

Agricultural robots are smart robots that can be controlled by various programs and software adapted to different technological operations. Bringing intelligence to agriculture, while increasing the efficiency and sustainability of agricultural production, ensures a future in which food is produced with minimal environmental damage.

The purpose of this article is to analyze the existing designs of agricultural robots for inter-row tillage, weed control, and spraying in the inter-row.

All of the analyzed designs of agricultural robots provide high-quality performance of one or more technological processes. However, there is one huge disadvantage: they are very expensive. In times of war, not all agricultural producers can afford such a device.

The functional capabilities of agricultural robots for inter-row tillage, weed control and spraying were analyzed. Their advantages and disadvantages are analyzed. The design of an agricultural robot is proposed to ensure high-quality work in the row spacing of row crops. Also, to unify the work of the agro-robot on one body, it is possible to create designs of various variations of the agro-robot, such as a transport unit and an intelligent sprayer.

The intellectualization of agriculture is moving towards enabling existing machines to work autonomously and without human intervention. The level of complexity of work that can be performed by agricultural robots is increasing. Agricultural robots, as the latest technology for agricultural production, not only save labor costs, but also improve quality control capabilities and increase the ability to withstand natural risks. Therefore, the proposed design of a simple and reliable agricultural robot to ensure high-quality work in the rows of row crops is a relevant and timely solution for agricultural production in our country.

**agricultural robot, inter-row cultivation, weed control, spraying, design**

*Одержано (Received) 25.11.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 25.11.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024*

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.192-202>

**І.М. Бажан**, асп., **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Амосов**, доц. канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна  
e-mail: olexa74@ukr.net*

## Інтенсифікація процесу сепарації зерна на плоскому коливальному решеті із зигзагоподібним розташуванням отворів

У статті викладені результати теоретичного аналізу шляхів підвищення ефективності роботи плоских коливальних решіт. Встановлено, що підвищення ефективності сепарації можливо досягти лише шляхом інтенсифікації процесів взаємного переміщення (сегрегації) часток всередині шару матеріалу у вертикальній і горизонтальній площинах. Висловлено припущення, що найбільш ефективною є активізація внутрішньшарових процесів у оброблюваному матеріалі, яка забезпечується двома способами – встановленням оптимального кінематичного режиму коливань і конструкційними параметрами самого решета. Наведено нове, запатентоване технічне рішення – решето із зигзагоподібним розташуванням отворів і сформовано основні задачі і елементи методики попередніх досліджень. Сформульовано висновки за результатами проведеного аналізу.

**зерно, зерновий матеріал, очищення, решето, сепаратор, інтенсифікація, сепарація, ефективність, внутрішньшарові процеси, активізація, зигзаг**

© І.М. Бажан, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, В.В. Амосов, 2024

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності решітного очищення зерна – важливе завдання для інженерів і дослідників, що працюють у сфері аграрної інженерії, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції. Ефективність – емний термін, який полягає у покращенні багатьох показників роботи сепаратора. До них відносять підвищення продуктивності і якості очищення, збільшення ресурсу і міжремонтного часу, зниження енергоємності і часу на технічне обслуговування, спрощення конструкції тощо. Покращення зазначених вище показників ефективності, у кінцевому рахунку, слугує одній цілі – зниженню собівартості машини і зменшенню собівартості переробленої продукції. Досягнення цілі дозволить отримати економічний ефект як виробнику, так і споживачу ефективної техніки, а також підвищити її конкурентоздатність на ринку.

Найбільш важливими показниками ефективності роботи зерноочисних машин є показники, що характеризують технологічну ефективність – продуктивність та якість очищення і мають найбільший вплив на економічні характеристики процесу сепарації. Відомо, що підвищення показників технологічної ефективності роботи коливальних плоскорешітних систем досягається шляхом інтенсифікації внутрішньошарових процесів у оброблюваному матеріалі під час обробки, які сприяють переміщенню проходових часток у вертикальній і горизонтальній площинах для отримання можливості просіювання крізь отвори. Інтенсифікації внутрішньошарових процесів можна досягти кількома шляхами. Одним з них є забезпечення оптимального кінематичного режиму за рахунок механізму приводу. Іншим шляхом є встановлення різного роду активаторів-інтенсифікаторів. Обидва шляхи не можна вважати однозначно ефективними, оскільки кінематичний режим забезпечує інтенсифікацію внутрішньошарових процесів переважно у вертикальній площині, а активатори – у горизонтальній, при цьому останні ще й ускладнюють і здорожують конструкцію сепаратора.

Найбільш органічним шляхом підвищення інтенсифікації внутрішньошарових процесів у вертикальній і горизонтальній площинах є поєднання обох способів, при цьому питання активізації поперечного переміщення часток, що можуть розташовуватися між отворами решета, доцільно здійснювати альтернативним способом – без застосування додаткових конструктивних елементів, наприклад, шляхом зигзагоподібного розташування отворів на плоскому решеті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових роботах [1–17] численних науковців наведено результати досліджень, спрямованих на пошук оптимальної конструкції та обґрунтування раціональних конструкційних і режимних параметрів решітних сепараторів зерна, які б дозволили інтенсифікувати процес [1, 2] і забезпечити високі показники продуктивності і якості очищення, збільшення ресурсу і міжремонтного періоду роботи, зниження енергоємності і часу на технічне обслуговування, спрощення конструкції і налаштувань. Однак, на сьогоднішній день немає єдиного технічного рішення, яке б могло задовольнити всі вимоги, наведені вище. Більш того, як зазначено авторами [3], за рядом конструкційних і технологічних параметрів, існуючі решітні сепаратори можна розділити на п'ять поколінь, які суттєво відрізняються за закладеними принципами розділення. При цьому, питання інтенсифікації і активізації внутрішньошарових процесів поставало при дослідженні робочих органів кожного покоління сепараторів [4–17].

Найбільш класичним рішенням інтенсифікації внутрішньошарових процесів з метою їх орієнтації вздовж отворів пробивних решіт є їх профілювання (рис. 1), в результаті якого, частинки, що розташовуються між отворами над перетинками,

перебувають у стані нестійкої рівноваги і процес їх переміщення до отворів пришвидшується.

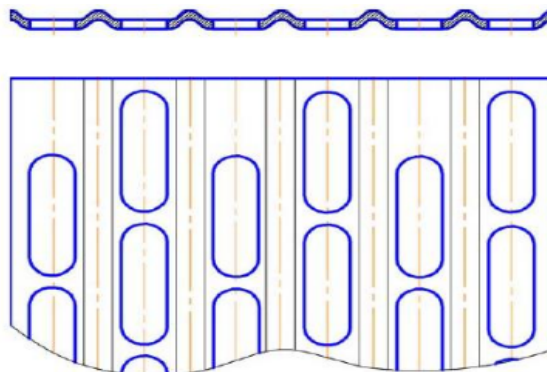


Рисунок 1 – Профільоване решето

*Джерело: розроблено авторами*

Аналогічні рішення знайшли застосування і досліджувалися як у плоскорешітних, так і у циліндричних сепараторах. Такі решета дозволяють підвищити показники технологічної ефективності, проте складність виготовлення, проблема якісного очищення від забивання не дозволила їм отримати масове використання. Крім того, інтенсифікація поперечного переміщення часток у верхніх шарах зернової маси викликає сумніви.

Іншим шляхом підвищення показників технологічної ефективності решітних сепараторів є використання пруткових елементів, як направляючих для зерна. При цьому вони виступають як повздовжні перетинки, що утворюють робочі отвори решіт (рис. 2).

Пруткові решета інтенсифікують процес сепарації аналогічно до профільованих, при цьому плоске решето Л. Фадєєва [9] (рис. 2 ліворуч) є більш технологічним, ніж профільоване, має менші розміри перетинок між отворами, що збільшує площу його живого перерізу. Дугоподібне пруткове решето [3, 17] (рис. 2 праворуч) також є більш технологічним, ніж профільоване, однак має меншу площу живого перерізу ніж решето Л. Фадєєва. Більші показники технологічної ефективності сепарації на ньому отримуються за рахунок більш жорстких режимів роботи, що не підходить для обробки зерна певних сільськогосподарських культур, які мають низькі показники механічної міцності і можуть пошкоджуватися.

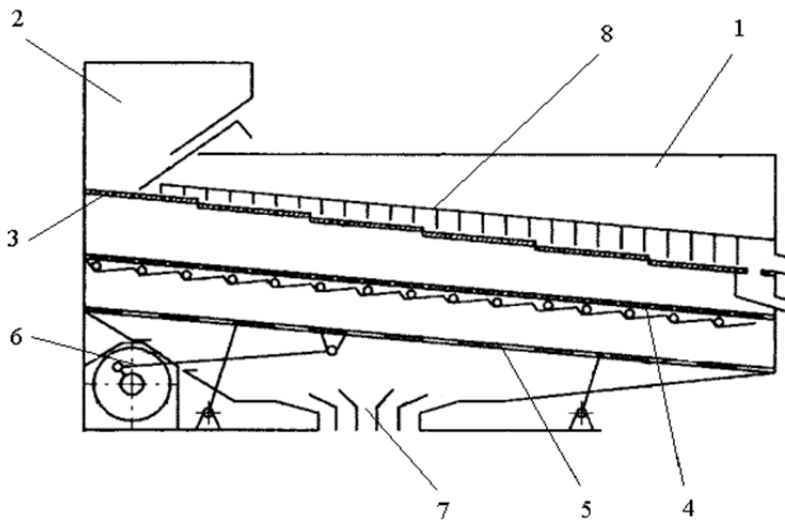


Рисунок 2 – Пруткові решета

*Джерело: розроблено авторами*

Відомі також аналогічні технічні рішення [15, 16], які дозволяють підвищити ефективність розділення, хоча при цьому також не задіяна у повній мірі складова поперечного переміщення часток у зерновій масі.

Найбільш характерним пристроєм, що інтенсифікує внутрішньосарові процеси у поперечному напрямку є пристрій [5–8] (рис. 3), у якому пасивні розпушувачі створюють відповідні умови. Негативним моментом даного рішення є «віднімання» пасивними активаторами площі живого перерізу решета і ускладнення конструкції додатковими елементами.



1– корпус; 2– бункер з дозатором; 3, 4, 5 – сита; 6– механізм приводу; 7 – дифузор повітряний;  
8– пасивні стрижневі розпушувачі.

Рисунок 3 – Схема зерноочисної машини з пасивними розпушувачами

*Джерело: розроблено авторами*

Інтенсифікація внутрішньосарових процесів шляхом забезпечення оптимального режиму також дозволяє отримати позитивний ефект. Зокрема, такі дії як створення коливань, вібрацій [4–6, 13, 14, 18–20] із заданими обґрунтованими параметрами – амплітудою, частотою і напрямом, забезпечення розшарування маси за рахунок суттєвого підвищення поступальної швидкості часток тощо реалізують загальну концепцію активізації внутрішньосарових процесів, однак, як показує практика, лише у одному повздовжньому напрямку. При цьому прохідні частки, яких менше на підсвічних решетах, можуть не дістатися отворів для просіювання на всій їх площі. Крім того, встановлення жорстких режимів роботи решітних сепараторів негативно відбивається на травмуванні зерна внаслідок заклинювання і травмування обробочі крайки отворів решіт. Відомі способи режимної інтенсифікації за рахунок створення додаткових поперечних коливань решітного стану, однак дані способи не досліджені і існують лише у вигляді гіпотез, пропозицій і корисних моделей [18–20]. Крім того, аналіз таких можливостей говорить про виникнення невірноважених сил і моментів, які можуть негативно вплинути на стійкість конструкції та надмірне її ускладнення.

**Постановка завдання.** Актуальною задачею наших досліджень є розробка конструкції і підготовка до проведення експериментальних досліджень решітного полотна коливального сепаратора, яка б задовольняла вимогам конструкційної простоти, технологічності виготовлення, при цьому забезпечувала високі показники

технологічної ефективності розділення зернових матеріалів за рахунок інтенсифікації внутрішньосферних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** У основу концепції інтенсифікації внутрішньосферних процесів на плоскому решеті лягло усвідомлення того, що відносний вміст проходової фракції у оброблюваному матеріалі на підсівному решеті незначний і може складати до 10% для зерноочисних машин загального призначення. Внутрішньосферне перемішування часток у вертикальній площині забезпечується встановленням оптимального режиму коливань. Інтенсифікації переміщення часток у горизонтальній площині (у поперечному напрямку) без застосування додаткових пристроїв і ускладнення конструкції, можна досягти шляхом виготовлення решітних полотен із зигзагоподібним розташуванням отворів[21] (рис. 4).



Рисунок 4 – Фрагмент решітного полотна із зигзагоподібним розташуванням отворів  
*Джерело: розроблено авторами*

Дане технічне рішення збільшує до  $P=1$  ймовірність потрапляння часток у площину отворів. При русі вздовж запропонованого решета із зигзагоподібним розташуванням отворів, проходові частки, що можуть розміститися на повздовжніх перетинках між отворами, обов'язково будуть спрямовані до останніх. Даний ефект обумовлений тим, що площина отвору дещо відхилена від напрямку повздовжнього переміщення часток. При цьому вся зернова маса буде зміщуватися упоперек решета на величину зміщення отворів від повздовжньої вісі. Дане зміщення буде скомпенсоване отворами наступного ряду, яке має аналогічне розташування, але у дзеркальному відображенні.

Перевірку працездатності і ефективності роботи запропонованого технічного рішення будемо проводити шляхом проведення експериментальних досліджень на лабораторному решітному коливальному сепараторі PetkusWuthaK 294 A (рис. 5).

Для проведення дослідів нами спроектовано і виготовлено решітні полотна із зигзагоподібним розташуванням продовговуватих отворів 2x30 мм (рис. 6), які мають кути відхилення від повздовжньої вісі  $10^\circ$  (рис. 6 ліворуч),  $5^\circ$  (рис. 6 у центрі), і стандартне –  $0^\circ$  (рис. 6 праворуч). З метою отримання достовірних результатів експериментів, розміри, кількість отворів і площа живого перерізу всіх решіт однакова.

Для визначення ефективності роботи дослідних решіт нами заплановано провести серію попередніх експериментів, для чого обрано найбільш впливові змінні фактори:

- питома подача  $q_b$ , кг/дм<sup>3</sup>год, якою визначається продуктивність сепаратора – один з основних показників технологічної ефективності;
- кут нахилу решета  $\alpha$ , що визначає швидкість повздовжнього переміщення;
- кут нахилу отворів решета  $\beta$  відносно повздовжньої вісі – дослідний параметр, що визначає ступінь інтенсивності внутрішньосферного переміщення часток у площині решета;
- частота коливань  $n$ , яка регулює ступінь інтенсивності внутрішньосферного переміщення часток у вертикальній площині.



Рисунок 5 – Лабораторний сепаратор PetkusWuthaK 294 A

*Джерело: розроблено авторами*



Рисунок 6 – Загальний вигляд експериментальних решіт

*Джерело: розроблено авторами*

Для проведення дослідів обрано післякомбайновий зерновий ворох озимої пшениці природної вологості. Для уникнення забивання отворів решета, підвищення однорідності експерименту і зменшення часу на проведення дослідів з зернового вороху вилучено «складні» частки шляхом багаторазової попередньої обробки і видалення зерен, що застрягли у отворах.

Регулювання частоти коливань будемо здійснювати за допомогою частотного перетворювача HE200-T3S-2R2G(рис. 7 ліворуч), тарування якого проводили за допомогою механічного годинникового тахометра ІО-30 (рис. 7 праворуч).

Результати тарування частотного перетворювача HE200-T3S-2R2G наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати тарування частотного перетворювача HE200-T3S-2R2G

№ досліджу	Частота струму $\nu$ , Гц	Частота коливань решета $n$ , колів/хв
1	50	500
2	45	450
3	40	400
4	35	340
5	30	275
6	25	235

Як видно з таблиці 1, частота струму і коливань решета мають пряму кореляцію в межах  $\nu=40\text{--}50$  Гц. При подальшому зменшенні частоти струму, приріст зниження частоти коливань решета дещо зростає.



Рисунок 7 – Регулювання і контроль частоти коливань

*Джерело: розроблено авторами*

Попередні дослідження запропонованого технічного рішення, окрім встановлення працездатності, повинні дати відповіді на наступні питання:

- виявити міру ефективності запропонованого удосконаленого решітного полотна із зигзагоподібним розташуванням отворів у порівнянні з базовим – прямолінійним;
- встановити раціональне значення кута нахилу осей отворів для забезпечення найбільшої ефективності сепарації;
- узгодити конструкційні і режимні параметри сепаратора.

**Висновки.** Провівши огляд засобів і способів підвищення ефективності процесу сепарації зерна на плоскорешітних коливальних сепараторах можна зробити наступні висновки:

- підвищення ефективності роботи плоскорешітних коливальних робочих органів можливо досягти лише шляхом інтенсифікації внутрішньосарових процесів у оброблюваному матеріалі;
- активізація внутрішньосарових процесів досягається двома основними шляхами – встановленням оптимальних режимів (за рахунок механізму приводу робочих органів) та шляхом застосування конструкційних активаторів, причому, напрями їх дії переважно не співпадають. Застосування режимного способу активізації інтенсифікує процеси здебільше у вертикальній площині, сприяючи сегрегації часток, використання ж конструкційних елементів дозволяє покращити умови у горизонтальній площині (у площині решета). При цьому застосування додаткових пристроїв ускладнює конструкцію;
- найбільш органічним способом інтенсифікації внутрішньосарових процесів у оброблюваному матеріалі є застосування плоских решіт із зигзагоподібним розташуванням продовгуватих отворів, що активізують їх взаємодію з частками зернової суміші у повздовжньому і поперечному напрямках, та узгодження конструкційних параметрів решета з режимними параметрами коливальних органів.

## Список літератури

1. Васильковський О.М., Мачок Ю.В. Аналіз способів інтенсифікації процесу сепарації зернових матеріалів на решетах. *Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання»*. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 127–129.
2. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С.53–59.
3. Лузан П.Г., Васильковський О.М. Нові конструкції решіткових сепараторів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 27. 1999. С. 123–127.
4. Тіщенко Л. М. Наукові основи процесів вібровідцентрового сепарування зернових сумішей : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Харків, 2004. 403 с.
5. Котов Б. І., Степаненко С. П., Калініченко Р. А. Теоретичне обґрунтування руху частинки зерна на вібропневморешеті при дії розпушуючих робочих органів. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2007. Вип. 115. С. 112–117.
6. Степаненко С. П. Підвищення ефективності вібропневматичних сепараторів зерна : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2008. - 21 с.
7. Степаненко С. П. Аналіз взаємодії пасивного розпушувача із віброзрідженим зерновим шаром. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України* : зб. наук. пр. Дослідницьке, 2005. Вип. 8 (22). Кн. 2. С. 290–297.
8. Степаненко С. П. Вплив параметрів пасивних розпушувачів на ефективність вібропневматичної сепарації зерна. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип.41. С. 153–160.



9. Решето Фадєєва: пат. 37527 Україна: МПК В07В 1/46, № u200809604; заявл. 22.07.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
10. Решето: пат 82093 Україна: МПК В 07 В 1/00, u2012 14385; заявл. 17.12.2012; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.
11. Решето з прямокутними отворами: пат. 55286 Україна: МПК В07В 1/00, А01В 76/00. № u 2010 06635; заявл. 31.05.10; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23.
12. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I. Theoretical research of separation process grain mixtures. *Tehnika Ta Energetika*. 2019. 10 (4). P.137–143.
13. Тіщенко Л.М., Ольшанський В.П., Харченко Ф.М., Харченко С.О. Моделювання динаміки зернової суміші при сепарації на рифленому решеті вібросепаратора. *Інженерія природокористування*. 2014. № 2 (2). С. 134–137.
14. Ольшанський В. П. Про рух неоднорідної дрібнозернистої суміші по плоскому віброрешету. *Інженерія переробних і харчових виробництв*. 2017. 2(1). С. 17–22.
15. Мороз С.М., Васильковський М.І., Васильковський О.М. Обґрунтування діаметрів стержнів пруткового решета. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту. Вип. 14. Кіровоград : КНТУ, 2004. С. 72–78.
16. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В. До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Вип. 50, 2020. Кропивницький: ЦНТУ. С. 52–58.
17. Васильковський О.М. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів відцентрового решітного сепаратора зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Кіровоград, 2001. 18 с.
18. Спосіб інтенсифікації сепарації насінневих сумішей на плоских решетах : пат 50874 Україна: МПК В 07 В 1/00; № u 2009 13 683; заявл. 28.12.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
19. Спосіб інтенсифікації сепарації насінневих сумішей на штапованих решетах: пат. 58042 Україна: МПК В 07 В 1/28; № u 2010 11 203; заявл. 20.09.2010; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 16.
20. Спосіб інтенсифікації сепарації насінневих сумішей на решетах з прямокутними отворами: пат. 84498 Україна: МПК В07В 1/00; u 2013 04 561; заявл. 11.04.2013; опубл. 25.10.2013, Бюл. № 20
21. Плоске решето: пат 154304 Україна: МПК 01F12/00, В07В13/02; u202302258; заявл. 12.05.2023, опубл. 01.11.2023, бюл. № 44.

## References

1. Vasytkovskyi, O.M., & Machok, Yu.V. (2018). Analysis of methods for intensification of the process of separation of grain materials on sieves. *Materialy V mizhnarodnoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii «Kramarovski chytannia»*. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 127–129. [in Ukrainian].
2. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., & Pastushenko, M. H. (2003). Trends in the development of designs of machines and equipment for cleaning and sorting grain materials. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s-h mashyn. Kirovohrad*, Vol. 33, 53–59 [in Ukrainian].
3. Luzan, P.H., & Vasytkovskyi, O.M. (1999). New designs of sieve separators. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, Vol. 27, 123–127 [in Ukrainian].
4. Tishchenko L. M. (2004). *Scientific foundations of the processes of vibrocentrifugal separation of grain mixtures*. Doctor's thesis . Kharkiv [in Ukrainian].
5. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., & Kalinichenko, R. A. (2007). Theoretical justification of the movement of grain particles on a vibropneumatic sieve under the action of loosening working bodies. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, Vol. 115, 112–117 [in Ukrainian].
6. Stepanenko, S. P. (2008). *Increasing the efficiency of vibropneumatic grain separators*. Extended abstract of doctor's thesis . Hlevakha [in Ukrainian].
7. Stepanenko, S. P. (2005). Analiz vzaємодії пасивного розшувача із віброзридженим зерновим шаром. [Analysis of the interaction of a passive loosener with a vibrofluidized grain layer.] *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy: Zb. nauk. pr. Doslidnytske*, Vol. 8 (22), part 2, 290–297 [in Ukrainian].
8. Stepanenko, S. P. (2006). The influence of passive openers parameters on the efficiency of vibropneumatic grain separation. *Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrotekhnichnoi akademii*. Vol. 41. 153–160. [in Ukrainian].

9. Fadeev sieve: pat. 37527 Ukraina: MPK B07B 1/46 № u200809604; zaiavl. 22.07.2008; opubl. 25.11.2008, Biul. № 22 [in Ukrainian].
10. Sieve: pat 82093 Ukraina: MPK V 07 V 1/00 u 2012 14385; zaiavl. 17.12.2012; opubl. 25.07.2013, Biul. № 14 [in Ukrainian].
11. Sieve with rectangular holes: pat. 55286 Ukraina: MPK V07V 1/00, A01V 76/00. № u 2010 06635; zaiavl. 31.05.10; opubl. 10.12.2010, Biul. №23. [in Ukrainian].
12. Stepanenko, S. P., & Kotov, B. I. (2019). Theoretical research of separation process grain mixtures. *Tehnika Ta Energetika*. Vol. 10 (4). 137–143. [in England].
13. Tishchenko, L.M., Olshanskyi, V.P., Kharchenko, F.M., & Kharchenko, S.O. (2014). Modeling the dynamics of a grain mixture during separation on a corrugated sieve of a vibrating separator. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*. Vol 2 (2). 134–137 [in Ukrainian].
14. Olshanskyi V. P. (2017). Pro rukh neodnorodnoi dribnozernystoi sumishi po ploskomu vibroreshetu. [On the movement of a heterogeneous fine-grained mixture on a flat vibrating sieve] *Inzheneriia pererobnykh i kharchovykh vyrobnystv*. 2(1). 17–22. [in Ukrainian].
15. Moroz, S.M., Vasytkovskyi, M.I., & Vasytkovskyi, O.M. (2004). Justification of the diameters of the rods of a bar sieve. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnystv, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu*, 14, 72–78 [in Ukrainian].
16. Vasytkovskyi, O.M., Leshchenko, S.M., Moroz, S.M., & Nesterenko, O.V. (2020). To create the concept of an "ideal" sieve for a grain separator. *Konstruiuvannia, vyrobnystvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn: zahal'noderzh.mizhvid.nauk.-tekhn. zb.* Vol. 50, 52–58 [in Ukrainian].
17. Vasytkovskyi O.M. (2001). *Design development and justification of the parameters of a centrifugal sieve grain separator*. Extended abstract of candidate's thesis. Kirovohrad [in Ukrainian].
18. Method of intensification of separation of seed mixtures on flat sieves: pat 50874 Ukraina: MPK V 07 V 1/00; № u 2009 13 683; zaiavl. 28.12.2009; opubl. 25.06.2010, Biul. № 12. [in Ukrainian].
19. Method of intensification of separation of seed mixtures on stamped sieves: pat. 58042 Ukraina: MPK V 07 V 1/28; № u 2010 11 203; zaiavl. 20.09.2010; opubl. 25.03.2011, Biul. № 16. [in Ukrainian].
20. Method of intensification of separation of seed mixtures on sieves with rectangular holes: pat. 84498 Ukraina: MPK V07V 1/00; u 2013 04 561; zaiavl. 11.04.2013; opubl. 25.10.2013, Biul. № 20. [in Ukrainian].
21. Flat sieve: pat 154304 Ukraina: MPK 01F12/00, B07B13/02; u202302258; zaiavl. 12.05.2023, opubl. 01.11.2023, biul. № 44. [in Ukrainian].

**Ihor Bazhan**, Engineer, **Oleksii Vasytkovskyi**, Prof., PhD tech. sci., **Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Amosov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Intensification of the Grain Separation Process on a Flat Oscillating Sieve with a Zigzag Arrangement of Holes**

Increasing the quantitative and qualitative performance of agricultural machinery is a pressing task for scientists conducting research in the field of agricultural engineering. This article is devoted to the analysis of methods and means of intensification of intralayer processes occurring in grain material during sieve separation in order to increase the efficiency of grain cleaning by size on flat-screen vibrating machines.

A review of technical solutions that ensure increased efficiency of sieve cleaning of grain materials on flat-screen vibrating separators was conducted. Analysis of technical solutions allowed to identify the physical bases of the appearance of the effect of increasing the indicators of technological efficiency of sieve processing of grain. It was established that an increase in separation efficiency can be achieved only by intensifying the processes of mutual movement (segregation) of particles inside the layer of material in the vertical and horizontal planes. It was assumed that the most effective is the activation of intralayer processes in the processed material, which is provided in two ways – by establishing the optimal kinematic mode of oscillations and the structural parameters of the sieve itself. A new, patented technical solution is presented – a sieve with a zigzag arrangement of holes and the main tasks and elements of the methodology of previous studies are formed.

Conclusions. Increasing the efficiency of the flat-screen vibrating working bodies can be achieved only by intensifying the intralayer processes in the processed material. Activating the intralayer processes is achieved in two main ways – by establishing optimal modes and by using structural activators, and their directions of action mostly do not coincide. The use of the regime activation method intensifies the processes mostly in the vertical plane, contributing to the segregation of particles, while the use of structural elements allows improving the conditions in the horizontal plane (in the plane of the sieve). At the same time, the use of additional devices complicates the design. The most organic way to intensify intralayer processes in the processed material is to use

flat sieves with a zigzag arrangement of oblong holes, which activate their interaction with particles of the grain mixture in the longitudinal and transverse directions and to match the structural parameters of the sieve with the operating parameters of the oscillations.

**grain, grain material, cleaning, sieve, separator, intensification, separation, efficiency, intralayer processes, activation, zigzag**

*Одержано (Received) 28.11.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 26.11.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024*

**УДК 631.3:66.081.3+537.226**

**DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.202-214>**

**Б.І. Котов**, проф., д-р техн. наук

*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», сел. Глеваха, Україна*

**В.Г. Мироненко**, проф., д-р техн. наук, **С.П. Степаненко**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України, сел. Глеваха, Україна*

**В.О. Грищенко**, доц., канд. техн. наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна*

**Ю.І. Панцир**, доц., канд. техн. наук, **І.Д. Герасимчук**, доц., канд. техн. наук

*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», сел. Глеваха, Україна*

*e-mail: [stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:stepanenko_s@ukr.net)*

## Математичне моделювання процесу сушіння матеріалу в барабанній сушарці, як об'єкта автоматичного керування

В даній роботі розроблено математичний опис сушіння в барабанних сушарках у вигляді системи диференціальних рівнянь, що моделює залежність температури та вологості матеріалу від параметрів сушильного агента та конструктивних характеристик. Створено спрощені моделі в MatlabSimulink. Запропоновано концепцію автоматичного керування з компенсацією перехресних зв'язків, що підвищує ефективність регулювання, стабільність роботи сушарки та оптимізує енергоспоживання.

**процес сушіння, моделювання, зернові матеріали, барабанна сушарка, автоматичне керування**

**Постановка проблеми.** Сушіння рослинних матеріалів є одним із важливих і енергоємним процесом післязбиральної обробки урожаю рослинних культур. Враховуючи широкий асортимент продукції, яка потребує зневоднення для тривалого зберігання, найбільш універсальними установками є прямоочні пневмобарабанні агрегати. Сама за універсальності стосовно різноманіття матеріалів, які можна висушувати, в обертовому барабані, при різній початковій вологості і засміченості, пневмобарабанні агрегати знайшли широке застосування і розповсюдження в різних країнах і галузях виробництва. Але не зважаючи на суттєві переваги і розповсюдження пневмобарабанних агрегатів, процеси регулювання

© Б.І. Котов, В.Г. Мироненко, С.П. Степаненко, В.О. Грищенко, Ю.І. Панцир, І.Д. Герасимчук, 2024