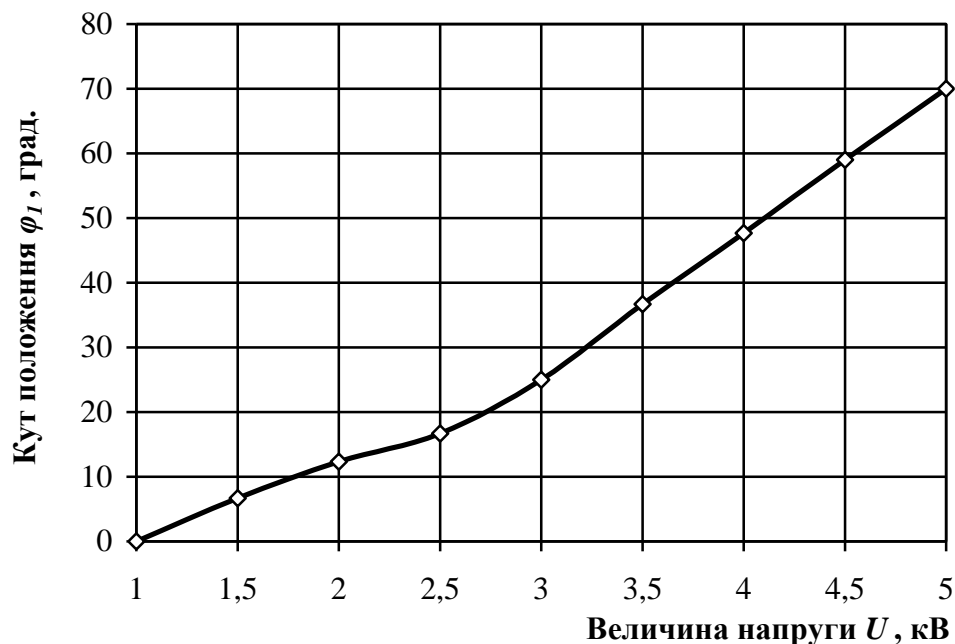


Рис. 3.2. Залежність кута положення зернини у горизонтальній площині ( $\varphi_1$ ) від величини напруги на електродах стінки ( $U$ ) пневматичної камери.

При збільшенні напруги на електродах (рис. 3.2) збільшується кут зміни положення зернини у горизонтальній площині. За умови максимальної напруги у 5 кВ, за якої не відбувається залипання зернини до стінок пневмоканалу, отримуємо максимальний кут  $70^\circ$  у горизонтальній площині. Отже, дослідним чином отримали граничне значення величини напруги для виконання умови аеродинамічного сепарування.

У вертикальному повітряному потоці більш важливим буде такий кут положення, який забезпечить отримання максимального значення площі поперечного до потоку повітря перерізу зернини. Враховуючи рівняння (2.3) та (2.9) отримаємо залежність для визначення  $S_m$ :

$$S_m = \pi \cdot a \cdot \sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi} \quad (3.1)$$

З отриманої аналітичної залежності походить, що чим менший кут положення зернини у вертикальній площині, тим більша площа контакту зернини із повітряним потоком, ідеальний варіант коли  $\varphi=0^\circ$ , тобто велика вісь еліпса перпендикулярна до стінок пневматичного каналу. За умови  $\varphi=90^\circ$ , площа контакту буде мінімальною, що вимагатиме збільшення швидкості повітряного потоку, а це призведе до збільшення енерговитрат на привод вентилятора.

### **3.2. Встановлення ефективних режимних характеристик удосконаленого аеродинамічного сепаратора**

Ефективність запропонованих удосконалень аеродинамічного сепаратора зернової сумішки визначається покращенням головного показника – чистоти отриманого зерна основної культури після першого проходу. При цьому важливими є оптимальні технологічні налаштування сепаратора на заданий режим роботи з такими параметрами як продуктивність та швидкість повітряного потоку. За результатами досліджень отримано рівняння регресії залежності чистоти зерна від продуктивності сепаратора, величини повітряного потоку та сили електромагнітного поля:

$$\eta = 49,29 + 46,12Q + 14,02v_n - 114,41E_p - 1,38Q^2 - 0,615v_n^2 + 78,62E_p^2 - 6,01Qv_n - 16,605QE_p + 6,658v_nE_p, \quad (3.2)$$

де  $E_p$  – сила напруженості електромагнітного поля, кВ/см;

$Q$  – продуктивність за подачею, кг/год;

$v_n$  – швидкість потоку повітря, м/с.

На основі рівняння регресії (3.2) отримали графічні залежності виходу чистого зерна від продуктивності, швидкості потоку повітря та сили електромагнітного поля (рис. 3.3–3.5).

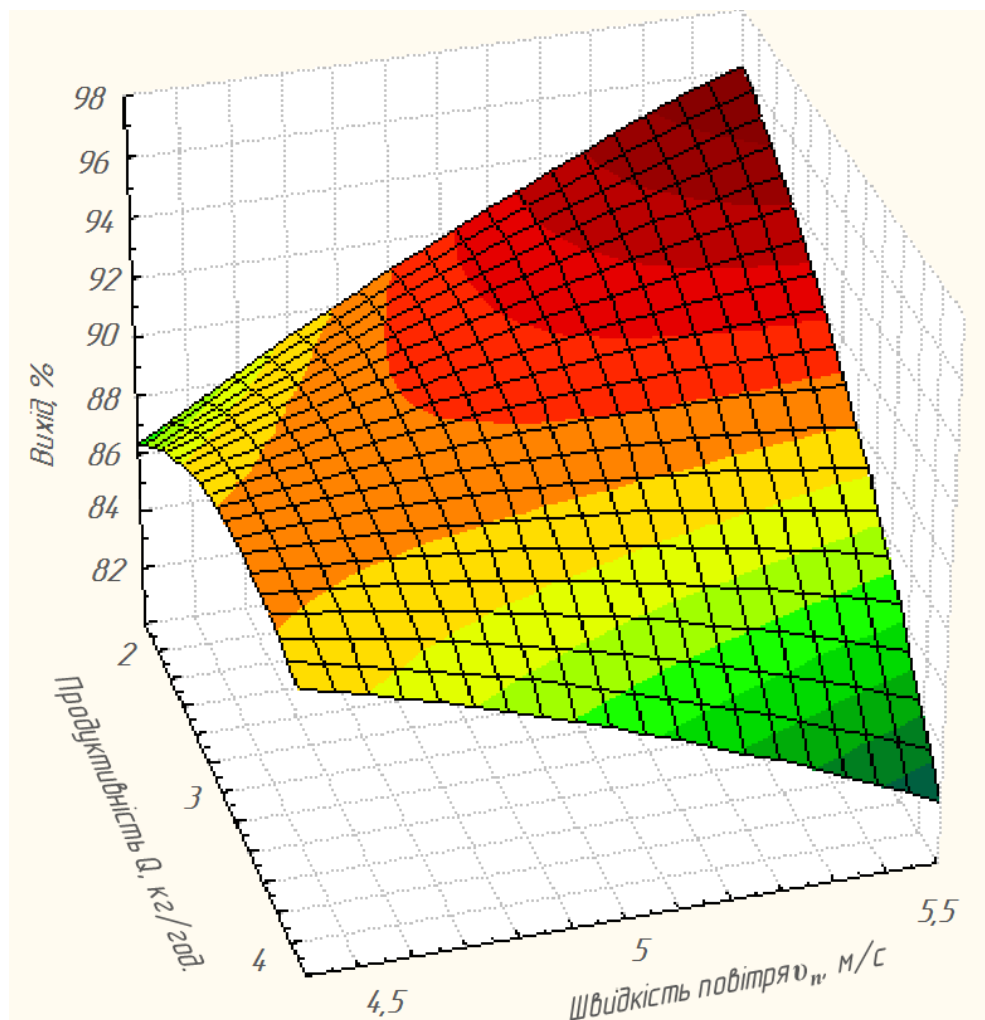


Рис. 3.3. Залежність виходу очищеного зерна ( $\eta$ ) від швидкості повітряного потоку ( $v_n$ ) та продуктивності сепаратора ( $Q$ ).



Відповідно до графічної залежності на рис. 3.3, найбільший вихід очищеного зерна на рівні 96 % спостерігається при найбільшій швидкості повітряного потоку – 5,5 м/с та найменшій продуктивності за подачею – 2 кг/год. Таким чином, удосконалений аеродинамічний сепаратор за досліджуваними технологічними параметрами забезпечує максимальну ефективність 96 %, що значно вище ніж серійні машини.

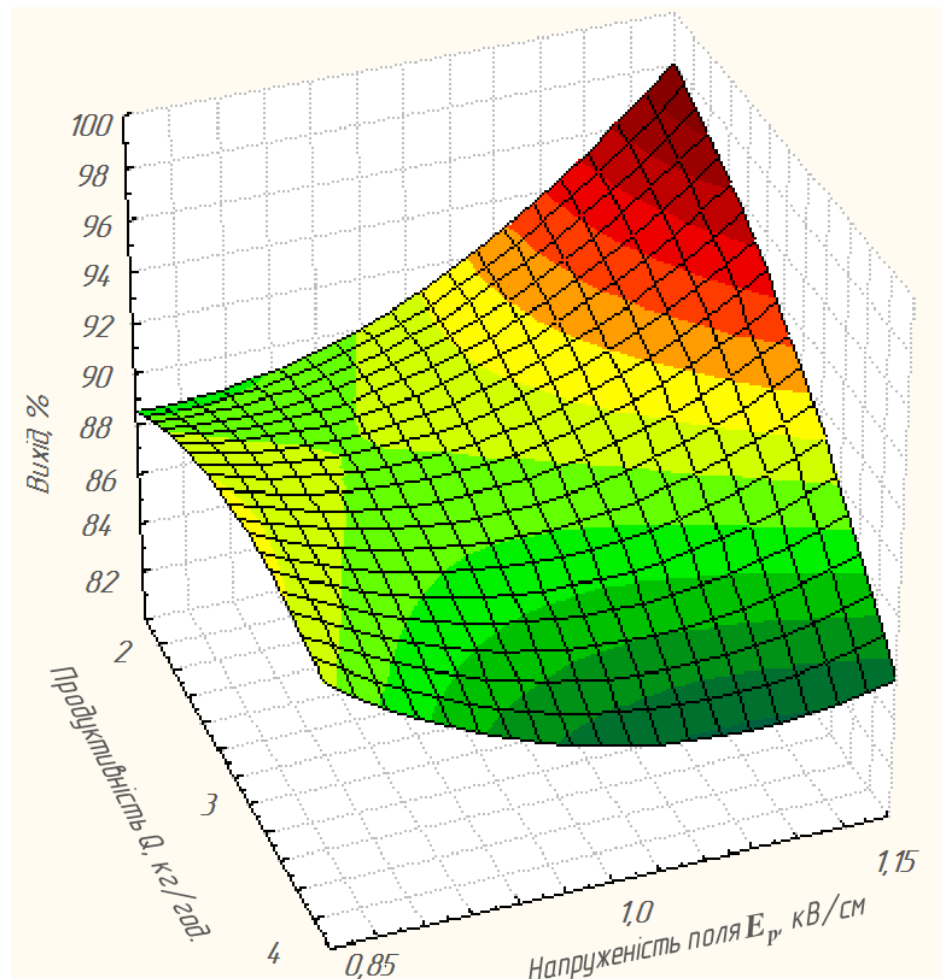


Рис. 3.4. Залежність виходу очищеного зерна ( $\eta$ ) від продуктивності сепаратора ( $Q$ ) та напруженості електромагнітного поля ( $E_p$ ).

З графічної залежності на рис. 3.4 походить, що максимальна напруженість електромагнітного поля на рівні 1,15 кВ/см при мінімальній продуктивності за подачею – 2 кг/год. забезпечує максимальний вихід чистого зерна на рівні 98 %, що вище за дані попередніх досліджень.

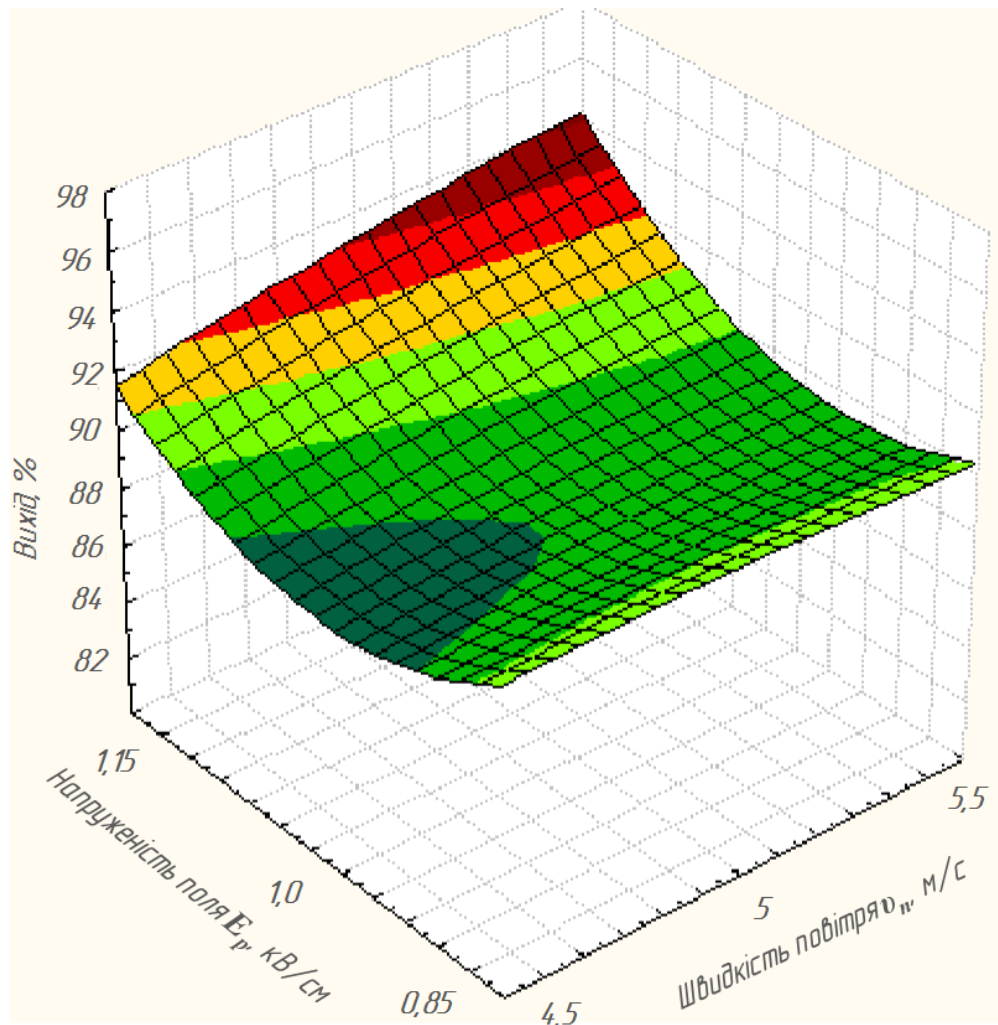


Рис. 3.5. Залежність виходу очищеного зерна ( $\eta$ ) від швидкості повітряного потоку ( $v_n$ ) та напруженості електромагнітного поля ( $E_p$ ).

Максимальний вихід (94,5 %) чистого зерна (рис. 3.5) спостерігається при максимальній напруженості електромагнітного поля – 1,15 кВ/см та максимальній швидкості повітряного потоку – 5,5 м/с. Найменший вихід чистого зерна (88 %) спостерігається при дії електромагнітного поля на рівні 1,0 кВ/см та мінімальній швидкості повітряного потоку – 4,5 м/с. При досліджуваному рівні електромагнітного поля 1,0 кВ/см мінімальна чистота отриманого зерна за один прохід удосконаленого аеродинамічного сепаратора пояснюється низькою інтенсивністю повітряного потоку – найнижчого серед досліджуваних рівнів.

### 3.3 Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що величина напруги електромагнітного поля на електродах впливає на кут орієнтування зернини у повітряному потоці. Максимальний кут положення зернини спостерігається при дії максимальної напруги у 3 кВ. За умови використання напруги величина якої вища від 3 кВ, зернина отримує надмірний заряд, що викликає дотик її до стінки пневматичного каналу, а це небажане явище. Вищий рівень досліджуваних значень напруги на електродах забезпечує більші кути зміни положення зернини як у горизонтальній так і у вертикальній площинах.

2. Отримана аналітична залежність яка доводить, що чим менший кут положення зернини у вертикальній площині, тим більша площа контакту зернини із повітряним потоком. Максимальна площа контакту досягається при  $\varphi=0^\circ$ , тобто велика вісь еліпса перпендикулярна до стінок пневматичного каналу, а мінімальна при  $\varphi=90^\circ$ , що вимагатиме збільшення швидкості повітряного потоку.

3. Доведено, що найбільший вихід очищеного зерна (96 %) спостерігається при найбільшій швидкості повітряного потоку – 5,5 м/с та найменшій продуктивності за подачею – 2 кг/год. Встановлено, що максимальна напруженість електромагнітного поля на рівні 1,15 кВ/см при мінімальній продуктивності за подачею – 2 кг/год. забезпечує максимальний вихід чистого зерна на рівні 98 %. При дослідженні впливу сили електромагнітного поля та швидкості потоку повітря встановлено, що максимальний вихід (94,5 %) чистого зерна досягається при напруженості електромагнітного поля – 1,15 кВ/см та швидкості повітряного потоку – 5,5 м/с.

## ВИСНОВКИ

1. Використання аеродинамічних сепараторів у технологічних лініях очищення зерна від домішок набуло широкого поширення. Встановлено, що жоден серійний аеродинамічний сепаратор не забезпечує 100 % чистоту очищення, окрім цього не досягається прийнятний ступінь однорідності кожної окремої фракції. Таким чином, пошук резерву підвищення ефективності очищення зерна від домішок є актуальним завданням сьогодення. Одним із способів отримання вищого ступеня очищення зернової сумішки може бути використання додаткового силового впливу, який би доповнив дію сил гравітації та сил аеродинамічного опору.

2. Доведено, що коефіцієнт парусності обернено-пропорційний квадрату критичної швидкості потоку повітря для конкретної часточки або зернини. Встановлена аналітична залежність, яка дозволяє визначити швидкість повітряного потоку без необхідності мати відомості площі контакту зернини із повітряним потоком. При цьому достатньо мати дані щодо фізико-механічних та геометричних параметрів зернини.

3. Встановлено, що резервом підвищення ефективності поділу компонентів зернової сумішки на фракції може бути використання властивості їх електричної провідності. Доведено, що за рахунок впливу додаткового силового поля зернина орієнтується у повітряному потоці таким чином, щоб площа контакту була максимальною. За таких умов частинки які мають схожі геометричні параметри але різну біологічну природу будуть мати різний кут повороту до повітряного потоку, тобто відмінні просторові положення.

4. Встановлено, що величина напруги електромагнітного поля на електродах впливає на кут орієнтування зернини у повітряному потоці. Максимальна зміна кута положення зернини у повітряному потоці у вертикальній площині ( $35^\circ$ ) досягається при дії максимальної напруги у 3 кВ. За умови використання напруги величина якої вища від 3 кВ, зернина може надмірно дотикатись до стінки пневматичного каналу, що викличе втрату її

електричної зарядженості. Вищому рівню досліджуваних значень напруги на електродах (5 кВ) відповідають більші кути (до  $70^\circ$ ) зміни положення зернини у горизонтальній площині.

5. Отримана аналітична залежність яка поєднує кут положення зернини у вертикальній площині та площу контакту зернини із повітряним потоком. Встановлено, що максимальна площа контакту досягається при  $\varphi=0^\circ$ , тобто мала піввісь еліпса буде паралельною до вертикальної пневматичної камери, а мінімальна – при  $\varphi=90^\circ$ , тобто мала піввісь буде перпендикулярна повітряному потоку.

6. Доведено, що найбільшого виходу очищеного зерна на рівні 96 % можна досягнути при найбільшій швидкості повітряного потоку – 5,5 м/с та найменшій продуктивності за подачею – 2 кг/год. Встановлено, що поєднання максимальної напруженості електромагнітного поля – 1,15 кВ/см та мінімальної продуктивності зерна вівса за подачею – 2 кг/год. дозволяє отримати максимальний вихід чистого зерна на рівні 98 %. При дослідженні спільного впливу електромагнітного поля та швидкості потоку повітря доведено, що максимальну чистоту зерна з виходом 94,5 % можна отримати при напруженості електромагнітного поля в 1,15 кВ/см та при швидкості повітряного потоку в 5,5 м/с.

7. Встановлено, що оптимальними параметрами розробленого аеродинамічного сепаратора з вертикальним пневматичним каналом із додатковим силовим впливом є наступні: сила напруженості електромагнітного поля  $E_p=1,15$  кВ/см; продуктивність сепаратора за подачею  $Q=2$  кг/год; швидкість потоку повітря  $v_n=5,5$  м/с.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навч. посібник / за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова книга, 2008. 488 с.
2. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Цьонь О. П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288 с.
3. Сінько В. М. Особливості процесу аеродинамічного сепарування. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 61–63.
4. Пузік Л. М., Пузік В. К. Технологія зберігання і переробки зерна : навч. посіб. Х. : ХНАУ, 2013. 312 с.
5. Подпрятков Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : навч. посібник. К.: Вища освіта, 2004. 272 с.
6. Хомик Н. І., Гаврон Н. Б., Рубінець Н. А. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2016. 248 с.
7. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підруч. / І. С. Гулий, М. М. Пушанко, А. О. Орлов та ін. ; за ред. І. С. Гулого. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
8. Технология переработки зерна / под ред. Г. А. Егорова. М.: Колос, 1977. 376 с.
9. Зберігання і переробка продукції рослинництва. / Г. І. Подпрятков, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. К.: Мета, 2002. 495 с.
10. Медведський О. В., Сукманюк О. М. Обладнання виробництва фірми «Ректус» для лабораторного дослідження зернової маси : методичні вказівки. Житомир: Поліський національний університет, 2021. 11 с.
11. Мерко І. Т., Моргун В. О. Наукові основи і технологія переробки зерна : підручник. Одеса: Друк, 2001. 348 с.

12. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Воробйова Н. В. Фізико-механічні властивості зерна різних сортів і ліній пшениць. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. 3(45). С. 11–18.

13. Медведський О. В., Сінько В. М. Аеродинамічне сепарування у вертикальному каналі. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 77–79.

14. Медведський О. В., Сінько В. М. Теоретичні передумови аеродинамічного сепарування. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 29–30.

15. Бачинська, П. С., Харченко Є. І., Ноздрюхіна І. В. Технологічні властивості зерна пшениці різної крупності. *Хранение и переработка зерна*. 2017. 1(209). С. 34–38.

16. Яценко Ю. В. Окремі фізико-механічні властивості комбікормів та їх вихідних інгредієнтів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. 1. С. 191–195.

17. Берека О. М. Обробка насіння сільськогосподарських культур в сильних електричних полях. *Збірник наукових праць Уманського аграрного університету*. 2008. Вип. 69. С. 34–40.

18. Кушніренко А. Г., Лукач В. С. Про природу впливу електромагнітних полів на посівні якості насіння сільськогосподарських культур. *Науковий вісник НАУ*. 2002. Вип. 49. С. 175–180.

19. Паршаков А. Н. Принципы и практика решения задач по общей физике: Электромагнетизм. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. 313 с.

20. Карпов Ю. О., Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. В. Теоретичні основи електротехніки: Електромагнітне поле : підручник. Вінниця : ВНТУ, 2008. 407 с.