

УДК 631.362.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.111-116>

О.В. Нестеренко, доц., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук
Центальноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: nov_78@ukr.net

Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал

Одним із важливих показників ефективності роботи пневмосепаруючих каналів є рівномірність поля швидкостей повітряного потоку, яка в свою чергу залежить від розподілу зернового матеріалу в робочій зоні сепарації. В статті приведені результати розподілу зернового матеріалу при багаторівневому способі введення зерна, а також його вплив на засміченість легкими домішками по висоті пневмосепаруючого каналу. В результаті досліджень отримано залежності засміченості очищеного зерна легкими домішками від кількості задіяних рівнів живильного пристрою.

пневмосепаруючий канал (ПСК), засміченість, рівномірність розподілу, живильний пристрій, зерновий матеріал

Постановка проблеми. Зернова суміш, яка отримується з поля, має в своєму складі значну кількість легких і крупних домішок органічного та мінерального походження, насіння бур'янів та ін. При цьому, в багатьох випадках, вологість цих домішок в значній ступені перевищує вологість основного зерна та впливає на його подальшу обробку та зберігання [1].

Засміченість зернового матеріалу суттєво впливає на показники якості очищеного зерна, оскільки повітряному потоку потрібно транспортувати значно більший об'єм домішок в осадову камеру. Потрапляючи в пневмосепаруючий канал такі домішки розташовуються, як правило, в середніх або в нижніх шарах зернового струменя, що погіршує можливість їх виділення. І для того, щоб вони змогли отримати висхідну траєкторію, необхідно щоб розташування частинок зернової в робочій зоні ПСК було досить рівномірним і з певним інтервалом одна від одної.

Тому, для отримання високого ступеня очищення домішок, особливо при значній засміченості легкими домішками, необхідно забезпечити максимально рівномірне завантаження зернового матеріалу в ПСК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для створення більш рівномірного розподілу зернового матеріалу в робочій зоні ПСК використовують живильні пристрої. Вони забезпечують умови, при яких зерновий матеріал тонкошаровим направленим струменем подається в повітряний потік. Така подача дозволяє значно покращити взаємодію компонентів вхідного зернового матеріалу з повітрям, збільшуючи вірогідність їх виділення, а також мінімізувати контакт частинок зернової суміші, що суттєво підвищує ефективність роботи повітряного потоку [2]. Отже, досягнувши рівномірної подачі та розподілу зернового матеріалу в робочій зоні ПСК, можна отримати більш вирівняне поле швидкостей повітряного потоку та підвищити якість сепарації [3].

Існують декілька типів живильників, одними з найпоширеніших з яких є живильники активного типу та гравітаційні. Але основним недоліком всіх активних живильників, в тому числі аераційних, є необхідність додаткового енергоживлення, використання вентиляторів, електродвигунів, внаслідок чого підвищується енергоємність очищення та складність їх конструкції [4].

В деяких зерноочисних машинах в якості гравітаційного живильника застосовується регульований клапан і перед введенням в ПСК зерновий матеріал вільно падає поблизу отвору і, відбиваючись від клапана, потрапляють в канал з різними траєкторіями та швидкостями, створюючи меншу щільність та збільшуючи взаємодію частинок з повітряним потоком [5].

Застосування гравітаційного живильника решітного типу, на прикладі зерноочисної машини МПО-50 також значно підвищує рівномірність розподілу, завдяки чому важка фракція просипається крізь решето, при цьому крупні домішки вводяться в ПСК над основним зерном [6].

Відомі також багатоярусні живильні пристрої, які дозволяють вводити зерновий матеріал декількома ярусами та під різними кутами відносно напрямку повітряного потоку, що дає можливість рівномірно заповнити робочу зону по глибині ПСК [7, 8]. Але недоліками таких пневмосепараторів є вірогідність забивання та обмеження продуктивності кожного ярусу, оскільки при збільшенні загального питомого навантаження буде погіршуватись епюра швидкостей повітряного потоку та порушуватись умови розділення зернового матеріалу, що суттєво зменшить його ефективність.

На основі огляду та аналізу конструкцій живильників нами був запропонований живильний пристрій для багаторівневого введення зерна, застосування якого дозволяє забезпечити рівномірний розподіл зернового матеріалу в ПСК та вирівняти поле швидкостей повітряного потоку в робочій зоні сепарації [9]. Використання такого живильного пристрою дозволяє значно покращити якісні показники пневмосепарації, але при цьому існує вірогідність потрапляння легких домішок в верхні зернові шари, що може вплинути на повноту розділення очищеного зерна.

Постановка завдання. Метою даних досліджень є визначення впливу багаторівневого введення на вміст легких домішок в очищеному зерні по висоті ПСК, а також аналіз розподілу зернової суміші в робочій зоні сепарації.

Виклад основного матеріалу. Особливістю роботи пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу є те, що зернові потоки вводяться в ПСК паралельно один над одним, і відповідно, легкі домішки, з самого нижнього рівня введення повинні транспортуватись через всі вище розташовані зернові шари. При цьому вони мають пройти останній зерновий шар і отримати висхідну траєкторію до того, як досягнуть жалюзійної стінки ПСК.

Отже, для аналізу ступеня засміченості очищеного зерна по висоті ПСК та для підтвердження теоретичного аналізу [10] була розроблена експериментальна установка (рис. 1) та проведені наступні дослідження.

Експериментальна установка (рис. 1) складається з бункера 1, живильного пристрою 2, ПСК 3, жалюзійної стінки 4 та осадової камери 6. Жалюзійна стінка 4 з'єднана з пробовідбірниками очищеного зерна 5 за допомогою вивідних лотків 7.

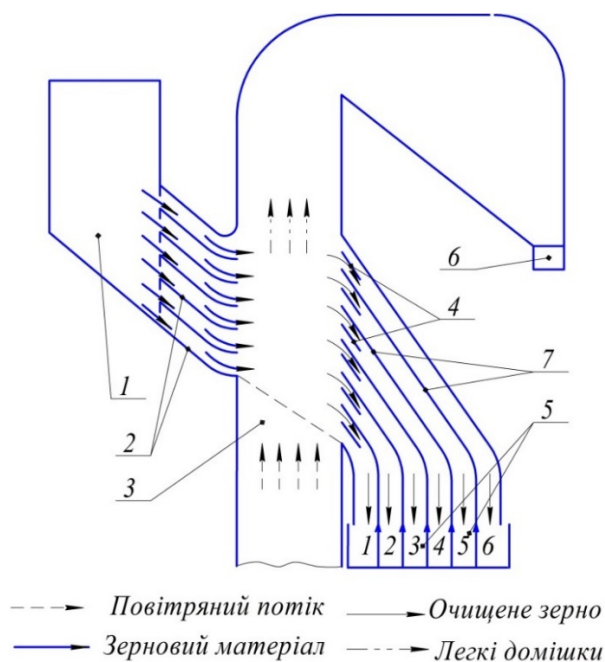


Рисунок 1 – Схема до визначення засміченості очищеного зерна по висоті ПСК
Джерело: розроблено авторами

Вивідні лотки встановлювали напроти відповідної напрямної поверхні живильника так, щоб отримана порція в кожному i -му пробовідбірнику приблизно відповідала питомому навантаженню i -го рівня живильника.

В дослідженнях використовували зерно пшениці масою 10 кг, яке штучно засмічувалось легкими домішками.

Кількість задіяних рівнів живильного пристрою встановлювали 2, 4 та 6 шт., при цьому, навантаження на кожен рівень було однаковим $q_{bi} = 350$ кг/дм·год. Швидкість повітряного потоку – $V_n = 7...8$ м/с, а швидкість введення зернового матеріалу, $v_g = 0,4...0,6$ м/с, відстань між рівнями – $h_{м.р.} = 0,03$ м.

Ступінь засміченості для кожного i -го пробовідбірника визначали за вмістом домішок в очищеному зерні:

$$\tau_i = \frac{G_i}{G_{заг}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де G_i – маса легких домішок в i -му пробовідбірнику, кг.;

$G_{заг}$ – загальна маса легких домішок в вихідному зерновому матеріалі, кг.

Рівномірність розподілу зернового матеріалу по висоті ПСК оцінювали коефіцієнтом варіації Δ , якій визначали за формулою:

$$\Delta = \frac{\sigma_c}{M_i} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (M_i - \bar{M})^2}{k-1}}$ – середньоквадратичне відхилення маси зерна, кг;

M_i – маса зерна в i -му пробовідбірнику, кг;

$\bar{M}$ – середньоарифметична маса зерна на рівні живильника, кг;

k – кількість пробовідбірників.

Результати визначення засміченості очищеного зерна по висоті ПСК (рис. 2) дозволяють зробити висновок, що вміст домішок в очищеному зерні збільшується по експоненціальному закону як для дворівневого введення так і для чотирьохрівневого та при шести задіяних рівнях.

На основі отриманих даних (рис. 2), можна констатувати, що по мірі збільшення кількості задіяних рівнів живильного пристрою відсотковий вміст легких домішок в очищеному зерні підвищується в кожному приймальнику очищеного зерна по висоті ПСК. При цьому, основна частина легких домішок, що потрапила в очищене зерно знаходиться в п'ятому та шостому приймальнику в незалежності від кількості задіяних рівнів.

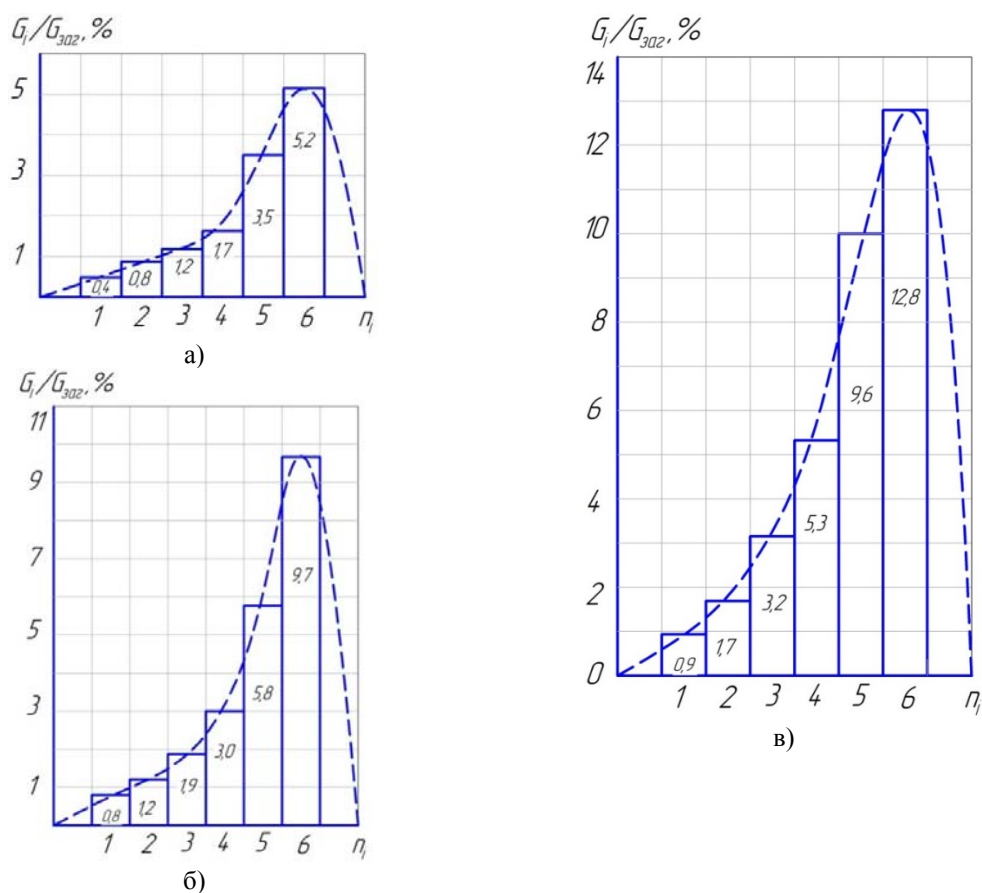
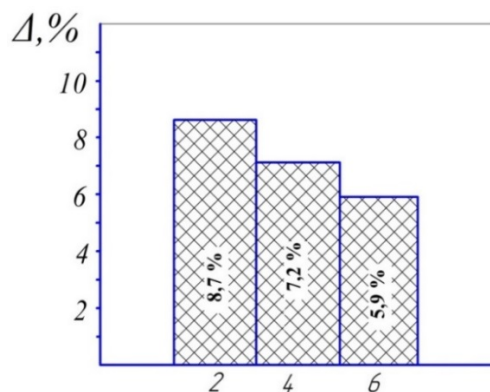


Рисунок 2 – Варіаційний розподіл вмісту легких домішок в очищеному зерні по висоті ПСК з питомим навантаженням $q_{bi} = 350 \text{ кг} \cdot \text{дм} / \text{год}$ при

Джерело: розроблено авторами

З графіків видно (рис. 3), що при задіюванні двох рівнів введення в 5 і 6 приймальник потрапило легких домішок 8,7% із 12,8 %, при чотирьохрівневому 15,5% із 22,4 %, при шести задіяних рівнях 24,8% із 33,5 %. Відповідно, повнота розділення при двох задіяних рівнях становить $\varepsilon = 87,2\%$ ($q_B = 700 \text{ кг} / \text{дм} \cdot \text{год}$), при чотирьох рівнях $\varepsilon = 77,6\%$ ($q_B = 1400 \text{ кг} / \text{дм} \cdot \text{год}$), а при шестирівневому введенні $\varepsilon = 65,5\%$ ($q_B = 2100 \text{ кг} / \text{дм} \cdot \text{год}$).

Аналіз графіка (рис. 2) дозволяє стверджувати, що рівномірність заповнення приймальників очищеного зерна підвищується зі збільшенням кількості задіяних рівнів живильного пристрою пневмосепаратора. Відповідно, чим більше задіяних рівнів живильника, тим рівномірніше зерновий матеріал розподіляється по висоті ПСК.



2, 4, 6 – кількість задіяних рівнів живильного пристрою

Рисунок 3 – Діаграма рівномірності розподілу зернового матеріалу по висоті ПСК
Джерело: розроблено авторами

Висновки. В результаті проведених досліджень визначено, що кількість задіяних рівнів введення живильного пристрою впливає на ступінь засміченості очищеного зерна, при цьому рівномірність розподілу зернового матеріалу покращується при збільшенні кількості рівнів. Зокрема, при задіюванні до 4 рівнів живильного пристрою при навантаженні $q_{bi} = 350$ кг/дм³·год на кожен рівень кількості легких домішок, що потрапляє в очищене зерно не більше 3% від їх загальної маси в вихідному матеріалі.

Список літератури

1. 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.*, 2003. Вип. 33. С. 53-59.
2. Ковриков И.Т., Тавилов И.Ш. Направления исследований и конструирования питателей для сепарирования зерна в вертикальном воздушном потоке. *Вестник ОГУ*. 2003. №7. С. 198-201.
3. Нестеренко О.В., Лещенко С.М., Петренко Д.І. Дослідження нерівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні зерна . *Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2015. Вип. 156. С. 35 – 42.
4. Нестеренко О.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / О.В Нестеренко, О.М Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2012. Вип. 25, Ч.1. С.49 – 53.
5. Проспект фирмы «Petkus». Машины предварительной и интенсивной очистки: К-527, К-526, К-560.
6. Машина предварительной очистки МПО-50С. Каталог продукции ОАО Главное специализированное конструкторское бюро (ГСКБ) "ЗЕРНООЧИСТКА". URL : <http://zernoочистka.ru> (дата звернення: 12.09.2021)
7. Ковриков И.Т., Тавилов И.Ш. Оптимизация конструкций устройств для ввода зерна в воздушных сепараторах . *Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективы развития пищевой промышленности России»*. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. С.18 – 21.
8. Саитов А.В., Фарафонов В.Г., Саитов В.Е. Повышение эффективности работы пневмосепарирующего канала . *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 6. С. 31 – 35.
9. Спосіб введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал повітряного сепаратора: пат. (11) 9586 А Україна: МКИ В 02 В 1/00 . № a200500209; заявл. 10.01.05; опубл. 17.10.2005. Бюл. №10.
10. Нестеренко О. В. Аналітичні дослідження контактного руху легких домішок у пневмосепаруючому каналі / О.В Нестеренко та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2017. Вип. 47, ч. 2. С. 185 – 191.

Referencis

1. Kotov, B.I. Stepanenko, S.P. & Pastushenko, M.H. (2003). Tendencies of development of machines' designs and equipment for cleaning and sorting of grain . *Design, manufacture and operation of*

- agricultural machinery: Nationwide Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Works. Kirovohrad, Issue 33, 53-59 [in Ukrainian].*
2. Kovrikov I.T. & Tavtilov I.Sh. (2003). Areas of research and design of feeders for grain separation in vertical air flow. *Vestnik OSU. №7. P. 198-201 [in Russian].*
 3. Nesterenko, O.V., Leshchenko, S.M. & Petrenko, D.I. (2015). Investigation of non-uniformity of air flow in the pneumatic separating channel at multilevel introduction of grain. *Bulletin of Kharkiv National Technical University named after Vasylenko. Technical sciences, Issue. 156, 35-42. [in Ukrainian].*
 4. Nesterenko, O.V., Vasylovskiy, O.M., Leshchenko, S.M. & Petrenko, D.I., Bohatyrov D.V. (2012). Prospective direction of intensification of air separation of grain. *Machines in Agricultural Production, Industrial Engineering, Automation: Collection of Scientific Works of Kirovohrad National Technical University, Issue 25; Part 1, 49-53 [in Ukrainian].*
 5. Brochure of "Petkus" company. Preliminary and intensive cleaning machines: K-527, K-526, K-560. [in Russian].
 6. Pre-cleaning machine MPO-50C. Product catalog of JSC Main Specialized Design Bureau "ZERNOOCHISTKA". URL: <http://zernoochistka.ru>. [in Russian].
 7. Kovrikov, I.T., Tavtilov, I. Sh. (2005). Optimization of designs of devices for input of grain in air separators. All-Russian scientific and practical conference "Prospects of development of food industry of Russia". Orenburg: IPK GOU OGU [in Russian].
 8. Saitov A.V., Farafonov V.G., Saitov V.E. (2015). Improving the efficiency of the pneumoseparating channel. *Modern science-intensive technologies, 6, 31-35. [in Russian].*
 9. Vasylovskiy M.I., Vasylovskiy O.M., Moroz S.M., Leshchenko S.M., Nesterenko O.V. The method of introducing grain into the pneumatic separating channel of the air separator. Pat. (11) 958A Ukraine, MKI B 02 B 1/00 (Ukraine). № a200500209; Application 10.01.05; Publ. 17.10.2005. Bull. №10 [in Ukrainian].
 10. O.V. Nesterenko, D.I. Petrenko, I.I. Pavlenko et al. (2017). Analytical studies of the contact motion of light impurities in the pneumatic separating channel. *Design, manufacture and operation of agricultural machinery: state interdepartmental scientific and technical collection of works, Issue. 47, Part 2, 185-191 [in Ukrainian].*

Olexandr Nesterenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olexiy Vasylovskiy**, Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Estimation of Uniformity of Distribution and Clogging of Grain at its Multilevel Introduction into the Pneumo-separating Channel

The uniformity of grain distribution in a pneumatic separation channel is an important factor and it significantly affects the quality of grain cleaning. Indeed, with uneven feeding, impurities entering the pneumatic separating channel, to a large extent, are located in the middle or lower layers of grain flow, which impairs the possibility of their release into the settling chamber.

Feeders are used to create a more uniform distribution of grain in the operating area of the pneumatic separating channel. They provide conditions under which grain material is fed into the air stream by a thin layer of directed jet. This feeding can significantly improve the interaction of the components of the input grain material with air, increasing the likelihood of their release, as well as minimize the contact of particles of the grain mixture, which significantly increases the efficiency of air flow.

Based on the review and analysis of feeder designs, we have proposed a feeder for multi-level grain introduction. The use of such a feeder can significantly improve the quality of pneumo-separation, but there is a possibility of light impurities in the upper grain layers, which can affect the completeness of the separation of the purified grain.

Experimental studies were conducted to determine the effect of multilevel introduction on the content of light impurities in the purified grain along the height of the pneumatic separation channel, as well as to analyze the distribution of grain mixture in the operating separation area.

As a result of the conducted research it is determined that the number of involved levels of introduction of the feeding device influences the degree of clogging of the cleared grain, thus, uniformity of distribution of grain improves at increase in quantity of levels. In particular, when using up to 4 levels of the feeder under load $q_{bi} = 350 \text{ kg/dm} \cdot \text{h}$ at each level, the amount of light impurities entering the purified grain is not more than 3% of their total weight in the source material.

pneumatic separation channel (PSC), clogging, uniformity of distribution, nutrient device, grain material

Одержано (Received) 15.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 04.11.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021