

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ
НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КАЛІБРУВАННЯ НАСІННЯ У ПНЕВМОСЕПАРАТОРІ

Вовк В.О.

аспірант, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID:
<https://orcid.org/0009-0004-5530-1115>, e-mail: viacheslav.vovk@pdau.edu.ua

Подано результати теоретичного та експериментального дослідження впливу параметрів повітряного потоку на ефективність калібрування насіння у пневмосепараторі з осьовим вентилятором. Обґрунтовано необхідність стабілізації аеродинамічного поля у каналі за рахунок використання дифузора-вирівнювача та системи спрямовуючих лопатей. Проведено дослідження для насіння пшениці м'якої (вологість $12 \pm 0,5\%$, маса 1000 насінин 35-40 г) із застосуванням повного факторного експерименту 3^3 . Визначено вплив швидкості повітряного потоку (4,5-6,5 м/с) та товщини шару насіння (15-35 мм) на ефективність калібрування і питомі енерговитрати. Критерій зупинки експериментів встановлювався за стабілізацією показників протягом 5 хв, із трьома повтореннями кожного режиму ($n = 3$). Статистичну обробку результатів виконано методом ANOVA при $p < 0,05$. Отримано, що оптимальні умови калібрування досягаються за швидкості повітря 5,5-6,0 м/с і товщини шару 20-25 мм, при цьому відхилення швидкості по перерізу каналу не перевищує $\pm 10\%$. Удосконалена конструкція пневмосепаратора забезпечує підвищення ефективності калібрування на 12-15% та зменшення питомих енерговитрат на 10-12% порівняно з традиційними системами. Результати є валідними для насіння пшениці; для інших культур параметри швидкості та товщини шару потребують додаткового уточнення.

Ключові слова: пневмосепаратор, осьовий вентилятор, калібрування насіння, аеродинамічне розділення, рівномірність потоку, енергоефективність.

Постановка проблеми

У сучасному післязбиральному обробітку зернових та насінневих культур основною задачею є отримання високоякісного насіннєвого матеріалу шляхом відокремлення домішок та калібрування за фізичними властивостями (маса, розмір, форма). Одним із перспективних та широко використовуваних методів є пневмосепарація – тобто поділ суміші зерна та домішок у повітряному потоці. Перевагами таких систем є відносно простий пристрій, гнучкість у налаштуванні та можливість безконтактної обробки насіння [1].

Однак у реальних системах пневмосепарації виникає низка складностей, які суттєво обмежують ефективність та стабільність процесу. Розглянемо їх докладніше.

1. *Нерівномірність повітряного потоку по поперечному перерізу каналу.*

У реальних конструкціях каналів та вентиляційних систем часто спостерігаються значні локальні відхилення швидкості від середнього значення (в середині, біля стінок тощо). Це призводить до того, що деякі частинки з властивостями, близькими до граничних, можуть «не досягнути» потрібної аеродинамічної сили і залишитись у нижніх шарах або бути втраченими. Так, у пневморозділювачах із конічним каналом було виявлено, що нерівномірність розподілу швидкостей знижує точність класифікації частинок [1].

2. *Вплив геометрії каналу та конструктивних елементів.*

Форма каналу, звуження, розгалуження, нахили або введення додаткових елементів (наприклад, перегородок) можуть значно змінювати розподіл швидкості, утворювати завихрення, втрати тиску і бокові компоненти потоку. Наприклад, в роботах з обґрунтування конструкції пневморозділювачів показано, що

встановлення звужуючих перегородок у повітряних каналах із вертикальним потоком дозволяє покращити рівномірність розподілу повітряного потоку та підвищити продуктивність і ефективність очищення насіння [2]. Аналогічно, у моделі вертикального зигзаг-каналу показано, що компоненти геометрії (кут нахилу, довжина ділянок) суттєво впливають на траєкторії зерен та загальну ефективність сепарації [3].

3. *Обмеження, пов'язані з товщиною шару насіння та взаємодією частинок.*

Якщо шар насіння занадто густий, повітря не зможе належно проникнути до нижніх шарів, і частинки будуть «екранувати» одна одну, знижуючи ефективність розділення. Зі збільшенням концентрації матеріалу у повітряно-зерновій суміші збільшується взаємне екранування та зіткнення частинок, що погіршує розділення. У роботі з вертикальним зигзаг-каналом доведено, що з ростом завантаження і неправильним поділом шару знижується очистка і збільшується втрата якісного зерна [3].

4. *Енергетичні витрати та оптимальний баланс продуктивність/чистота.*

Для досягнення високої точності сепарації, часто доводиться підвищувати швидкість повітряного потоку, що призводить до зростання енергоспоживання. З енергетичної оцінки використання пневмосита встановлено, що питомі витрати енергії коливаються в діапазоні 0,9-1,6 кВт·год/т в залежності від конструкції і умов роботи [4]. Таким чином, існує конфлікт між високою ефективністю поділу і енергоефективністю.

5. *Недостатня кількість методик розрахунку для систем з осьовим вентилятором та вирівнювачами потоку.*

Більшість опублікованих робіт присвячена горизонтальним або конічним каналам, або ж традиційним

сепараторам. Менша кількість досліджень присвячена конструкціям з осьовим вентилятором у поєднанні з вирівнювачами потоку для стабілізації повітряного поля в каналі. У зв'язку з цим відсутні універсальні рекомендації з вибору швидкості, розміру каналу та конструктивних елементів, адаптованих під різні культури та умови.

Отже, актуальність теми полягає в необхідності розробки систематизованої, науково обґрунтованої методики підбору й оптимізації параметрів пневмосепаратора з осьовим вентилятором, враховуючи нерівномірність повітряного потоку, конструктивні особливості каналу та енергетичні аспекти. Це дозволить підвищити якість калібрування насіння, знизити втрати, мінімізувати енергозатрати і створити технологію, придатну для застосування в промислових післязбиральних лініях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У наукових роботах, присвячених аеродинамічному поділу зерна, підкреслюється важливість попереднього розшарування зернової суміші, контролю товщини шару та забезпечення рівномірності повітряного потоку у каналі сепарації [5-7]. Встановлено, що стабільність траєкторій руху частинок значною мірою залежить від однорідності швидкісного поля: відхилення швидкості повітря по поперечному перерізу каналу понад 20-30% призводить до суттєвого зниження точності калібрування, особливо у випадку фракцій із близькими значеннями питомої ваги [1, 3]. Дослідження, виконані методом CFD-моделювання, підтверджують, що наявність локальних зон зниженого тиску та турбулентних завихрень викликає нерівномірний розподіл повітряного потоку, що зменшує ефективність розділення на 10-15% [2, 8].

Процес розділення зернових сумішей у пневматичних каналах відбувається під дією сил тяжіння та аеродинамічної взаємодії частинок з потоком повітря [6]. Залежно від співвідношення цих сил, домішки з різною масою та формою змінюють свої траєкторії, частина з них виноситься у верхню зону потоку, а зерно основної культури рухається вниз по заданій траєкторії.

На ефективність процесу впливають кілька чинників: рівномірність повітряного потоку, спосіб подачі суміші, товщина шару, пористість зернового середовища, а також подібність аеродинамічних властивостей зерен і домішок [7-9].

Полідисперсність компонентів зернового матеріалу передбачає мінливість розмірів та щільності, для ідентифікації яких використовуються як стандартні вимірювання [10, 11], засновані на зважуванні об'єктів або вимірюванні їх каліброваними засобами, так і методи з використанням інтелектуальних систем, зокрема, нейронних мереж [12, 13].

У роботах [2, 4] відзначено, що раціональний підбір товщини шару насіння (зазвичай у межах 20-25 мм для пшениці) та контроль інтенсивності подачі

матеріалу забезпечують стійке формування зернового потоку і сприяють підвищенню селективності розділення. При цьому товстий шар створює ефект взаємного екранізування частинок і збільшує аеродинамічний опір, тоді як надто тонкий шар знижує продуктивність апарата.

Енергетичні оцінки, проведені для пневмосепараторів із замкненим контуром циркуляції повітря, показують, що питомі витрати енергії становлять у середньому 0,9-1,6 кВт·год/т, залежно від конструкції вентилятора, типу каналу та режимів подачі [4, 14].

Підвищення рівномірності повітряного потоку та оптимізація параметрів осьового вентилятора дозволяють зменшити енерговитрати на 10-12% без втрати ефективності сепарації.

Це свідчить про доцільність удосконалення конструкцій пневмосепараторів шляхом використання дифузоров-вирівнювачів та спрямовуючих лопатей, які стабілізують аеродинамічне поле у робочій зоні.

Мета статті

Мета роботи полягає у науковому обґрунтуванні впливу параметрів повітряного потоку, геометрії каналу та режимів подачі матеріалу на ефективність процесу калібрування насіння у пневмосепараторі з осьовим вентилятором, а також у розробці рекомендацій щодо вибору раціональних конструктивних і режимних параметрів для підвищення точності поділу та зниження енергетичних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- провести аналітичний огляд сучасних наукових праць, присвячених аеродинамічному розділенню зернових сумішей і конструкціям пневмосепараторів, зокрема з осьовими вентиляторами та вирівнювачами потоку;
- визначити основні чинники, що впливають на якість калібрування насіння – швидкість і рівномірність повітряного потоку, товщину шару, подачу матеріалу та геометрію каналу;
- обґрунтувати раціональні параметри вентиляційної системи, включно з характеристиками осьового вентилятора, дифузора-вирівнювача та системи спрямовуючих лопатей;
- провести експериментальні дослідження на лабораторній або дослідно-промисловій установці для визначення оптимальних режимів калібрування (швидкість повітря, товщина шару, подача насіння);
- оцінити енергетичну ефективність процесу пневмосепарації та встановити питомі витрати енергії залежно від режимних параметрів.
- порівняти отримані результати з існуючими технологічними схемами пневмосепараторів і сформулювати рекомендації для впровадження в промислових умовах.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження було насіння пшениці м'якої, очищене від грубих домішок. Вологість зерна становила $12 \pm 0,5\%$, маса 1000 насінин – 35-40 г, середній діаметр частинок – 3,5-4,0 мм, густина насіння – $\rho_p = 1250 \text{ кг/м}^3$. Дослідження проводили при температурі повітря $t = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ і тиску $p = 101,3 \text{ кПа}$.

Швидкість повітряного потоку в каналі змінювали зміною частоти обертання вентилятора за допомогою перетворювача частоти. Вимірювання швидкості здійснювали термоанемометром Testo 425 у 25 контрольних точках поперечного перерізу каналу (сітка 5×5) для визначення поля швидкостей та нерівномірності потоку. Перепад тиску вимірювали мікроанемометром ММН-240, температуру – цифровим термометром ТЕМП-100, густину повітря розраховували за стандартними залежностями з урахуванням атмосферних умов.

Для дослідження впливу основних факторів (швидкості повітря v , товщини шару h та рівномірності потоку) застосовано план повного факторного експерименту 3^3 з повторністю $n = 3$. Товщину шару насіння змінювали в межах 15-35 мм, швидкість потоку – 4,5-6,5 м/с. Якість калібрування оцінювали за показником ефективності розділення η , %, який визначали як відношення маси цільової фракції до загальної маси вибірки після сепарації. Енергетичні витрати обчислювали за показаннями лічильника активної енергії СЕ101.

Під час проведення експериментів критерій зупинки визначався за стабілізацією показників швидкості повітряного потоку та масового розподілу фракцій протягом не менше ніж 5 хвилин. Кожний режим

досліді повторювався тричі ($n = 3$), після чого обчислювалися середні значення параметрів. Для оцінки достовірності результатів розраховували середньоквадратичне відхилення ($\pm SD$) для ефективності калібрування η та питомих енерговитрат P . Статистичну обробку даних виконували методом ANOVA з рівнем значущості $p < 0,05$.

Отримані результати обробляли у програмному середовищі MS Excel та Statistica 12.0.

Виклад основного матеріалу

Пневмосепаратор, конструкцію якого досліджено в роботі, складається з осьового вентилятора, повітряного каналу із дифузором-вирівнювачем потоку, системи спрямовуючих лопатей, живильного бункера з дозатором, робочої камери для калібрування насіння та приймальних лотків для окремих фракцій.

Схема установки представлена на рис. 1, де наведено основні вузли пневмосепаратора: канал, дифузор-вирівнювач, систему спрямовуючих лопатей та зони відбору фракцій. Повітря, що створюється осьовим вентилятором, подається у вертикальний канал, де формує рівномірний висхідний потік, який взаємодіє із зерновим шаром. Розділення відбувається внаслідок різниці в аеродинамічних властивостях частинок – насіння різної маси, форми та щільності потрапляє у зони з різною швидкістю потоку.

Розглянемо основні чинники, що впливають на процес пневмосепарації, з урахуванням повітряного потоку, швидкості та рівномірності потоку, а також товщини шару та енергетичних показників.

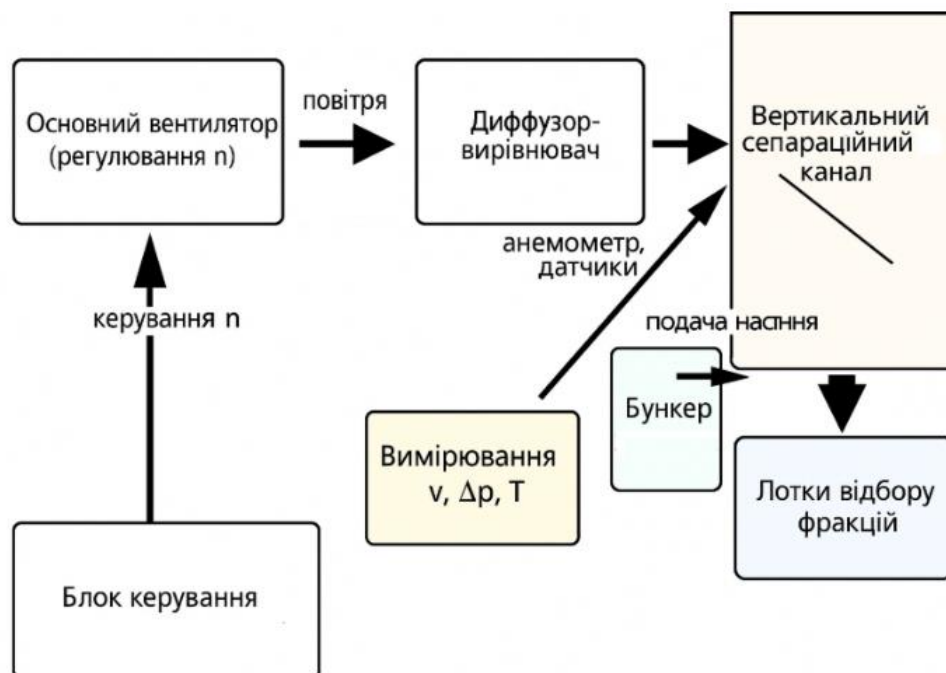


Рис. 1 – Схема експериментальної установки пневмосепаратора з осьовим вентилятором

1. Теоретичне обґрунтування параметрів повітряного потоку.

Для визначення умов ефективного поділу використано рівняння рівноваги частинки в повітряному потоці:

$$G = F_{aer} = C_x \frac{\rho v^2 A}{2},$$

де:

$G = mg$ – вага частинки, Н;

F_{aer} – аеродинамічна сила опору, Н;

C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору;

ρ – густина повітря, кг/м³;

v – швидкість повітря, м/с;

A – площа проекції частинки, м²;

Критична швидкість осідання насіння визначалась із рівняння рівноваги сил:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{2mg}{C_x \rho A}}.$$

Експериментально встановлено, що для насіння пшениці м'якої середньої фракції (масою 35-40 мг) критична швидкість становить 5,4-5,8 м/с, для дрібної фракції – 4,8-5,2 м/с, а для важкої (повноцінного зерна) – 6,0-6,3 м/с.

2. Вплив швидкості та рівномірності потоку

Дослідження проводили на дослідному стенді із можливістю регулювання частоти обертання осьового вентилятора в межах 800-1800 об/хв, що відповідало швидкостям повітряного потоку 4-7 м/с. Вимірювання розподілу швидкостей по висоті та ширині каналу здійснювали термоанемометром Testo-425 у 25 контрольних точках.

Результати показали, що при відсутності дифузора та вирівнювальних лопатей відхилення швидкості по перерізу каналу досягало $\pm 28\%$, що спричиняло нерівномірне переміщення насіння та зниження точності поділу. Після встановлення дифузора-вирівнювача і системи лопатей відхилення зменшилося до $\pm 8-10\%$, а якість калібрування зросла на 12-15%.

3. Вплив товщини шару насіння

Експериментами визначено, що оптимальна товщина шару матеріалу становить 20-25 мм. Зі збільшенням шару до 35 мм ефективність поділу зменшувалася на 9-11 % через ефект екранізування зерен і нерівномірний розподіл повітря. При товщині шару менше 15 мм знижувалася продуктивність системи.

4. Енергетичні показники

Енергетичні витрати системи визначалися за споживанням електродвигуна осьового вентилятора потужністю 1,5 кВт. Встановлено, що при оптимальній швидкості потоку 5,5-6,0 м/с питомі енерговитрати становили 1,0-1,2 кВт·год/т, що на 10-12% менше порівняно з традиційними пневмосепараторами без стабілізації потоку.

Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Вплив параметрів повітряного потоку на ефективність калібрування насіння пшениці

№	v , м/с	h^* , мм	Δ^* , %	η^* , %	P^* , кВт·год/т
1	4,5	20	± 25	81	0,95
2	5,5	25	± 10	93	1,05
3	6,0	25	± 8	95	1,10
4	6,5	30	± 12	90	1,25

Примітка: h^* – товщина шару; Δ^* – відхилення швидкості по перерізу; η^* – ефективність калібрування; P^* – питомі енерговитрати

Отримані результати свідчать, що найвища ефективність калібрування (до 95%) досягається при швидкості повітря 5,5-6,0 м/с і товщині шару 20-25 мм, за умови вирівнювання потоку в каналі.

Для інших культур (ячмінь, овес, соя тощо) параметри швидкості повітряного потоку v та товщини шару h потребують окремого переналаштування з урахуванням їх аеродинамічних характеристик.

Розроблена схема пневмосепаратора з осьовим вентилятором, дифузоре-вирівнювачем і спрямовуючими лопатями забезпечує стабільний повітряний потік, високу якість поділу та зниження енергоспоживання.

Результати та їх обговорення

Результати експериментальних і теоретичних досліджень показали, що на ефективність процесу пневмосепарації насіння істотно впливають швидкість повітряного потоку, його рівномірність по поперечному перерізу каналу, товщина шару насіння та стабільність подачі матеріалу.

При зміні швидкості повітря від 4,5 до 6,0 м/с спостерігалася виражена нелінійна залежність ефективності калібрування від швидкості потоку. Максимальна ефективність досягалася в діапазоні 5,5-6,0 м/с, що відповідає критичній швидкості витання середньої фракції насіння пшениці. За цих умов забезпечується оптимальне співвідношення між аеродинамічною силою опору й силою тяжіння, завдяки чому легші частинки утримуються в повітряному потоці, а важчі осідають у нижній зоні каналу.

Визначено, що збільшення нерівномірності швидкісного поля понад $\pm 20\%$ по перерізу каналу призводить до зниження точності поділу на 10-15%, оскільки в потоці виникають турбулентні зони, що спотворюють траєкторії руху частинок. Встановлення дифузора-вирівнювача та спрямовуючих лопатей зменшило відхилення швидкості до $\pm 8-10\%$, що сприяло стабілізації розподілу частинок у потоці та підвищенню селективності розділення.

Оптимальна товщина шару насіння у робочій камері становила 20-25 мм. При збільшенні товщини

шару понад 30 мм спостерігалось взаємне екранізування зерен та локальне зниження швидкості повітряного потоку, що призводило до зменшення ефективності калібрування на 8-10%. Це пов'язано з тим, що нижні шари насіння отримують меншу аеродинамічну дію, а частинки втрачають можливість вільного переміщення у потоці.

Надто тонкий шар (< 15 мм) забезпечував високу точність поділу, проте знижував продуктивність апарата, оскільки об'єм оброблюваної маси зменшувався при сталих енергетичних витратах системи.

Енергетичні показники дослідженого пневмосепаратора з осьовим вентилятором також підтвердили доцільність використання вирівнювальних елементів. При оптимальних режимах ($v = 5,5-6,0$ м/с, $h = 25$ мм) питомі енерговитрати становили 1,0-1,2 кВт·год/т, що на 10-12% менше, ніж у традиційних системах без стабілізації потоку.

Отримані дані добре узгоджуються з результатами попередніх досліджень [1-3], де показано, що рівномірність повітряного поля та контроль товщини шару є ключовими чинниками ефективності пневмосепарації. Разом із тим, використання осьового вентилятора у поєднанні з дифуззором і спрямовуючими лопатями дало змогу забезпечити стабільність потоку при менших енерговитратах, що свідчить про перспективність удосконаленої конструкції.

Таким чином, встановлено, що оптимальні умови калібрування насіння пшениці досягаються за швидкості повітряного потоку 5,5-6,0 м/с, товщини шару 20-25 мм, та відхилення рівномірності потоку не більше $\pm 10\%$, що забезпечує ефективність калібрування до 95%.

Висновки

1. У результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що ефективність калібрування насіння у пневмосепараторі визначається, насамперед, параметрами повітряного потоку: швидкістю, рівномірністю розподілу по перерізу каналу та товщиною шару насіння у робочій зоні.

2. Визначено критичні швидкості витання фракцій насіння пшениці: для легкої фракції – 4,8-5,2 м/с, середньої – 5,5-5,8 м/с, важкої – 6,0-6,3 м/с. Оптимальна швидкість повітряного потоку в робочому каналі становить 5,5-6,0 м/с, що забезпечує максимальну якість калібрування.

3. Удосконалена конструкція пневмосепаратора з осьовим вентилятором, дифуззором-вирівнювачем і системою спрямовуючих лопатей забезпечує підвищення рівномірності повітряного потоку (відхилення не більше $\pm 10\%$) та покращення ефективності калібрування на 12-15% у порівнянні з базовими аналогами.

4. Оптимальна товщина шару насіння у робочій камері становить 20-25 мм. Зі збільшенням шару понад 30 мм виникає ефект екранізування гальмування повітря, що знижує ефективність процесу до 85-87 %.

5. Енергетичні випробування показали, що питомі витрати електроенергії пневмосепаратора з осьовим вентилятором становлять 1,0-1,2 кВт·год/т, що на 10-12% менше порівняно з традиційними системами без вирівнювання потоку.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації енергоефективних пневмосепараторів для післязбиральної обробки зернових культур, а також при розробці автоматизованих систем керування процесом калібрування насіння.

Перелік використаних джерел

- [1] The effect of selected factors on separation efficiency in a pneumatic conical separator / D. J. Choszcz et al. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Article 3051. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12073051>.
- [2] Khamyev V., Gulyev A., Boiko A. Justification of the design of pneumatic sorting machine for the preparation of selection seeds. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. Article 05008. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822405008>.
- [3] Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel / S. Stepanenko et al. *Journal of Central European Agriculture*. 2023. Vol. 24, no. 1. Pp. 225-235. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>.
- [4] Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops / Y. Mykhailov et al. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2021. Vol. 25, no. 1. Pp. 147-155. DOI: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0012>.
- [5] The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials / M. Panasiewicz et al. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 109, no. 3. Pp. 603-608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.033>.
- [6] Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream / Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62, no. 2. Pp. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.17221/32/2014-RAE>.
- [7] Kovalyshyn S., Dadak V., Konyk S. Intensification of the process of preparing small seed crop mixtures. *Acta Technologica Agriculturae*. 2015. Vol. 4. Pp. 108-112. DOI: <https://doi.org/10.1515/ata-2015-0021>.
- [8] Mathematical modelling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretdinov et al. *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. Vol. 17, no. 4. Pp. 529-534. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes17-22640>.
- [9] Air flow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method / J. Lukaszuk et al. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. Vol. 54, no. 2. Pp. 50-57. DOI: <https://doi.org/10.17221/8/2008-RAE>.
- [10] Mathematical models of geometric sizes of cereal crops' seeds as dependent random variables / Kuzminskyi R., Kovalyshyn S., Kovalchik Y.,

- Sheremeta R. *Acta Technologica Agriculturae*. 2018. Vol. 3. Pp. 100-104. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0018>.
- [11] Research on sunflower seeds separation by airflow / E. Aliev et al. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 56. Pp. 119-128.
- [12] Prediction of Physical Parameters of Pumpkin Seeds Using Neural Network / Demir B., Eski I., Kus Z., Er-cisli S. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*. 2017. Vol. 45. Pp. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha45110429>.
- [13] Werby R. Performance cleaning unit for clover seeds affecting some physical and mechanical properties. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 4. Pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.21608/jssae.2013.50543>.
- [14] Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct / S. Kharchenko et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, no. 10. Article 4383. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11104383>.

STUDY OF THE INFLUENCE OF AIRFLOW PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF SEED CALIBRATION IN A PNEUMATIC SEPARATOR

Vovk V.O.

postgraduate student, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5530-1115>, e-mail: viacheslav.vovk@pdau.edu.ua

The paper presents the results of theoretical and experimental research on the effect of airflow parameters on the efficiency of seed calibration in a pneumatic separator equipped with an axial fan. The study substantiates the need to stabilize the aerodynamic field inside the separation channel by installing a diffuser-straightener and a system of guide vanes that equalize the velocity profile of the air stream and suppress local vortices. Experiments were performed on soft wheat seeds (moisture 12 ± 0.5 %, thousand-kernel weight 35–40 g) using a full factorial design 3^3 with three replications per mode and a stopping criterion based on 5-minute stabilization of key indicators. Airflow uniformity was quantified by multi-point velocity mapping across the channel cross-section; the improved design reduced velocity deviation from ± 28 % to within ± 10 %, which translated into a 12–15 % increase in calibration efficiency. The combined effects of airflow velocity (4.5–6.5 m/s) and seed-layer thickness (15–35 mm) on separation performance and specific energy consumption were analyzed using ANOVA ($p < 0.05$). Optimal operation was achieved at 5.5–6.0 m/s and a 20–25 mm seed layer, where specific energy consumption decreased by 10–12 % compared with conventional separators without flow stabilization. The proposed configuration ensures stable aerodynamic conditions, improves selectivity of particle trajectories, and enhances overall energy efficiency of post-harvest processing. While parameter values were validated for wheat, the methodology provides transferable guidelines for tuning airflow and layer thickness for other crops with different aerodynamic properties, supporting the development of automated, low-energy pneumatic grading systems for industrial seed-processing lines.

Keywords: pneumatic separator, axial fan, seed calibration, aerodynamic separation, flow uniformity, energy efficiency.

References

- [1] D.J. Choszcz, P.S. Reszczyński, E. Kolankowska, S. Konopka, and A. Lipiński, “The effect of selected factors on separation efficiency in a pneumatic conical separator,” *Sustainability*, vol. 12, article 3051, 2020. doi: [10.3390/su12073051](https://doi.org/10.3390/su12073051).
- [2] V. Khamyev, A. Gulyev, and A. Boiko, “Justification of the design of pneumatic sorting machine for the preparation of selection seeds,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 224, article 05008, 2018. doi: [10.1051/mateconf/201822405008](https://doi.org/10.1051/mateconf/201822405008).
- [3] S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, R. Kalinichenko, and V. Hryshchenko, “Research of the process of air separation of grain material in a vertical zig-zag channel,” *Journal of Central European Agriculture*, vol. 24, no. 1, pp. 225-235, 2023. doi: [10.5513/JCEA01/24.1.3732](https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732).
- [4] Y. Mykhailov, V. Skrypnyk, A. Semenov, R. Kharak, and V. Serdyuk, “Energy assessment of the pneumatic sieve separator for agricultural crops,” *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 25, no. 1, pp. 147-155, 2021. doi: [10.2478/agriceng-2021-0012](https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0012).
- [5] M. Panasiewicz, P. Sobczak, J. Mazur, K. Zawislak, and D. Andrejko, “The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials,” *Journal of Food Engineering*, vol. 109, no. 3, pp. 603-608, 2012. doi: [10.1016/j.jfoodeng.2011.10.033](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.033).
- [6] M. Kroulik, J. Hula, A. Rybka, and I. Honzik, “Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream,” *Research in Agricultural Engineering*, vol. 62, no. 2, pp. 56-63, 2016. doi: [10.17221/32/2014-RAE](https://doi.org/10.17221/32/2014-RAE).
- [7] S. Kovalyshyn, V. Dadak, and S. Konyk, “Intensification of the process of preparing small seed crop mixtures,” *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 4, pp. 108-112, 2015. doi: [10.1515/ata-2015-0021](https://doi.org/10.1515/ata-2015-0021).
- [8] I. Badretdinov, S. Mudarisov, M. Tuktarov, E. Dick, S. Arslanbekova, “Mathematical modelling of the

- grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine,” *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 17, no. 4, pp. 529-534, 2019. **doi: 10.5937/jaes17-22640.**
- [9] J. Lukaszuk, M. Molenda, J. Horabik, B. Szot, and M. Montross, “Air flow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method,” *Research in Agricultural Engineering*, vol. 54, no. 2, pp. 50-57, 2008. **doi: 10.17221/8/2008-RAE.**
- [10] R. Kuzminskyi, S. Kovalishyn, Y. Kovalchuk, and R. Sheremeta, “Mathematical models of geometric sizes of cereal crops’ seeds as dependent random variables,” *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 3, pp. 100-104, 2018. **doi: 10.2478/ata-2018-0018.**
- [11] E. Aliev, V. Yaropud, V. Dudin, V. Pryshliak, N. Pryshliak, and V. Ivlev, “Research on sunflower seeds separation by airflow,” *INMATEH Agricultural Engineering*, 2018, vol. 56, pp. 119-128, 2018.
- [12] B. Demir, I. Eski, Z. Kus, and S. Ercisli, “Prediction of Physical Parameters of Pumpkin Seeds Using Neural Network,” *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*, vol. 45, pp. 22-27, 2017. **doi: 10.15835/nbha45110429.**
- [13] R. Werby, Performance cleaning unit for clover seeds affecting some physical and mechanical properties, *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, vol. 4, pp. 1-13, 2013. **doi: 10.21608/jssae.2013.50543.**
- [14] S. Kharchenko et al, “Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, article 4383, 2021. **doi: 10.3390/app11104383.**

Стаття надійшла 25.07.2025

Стаття прийнята 13.08.2025

Стаття опублікована 30.10.2025

Цитуйте цю статтю як: Вовк В. О. Дослідження впливу параметрів повітряного потоку на ефективність калібрування насіння у пневмосепараторі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 51. С. 72-78. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.51.2025.344653>.