

**Степаненко С. П.**

Д.Т.Н., СТ.Н.С

**Мельник В. А.**

аспірант

**Волик Д. А.**

доктор філософії, в. о. ст. н.с.

**Кузьмич Р. М.**

К.Т.Н., ст. дослідник

**Інститут механіки та  
автоматики  
агропромислового  
виробництва Національної  
Академії Аграрних наук  
України**

**Stepanenko S.**Doctor of Technical Sciences,  
Senior Researcher**Melnyk V.**

postgraduate student

**Volyk D.**

PhD, Acting Senior Researcher

**Kuzmich A.**Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher

**Institute of Mechanics and  
Automation of Agro-Industrial  
Production,  
National Academy of Agrarian  
Sciences of Ukraine**

**УДК 631.362.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-3-20**

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ**

У статті наведено результати експериментальних досліджень процесу розділення зернових матеріалів на пневмовідцентровому сепараторі. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності очищення та фракціонування зернових сумішей за аеродинамічними властивостями шляхом одночасного використання дії повітряного потоку та відцентрових сил. Поєднання пневматичного та відцентрового принципів сепарації створює можливість інтенсифікувати рух частинок у робочій зоні, забезпечити їх диференційоване переміщення залежно від фізико-механічних та аеродинамічних властивостей і підвищити керованість процесу розділення.

Метою досліджень є експериментальне встановлення закономірностей процесу розділення зернового матеріалу в пневмовідцентровому сепараторі та визначення впливу основних конструкційно-технологічних і режимних параметрів на якісні та кількісні показники його роботи. Експериментальні дослідження проведено на лабораторній установці пневмовідцентрового типу із визначенням основних технологічних показників процесу за різних режимів роботи. У процесі досліджень варіювали параметри, що визначають кінематичну взаємодію зернового матеріалу з робочою поверхнею та повітряним потоком. Оцінювання ефективності процесу здійснювали за показниками виходу окремих фракцій, ступеня їх очищення, повноти вилучення компонентів суміші та втрат повноцінного зерна.

Встановлено характер зміни технологічних показників залежно від режимних параметрів роботи пневмовідцентрового сепаратора. Показано, що зміна швидкості повітряного потоку та кінематичних параметрів робочого органу істотно впливає на траєкторії руху частинок, тривалість їх перебування в зоні сепарації та умови переходу компонентів зернової суміші до відповідних фракцій. Зі зміною режиму повітряного потоку змінюється співвідношення аеродинамічних, відцентрових, гравітаційних і сил опору, що визначає інтенсивність та селективність процесу розділення.

На основі експериментальних даних визначено діапазони раціональних режимів роботи сепаратора, за яких забезпечується найбільш сприятливе співвідношення між ефективністю розділення, якістю отриманих фракцій та втратами повноцінного зерна. Отримані результати



РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ  
ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА  
ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ  
СЕПАРАТОРІ © 2026 by Степаненко С.  
П., Мельник В. А., Волик Д. А., Кузьмич Р.  
M. is licensed under CC BY 4.0

можуть бути використані для обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмовідцентрових сепараторів, удосконалення робочих органів і систем регулювання повітряного потоку, а також для розроблення рекомендацій щодо практичного застосування машин під час очищення та фракціонування зернових матеріалів.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні експериментальних закономірностей зміни показників процесу розділення зернового матеріалу залежно від основних режимних параметрів пневмовідцентрового сепаратора та визначенні їх взаємозв'язку з якістю отриманих фракцій. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання встановлених закономірностей для вибору раціональних режимів роботи та подальшого вдосконалення конструкції пневмовідцентрових сепараторів.

**Ключові слова:** зерновий матеріал, зернова суміш, пневмовідцентровий сепаратор, пневматична сепарація, відцентрові сили, повітряний потік, розділення, очищення, фракціонування, ефективність сепарації.

**Постановка проблеми.** Одним із ключових етапів післязбиральної обробки зерна є очищення та фракціонування зернових матеріалів, ефективність яких значною мірою визначає якість кінцевого продукту, його технологічну цінність і придатність до подальшого використання. Зернова суміш, що надходить на очищення, характеризується значною неоднорідністю за розмірами, формою, густиною, аеродинамічними та фрикційними властивостями її компонентів. Саме відмінності цих властивостей створюють передумови для селективного розділення, однак одночасно зумовлюють складність забезпечення стабільної ефективності сепараційного процесу за змінних умов роботи.

Особливої актуальності набуває підвищення ефективності очищення та фракціонування зернових матеріалів у технологічних лініях, де необхідно не лише видалити легкі та сторонні домішки, а й забезпечити достатньо чітке розділення компонентів суміші за комплексом фізико-механічних властивостей. Використання традиційних решітних і пневматичних машин у таких умовах не завжди забезпечує необхідну селективність процесу, оскільки окремі компоненти зернової суміші можуть мати близькі геометричні характеристики або аеродинамічні властивості. Це обмежує можливості їх ефективного розділення та може призводити до зниження виходу кондиційної фракції і збільшення втрат повноцінного зерна.

Одним із перспективних напрямів удосконалення процесів сепарації є поєднання різних фізичних механізмів впливу на зерновий матеріал. Зокрема, використання

пневмовідцентрового принципу створює умови для одночасної дії повітряного потоку та відцентрових сил, унаслідок чого траєкторія руху частинки визначається сукупним впливом аеродинамічного опору, сили тяжіння, відцентрової сили, сил тертя та інших факторів. Такий характер взаємодії дає змогу розширити діапазон керованих параметрів процесу та підвищити його селективність порівняно з окремим використанням пневматичного або механічного способу сепарації.

Водночас ефективність пневмовідцентрового розділення істотно залежить від режиму роботи сепаратора. Зміна швидкості повітряного потоку, частоти обертання робочих органів, продуктивності подачі та інших конструкційно-технологічних параметрів змінює характер руху частинок у робочій зоні, тривалість їх перебування в ній та ймовірність потрапляння до відповідних фракцій. Надмірне збільшення інтенсивності повітряного або відцентрового впливу може, з одного боку, покращувати розділення окремих компонентів, а з іншого - спричиняти винесення повноцінного зерна, збільшення його втрат або погіршення якості отриманих фракцій. Тому встановлення раціонального співвідношення між основними режимними параметрами є важливою науковою та практичною задачею.

Наявні теоретичні уявлення про рух зернових частинок у комбінованих силових полях не в повній мірі дають змогу оцінити реальну ефективність їх розділення в конкретній конструкції пневмовідцентрового сепаратора. Це пов'язано з полікомпонентністю зернових сумішей, випадковим характером взаємодії частинок між собою, нерівномірністю



повітряного потоку, зміною умов контакту із робочими поверхнями та впливом фізико-механічних властивостей зерна. У зв'язку з цим експериментальне дослідження процесу є необхідною складовою для встановлення фактичних закономірностей сепарації та визначення режимів, за яких забезпечуються високі показники якості розділення.

Отже, актуальним науково-практичним завданням є експериментальне дослідження процесу розділення зернових матеріалів на пневмовідцентровому сепараторі, встановлення впливу основних режимних параметрів на результати сепарації та визначення раціональних умов його роботи. Розв'язання цього завдання створює передумови для підвищення ефективності очищення і фракціонування зерна, зменшення втрат повноцінного продукту та подальшого вдосконалення конструкційно-технологічних параметрів пневмовідцентрових сепараторів.

**Аналіз останніх досліджень.** Сучасні дослідження процесів очищення та фракціонування зернових матеріалів спрямовані на підвищення селективності сепарації, зменшення втрат повноцінного зерна та забезпечення стабільності технологічних показників за зміни фізико-механічних властивостей вихідної суміші. Значна увага приділяється розробленню комбінованих способів сепарації, у яких одночасно використовуються аеродинамічні, відцентрові, інерційні та механічні ефекти.

У роботі [3] досліджено закономірності руху зернових частинок у повітряному потоці та встановлено, що ефективність пневматичного розділення значною мірою визначається співвідношенням швидкості повітряного потоку та швидкості вітання окремих компонентів зернової суміші. Показано, що зміна режиму повітряного потоку впливає не лише на інтенсивність видалення легких домішок, а й на втрати повноцінного зерна. Отримані результати підтверджують необхідність точного регулювання аеродинамічного режиму під час роботи зерноочисного обладнання.

У дослідженні [4] розглянуто особливості руху зернових частинок у відцентровому полі та встановлено залежність траєкторій їх переміщення від частоти обертання робочого органу, геометричних характеристик робочої зони та фізико-механічних властивостей матеріалу. Автори зазначають, що збільшення інтенсивності відцентрового впливу змінює характер переміщення частинок і може сприяти підвищенню інтенсивності їх розділення. Водночас надмірне збільшення частоти обертання може погіршувати селективність процесу, що обґрунтовує необхідність

експериментального визначення раціонального діапазону режимних параметрів.

Перспективність поєднання аеродинамічної та механічної дії на зерновий матеріал показано в роботі [8]. Дослідниками запропоновано комбінований підхід до сепарації, за якого рух частинок формується під впливом повітряного потоку та додаткового механічного збурення. Використання чисельного моделювання та експериментальної оптимізації дало змогу встановити вплив основних параметрів робочого процесу на якість розділення. Результати підтвердили, що комбінована дія різних фізичних факторів може бути ефективнішою за використання лише одного механізму сепарації.

У роботі [1] досліджено процес розділення зернових матеріалів у машині з комбінованим характером силового впливу. Встановлено, що зміна кінематичних параметрів робочих органів і умов переміщення зернової суміші істотно впливає на інтенсивність сепарації та вихід окремих фракцій. Автори наголошують на необхідності узгодження режимів руху зернового шару з фізико-механічними характеристиками компонентів суміші, оскільки це дає змогу підвищити селективність процесу та одночасно обмежити втрати кондиційного зерна.

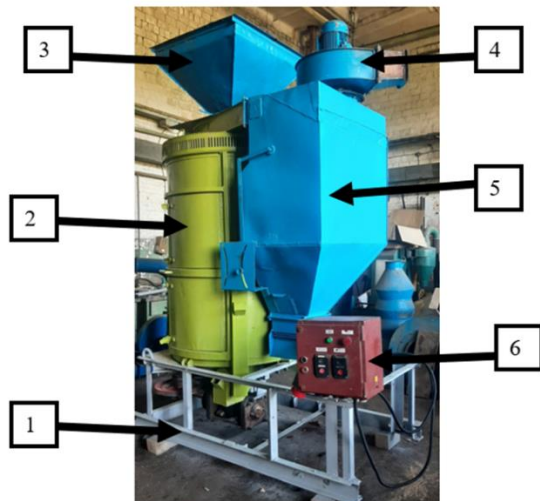
Аналіз опублікованих результатів свідчить, що окремо пневматичний та відцентровий способи впливу на зернові частинки досліджені достатньо широко, тоді як закономірності їх одночасної дії в пневмовідцентровому сепараторі потребують подальшого експериментального обґрунтування. Особливо актуальним залишається встановлення взаємозв'язку між швидкістю повітряного потоку, частотою обертання робочого органу, умовами подачі матеріалу та показниками якості отриманих фракцій.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій підтверджує перспективність використання комбінованого пневмовідцентрового принципу для очищення та фракціонування зернових матеріалів. Водночас недостатня кількість експериментальних даних щодо комплексного впливу основних режимних параметрів обумовлює необхідність проведення спеціальних досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей процесу розділення та визначення раціональних режимів роботи пневмовідцентрового сепаратора.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є експериментальне встановлення закономірностей процесу розділення зернових

матеріалів на пневмівідцентровому сепараторі та визначення впливу основних конструкційно-технологічних і режимних параметрів на ефективність сепарації, вихід та якість отриманих фракцій.

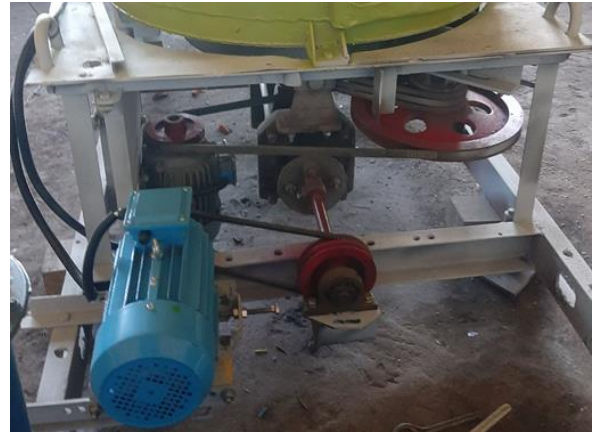
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розроблений в ІМА АПВ НААН експериментальний зразок пневмівідцентрового сепаратора [17], що поєднує дію вертикальної вібрації, повітряного потоку та удасконалених робочих органів, дозволяє ефективно розділяти зернові суміші за густиною (рис. 1).



**Рис. 1. Загальний вигляд пневмівідцентрового сепаратора: 1 - рама, 2 - робоча камера, 3 - бункер, 4 - вентилятор, 5 - осаджувальна камера, 6 - електричний щит керування;**

Експериментальні дослідження процесу розділення зернових матеріалів проводили на пневмівідцентровому сепараторі, конструкція якого забезпечує одночасний вплив на зернову суміш відцентрових сил та повітряного потоку. Поєднання зазначених способів сепарації дає можливість змінювати траєкторії руху частинок залежно від їхніх фізико-механічних та аеродинамічних властивостей і забезпечувати їх спрямований розподіл у робочій зоні машини.

Загальний вигляд експериментального пневмівідцентрового сепаратора наведено на рис. 1. Основними складовими конструкції є рама, робоча камера, бункер, вентилятор, осаджувальна камера, електричний щит керування.



**Рис.2. Вібраційний привод робочого органу**

Завантаження зернового матеріалу здійснюється через верхній бункер, який забезпечує накопичення та спрямовану подачу вихідної суміші до робочої зони сепаратора. Геометрична форма бункера сприяє рівномірному надходженню матеріалу та запобігає його неконтрольованому розсипанню за межі робочої камери.

Основним функціональним елементом сепаратора є вертикальна циліндрична робоча камера, всередині якої здійснюється переміщення та розділення зернового матеріалу на нових конструкціях конічних решіт. Конічна форма робочої зони забезпечує можливість формування обертального руху зернового потоку та створення відцентрового поля. У процесі роботи частинки зернової суміші переміщуються по складних траєкторіях, характер яких визначається співвідношенням відцентрових, аеродинамічних, гравітаційних та контактних сил.

Відцентровий вплив на зерновий матеріал створюється обертанням робочого органу сепаратора. Привід робочого органу розташований у нижній частині установки та забезпечує його обертання із заданою частотою. Зміна частоти обертання дає можливість регулювати інтенсивність відцентрового поля та, відповідно, впливати на радіальну складову швидкості переміщення частинок у робочій камері.

Пневматична складова процесу забезпечується вентиляторним агрегатом, розташованим у верхній частині сепаратора. Повітряний потік через систему повітропроводів надходить до робочої зони та взаємодіє із зерновим матеріалом, який перебуває в русі. Внаслідок цього на частинки діє аеродинамічна сила, величина якої залежить від швидкості повітряного потоку, форми, розмірів, маси та аеродинамічних властивостей окремих компонентів зернової суміші.

Особливістю запропонованої конструкції є можливість незалежного регулювання механічної та пневматичної складових процесу. Частота обертання робочого органу визначає інтенсивність відцентрового впливу, тоді як режим роботи вентиляторного агрегату визначає параметри повітряного потоку. Така схема створює можливість експериментального встановлення оптимального співвідношення між відцентровою та аеродинамічною діями.

Під час роботи сепаратора зернова суміш із завантажувального бункера надходить до робочої камери. Під дією обертання робочого органу частинки набувають тангенціальної та радіальної складових швидкості. Одночасно на них діє повітряний потік, який змінює характер їхнього переміщення залежно від аеродинамічних властивостей. Внаслідок сумісної дії зазначених факторів компоненти зернової суміші отримують різні траєкторії руху та розподіляються у робочій зоні сепаратора.

Одночасно на частинку діє аеродинамічна сила, величина якої визначається параметрами повітряного потоку та властивостями самої частинки.

Таким чином, рух частинки в робочій зоні визначається результуючою дією відцентрової та аеродинамічної сил із урахуванням сили тяжіння, опору повітря та контактної взаємодії із робочими поверхнями. Відмінність значень цих сил для різних компонентів зернової суміші формує умови для їх просторового розділення.

Вихідні продукти сепарації відводяться через відповідні розвантажувальні канали, розташовані в нижній частині машини. Залежно від встановленого режиму роботи сепаратора співвідношення компонентів у вихідних фракціях змінюється, що дає можливість оцінювати селективність процесу та визначати раціональні режими роботи установки.

Сепаратор змонтований на жорсткій металевій рамі, яка забезпечує фіксацію робочої камери, приводних механізмів та допоміжного обладнання. Система керування розташована на окремому щиті та забезпечує запуск, зупинку і регулювання основних приводів установки рис.3.



**Рис.3. Система керування і регулювання основних приводів установки**

Конструктивне виконання системи керування дає можливість змінювати режим роботи сепаратора відповідно до умов проведення експерименту.

Для проведення експериментальних досліджень основними керованими параметрами процесу можуть бути частота обертання робочого органу, швидкість або витрата повітряного потоку та продуктивність подачі зернового матеріалу. Встановлення залежності показників сепарації від зазначених параметрів дає можливість визначити раціональний режим роботи пневмовідцентрового сепаратора.

Отже, конструкція експериментальної установки реалізує комбінований пневмовідцентровий принцип розділення зернових матеріалів, за якого селективність процесу формується внаслідок одночасної дії відцентрового поля та повітряного потоку. Такий принцип створює додаткові можливості для керування траєкторіями руху компонентів зернової суміші та регулювання якісно-кількісних показників отриманих фракцій.

Під час експериментальних досліджень встановлювали вплив таких основних факторів:

- амплітуда коливань сепаруючої секції  $a$ ;
- кут, що визначає кривизну секції,  $\phi$ ;
- подача насіння на секцію  $q$ ;
- величина щілини під зчісувальною планкою  $h$ ;
- прискорення вібрації  $W_k$ .

Дослідження проводились за оптимальним планом  $Ha_5$ [8], зміна факторів проводилася за трьома рівнями,

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано залежність від виходу та чистоти фракцій насіння від зміни змінних факторів:

Вихід основної фракції

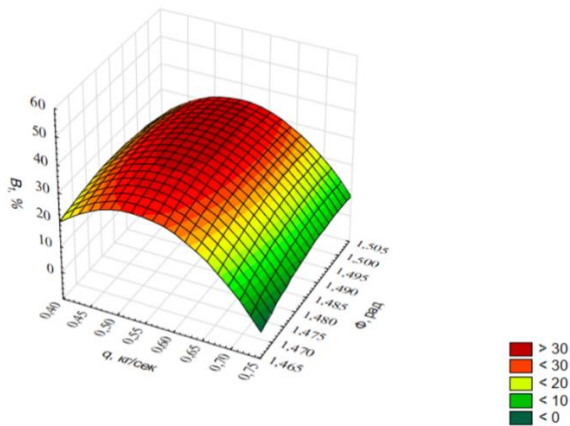
$$B_f = 14566 - 347492a - 18306\phi - 315q - 22367h - 2,69W_k + 12415300a^2 + 158750a\phi - 672aq + 197917ah + 32aW_k + 5846\phi^2 + 510\phi q - 139\phi h + 1,95\phi W_k - 456q^2 + 2202qh + 0,269qW_k + 771294h^2 + 18hW_k - 0,0028W_k^2; \quad (1)$$

Залишкова дисперсія  $\sigma^2 = 0,024$ ;

Чистота основної фракції:

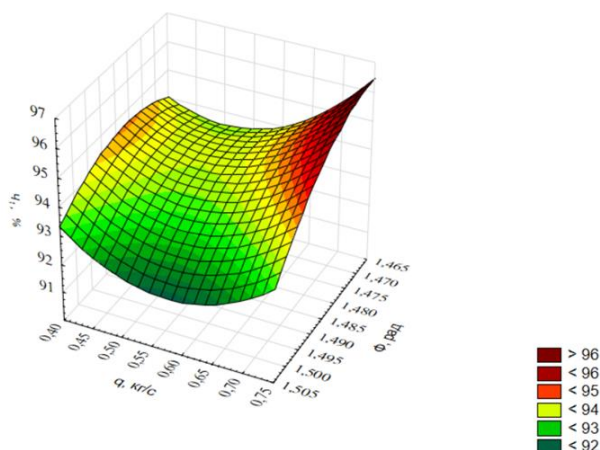
$$C_f = -8578 + 23628a + 11589\phi + 238q - 2235h + 0,036W_k - 1950405a^2 - 4583a\phi + 420aq + 14583ah - 18aW_k - 3891\phi^2 - 177\phi q + 1528\phi h + 0,29\phi W_k + 26q^2 - 300qh - 0,003qW_k - 2501h^2 + hW_k - 0,003W_k^2; \quad (2)$$

Залишкова дисперсія  $\sigma^2 = 0,216$ ;



**Рис. 3.** Результати досліджень з визначення залежності виходу  $B_1$  основної фракції від подачі зернового матеріалу  $q$  та її кривини робочої поверхні/ кута  $\phi$ .

Аналіз поверхні відгуку показує, що максимальний вихід важкої фракції  $B_1$  становить приблизно 55-60 %. Найбільш сприятливе поєднання факторів спостерігається за кута кривизни поверхні  $\phi \approx 0,52-0,58$  та подачі зернового матеріалу  $q \approx 1,49$  кг/с. У цій області вихід важкої фракції досягає максимальних значень. При збільшенні кута кривизни понад 0,60 вихід  $B_1$  помітно зменшується і при  $\phi \approx 0,70-0,75$  становить близько 10-20 %. Зменшення кута кривизни до 0,40-0,45 радіан також супроводжується зниженням виходу важкої фракції до приблизно 15-25 %. Зміна подачі від 1,465 до 1,505 кг/с має менш виражений вплив у порівнянні з кутом кривизни, однак максимальні значення  $B_1$  також зосереджені поблизу  $q = 1,49$  кг/с.



**Рис. 4.** Результати досліджень з визначення залежності чистоти  $\chi_1$  основної фракції від подачі зернового матеріалу  $q$  та її кривини робочої поверхні/ кута  $\phi$ .

Аналіз поверхні відгуку, побудованої за отриманим рівнянням регресії, свідчить про нелінійний характер впливу кута кривизни поверхні

$\phi$  та подачі зернового матеріалу  $q$  на чистоту основної фракції  $\chi_1$ . У досліджуваному діапазоні значень  $\phi = 0,40-0,75$  рад та  $q = 1,465-1,505$  кг/с чистота основної фракції змінюється приблизно від 91 до 97 %. При збільшенні кута кривизни від 0,40 до 0,55-0,60 рад спостерігається зниження чистоти до мінімальних значень, тобто близько 91-92 %, після чого за подальшого збільшення  $\phi$  чистота зростає. Найвищі значення  $\chi_1$ , понад 96 %, спостерігаються за великих значень кута кривизни, приблизно  $\phi = 0,70-0,75$ , особливо при зменшенні подачі до  $q = 1,465-1,475$  кг/с. Таким чином, для забезпечення високої чистоти основної фракції доцільним є використання кута кривизни  $\phi \approx 0,70-0,75$  та подачі  $q \approx 1,465-1,475$  кг/с, за яких чистота може перевищувати 96 %.

Якщо розглядати обидві поверхні відгуку одночасно, то для забезпечення достатньо високого виходу важкої фракції при збереженні високої чистоти основної фракції доцільно обрати компромісний режим.

Рациональним є діапазон кута кривизни  $\phi \approx 0,60-0,65$  та подачі  $q = 1,475-1,485$  кг/с. За таких значень забезпечується вихід важкої фракції орієнтовно 40-50 % при чистоті основної фракції близько 94-95 %. Подальше збільшення  $\phi$  до 0,70-0,75 підвищує чистоту до понад 96 %, але супроводжується істотним зниженням виходу важкої фракції. Отже,  $\phi \approx 0,60-0,65$  та  $q \approx 1,48$  кг/с можна вважати раціональною областю режимів, що забезпечує збалансовані показники сепарації.

**Висновки.** Результати експериментальних досліджень показали, що найбільш ефективне розділення зернової суміші в пневмовідцентровому сепараторі забезпечується за комплексного регулювання параметрів повітряного потоку, частоти обертання ротора, геометричних параметрів робочої зони та умов руху зернового матеріалу. Встановлено, що зміна швидкості повітряного потоку та частоти обертання ротора суттєво впливає на траєкторії руху частинок і характер їх розподілу у вихідних фракціях.

За раціонального поєднання параметрів роботи сепаратора забезпечується стійкий рух зернового матеріалу в робочій зоні та ефективне розділення частинок за густиною й аеродинамічними властивостями. Це сприяє підвищенню виходу кондиційної фракції та зменшенню переходу повноцінного зерна до відхідної фракції порівняно з традиційними способами пневматичного сепарування.

Отже, проведені експериментальні дослідження дали змогу встановити вплив основних конструкційних і режимних параметрів пневмовідцентрового сепаратора та визначити їх раціональне поєднання для підвищення ефективності розділення зернових сумішей. Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення конструкції сепаратора, обґрунтування його технологічних режимів та

подальшого масштабування для виробничого застосування.

### Список використаних джерел

1. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Gadzalo, I., Ivanovs, S., Stepanenko, S., & Holovach, I. Theoretical study of vibrocentrifugal separation of grain mixtures on a sieve-less seed-cleaning machine. *Rural Sustainability Research*. 2021. Vol. 46. P. 116-124. DOI: 10.2478/plua-2021-0023.

2. Aliiev, E., Lupko, K., & Kobets, O. Development of Adaptive Seed-Separation Trier for Small-Seeded Crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering*. 2023. 103-126. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8.

3. Bohatyrov, D., Skrynnik, I., & Yurchenko, O. Обґрунтування технологічних параметрів зернового сепаратора Design, production and exploitation of agricultural machinery. 2019. Vol. 49. P. 34-42. DOI: 10.32515/2414-3820.2019.49.34-42.

4. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S., & Bredykhina, K. Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4, No. 1(112). P. 54-60. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.236938.

5. Jagusiak-Kocik, M. et al. Optimizing the Separation Process of Difficult-to-Separate Wheat and Barley Grain Mixtures Using Vibrofriction Technology. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*. 2024. Vol. 6, No. 1. DOI: 10.2478/czoto-2024-0038.

6. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A., Popadowski, E., & Kielbasa, P. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 4383. DOI: 10.3390/app11104383.

7. Kharchenko, S., Kovalyshyn, S., Linov, A., Abduev, M., Kharchenko, F., & Sirovitskiy, K. Identification of significant factors in the process of grain mixtures separation on cylindrical sieve. *TEKA. Semi-Annual Journal of Agri-Food Industry*. 2022. Vol. 22, No. 1. P. 5-8.

8. Koban, Y., Vasylovskiy, O., & Nesterenko, O. Обґрунтування конструкційної схеми пневматичного зернового сепаратора Design, production and exploitation of agricultural machinery. 2026. №1 (120). Vol. 55. P. 287-297. DOI: 10.32515/2414-3820.2025.55.287 297.

9. Petrenko, D. I., Leshchenko, S. M., Nedielskiy, D. S., & Bilitsenko, I. O. Математична модель роботи пневмогравітаційного сепаратора зернових сумішей Design, production and exploitation of agricultural machinery. 2025. Vol. 55. P. 112-120. DOI: 10.32515/2414-3820.2025.55.112 120.

10. Piven, M., Volokh, V., Piven, A., &

Kharchenko, S. Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, No. 1(96). P. 62-70. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.149739.

11. Stepanenko, S., & Kotov, B. Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics*. 2019. Vol. 10, No. 4. P. 137-143.

12. Stepanenko, S. P., & Volyk, D. A. Математичне моделювання та результати експериментальних досліджень процесу вібропневмоімпульсного поділу насіння за густиною. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2023. Vol. 53. P. 138-148. DOI: 10.32515/2414-3820.2023.53.138-148.

13. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I., Hrushetskiy, S. M., & Rud, A. V. Математичне моделювання руху зернового матеріалу на поверхні віброживильника за умови введення його в аспіраційний канал сепаратора. *Vibrations technology, 2 in (101), engineering and P*. 46-55. 2021. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-2-5.

14. Vasylovskiy, O., Leshchenko, S., Moroz, S., & Petrenko, D. Дослідження енергоємності холостого ходу відцентрового сепаратора зерна. *Design, production and exploitation of agricultural machinery*. 2018. Vol. 48. P. 176-183. DOI: 10.32515/2414-3820.2018.48.176 183.

15. X. Yang et al. Design and Experimental Study of a Cleaning Device for Edible Sunflower Harvesting. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, No. 8. DOI: 10.3390/agriculture14081344.

16. Зерновий сепаратор. Патент на корисну модель № 149073 Україна (UA), МПК (2021) B07B1/28. ННЦ "ІМЕСГ" НААН (Україна). № u202102826, Заявл. 28.05.2021, Опубл. 13.10.2021, Бюл. № 41/2021. 4 с.

### References

1. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Gadzalo, I., Ivanovs, S., Stepanenko, S., & Holovach, I. (2021). Theoretical study of vibrocentrifugal separation of grain mixtures on a sieve-less seed-cleaning machine. *Rural Sustainability Research*, 46, 116-124. <https://doi.org/10.2478/plua-2021-0023> [in English].

2. Aliiev, E., Lupko, K., & Kobets, O. (2023). Development of adaptive seed-separation trier for small-seeded crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering*, 16(65), 103-126. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8> [in English].

3. Bohatyrov, D., Skrynnik, I., & Yurchenko, O. (2019). Justification of technological parameters of the grain separator. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 49, 34-42. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.34-42> [in Ukrainian].



4. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S., & Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1(112)), 54-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938> [in English].

5. Jagusiak-Kocik, M., Bohomolov, O., Gurskyi, P., Bredykhin, V., Lukyanov, I., Shchur, T., & Dzhydzhora, O. (2024). Optimizing the separation process of difficult-to-separate wheat and barley grain mixtures using vibrofriction technology. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*, 6(1), 360-370. <https://doi.org/10.2478/czoto-2024-0038> [in English].

6. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A., Popardowski, E., & Kielbasa, P. (2021). Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. *Applied Sciences*, 11(10), 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383> [in English].

7. Kharchenko, S., Kovalyshyn, S., Linov, A., Abduev, M., Kharchenko, F., & Sirovitskiy, K. (2022). Identification of significant factors in the process of grain mixtures separation on cylindrical sieve. *TEKA. Semi-Annual Journal of Agri-Food Industry*, 22(1), 5-8. [in English].

8. Koban, Y., Vasylovskyi, O., & Nesterenko, O. (2025). Justification of the structural scheme of a pneumatic grain separator. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 55, 287-297. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.287-297> [in Ukrainian].

9. Petrenko, D. I., Leshchenko, S. M., Nedielskiy, D. S., & Bilitsenko, I. O. (2025). Mathematical model the operation of a pneumogravity separator for grain mixtures. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 55, 112-120. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.112-120> [in Ukrainian].

10. Piven, M., Volokh, V., Piven, A., & Kharchenko, S. (2018). Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1(96)), 62-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149739> [in English].

11. Stepanenko, S., & Kotov, B. (2019). Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics*, 10(4), 137-143. [in English].

12. Stepanenko, S. P., & Volyk, D. A. (2023). Mathematical modeling and the results of experimental research of the process of density-based seed separation using vibro-pneumatic-impulse technology. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 53, 138-148. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.138-148> [in Ukrainian].

13. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I., Hrushetskiy, S. M., & Rud, A. V. (2021). Mathematical simulation of the movement of grain material on the surface of the spreader under its introduction into the aspiration channel of the separator. *Vibrations in Engineering and Technologies*, 2(101), 46-55. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2021-2-5> [in Ukrainian].

14. Vasylovskyi, O., Leshchenko, S., Moroz, S., & Petrenko, D. (2018). Investigation of the energy intensity of the idle speed of the centrifugal grain separator. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 48, 176-183. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.176-183> [in Ukrainian].

15. Yang, X., Sun, X., Li, B., Liu, Y., Wang, S., Gao, X., & Dong, Y. (2024). Design and experimental study of a cleaning device for edible sunflower harvesting. *Agriculture*, 14(8), 1344. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081344> [in English].

16. Grain separator. (2021). Patent for utility model No. 149073 Ukraine (UA), IPC B07B1/28. National Scientific Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture" (Ukraine). No. u202102826. Filed May 28, 2021. Published October 13, 2021. Bulletin No. 41/2021. 4 p.: ill. [in Ukrainian]

#### EXPERIMENTAL RESULTS OF THE SEPARATION PROCESS OF GRAIN MATERIALS IN A PNEUMOCENTRIFUGAL SEPARATOR

*The article presents the results of experimental studies of the separation process of grain materials in a pneumocentrifugal separator. The relevance of the study is determined by the need to improve the efficiency of cleaning and fractionation of grain mixtures based on their aerodynamic properties through the simultaneous use of airflow and centrifugal forces. The combination of pneumatic and centrifugal separation principles makes it possible to intensify particle movement in the working zone, ensure their differentiated movement depending on their physical, mechanical, and aerodynamic properties, and improve the controllability of the separation process.*

*The aim of the study is to experimentally establish the regularities of the grain material separation process in a pneumocentrifugal separator and to determine the effect of the main design, technological, and operating parameters on the qualitative and quantitative performance indicators of its operation. Experimental studies were conducted using a laboratory-scale pneumocentrifugal separator, with the main technological parameters of the process determined under different operating conditions. During the experiments, the parameters governing the kinematic interaction of the grain material with the working surface and airflow were varied. The process efficiency was evaluated based on the yield of individual fractions, their degree of purity, the*

completeness of removal of mixture components, and losses of sound grain.

The nature of changes in the technological parameters depending on the operating conditions of the pneumocentrifugal separator was established. It was shown that changes in airflow velocity and the kinematic parameters of the working element significantly affect particle trajectories, their residence time in the separation zone, and the conditions under which grain mixture components enter the corresponding fractions. As the airflow regime changes, the ratio of aerodynamic, centrifugal, gravitational, and drag forces changes, determining the intensity and selectivity of the separation process.

Based on the experimental data, ranges of rational operating conditions of the separator were determined, under which the most favorable balance between separation efficiency, quality of the resulting fractions, and losses of sound grain is achieved. The results obtained can be used to substantiate the design

and technological parameters of pneumocentrifugal separators, improve working elements and airflow control systems, and develop recommendations for the practical application of machines for cleaning and fractionating grain materials.

The scientific novelty of the study lies in establishing experimental regularities in the variation of grain material separation performance indicators depending on the main operating parameters of the pneumocentrifugal separator and determining their relationship with the quality of the resulting fractions. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using the established regularities to select rational operating conditions and further improve the design of pneumocentrifugal separators.

**Keywords:** grain material, grain mixture, pneumocentrifugal separator, pneumatic separation, centrifugal forces, airflow, separation, cleaning, fractionation, separation efficiency.

#### Відомості про авторів

**Степаненко Сергій Петрович**, старший науковий співробітник, доктор технічних наук, завідувач відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт. Глеваха, Україна, email: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net) ORCID iD 0000-0002-8331-4632

**Мельник Віталій Анатолійович** аспірант відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт. Глеваха, Україна ORCID iD [0009-0006-2383-9572](https://orcid.org/0009-0006-2383-9572)

**Волик Дарина Анатоліївна** доктор філософії, в.о. старшого наукового співробітника відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт. Глеваха, Україна, email: [volyk.d.a@gmail.com](mailto:volyk.d.a@gmail.com) ORCID iD 0009-0001-1979-861X

**Кузьмич Альвіан Ярославович**, старший дослідник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, смт. Глеваха, Україна, email: [akuzmich75@gmail.com](mailto:akuzmich75@gmail.com) ORCID iD 0000-0003-3102-0840

**Stepanenko Serhii**, Senior Researcher, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanical and Technological Problems of Harvesting and Post-Harvest Processing of Grain and Oilseed Crops, Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-8331-4632>, email: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)

**Melnyk Vitaliy**, postgraduate student of the department of mechanical and technological problems of harvesting and post-harvest processing of grain and oilseed crops, Institute of Mechanics and Automation of Agro-industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha, Ukraine ORCID iD 0009-0006-2383-9572

**Volyk Daryna**, PhD, Acting Senior Researcher of the department of mechanical and technological problems of harvesting and post-harvest processing of grain and oilseed crops, Institute of Mechanics and Automation of Agro-industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha, Ukraine ORCID iD 0009-0001-1979-861X email: [volyk.d.a@gmail.com](mailto:volyk.d.a@gmail.com)

**Kuzmych Alvia**n, senior researcher, candidate of technical sciences, senior research fellow of the department of mechanical and technological problems of harvesting and post-harvest processing of grain and oilseed crops, Institute of Mechanics and Automation of Agro-industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-3102-0840>, email: [akuzmich75@gmail.com](mailto:akuzmich75@gmail.com)

Стаття надійшла 31.08.2026

Стаття прийнята 15.09.2026

Опубліковано 12.10.2026