

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.84-93>**О.В. Козаченко**, проф., д-р техн. наук*Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна***Е.Б. Алієв**, проф., д-р техн. наук, ст. дослідник*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна**e-mail: aliev@meta.ua***Є. О. Піх**, здобувач науково ступеня доктора філософії*Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна*

## Рух насінневої суміші по гвинтовій поверхні живильника віброфрикційного сепаратора

Виконано фізико-математичне модулювання процесу руху насінневої суміші по обґрунтованій гвинтовій поверхні живильника віброфрикційного сепаратора. Визначена залежність сумарної площі перекриття розподілу компонентів по ширині гвинтової пластини від фракційного вмісту компонентів і швидкості подачі.

**віброфрикційний сепаратор, насіннева суміш, гвинтовий живильник, траєкторія руху, швидкість подачі насінневого матеріалу**

**Постановка проблеми.** Сучасні технології післязбирального обробітку насінневого вороху сільськогосподарських культур передбачають застосування широкого спектру ефективних технічних засобів, що забезпечують його розділення за фізико-механічними властивостями компонентів та одержання цільового насінневого матеріалу із заданими показниками якості [1, 2]. При цьому актуальними залишаються питання конструктивного удосконалення машин та наукове обґрунтування раціональних параметрів на основі сучасного математичного апарату для моделювання технологічних процесів сепарації насінневих сумішей. Вирішенню цієї проблеми присвячена значна кількість наукових робіт вітчизняних і зарубіжних вчених [3, 4, 5, 6, 7].

Важливим етапом технологічного процесу, що визначає його ефективність, слід вважати подачу вихідної насінневої суміші на робочі органи насіннеочисних машин. Для цього використовують живильні пристрої, що встановлюють в бункерах або безпосередньо в зоні робочих органів машин. Їх основне призначення полягає в забезпеченні неперервної і заданої рівномірної подачі вихідної суміші на робочі органи відповідного пристрою для наступної сепарації насіння за фізико-механічними властивостями компонентів [8, 9, 10].

Для віброфрикційних сепараторів, які застосовують у технологічних лініях післязбирального обробітку насіння, подача насінневої суміші має визначальний характер, що пов'язано із забезпеченням переміщення компонентів насінневих сумішей на робочих фрикційних поверхнях машин моношаром [11, 12]. При цьому важливим є раціональний вибір швидкості введення вихідного матеріалу та питомого навантаження на робочі поверхні сепаратора, оскільки при зменшенні швидкості введення зростає товщина потоку насіння, що має негативний вплив на ефективність сепарації та обмежує продуктивність процесу. Тому вивчення процесу попередньої сепарації насінневої суміші на гвинтовому живильнику із застосуванням математичного моделювання слід вважати актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою підвищення ефективності сепарації насінневих сумішей проводяться дослідження впливу параметрів сепараторів та характеристик вихідного матеріалу на процес їх розділення за обраними ознаками поділу. Зокрема, в [13] висвітлені питання руху зернового матеріалу по гравітаційній напрямній кривій живильного пристрою пневмосепаратора з метою визначення її раціональних параметрів при забезпеченні заданої швидкості введення зерна в канал. Авторами одержані експериментальні залежності, які дозволяють обґрунтувати основні параметри напрямної поверхні живильного пристрою. Математичний опис руху зернівок у складі компонентів зернового матеріалу по поверхні ступінчастого віброживильника при введенні в аспіраційний канал сепаратора розглянуто в [14]. Авторами обґрунтовано траєкторії руху зерен по робочій поверхні вібраційного живильника з різними розмірними характеристиками, надана оцінка абсолютної швидкості руху зернового матеріалу на ступінчастій поверхні живильника при введенні в аспіраційний канал сепаратора.

Аналіз досліджень процесу сепарації на віброфрикційних сепараторах при точковому завантаженні насінневого матеріалу на робочі поверхні виявив основний їх недолік – вони не забезпечують розосередження маси до рівня моношару в зоні подачі, що зумовлює взаємозахоплення та відхилення з належних траєкторій переміщення компонентів насінневого матеріалу та знижує ефективність процесу сепарації [15, 16]. Усунення цього недоліку досягається попереднього розділення компонентів насінневої суміші на обґрунтованій гвинтовій поверхні живильника віброфрикційного сепаратора [17, 18]. В [19] виконано чисельне моделювання процесу попередньої сепарації як окремих частинок насінневої суміші на гвинтовому живильнику та отримано візуалізацію процесу переміщення їх основних компонентів (насіння основної культури, насіння бур'янів і рослинних домішок) від прийнятих факторів досліджень (крок витка гвинтової пластини  $H_f$ , кут нахилу гвинтової пластини  $\alpha_f$ , радіус точки інжекції насіння  $r_f$ , кут повороту гвинтової пластини  $\theta_f$ ). За результатними розрахунку отримані рівняння регресії другого порядку залежності радіусу  $r_0$  від початку координат до точки перетину траєкторії руху компонентів із лінією, яка знаходиться під певним кутом  $\theta_f$  повороту гвинтової пластини, від факторів дослідження. В якості критерію оцінки прийнята умова розширення зони розподілу компонентів суміші, яка полягає в тому, що радіус для насіння основної культури  $r_n$  повинен бути найбільшим, а радіус для рослинних домішок  $r_d$  повинен бути найменшим. Вирішуючи математично задану умову методом ранжування функції і об'єднання у єдиний критерій отримані раціональні конструктивні параметри гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора:  $H_f = 0,192$  м,  $\alpha_f = 14,7^\circ$ ,  $r_f = 0,014$  м,  $\theta_f = 96,2^\circ$ . Отже є доцільним моделювання траєкторії руху потоку суміші компонентів по обґрунтованій гвинтовій пластині живильника віброфрикційного сепаратора.

**Постановка завдання.** Моделювання траєкторії руху потоку суміші компонентів по обґрунтованій гвинтовій пластині живильника віброфрикційного сепаратора.

**Виклад основного матеріалу.** Фізичні моделі чисельного моделювання обрані такі самі, як і в [19], на рис. 1 представлено конструктивно-технологічна схема (а) і 3D-модель (б) гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора. Чисельне моделювання проведено у програмному пакеті Simcenter Star-CCM+. Розрахункова схема моделювання наведена на рис. 2.

Фізико-механічних властивостей компонентів насінневої суміші прийняті згідно табл. 1, однак враховані не середні їх значення, а діапазони їх змін з урахування нормального розподілу. В якості факторів досліджень прийнято фракційний вміст

компонентів в суміші –  $\chi_n$ ,  $\chi_d$ ,  $\chi_b$  (табл. 1) і швидкість подачі суміші –  $Q$  (шт/с). При цьому повинна виконуватися умова:

$$\chi_n + \chi_d + \chi_b = 1. \quad (1)$$

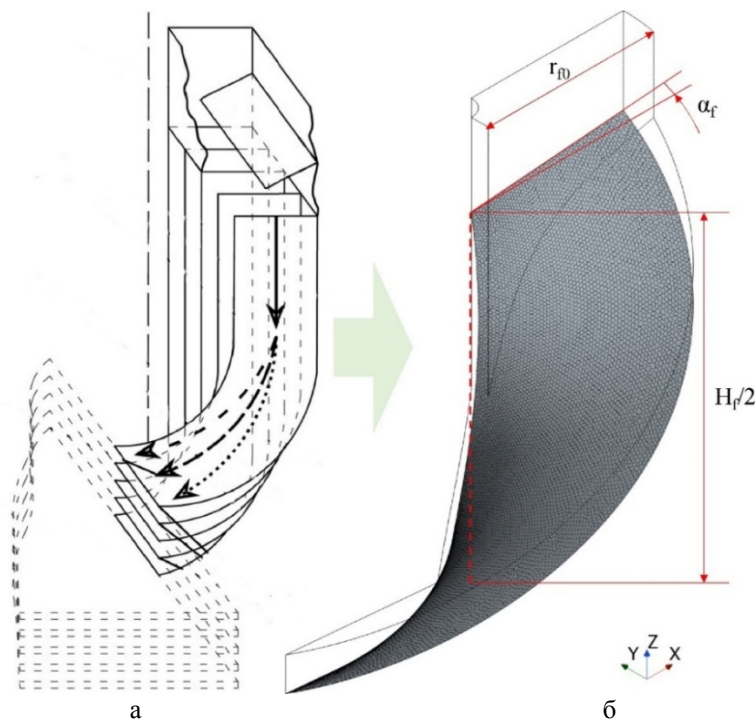


Рисунок 1 – Конструктивно-технологічна схема (а) і 3D-модель (б) гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора

Джерело: розроблено авторами

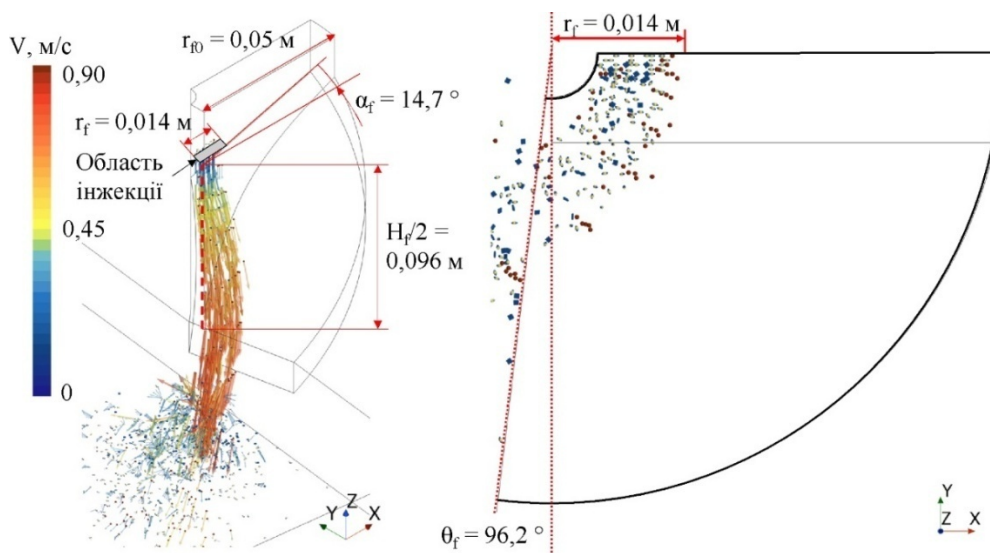


Рисунок 2 – Розрахункова схема чисельного моделювання гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора

Джерело: розроблено авторами

Рух компонентів суміші по гвинтовій пластині живильника супроводжується їх розділенням по ширині. Розподіл кожного компонента по ширині пластини може бути представлений нормальним розподілом Гауса, характерними величинами якого є середнє значення  $\mu$  і середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  (рис. 3).

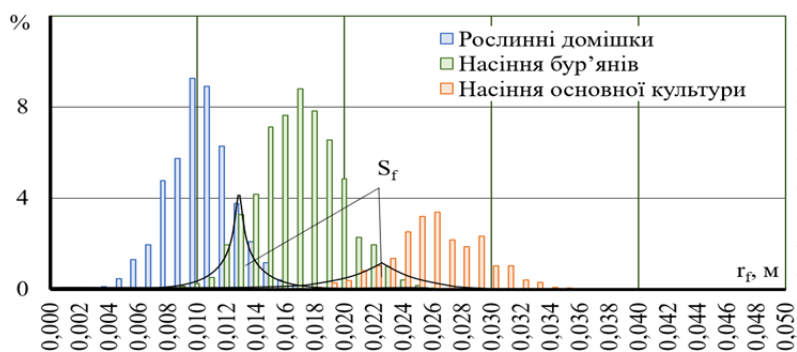


Рисунок 3 – Нормальний розподіл кожної фракції суміші по ширині гвинтової пластини живильника віброфрикційного сепаратора

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи гістограму рис. 3 видно, що зменшення сумарної площі  $S_f$  перекриття розподілу компонентів по ширині гвинтової пластини призводить до більш високої якості розділення. Тому в якості критерію виберемо саме  $S_f$  і розрахуємо його для кожного досліду згідно табл. 1.

Таблиця 1 – План дослідження чисельного моделювання гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора

| №  | Вміст насіння основної культури |              | Вміст рослинних домішок |              | Вміст насіння бур'янів |              |
|----|---------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|------------------------|--------------|
|    | $x_5$                           | $\chi_5, \%$ | $x_6$                   | $\chi_6, \%$ | $x_7$                  | $\chi_7, \%$ |
| 1  | -1                              | 0            | 0                       | 50           | 0                      | 50           |
| 2  | 0                               | 50           | -1                      | 0            | 0                      | 50           |
| 3  | 0                               | 50           | 0                       | 50           | -1                     | 0            |
| 4  | 0,2                             | 60           | -0,6                    | 20           | -0,6                   | 20           |
| 5  | -0,6                            | 20           | 0,2                     | 60           | -0,6                   | 20           |
| 6  | -0,6                            | 20           | -0,6                    | 20           | 0,2                    | 60           |
| 7  | -0,6                            | 20           | -0,4                    | 30           | 0                      | 50           |
| 8  | -0,6                            | 20           | 0                       | 50           | -0,4                   | 30           |
| 9  | -0,4                            | 30           | -0,6                    | 20           | 0                      | 50           |
| 10 | -0,4                            | 30           | 0                       | 50           | -0,6                   | 20           |
| 11 | 0                               | 50           | -0,4                    | 30           | -0,6                   | 20           |
| 12 | 0                               | 50           | -0,6                    | 20           | -0,4                   | 30           |
| 13 | -0,33                           | 33,3         | -0,33                   | 33,3         | -0,33                  | 33,4         |
| 14 | -1                              | 0            | -1                      | 0            | 1                      | 100          |
| 15 | 1                               | 100          | -1                      | 0            | -1                     | 0            |
| 16 | -1                              | 0            | 1                       | 100          | -1                     | 0            |
| 17 | -0,4                            | 30           | 0,4                     | 70           | -1                     | 0            |
| 18 | 0,4                             | 70           | -0,4                    | 30           | -1                     | 0            |
| 19 | -1                              | 0            | 0,4                     | 70           | -0,4                   | 30           |
| 20 | -1                              | 0            | -0,4                    | 30           | 0,4                    | 70           |
| 21 | 0,4                             | 70           | -1                      | 0            | -0,4                   | 30           |
| 22 | -0,4                            | 30           | -1                      | 0            | 0,4                    | 70           |

Джерело: розроблено авторами

Провівши аналіз отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Cloud, отримано рівняння регресії залежності  $S_f$  від фракційного вмісту компонентів в суміші  $\chi_n, \chi_d, \chi_b$  при швидкості подачі  $Q = 100$  шт./с:

$$S_f = 0,00245064 - 0,00220809 x_5 - 0,00100382 x_5^2 - 0,00156842 x_6 + 0,00348766 x_5 x_6 - 0,00170857 x_6^2 - 0,00252848 x_7 + 0,0029476 x_5 x_7 + 0,00275697 x_6 x_7 - 0,000159834 x_7^2. \quad (2)$$

Статистична обробка отриманого рівняння регресії (2) наведена в табл. 2. Для 22 дослідів і 95 % довірчої ймовірності табличний коефіцієнт Стьюдента (t-statistic) складає 2,09.

Таблиця 2 – Статистична обробка рівнянь регресії (2)

| Coef.           | Standard Error | t-statistic | P-Value    |
|-----------------|----------------|-------------|------------|
| a <sub>00</sub> | 0,000902671    | 2,71488     | 0,018785   |
| a <sub>50</sub> | 0,000779903    | -2,83124    | 0,015141   |
| a <sub>60</sub> | 0,000779903    | -2,01105    | 0,0673363  |
| a <sub>70</sub> | 0,000779986    | -3,2417     | 0,00706438 |
| a <sub>56</sub> | 0,00127175     | 2,74242     | 0,0178513  |
| a <sub>57</sub> | 0,00127171     | 2,31783     | 0,03892    |
| a <sub>67</sub> | 0,00127171     | 2,16793     | 0,0509833  |
| a <sub>55</sub> | 0,00159219     | -0,630466   | 0,540211   |
| a <sub>66</sub> | 0,00159219     | -1,0731     | 0,304334   |
| a <sub>77</sub> | 0,00159208     | -0,100393   | 0,92169    |

Джерело: розроблено авторами

Виключаючи незначущі коефіцієнти регресії, тобто ті, у яких розрахований коефіцієнт Стьюдента (t-statistic) менший за табличний, і розкодовуючи рівняння (2), остаточно маємо:

$$S_f = 0,0179479 - 0,000156261 \chi_b - 0,000172867 \chi_d + 1,39507 \cdot 10^{-6} \chi_b \chi_d - 0,000164661 \chi_n + 1,10279 \cdot 10^{-6} \chi_b \chi_n + 1,17904 \cdot 10^{-6} \chi_d \chi_n. \quad (3)$$

Графічна візуалізація залежностей (3) наведена на рис. 4 у вигляді тривимірної тернарної діаграми.

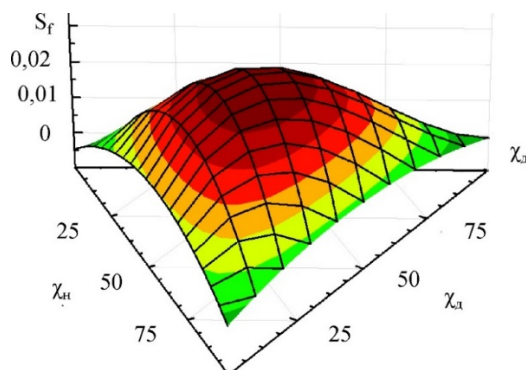


Рисунок 4 – Тернарна діаграма залежності сумарної площі  $S_f$  перекриття розподілу компонентів по ширині гвинтової пластини від фракційного вмісту компонентів в суміші  $\chi_n, \chi_d, \chi_b$

Джерело: розроблено авторами

Аналіз рис. 4 показує, що в середині тернарної діаграми спостерігається найбільше значення сумарної площі  $S_f$  на відміну від її країв. Це пов'язано із тим, що компоненти знаходяться в рівних співвідношеннях, що підвищує ймовірність їх взаємодії між собою при русі. Підвищення кількості взаємодій компонентів між собою значно змінює траєкторії їх руху на відміну від одиничного руху, який досліджувався на першому етапі моделювання.

Для обґрунтування раціонального значення швидкості подачі  $Q$  приймаємо фракційний вміст компонентів в суміші  $\chi_n = 33,3\%$ ,  $\chi_d = 33,3\%$ ,  $\chi_b = 33,4\%$ , при якому спостерігалась найбільша сумарна площа  $S_f$ . Швидкість подачі варіювали від 10 шт./с до 200 шт./с. В результаті чисельного моделювання отримана відповідна залежність (рис. 5):

$$S_f = -8 \cdot 10^{-8} Q^2 + 5 \cdot 10^{-5} Q + 0,0068, R^2 = 0,9757 \quad (4)$$

В якості критерію оцінки прийнята умова, що сумарна площа  $S_f$  повинна бути найменшою, а швидкість подачі  $Q$  – найбільшою. Математично її можна записати наступним чином:

$$S_f(Q) \rightarrow \min, \quad Q \rightarrow \max. \quad (5)$$

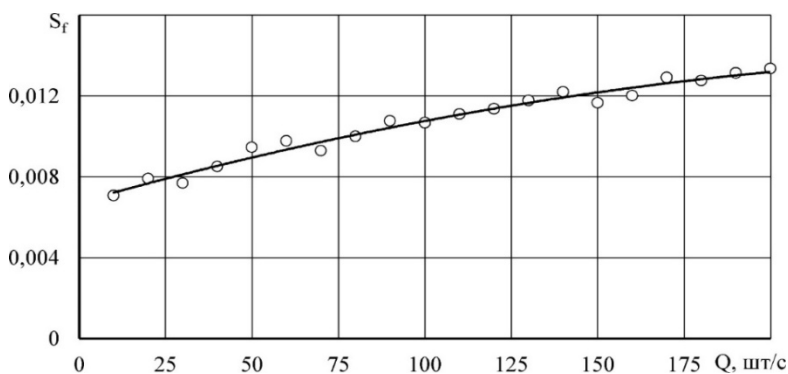


Рисунок 5 – Залежність сумарної площі  $S_f$  перекриття розподілу компонентів по ширині гвинтової пластини від швидкості подачі  $Q$

Джерело: розроблено авторами

Вираз (5) можна перетворити шляхом ранжування функції і об'єднання у єдиний критерій (рис. 6):

$$X = \frac{\max[S_f(Q)] - S_f(Q)}{\max[S_f(Q)] - \min[S_f(Q)]} \times \frac{Q - \min[Q]}{\max[Q] - \min[Q]} \rightarrow \max. \quad (6)$$

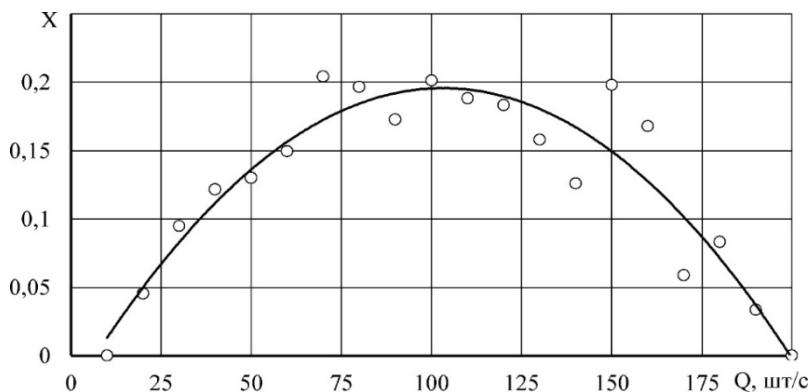


Рисунок 6 – Залежність критерію оптимізації  $X$  від факторів досліджень

Джерело: розроблено авторами

Вирішуючи рівняння (6) у програмному пакеті Wolfram Cloud, отримуємо наступне раціональне значення швидкості подачі  $Q = 103$  шт/с.

**Висновки.** За результатами моделювання траєкторії руху потоку суміші компонентів по обґрунтованій гвинтовій пластині живильника віброфрикційного сепаратора визначена залежність сумарної площі  $S_f$  перекриття розподілу компонентів по ширині гвинтової пластини від фракційного вмісту компонентів в суміші  $\chi_n, \chi_d, \chi_b$  і швидкості подачі  $Q$ . В якості критерію оцінки прийнята умова, що сумарна площа  $S_f$  повинна бути найменшою, а швидкість подачі  $Q$  – найбільшою. Вирішуючи математично задану умову методом ранжування функції і об'єднання у єдиний критерій, отримане раціональне значення швидкості подачі суміші  $Q = 103$  шт/с.

## Список літератури

1. Адамчук В.В., Прилуцький А. Н., Заришняк А. С., Степаненко С. П. Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. Вип. 99. С. 40–56.
2. Сухенко Ю., Сарана В. Аналіз зерноочисних сепараторів для сучасних елеваторів. *Пропозиція. Спецвипуск. Зерно: від поля до елеватора*. 2016. С. 16–20.
3. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
4. Ольшанський В.П., Бредихін В.В., Лук'яненко В.М., Півень М.В., Сліпченко М.В., Харченко С.О. Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2017. 802 с.
5. Степаненко С.П. Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів: автореф. дис. ...докт. техн. наук: 05.05.11, Глеваха, 2020. 48 с.
6. Харченко С.А. Концепція інтенсифікації процесів віброрешітного просіювання зернових сумішей: автореф. дис. ...докт. техн. наук: 05.05.11. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2017. 332 с.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Т. III, розділ 7. Харків: Око, 2006. 407 с.
8. Нестеренко О.В. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.05.11. Кропивницький, 2017. 24 с.
9. Кюрчев С.В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим агентом. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. Харків: ХНТУСГ, 2015. Вип. 156: Т. 1. С. 86–92.
10. Бойко А. І., Куликівський В. Л. Аналіз конструкцій гвинтових транспортерів та живильників зерноочисних машин. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2010. Вип. 93, Т. 1. С. 199–205.
11. Козаченко О.В., Алієв Е.Б., Бакум М.В., Михайлов А.Д., Кречот М.М. Обґрунтування ефективності використання віброфрикційного сепаратора при підготовці насінневого матеріалу гірчиці. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2021. 31. С. 142-151. DOI: 10.36710/іос-2021-31-13.
12. Козаченко О. В., Бакум М. В., Михайлов А. Д., Кречот М. М., Чала О. С., Завгородній О. І. Підвищення посівних властивостей насіння сафлору красильного на вібраційній насіннеочисній машині. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. Вип. 7 (38). Ч. 2. С. 83–90. DOI: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.83-90*
13. Нестеренко О. В., Васильковський О. М., Петренко Д. І., Артеменко Д. Ю. Дослідження режимних характеристик гравітаційної напямної кривої живильного пристрою. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 50. С. 20–27. DOI: 10.32515/2414-3820.2020.50.20-27

14. Котов Б.І., Степаненко С.П., Рудь А.В., Замрій М.А. Теоретичні дослідження процесу руху зернового матеріалу на поверхні ступінчастого віброживильника. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 2(105). С. 25–32. DOI:10.37128/2306-8744-2022-2-3.
15. Лук'яненко В. М., Никифоров А. О., Галич І. В., Лук'яненко О. В., Петрик А. П. Сепарація насінневої суміші сої на мехатронній мультиплощинній вібраційній насіннеочисній машині. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2018. Вип. 190. С. 273-278.
16. Nykyforov A., Antoshchenkov R., Halych I., Kis V., Polyansky P., Koshulko V., Tymchak D., Dombrovska A., Kilimnik I. Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. 2(1 (116), 24–34. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253657.
17. Спосіб подачі сипкого матеріалу на робочі поверхні фрикційного сепаратора: пат. 15488 Україна: МПК G01F13/00 /Козаченко О. В, Бакум М. В, Піх С. О., Завгородній О. І., Михайлов А. Д. Крекот М. М. Заявник Державний біотехнологічний університет, №U202301838; заявл. 19.04.2023; опубл. 18.10.2023. Бюл. № 42.
18. Віброфрикційний сепаратор: пат. 155168 Україна:МПК B07B13/00 / Козаченко О. В., Бакум М. В., Піх С. О., Завгородній О. І., Михайлов А. Д., Крекот М. М.; Заявник Державний біотехнологічний університет, №U202302842; заявл. 12.06.2023; опубл. 24.01.2024, Бюл. № 4.
19. Kozachenko O., Aliiev E, Pikh Y. Numerical simulation of the process of preliminary separation of the seed mixture on the screw feeder of the vibro-friction separator. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2024. 2 (125): 36–46. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-2-4.

## References

1. Adamchuk, V. V., Pryluts'kyi, A. N., Zaryshnyak, A. S., & Stepanenko, S. P. (2014). The concept of a comprehensive solution to the problem of post-harvest processing and storage of grain in agricultural enterprises of Ukraine. *Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva*. Hlevakha: NNTS «IMESH». Vyp. 99. S. 40–56. [in Ukrainian].
2. Sukhenko, Yu., & Sarana, V. (2016). Analysis of grain cleaning separators for modern elevators. *Propozytsiya. Spetsvyпуск. Zerno: vid polya do elevatora* [in Ukrainian].
3. Tishchenko, L. N. (2004). *Intensification of grain separation: monograph*. Kharkov: KHNTUSG im. P. Vasilenka [in Russian].
4. Aliiev, E. B. (2019). *Physico-mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph*. Zaporizhzhya: STATUS [in Ukrainian].
5. Ol'shans'kyi, V. P., Bredykhin, V. V., Luk'yanenko, V. M., Piven', M. V., Slipchenko, M. V., & Kharchenko, S. O. (2017). *Theory of grain separation: monograph*. Kharkiv: KHNTUSH im. P. Vasylenka [in Ukrainian].
6. Stepanenko, S. P. (2020). *Mechanical and technological substantiation of the processes and equipment of sieveless fractionation of grain materials*. Extended abstract of doctor's thesis. Hlevakha [in Ukrainian].
7. Kharchenko, S. A. (2017). *The concept of intensification of the processes of vibro-sieve sieving of grain mixtures*. Extended abstract of doctor's thesis. Kharkiv: KHNTUSH im. P. Vasylenka [in Ukrainian].
8. Zayika, P. M. (2006). *Teoriya sil's'kohospodars'kykh mashyn. Ochystka i sortuvannya nasynnya* [Theory of agricultural machines. Seed cleaning and sorting]. T. III, rozdil 7. Kharkiv: Oho. 407 s. [in Ukrainian].
9. Nesterenko, O. V. (2017). *Obgruntuvannya parametriv pnevmoseparuyuchoho kanalu z bahatorivnevym vvedennyam zernovoho materialu: avtoref. dys. ...kand. tekhn.nauk: 05.05.11* [Justification of the parameters of the pneumatic separating channel with multi-level introduction of grain material: autoref. thesis ... candidate technical sciences: 05.05.11]. Kropyvnyts'kyi. 24 s. [in Ukrainian].
10. Kyurchev, S. V., & Kolodiy O. S. (2015). Bahatokryterial'nyy analiz isnuyuchykh separatoriv nasynnya iz riznym robochym ahentom [Multi-criteria analysis of existing seed separators with different working agents]. *Mekhanizatsiya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva*. Kharkiv: KHNTUSH. Vyp. 156: t. 1. S. 86–92. [in Ukrainian].
11. Boyko, A. I., & Kulykivs'kyi, V. L. (2010). Analysis of designs of screw conveyors and feeders of grain cleaning machines. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. P. Vasylenka*. Issue 93, Vol. 1, 199–205. [in Ukrainian].



12. Kozachenko, O. V., Aliiev, E. B., Bakum, M. V., Mykhaylov, A. D., & Krekot, M. M. (2021). Justification of the effectiveness of using a vibro-friction separator in the preparation of mustard seed material. *Naukovo-tehnichnyy byuletyn' Instytutu oliynykh kul'tur NAAN*, 31, 142-151. [in Ukrainian]. DOI: 10.36710/ioc-2021-31-13.
13. Kozachenko, O. V., Bakum, M. V., Mykhaylov, A. D., Krekot, M. M., Chala, O. S., & Zavorodniy, O. I. (2023). Increasing the sowing properties of safflower seeds using a vibrating seed cleaning machine. *Tsentrал'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky*. Issue 7 (38), part. 2, 83–90. [in Ukrainian]. DOI: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.83-90.
14. Nesterenko, O. V., Vasylyk, O. M., Petrenko, D. I., & Artemenko, D. Yu. (2020). Study of mode characteristics of the gravity guide curve of the feeding device. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'noderzh.mizhvid.nauk.-tekhn. zb.* Issue 50, 20–27. [in Ukrainian]. DOI: 10.32515/2414-3820.2020.50.20-27
15. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., Rud', A. V. & Zamriy, M. A. (2022). Theoretical studies of the movement of grain material on the surface of a stepped vibratory feeder. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. № 2(105). S. 25–32. [in Ukrainian]. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-3.
16. Luk'yanenko, V. M., Nykyforov, A. O., Halych, I. V., Luk'yanenko, O. V., & Petryk, A. P. (2018). Separation of soybean seed mixture on a mechatronic multiplane vibrating seed cleaning machine. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil'skoho hospodarstva «Mekhanizatsiya sil'skohospodars'koho vyrobnytstva»*. Issue. 190, 273-278 [in Ukrainian].
17. Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., & Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2(1 (116), 24–34. [in Ukrainian]. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253657.
18. Kozachenko O. V, Bakum M. V, Pikh YE. O., Zavorodniy O. I., Mykhaylov A. D. Krekot M. M. Patent 15488 Ukrayina. G01F13/00. *The method of supplying loose material to the working surfaces of the friction separator*. Zayavnyk Derzhavnyy biotekhnolohichnyy universytet, U202301838; zayavl. 19.04.2023, opubl. 18.10.2023 r. Byul. № 42. [in Ukrainian].
19. Kozachenko, O. V., Bakum, M. V., Pikh, YE. O., Zavorodniy, O. I., Mykhaylov, A. D., Krekot, M. M.; Patent 155168 Ukrayina. B07B13/00. *Vibro-friction separator*. Zayavnyk Derzhavnyy biotekhnolohichnyy universytet, U202302842; zayavl. 12.06.2023, opubl. 24.01.2024 r. Byul. № 4. [in Ukrainian].
20. Kozachenko, O., Aliiev, E., & Pikh, Y. (2024). Numerical simulation of the process of preliminary separation of the seed mixture on the screw feeder of the vibro-friction separator. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 2 (125): 36–46. DOI: 10.37128/2520-6168-2024-2-4.

**Oleksiy Kozachenko**, Prof., DSc.

*State Biotechnology University, Kharkiv, Ukraine*

**Elchyn Aliiev**, Prof., DSc. Senior Researcher

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

**Yevhenii Pikh**, recipient of the scientific degree of Doctor of Philosophy

*State Biotechnology University, Kharkiv, Ukraine*

### **The Movement of the Seed Mixture Along the Screw Surface of the Feeder of the Vibro-Friction Separator**

The work involves physical and mathematical modeling of the process of seed mixture movement along a designed helical surface of a feeder and its preliminary separation based on the physical and mechanical properties of the components, followed by directing them to the working surfaces of a vibro-friction separator. This ensures the achievement of the main condition for the quality separation process on the friction surfaces of such machines: dispersing the seed mass to the level of a monolayer in the feeding zone, which reduces mutual entanglement and deviation from the intended trajectories of the seed material components, thereby enhancing the efficiency of the separation process. The aim of the theoretical research was to numerically model the trajectory of the component mixture flow along the designed helical plate of the vibro-friction separator feeder and to justify the seed material feeding speed. In the calculations, the physical and mechanical properties of the seed mixture components were considered as ranges of their average values, accounting for normal distribution. The fractional content of the components in the seed mixture –  $\chi_a$ ,  $\chi_d$ ,  $\chi_b$ , and the mixture feeding speed  $Q$  (units per second) were taken as the research factors. Based on the numerical modeling results of the component

mixture flow trajectory along the designed helical plate of the vibro-friction separator feeder, the dependence of the total overlap area  $S_f$  of the component distribution across the width of the helical plate on the fractional content of the components in the mixture  $\chi_n$ ,  $\chi_a$ ,  $\chi_b$ , and the feeding speed  $Q$  was determined. The evaluation criterion was that the total overlap area  $S_f$  should be minimal, and the feeding speed  $Q$  should be maximal. Solving the mathematically defined condition using the function ranking method and combining it into a single criterion allowed obtaining the optimal seed mixture feeding speed of  $Q = 103$  units per second.

**feed, pressing, compression, numerical modeling, laboratory research, mixing, pressure, parameters, physical and mechanical properties, efficiency**

*Одержано (Received) 16.10.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 25.11.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024*

УДК 631.362.32

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.93-105>

**П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук, **А.Є. Грінчук**, асп., **Р.В. Кісільов**, доц., канд. техн. наук, **О.Р. Лузан**, канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: luzanpg@gmail.com*

## Теоретичне обґрунтування параметрів пруткового самоочисного решета

У статті наведено теоретичне обґрунтування параметрів пруткового самоочисного решета, яке використовується для очищення зернових мас. Розглянуто основні конструктивні особливості решета, його принцип роботи та механізм самоочищення. Розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити оптимальні параметри конструкції залежно від властивостей зернового матеріалу, режимів роботи та вимог до якості очищення. Проведено аналіз впливу питомого навантаження, швидкості руху, діаметру прутків на повноту виділення компонентів зернової суміші різних розмірів та мінімізацію забивання решета. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкції зерноочисного обладнання, підвищення його продуктивності та зниження енерговитрат.

**пруткове решето, зернова маса, сепарація, зерноочисне обладнання, самоочисне решето, решітний сепаратор, сепарування зерна**

**Постановка проблеми.** У 2021 році Україна досягла історичних рекордів у сільському господарстві, зібравши понад 106 млн тонн зернових, зернобобових та олійних культур, що значно перевищило попередні прогнози. Це досягнення стало абсолютним максимумом за весь період незалежності України, зокрема, було отримано понад 84 млн тонн зернових та зернобобових, а також 22,6 млн тонн олійних культур. Серед зернових культур найбільше зібрано пшениці – 32,4 млн тонн, кукурудзи – 40 млн тонн і ячменю – 10 млн тонн. Крім того, урожай гречки склав 110 тис. тонн, проса – 191 тис. тонн, гороху – 581,5 тис. тонн. У сегменті олійних культур найбільші показники були у соняшника – 16,3 млн тонн, сої – 3,4 млн тонн, а ріпаку – 2,9 млн тонн [1–3].