

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3990X-2025-37-1-192>

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ПРОСА НА ГРАВІТАЦІЙНОМУ ФРИКЦІЙНОМУ СЕПАРАТОРІ**

**О.В. Богомолов, В.М. Михайлов, О.О. Богомолов, В.О. Панов**

*Установлено, що більшість засмічувачів купи проса можна виділити на насіннеочисних машинах, у яких установлені решета з прямокутними та круглими отворами, але насіння курячого проса та мишію можна відокремити тільки частково. Це важковідокремлюване насіння бур'янів можна виділити на гравітаційному фрикційному сепараторі. Наведено результати експериментальних досліджень впливу кутів нахилу деки та живильника, а також подачі матеріалу на вихід очищених фракцій фрикційного сепаратора насіння проса та встановлено раціональні параметри його роботи.*

**Ключові слова:** насіння проса, сепарація, процес, фрикційний сепаратор, раціональні параметри.

## **STUDY OF PARAMETERS OF THE SEPARATION PROCESS OF MILLET SEEDS ON A GRAVITY FRICTION SEPARATOR**

**O. Bogomolov, V. Mikhailov, O. Bogomolov, V. Panov**

*The results of the analysis of the physical and mechanical properties of millet seeds and seeds of littering the heap after its collection are presented. It was found that most littering can be separated on seed cleaning machines, which are equipped with sieves with rectangular and round holes, but chickweed and mouseweed seeds can be separated only partially, so the results of the research are undoubtedly relevant. For cleaning the heap, general-purpose separators with pneumatic-sieve-trier working bodies are mainly used. Most littering and impurities that differ from millet seeds in size and aerodynamic properties are separated on such separators, but the seeds of difficult-to-separate weeds chickweed and mouseweed are close in size and aerodynamic properties to millet seeds. Therefore, it is impossible to separate them on these machines without significant costs of the main crop as waste. The purpose of the study is to determine the rational parameters of the process of separation of millet seeds on a gravitational friction separator using active planning of the experiment and conducting a graph-analytical analysis of the results obtained. Materials and methods of research. The article applies theoretical and computational-experimental methods based on the provisions of mathematical statistics, using the Compass 3D and MathCad program packages and the methodology for planning a multifactor experiment with conducting a graph-*

*analytical analysis. Millet seeds of the 2023 harvest littered with weed seeds were taken as the material. To clean the millet heap from difficult-to-separate impurities, a simple design of a friction separator with a mixture feed perpendicularly inclined separating deck installed at an angle to the horizon by an inclined feeder. The results of experimental studies of the influence of the angles of inclination of the deck and feeder, as well as the material supply on the output of purified fractions of the friction separator of millet seeds, are presented, and the rational parameters of its operation are determined using active planning of a multifactor experiment, which is noted in the conclusions of the work.*

**Keywords:** millet seeds, separation, process, friction separator, rational parameters.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Просо є однією з найпоширеніших круп'яних культур. Посівні площі цієї культури у світі займають четверте місце серед основних культур. У багатьох країнах за минулі роки виробництво проса значно збільшилось, а в Україні зменшилось майже вдвічі, й зараз ця культура знаходиться на другорядних позиціях в сівозміні зернових, поступаючись пшениці, кукурудзі, житу, ячменю та іншим культурам. Проте в передвоєнні роки валовий збір проса був достатньо стабільний, у 2019–2020 роках він становив близько 240 тис. т. У 2021 році він скоротився до 191 тис. т, в основному через скорочення площ під посіви, у 2022 році валовий збір становив всього близько 101,8 тис. т теж через скорочення посівних площ, пов'язане в першу чергу з воєнними діями. Проте вже у 2023 році посівні площі проса відновились до довоєнного 2021 року, вдалось підняти і валовий збір до 180,2 тис. т [1, 2].

Просо – рослина теплолюбна, насіння його починає проростати при температурі 8–10°C, а при зниженні температури нижче мінус 3°C воно гине. Після появи сходів протягом 20–25 діб просо росте повільно і легко пригнічується бур'янами, боротьбу з якими треба починати з очищення посівного матеріалу [3]. Посіви проса засмічуються багатьма бур'янами, основні з них це мишій сизий, куряче просо, мар біла, березка тощо.

Останнім часом у зв'язку зі зниженням культури землеробства з різних причин збільшилася засміченість посівів проса бур'янами, насіння яких під час збирання врожаю потрапляє в купу з насінням проса. Потрапляє в купу проса і велика кількість органічних та мінеральних домішок.

Для очищення купи застосовують в основному сепаратори загального призначення, з пневмо-решетно-трієрними робочими органами [4, 10]. Більшість засмічувачів та домішок, які відрізняються від насіння проса розмірами та аеродинамічними властивостями,

відсепаровуються на таких сепараторах, але насіння важковідокремлених бур'янів курячого проса та мишію близькі за розмірами й аеродинамічними властивостями до насіння проса. Тож виділити їх на цих машинах неможливо без значних витрат основної культури у відході [2; 4, с. 110–118].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що насіння цих бур'янів відрізняється від насіння проса пружними властивостями, формою та коефіцієнтами тертя [1, 2]. У роботі [9, с. 132–143] показано можливість очищення насіння проса від курячого проса та мишію за комплексною ознакою фізико-механічних властивостей, коефіцієнтів тертя та відновлення швидкості під час удару граничними кутами підйому на вібраційних сепараторах із фрикційними робочими поверхнями. Такі сепаратори складні за конструкцією, мають багато регулювань, продуктивність їх невисока, питомі енерговитрати значні, тому вони розповсюджені тільки в дослідних зразках. Хороших результатів очищення насіння проса від важковідокремлених бур'янів можна досягти на гравітаційних ударних сепараторах із незначними втратами основної культури у відході [4, с. 110–118]. Кращі результати при цьому досягаються при відділенні насіння курячого проса. Для доочищення насіння купи від залишкового насіння мишію нами запропоновано найпростішу конструкцію гравітаційного фрикційного сепаратора з подачею насіння на фрикційну похилу поверхню перпендикулярно лінії найбільшого скату за допомогою похилого живильника.

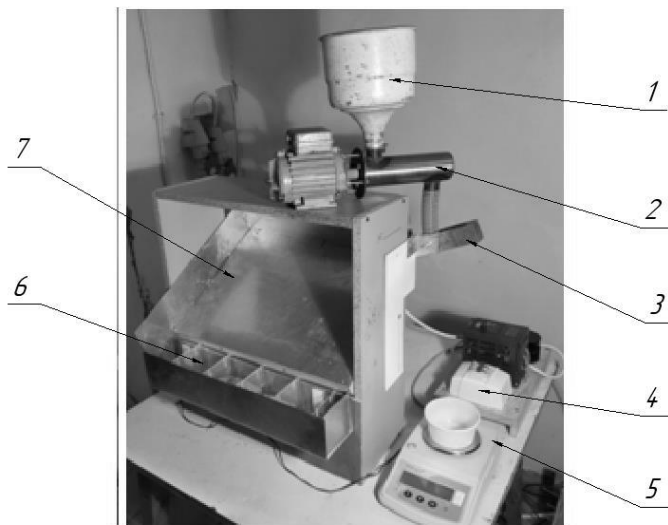
**Мета статті** – визначити раціональні параметри процесу сепарації насіння проса на гравітаційному фрикційному сепараторі за допомогою активного планування експерименту та проведення графоаналітичного аналізу отриманих результатів.

**Матеріали і методи.** У статті застосовані теоретичні та розрахунково-експериментальні методи на базі положень математичної статистики з використанням пакетів програм Компас 3D та MathCad і методики планування багатофакторного експерименту з проведенням графоаналітичного аналізу. Як матеріал узято насіння проса врожаю 2023 року, засмічене насінням бур'янів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження процесу сепарації насіння проса за фрикційними властивостями було виготовлено експериментальну установку, загальний вигляд якої представлено на рис. 1. Установка має регулювання кута нахилу  $\alpha$  деки, кута нахилу  $\beta$  живильника і подачі  $Q$  вихідного матеріалу. З використанням цієї установки були проведені експериментальні дослідження встановлення впливу кута деки  $\alpha$ , подачі матеріалу  $Q$  і кута

нахилу живильника, що подає на масу  $M_3$  виходу проса в лотку №3 і масу  $M_4$  виходу проса в лотку №5. Для цього було використано некомпозиційний план Бокса–Бенкіна другого порядку для трьох чинників. Для визначення факторів, що найбільше впливають на критерій оптимізації, застосовано метод апріорного ранжування [11]. Верхній та нижній рівні факторів були призначені з конструктивних міркувань та за результатами теоретичних досліджень.

Під час планування експериментальних досліджень задавались такими параметрами: надійність результатів експериментів – 0,95; допустима похибка  $\varepsilon = \pm\sigma$ ; число повторювань – 3. Для усунення помилок використовували критерій Стюдента.



**Рис. 1.** Загальний вигляд експериментальної установки:

- 1 – завантажувальний бункер живильника; 2 – живильник; 3 – лоток;
- 4 – пульт управління; 5 – ваги ТВЕ-0,6; 6 – ємності для збирання зерна;
- 7 – дека, що сепарує

Експерименти проводились у наступній послідовності. Зерно завантажували в бункер 1. Подачу зерна регулювали шляхом зміни обертів на валу живильника за допомогою частотного перетворювача 4 і направляли в лоток і далі на деку. Час проведення кожного досліді фіксували секундоміром. Зважування вмісту ємностей здійснювали

вагами ТВЕ-0,6.

Матрицю плану та результати експериментів наведено в табл. 1.

У цій таблиці  $x_1$  – кут нахилу деки ( $x_1 = -1$  ( $30^\circ$ ),  $x_1 = 0$  ( $35^\circ$ ),  $x_1 = +1$  ( $40^\circ$ );  $x_2$  – подача матеріалу  $Q$  ( $x_2 = -1$  ( $75$  г/хв.),  $x_2 = 0$  ( $150$  г/хв.),  $x_2 = +1$  ( $225$  г/хв)),  $x_3$  – кут нахилу живильника  $\beta$  ( $x_3 = -1$  ( $25^\circ$ ),  $x_3 = 0$  ( $35^\circ$ ),  $x_3 = +1$  ( $45^\circ$ ))

Таблиця 1

**Матриця плану Бокса–Бенкіна**

№ з/П	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$y_3$	$y_4$
1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	19,52	
2	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	18,22	
3	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	19,16	
4	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	16,72	
5	1	0	1	0	1	0	1	0	1	17,78	
6	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	17,44	
7	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	16,29	
8	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	16,76	
9	0	1	1	0	0	1	0	1	1	21,07	
10	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	21,00	
11	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	16,61	
12	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	16,56	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,86	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,36	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,68	

Кодування рівнів факторів проводилось за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon_i}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – кодоване значення фактора;

$X_i$  – натуральне значення фактора;

$X_{0i}$  – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

$\varepsilon_i$  – натуральне значення інтервалу варіювання відповідного фактора.

Як параметр оптимізації у були обрані маса проса  $M_3$  в лотку №3 і маса проса  $M_4$  в лотку №4.

Помилка експерименту  $S_y$  та дисперсія відтворюваності  $S_{y^2}$  знаходяться за результатами трьох дослідів на нульовому рівні факторів

табл. 1 (досліди 13–15). Вони відповідно становлять  $S_y = 0,0981$  та  $S_{y^2} = 0,0096$ .

У результаті проведених розрахунків було отримано такі коефіцієнти рівняння:

– для параметра оптимізації  $M_3$ :

$$b_0 = 21,63; b_1 = 0,4504; b_2 = -0,1270; b_3 = 0,1032; b_{12} = 0,4632;$$

$$b_{13} = 0,5436; b_{23} = 2,2230; b_{11} = -2,4878; b_{22} = -0,7427; b_{33} = -2,0803;$$

– для параметра оптимізації  $M_4$ :

$$b_0 = 14,92; b_1 = 0,15; b_2 = 0,04; b_3 = -0,1; b_{12} = 0,23; b_{13} = 0,11; b_{23} = 1,29;$$

$$b_{11} = -1,92; b_{22} = -0,4; b_{33} = -1,67.$$

Значення коефіцієнтів визначається за формулою:

$$b_i = \pm t \cdot S_{b_i} \quad (2)$$

де  $t$  – табличні значення критерію Стьюдента при заданому рівні довіри (значущості)  $\alpha$  і ступеня свободи  $f$ ;

$S$  – помилка відтворюваності ( $t = 4,3$  при  $\alpha = 0,05$ );

$S_{b_i}$  – помилка визначення коефіцієнтів  $b_i$ , яка визначається за формулою:

$$S_{b_i} = S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} \quad (3)$$

де  $S_{b_i}^2$  – дисперсія щодо коефіцієнтів [11].

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів для параметра оптимізації  $M_3$**

	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$b_i$	21,6348	0,4504	-0,1270	0,1032	0,4632	0,5436	2,2230	-2,4878	-0,7427	-2,0803
$S_{b_i}$	0,2988		0,1829			0,2587			0,3423	
$b^*$	21,6348	0,4504	0,0000	0,0000	0,4632	0,5436	2,2230	2,4878	0,7427	2,0803

Таблиця 3

**Значення коефіцієнтів параметра оптимізації  $M_4$**

	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$b_i$	14,923	0,1505	-0,0401	-0,0957	0,2342	0,1115	1,2859	-1,9155	-0,3995	-1,6661
$S_{b_i}$	0,1279		0,0783			0,1108			0,1466	
$b^*$	14,9230	0,1505	0,0000	-0,0957	0,2342	0,1115	1,2859	-1,9155	-0,3995	-1,6661

У результаті розрахунків коефіцієнти  $b_2$ ,  $b_3$  визнані незначними у рівнянні оптимізації  $y_3$  та коефіцієнти  $b_2$ ,  $b_3$  у рівнянні оптимізації  $y_4$ .

Рівняння мають такий вигляд:

$$y_3 = 21,63 + 0,45x_1 + 0,46x_1x_2 + 0,54x_1x_3 + 2,22x_2x_3 - 2,49x_1^2 - 0,74x_2^2 - 2,08x_3^2; \quad (3)$$

$$y_4 = 14,92 + 0,15x_1 - 0,10x_3 + 0,23x_1x_2 + 0,11x_1x_3 + 1,29x_2x_3 - 1,92x_1^2 - 0,4x_2^2 - 1,67x_3^2 \quad (4)$$

Перевірку адекватності цих рівнянь здійснювали за критерієм Фішера, результати перевірки наведено в табл. 4.

Таблиця 4

**Перевірка адекватності рівнянь за критерієм Фішера**

Функція оптимізації	Табличне значення критерію Фішера F табл.	Розрахункове значення критерію Фішера F розр.
$y_3$	3,8625	0,3014
$y_4$	3,8625	0,6589

У результаті отриманих розрахунків  $F_{\text{табл.}} > F_{\text{розр.}}$ . Отже, рівняння (3) та (4) адекватні (табл. 4). Аналіз рівнянь (3) та (4) показує, що найбільший вплив збільшення маси  $M_3$  і  $M_4$  надає кут нахилу деки  $\alpha$ . Для розрахунку значень факторів, що забезпечують максимальне завантаження лотків №3 та №4, складено системи диференціальних рівнянь та проведено їх канонічне перетворення.

Результати канонічних перетворень рівнянь регресії для двовимірних зв'язків наведено в табл. 5.

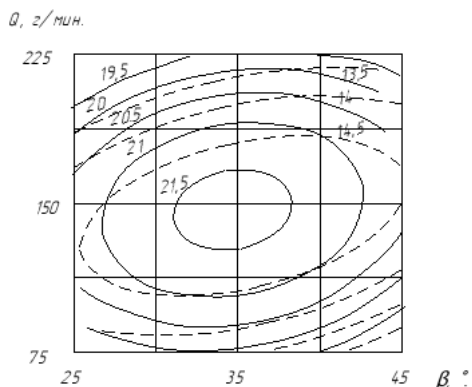
Таблиця 5

**Результати канонічних перетворень рівнянь регресії для двовимірних перетинів поверхонь відгуків**

	Не відомі	B1	B2	Xs1	Xs2	Xs3	Y	$\alpha$ , град Дека	Q, г/хв.	$\beta$ , град Живильник	a
$M_3, \Gamma$	$x_1=0$	-0,92	-1,91		0,00	0,00	21,63	-	150,00	25,00	9
	$x_2=0$	-1,96	-2,35	-0,19		0,05	21,45	34,04	-	25,25	39
	$x_3=0$	-2,42	-0,81	-0,20	0,13		21,41	33,98	159,58	-	22
$M_4, \Gamma$	$x_1=0$	-0,38	-1,69		-0,12	0,04	14,90		140,66	25,19	13
	$x_2=0$	-1,73	-1,88	-0,08		-0,05	14,90	34,62		24,74	21
	$x_3=0$	-0,52	-1,80	-0,08	0,05		14,89	34,58	153,72		21

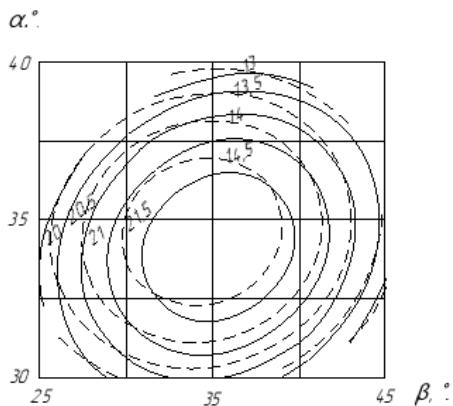
Використовуючи дані розрахунку з табл. 5, побудували двовимірні перерізи поверхонь відгуку: маса в лотку №3 і маса в лотку №4.

Для побудови графіків використовували програми MathCad v14 та Компас 3D V15. Графіки представлені на рис. 2–4.



**Рис. 2.** Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив кута лотка  $\beta$  (фактор  $x_3$ ) та подачі зерна  $Q$  г/хв (фактор  $x_2$ ) на масу зерна в лотку №3 (суцільна лінія) та масу зерна в лотку №4 (пунктирна лінія)

Із графіків на рис. 2 випливає, що максимальне значення маси зерна в лотку №3 і лотку №4 має місце при значенні кута живильника  $\beta = 35^\circ$  і подачі зерна  $Q = 150$  г/хв. На підставі цього рисунка можна також зробити висновок, що допустимі значення аналізованих факторів (при допустимому значенні маси №3 і маси №4) можуть бути в межах: кута живильника від  $32^\circ$  до  $38^\circ$  і подача зерна  $Q$  від 130 до 169 г/хв.

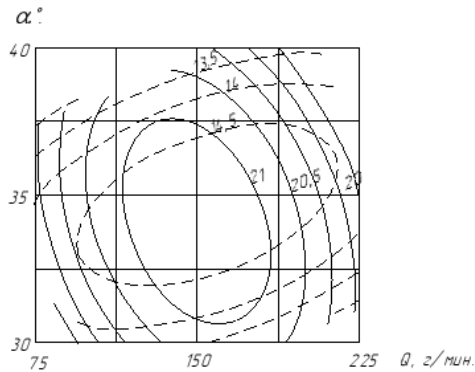


**Рис. 3.** Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив кута живильника  $\beta$  (фактор  $x_3$ ) та кута деки  $\alpha$  (фактор  $x_1$ ) на масу зерна

**в лотку №3 (суцільна лінія) та масу зерна в лотку №4 (пунктирна лінія)**

Із графіків на рис. 3 випливає, що максимальне значення маси зерна в лотках №3 і №4 має місце при значенні кута живильника  $\beta = 35^\circ$  і кута деки  $\alpha = 34^\circ$ .

На підставі рисунка 3 можна також зробити висновок, що допустимі значення факторів, що розглядаються (при допустимому значенні маси №3 і маси №4) можуть знаходитися в межах: кут живильника  $\beta$  від  $32^\circ$  до  $38^\circ$  і кут деки  $\alpha$  від  $32^\circ$  до  $37^\circ$ .



**Рис. 4. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив подачі зерна  $Q$  г/хв (фактор  $x_2$ ) та кута деки  $\alpha$  (фактор  $x_1$ ) на масу зерна в лотку №3 (суцільна лінія) та масу зерна в лотку №4 (пунктирна лінія)**

Із графіків на рис. 4 випливає, що максимальне значення маси зерна в лотках №3 та №4 має місце при значенні подачі зерна  $Q = 159,6$  г/хв та кута деки  $\alpha = 34^\circ$ . Із цього рисунка можна також зробити висновок, що допустимі значення аналізованих чинників (при допустимому значенні маси №3 і маси №4) можуть бути в межах: подача зерна  $Q$  від 112 до 167 г/хв і кут деки від  $32^\circ$  до  $37^\circ$ .

**Висновки.** За результатами аналізу двовимірних перерізів поверхонь відгуку прийнято компромісне рішення та визначено раціональні значення досліджуваних факторів за умови досягнення максимальної маси зерна в ємностях №3 і №4, а саме кут деки  $\alpha = 34,2^\circ$  (фактор  $x_1$ ), подача  $Q=160$  г/хв (фактор  $x_2$ ), кут живильника дорівнює  $32,6^\circ$  (фактор  $x_3$ ).

**Список джерел інформації / References**

1. Богомолів О.О. Сепарація насіння пруса за дальністю відскоку після

удару об похилу відбивну поверхню. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі*. 2024. Вип. 1(35).

Bohomolov, O.O. (2024). Separatsiya nasinnya prosa za dalnistyu vidskoku pislya udaru ob pokhyly vidbyvnu poverkhnyu. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva ta torhivli*, 1(35).

2. Богомолов О.В., Михайлов В.М., Богомолов О.О. та ін. Визначення раціональних параметрів сепарації насіння проса на гравітаційному ударному сепараторі. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі*. 2024. Вип. 1(35).

Bohomolov, O.V., Mykhaylov, V.M., Bohomolov, O.O., et al. (2024). Vyznachennya ratsionalnykh parametriv separatsiyi nasinnya prosa na hravitatsiyomu udarnomu separatori. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva ta torhivli*, 1(35).

3. Технология производства продукции растениеводства / И.П. Фирсов, А.М. Соловьев, О.А. Раскутин и др. М.: Агропромиздат. 1989. 432 с.

3. Fyrsov, Y.P., Solov'ev, A.M., Raskutyn, O.A., et al. (1989). *Tekhnolohyya proyzvodstva produktsyyu rastenyevodstva*. М.: Ahropromyzdat. 432.

4. Бакум М.В., Мацієнко В.С., Кісь В.М. До обґрунтування способів очищення насіння проса від насіння бур'янів. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків: ХНТУСГ, 2016. Вип. 173: Механізація с.г. виробництва. С. 110–118.

Bakum, M.V., Matsiyenko, V.S., Kis', V.M. (2016). Do obhruntuvannya sposobiv ochyshchennya nasinnya prosa vid nasinnya buyaniv. *Visnyk KHNTUS·H im. P. Vasylenka*. Kharkiv: KHNTUS·H. 173: Mekhanizatsiya s.h. vyrobnytstva, 110-118.

5. Li, J., et al. (2020). Optical Sorting Technology in Millet Processing: Enhancing Quality and Reducing Losses. *Journal of Agricultural Machinery and Technology*.

6. Zhang, X., et al. (2019). Innovative Pneumatic and Optical Sorting System for Small Grain Seeds. *International Journal of Agricultural machinery and Technology*.

7. Ali, M., et al. (2021). Pneumatic Separation of Millet Seed: Comparative Efficiency of Mechanical and Airflow System. *Agricultural Technology Research*.

8. Gupta, A., et al. (2020). Energy Efficiency in Seed Processing and Modern Equipment. *Journal of Sustainable Agricultural Systems*.

9. Богомолов А.В. Сепарация трудноразделяемых сыпучих смесей: монография. Х.: ХНТУСХ им. П.Василенко. 2013. 308 с.

Bohomolov, A.V. (2013). Separatsyya trudnorazdelyaemykh sypuchykh smesey: monohrafiya. Kharkiv: KHNTUSKH um. P.Vasylenko, 308.

10. Бредихін В.В., Богомолов О.В., Сліпченко М.В., Кісь-Коркіщенко Л.В., Іващенко С.Г., Ірклієнко В.І., Черняєв О.О., Тікунов С.Р. Наукові основи ощадливої підготовки насіння з поліпшеним біологічним потенціалом: монографія. Харків: Діса+, 2023. 408 с.

Bredykhin, V.V., Bohomolov, O.V., Slipchenko, M.V., Kis'-Korkishchenko,

Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2025. Вип. 1(37) ISSN: 2312-3990X (Print), 2519-2922 (Online)

L.V., Ivashchenko, S.H., Irkliyenko, V.I., Chernyayev, O.O., Tikunov, S.R. (2023). Naukovi osnovy oshchadlyvoyi pidhotovky nasinnya z polipshenyum biolohichnykh potentsialom: Monohrafiya. Kharkiv: Disa+, 408.

11. Кононюк А.Е. Основы научных исследований. Том 1-4. Киев: Изд-во «КТН», 2010.

Kononyuk, A.E. (2010). Osnovy nauchnykh yssledovanyu, tom 1-4. Kyev: Yzdatel'stvo «КТН».

**Богомолов Олексій Васильович**, д-р техн. наук, професор кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [bogomolov.ph@gmail.com](mailto:bogomolov.ph@gmail.com).

**Bogomolov Oleksiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production State Biotechnological University, [bogomolov.ph@gmail.com](mailto:bogomolov.ph@gmail.com).

**Михайлов Валерій Михайлович**, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи, професор кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [vami2209@gmail.com](mailto:vami2209@gmail.com).

**Mykhailov Valeriy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Scientific Work, Professor Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production, State Biotechnological University, [vami2209@gmail.com](mailto:vami2209@gmail.com).

**Богомолов Олександр Олексійович**, аспірант кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [bogomolov25@gmail.com](mailto:bogomolov25@gmail.com).

**Bogomolov Oleksandr**, PhD student Department of equipment and engineering of processing and food production, State Biotechnological University, [bogomolov25@gmail.com](mailto:bogomolov25@gmail.com).

**Панов Віталій Олександрович**, аспірант кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [oiplxv@ukr.net](mailto:oiplxv@ukr.net).

**Panov Vitaliy**, PhD student Department of equipment and engineering of processing and food production, State Biotechnological University, [oiplxv@ukr.net](mailto:oiplxv@ukr.net).