

**Шевченко Андрій Олександрович**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [andshew@btu.kharkiv.ua](mailto:andshew@btu.kharkiv.ua).

**Shevchenko Andrey**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor in the Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Industries, State Biotechnological University, [andshew@btu.kharkiv.ua](mailto:andshew@btu.kharkiv.ua).

**Прасол Світлана Володимирівна**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [process229@ukr.net](mailto:process229@ukr.net).

**Prasol Svitlana**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor in the Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Industries, State Biotechnological University, [process229@ukr.net](mailto:process229@ukr.net).

**Михайлов Богдан Валерійович**, викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Харківський фаховий коледж харчової промисловості Державного біотехнологічного університету», [mixailov.com@gmail.com](mailto:mixailov.com@gmail.com).

**Mikhailov Bogdan**, Lecturer, Separate Structural Subdivision "Kharkiv Vocational College of Food Industry" of State Biotechnological University, [mixailov.com@gmail.com](mailto:mixailov.com@gmail.com).

**Бабанова Олена Ігорівна**, старший викладач кафедри машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій, [petrikeyl@ukr.net](mailto:petrikeyl@ukr.net).

**Babanova Olena**, Senior Lecturer in the Department of Machines and Apparatus for Food and Pharmaceutical Industries, National University of Food Technologies, [petrikeyl@ukr.net](mailto:petrikeyl@ukr.net).

**DOI 10.5281/zenodo.14673785**

УДК 631.362

## **АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА СЕПАРАЦІЇ НАСІННЕВОГО МАТЕРІАЛУ СОНЯШНИКУ**

**О.І. Завгородній, О.В. Сіняєва, А.О. Пак, М.М. Крекот**

*Розглянуто питання математичного моделювання руху кулі між робочими площинами вібропневматичного сепаратора та способу побудови траєкторії руху кулі в робочому каналі сепаратора. Досліджено зміну швидкості повітряного потоку в робочому каналі сепаратора та модернізованого сепаратора, обладнаного жалюзійним розподільником повітряного потоку по його висоті та довжині. Виконані дослідження процесу сепарації насінневого матеріалу соняшнику та їх порівняльний аналіз.*

**Ключові слова:** *вібропневматичний сепаратор, математичне моделювання, швидкість повітряного потоку, насіння соняшнику.*

## ANALYSIS OF THE RESULTS OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING AND SEPARATION OF SUNFLOWER SEED MATERIAL

O. Zavgorodniy, O. Siniaieva, A. Pak, M. Krekot

*The issue of mathematical modeling of the movement of a ball between the working planes of a vibropneumatic separator in two cases is considered. The first case is considered if, upon impact, there is sliding of the ball along the surface and its stopping. The second case is considered if, upon impact, there is exclusively sliding without stopping until the moment of rebound of the ball from the surface. The method of constructing the trajectory of the ball's movement in the working channel of the separator is considered, in order to determine the distance of movement of a particle of the seed mixture along the working channel of the vibropneumatic separator and, based on these values, to determine the receiver of the separation products to which the particle will fall. The change in the air flow velocity in the working channel of the separator and the modernized separator equipped with a louvered air flow distributor along its height and length is investigated. Comparative analysis revealed the design shortcomings of the non-modernized separator and proved the advantages of the modernized separator in the formation of a more stable and uniform air flow in the working channel of the separator. The formation of the air flow in the working channel of the vibro-pneumatic separator is performed by a mechanism with louvers and plates. In turn, the louvers form the required air flow, and the plates prevent the formation of turbulence at the outlet of the mechanism. Studies of the process of separation of sunflower seed material were carried out, which confirm the effectiveness of the proposed design of the modernized vibro-pneumatic separator. Comparative analysis revealed the correspondence of the results of mathematical modeling to the results of separation of sunflower seed material on the modernized vibro-pneumatic separator.*

**Keywords:** *vibropneumatic separator, mathematical modeling, air flow velocity, sunflower seeds.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** В сучасному сільськогосподарському виробництві найбільш часто використовується післязбиральна обробка насінневих матеріалів на решетах та в повітряних потоках насіннеочисних машин, тобто за такими ознаками як розміри та аеродинамічні властивості [1]. Якість яку забезпечують ці машини достатня для первинної обробки насінневих матеріалів а також для високоякісного очищення матеріалу за умови відсутності в ньому важковідокремлюваних компонентів (насіння деяких бур'янів, невиповнене насіння основної культури). Тому розробка нових машин спроможних високоякісно очищати насінневі матеріали від важковідокремлюваних компонентів та дослідження процесів які відбуваються в процесі їх роботи є важливою і актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процесами сепарації насінневих матеріалів у повітряних потоках займались у своїй роботі [6] Гортинський В.В., Демський А.Б., Борискин М.А. Дослідження процесів взаємодії часточок при ударі (сепарація під дією вібрації) виконували Плявнієкс В.Ю., Кобринський А.Е. у своїх роботах [3, 5]. Вплив рівномірності повітряного потоку в каналі на процес сепарації було досліджено в роботі [7] Абдуєва М.М., Бакума М.В. та ін. Математичне моделювання процесів сепарації під дією вібрації і повітряного потоку виконувалось у роботах Завгороднього О.І., Сіняєвої О.В. [2, 4].

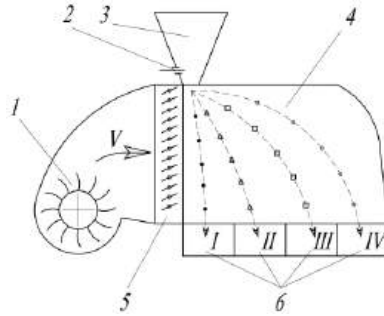
**Мета статті** – аналіз результатів дослідження швидкостей повітряного потоку по висоті та довжині робочого каналу вібропневмосепаратора, впливу рівномірності швидкості на результати сепарації насінневого матеріалу соняшника, а також аналіз відповідності отриманих результатів сепарації з результатами математичного моделювання процесу сепарації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження переміщення часточки в робочому каналі 4 вібропневматичного сепаратора виконувалося на лабораторно-дослідній установці, схема якої представлена на рисунку 1. Рух часточки відбувається в робочому каналі 4 між двома площинами під дією повітряного потоку, сили тяжіння та вібрації що діє на часточку. У робочий канал 4 часточка потрапляє з бункера 3 через дозуючий пристрій 2 з висоти  $h_0$  в зону дії вібрації однієї з площин каналу висотою  $H$ . Рух часточки розпочинається при співударянні часточки з першою площиною.

У математичній моделі для спрощення розрахунків часточка насінневого матеріалу приймається кулею. Положення кулі в робочому каналі визначається за допомогою відносної системи координат  $Oxyz$ , зв'язаною з першою площиною в точці  $O$ . Вісь  $Ox$  направлена перпендикулярно від першої площини до другої, вісь  $Oy$  направлена паралельно вздовж каналу і напрямку повітряного потоку  $Vn$  а вісь  $Oz$  паралельна робочим площинам, перпендикулярна напрямку повітряного потоку  $Vn$  і направлена до приймачів продуктів розділення. Робочі площини коливаються синхронно відносно абсолютної нерухомої системи координат  $OXYZ$  вздовж вісі  $OY$  ( $Y=A\sin\omega t$ ).

Рух кулі описується диференціальними рівняннями, записаними для центра мас кулі у системі координат  $Oxyz$ . Кожне наступне співударяння часточки з робочою площиною відбувається у момент, виконання однієї з умов  $y_c=r$  або  $y_c=B-r$ , після чого розпочинається наступний цикл руху кулі між площинами. Цикли руху кулі між робочими пластинами продовжуються до тих пір поки центр мас кулі не

перетне нижній край робочої площини при цьому буде виконана умова  $z_c=H$ .



**Рис. 1.** Схема лабораторно-дослідної установки вібропневматичного сепаратора, обладнаного жалюзійним розподільником повітряного потоку: 1 – вентилятор; 2 – заслінка регулювання подачі вихідного матеріалу; 3 – завантажувальний бункер; 4 – робочий канал вібропневматичного сепаратора; 5 – жалюзійний розподільник повітряного потоку; 6 – приймачі продуктів розділення

Траєкторія руху кулі може бути визначена з використанням рівнянь її удару по робочих площинах. Такі рівняння були отримані в попередніх дослідженнях і приведені в роботі [2]. Приведемо їх далі:

$$v_x = u_x - \frac{\mu(u_x + \varpi_z r)}{1 + \mu}, \quad v_y = -R u_y, \quad v_z = u_z - \frac{\mu(u_z - \varpi_x r)}{1 + \mu}; \quad (1)$$

$$\Omega_x = \varpi_x + \frac{u_z - \varpi_x r}{r(1 + \mu)}, \quad \Omega_y = \varpi_y, \quad \Omega_z = \varpi_z - \frac{u_x + \varpi_z r}{r(1 + \mu)}, \quad (2)$$

де  $\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$  – швидкість центра мас кулі до удару;

$\vec{U} = (U_x, U_y, U_z)$  – швидкість точки дотику до удару;

$\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ ,  $\vec{V} = (V_x, V_y, V_z)$  – швидкість точки дотику після удару;

$\vec{\varpi} = (\varpi_x, \varpi_y, \varpi_z)$  – кутова швидкість кулі до удару;

$\vec{\Omega} = (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$  – кутова швидкість кулі після удару;

$R$  – коефіцієнт відновлення швидкості при ударі;

$r$  – радіус кулі;

$\rho$  – радіус інерції кулі;

$\mu = (\rho/r)^2$ , при цьому для кулі:  $0 < \mu < 2/3$  [4].

Рівняння (1) та (2) актуальні тільки для випадку коли при ударі кулі по робочій поверхні відбувається спочатку ковзання точки контакту по поверхні а потім її зупинка. В цьому випадку виконується умова:

$$f \geq \frac{\mu}{1+\mu} \cdot \frac{\sqrt{U_x^2 + U_z^2}}{(1+R)|u_y|} \quad (3)$$

Якщо умова (3) не виконується, то буде спостерігатись випадок, коли точка контакту після удару тільки ковзає і не зупиняється до моменту відриву кулі від площини. Особливістю такого процесу є те, що він залежить від коефіцієнта тертя  $f$  між матеріалами частки і робочої поверхні. Рівняння удару кулі між цими площинами також отримані в попередніх дослідженнях і приведені в роботі [2].

$$v_x = u_x + u_y \frac{f(1+R)\varepsilon}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}, \quad v_y = -R u_y, \quad v_z = u_z + u_y \frac{f(1+R)}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}; \quad (4)$$

$$\Omega_x = \varpi_x - u_y \frac{f(1+R)}{\mu r \sqrt{1+\varepsilon^2}}, \quad \Omega_y = \varpi_y, \quad \Omega_z = \varpi_z - u_y \frac{f(1+R)\varepsilon}{\mu r \sqrt{1+\varepsilon^2}}, \quad (5)$$

де 
$$\varepsilon = \frac{u_x + \varpi_z r}{u_z - \varpi_z r}$$

Для нашого випадку диференціальні рівняння руху центра мас кулі матимуть такий вигляд:

$$\ddot{x} = -k(\dot{x} - V_n) \sqrt{(\dot{x} - V_n)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}; \quad (6)$$

$$\ddot{y} = A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_1) - g \sin \alpha - k \dot{y} \sqrt{(\dot{x} - V_n)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}; \quad (7)$$

$$\ddot{z} = g \cos \alpha - k \dot{z} \sqrt{(\dot{x} - V_n)^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}, \quad (8)$$

де  $k$  – коефіцієнт квадратичного опору повітря;  
 $V_n$  – швидкість повітряного потоку;  
 $A$  – амплітуда коливань площин;  
 $\omega$  – частота коливань площин;  
 $\alpha$  – кут відхилення площин від вертикалі;  
 $\varphi_1$  – фаза удару кулі об одну з площин;  
 $g$  – прискорення вільного падіння.

Для розрахунку дальності польоту частинок, з відповідними фізико-механічними властивостями ( $k, \mu, r, R_1, R_2, f_1, f_2$ ), вздовж робочого каналу при заданих режимах роботи вібропневматичного сепаратора ( $V_n, A, \omega, H, B, \alpha$ ) використовувався програмний продукт «Mathcad», за допомогою якого на основі рівнянь (1)...(8) визначалось потрапляння часток у відповідний приймач продуктів розділення 6 (рис. 1).

Особливість реального експерименту полягає в тому, що швидкість повітряного потоку в каналі буде не сталою, а буде зменшуватись вздовж робочого каналу за рахунок сил тертя, які виникають в повітряному потоці і між потоком та робочими площинами каналу. Таке зниження швидкості повітряного потоку в каналі описується рівнянням Бернуллі. Але втрати повітряного потоку в лабораторній установці відбуваються і в зоні розміщення приймачів продуктів розділення, через що швидкість повітряного потоку в верхній частині каналу зменшується більш інтенсивно. Результати вимірювання швидкості повітряного потоку в каналі представлені в таблиці 1. Як видно з представлених результатів, швидкість повітряного потоку суттєво зменшується як по довжині каналу так і по його висоті.

Таблиця 1

**Розподілення значень швидкостей (м/с) повітряного потоку по довжині та висоті робочого каналу вібропневматичного сепаратора**

		Довжина сепарувального каналу, мм								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Висота сепарувального каналу, мм	15	10,2	9,8	8,5	7,9	7,4	6,8	6,2	5,7	4,9
	30	10,4	10,0	8,6	8,1	7,5	7,0	6,4	5,9	5,0
	35	10,5	10,1	9,6	8,9	8,1	7,6	7,1	6,8	6,1
	60	10,7	10,3	9,7	9,0	8,3	7,9	7,3	7,0	6,5

Такі особливості лабораторної установки не дають можливості прогнозувати дальність переміщення часточки вздовж робочого каналу за допомогою розробленого математичного апарату. Для виправлення цього недоліку вібропневматичний сепаратор додатково був обладнаний жалюзійним розподільником повітряного потоку 5. Цей розподільник за допомогою жалюзів і вивірнюючих пластин перерозподіляє повітряний потік роблячи його більш рівномірним в зоні сепарації вздовж робочого каналу. Результати вимірювання швидкості повітряного потоку в каналі

вібропневматичного сепаратора, обладнаного жалюзійним розподільником представлені в таблиці 2.

Як видно з результатів, швидкість повітряного потоку по висоті робочого каналу стає більш рівномірною. Також видно, що падіння швидкості по довжині каналу буде меншим, а середня швидкість повітряного потоку збільшиться на виході з 5,62 м/с для немодернізованого сепаратора до 6,72 м/с для модернізованого.

Таблиця 2

**Розподілення значень швидкостей (м/с) повітряного потоку по довжині та висоті робочого каналу вібропневматичного сепаратора, обладнаного жалюзійним розподільником повітряного потоку**

		Довжина сепарувального каналу, мм								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Висота сепарувального каналу, мм	15	10,8	10,5	10,1	9,9	9,6	9,2	8,8	8,3	7,8
	30	10,8	10,4	9,6	8,8	8,5	8	7,4	7,3	7
	35	10,7	10,2	9,3	8,5	7,8	7,4	7,3	6,8	6,5
	60	10	9,9	9,1	7,9	7,5	6,9	6,4	6,3	5,6

Дослідження роботи лабораторної установки виконувались на насіннєвій суміші соняшнику, яка містила 80 % повноцінного насіння культури, 14,9 % неповноцінного (пустотілого) насіння та 4,9 % смітної домішки. Результати досліджень вібропневматичного сепаратора наведені в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

**Результати розділення насіннєвої суміші соняшнику у вертикальному робочому каналі вібропневматичного сепаратора**

Фракція	Приймач продуктів розділення			
	I	II	III	IV
Вихід відсортованого матеріалу соняшнику, %	90,39	7,25	1,21	1,15
Кондиційне насіння соняшнику, %	88,01	6,74	0,14	0,10
Некондиційне насіння соняшнику, %	9,36	86,26	11,74	8,7
Смітна домішка, %	2,63	7,00	88,12	91,20

Як видно з порівнянь досліджень немодернізованого та модернізованого сепараторів, нерівномірність повітряного потоку значно впливає на якість сепарації. Так, у немодернізованому сепараторі в очищену фракцію (вміст I та II приймачів) виділилося 97,64 % матеріалу з вмістом у ньому кондиційного насіння соняшнику 81,97 %, некондиційного насіння соняшнику 15,07 % і смітної домішки 2,95 %.

Таблиця 4

**Результати розділення насінневої суміші соняшнику у вертикальному робочому каналі вібропневматичного сепаратора, обладнаного жалюзійним розподільником повітряного потоку**

Фракція	Приймач продуктів розділення			
	I	II	III	IV
Вихід відсортованого матеріалу соняшнику, %	91,42	6,41	1,1	1,07
Кондиційне насіння соняшнику, %	89,31	6,46	0	0
Некондиційне насіння соняшнику, %	8,27	87,09	4,85	1,1
Смітна домішка, %	2,42	6,45	95,15	98,9

У свою чергу вібропневматичний сепаратор, обладнаний жалюзійним розподільником повітряного потоку, при трохи більшому виході очищеної фракції 97,83 % забезпечує вищу якість сепарації. Так, в очищеній фракції буде міститися більше кондиційного насіння соняшнику 83,88 %, але менше некондиційного насіння соняшнику 13,43 % і смітної домішки 2,68 %. Також слід зазначити, що результати сепарації на модернізованому сепараторі більш точно відображають результати розрахунків, отриманих за допомогою математичного апарата при заданих вихідних параметрах насінневої суміші соняшнику і регульованих параметрів вібропневматичного сепаратора.

**Висновки.** Порівняльним аналізом результатів сепарації встановлено, що модернізований варіант вібропневматичного сепаратора, оснащений жалюзійним розподільником повітряного потоку, забезпечує більш рівномірний і стабільний потік у робочому каналі. Більш рівномірний і стабільний потік в робочому каналі забезпечує кращі результати сепарації насінневого матеріалу соняшнику. Результати розрахунків дальності переміщення часточок вздовж робочого каналу вібропневматичного сепаратора, отримані при математичному моделюванні, у більшій мірі відповідають результатам сепарації на модернізованому сепараторі, аніж не модернізованому.



### Список джерел інформації / References

1. Машины і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С. Кобец, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних та ін. – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2014. – 614 с.

Mashyny i obladnannia dlia zberihannia ta kompleksnoi obrobky zerna / A.S. Kobets, Yu.O. Chursinov, S.A. Chernykh ta in.– Dnipropetrovsk: DDAEU, 2014.–614 s.

2. Завгородний А.И., Синяева О.В. Движения шара в воздушном потоке между вибрирующими плоскостями. Вибрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал, №3(67). – Вінниця: ВНАУ, 2012.– С. 20-27.

Zavgorodnyj A.Y., Sy`nyaeva O.V. Dvy`zheny`ya shara v vozdušnom potoke mezhdzhu vy`bry`ruyushhy`my` ploskostyamy`. Vibraciyi v tehnici ta tehnologiyax: Vseukrayins`ky`j naukovo-texnichny`j zhurnal, 3(67). – Vinny`cyu: VNAU, 2012.– S. 20-27.

3. Кобринский А.Е., Кобринский А.А. Виброударные системы.– М.: Наука, 1973.– 592с.

Kobry`nsky`j A.E., Kobry`nsky`j A.A. Vy`broudarnnye sy`stemy. M.: Nauka, 1973.– 592 s.

4. Завгородний А.И., Обыхвост А.В. К исследованию движения частиц округлой формы по рабочим поверхностям машин. Галузеве машинобудування. Будівництво: 36. наук. праць ПНТУ імені Юрія Кондратюка, Вип. 3(25), Т. 1. – Полтава, 2009.– С. 119-125.

Zavgorodnyj A.Y., Obыхvost A.V. K y`ssledovany`yu dvy`zheny`ya chasty`cz okrugloj formy po rabochy`m poverxnostyam mashy`n. Galuzeve mashy`nobuduvannya. Budivny`cztvo: Zb. nauk. pracz` PNTU imeni Yuriya Kondratyuka, Vy`p. 3(25), T. 1. – Poltava, 2009.– S.119-125.

5. Плявниекс В.Ю. Пространственное соударение двух тел. Вопросы динамики и прочности. – Рига: “Зинатне”, 1970, вып. №20.– С.75-88.

Plyavny`eks V.Yu. Prostranstvennoe soudarenuy`e dvux tel Voprosy dy`namy`ky` y` prochnosty`. – Ry`ga: “Zy`natne”, 1970, vyr. 20.– S.75-88.

6. Гортинский В.В. Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях,. – М.: Колос, 1980. – 304 с.

Gorty`nsky`j V.V. Demsky`j A.B., Bory`sky`n M.A. Processy separy`rovany`ya na zernoperabatyvayushhy`x predpr`yaty`yah. – M.: Kolos, 1980. – 304 s.

7. Дослідження ефективності пневматичного сепаратора з нахиленим каналом на підготовці посівного матеріалу сафлору / М.В. Бакум, М.М. Крекот, М.М. Абдуєв, А.Д. Михайлов, М.М. Майборода, О.С. Чалая, В.В. Безпалько, О.В. Сіняєва, А.П. Горбаньов, О.С. Вотченко, А. Кузьоменський // Вісник Львів. нац. аграр. ун-ту. Агроінж. дослідж. Машины та робочі процеси агропром. вирва. – Львів : ЛНАУ, 2021. – Вип. 25. – С. 177-186.

Doslidzhennya efekty`vnosti pnevmaty`chnogo separatora z naxy`leny`m kanalom na pidgotovci posivnogo materialu safloru / M.V. Bakum, M.M. Krekot, M.M. Abduev, A.D. My`xajlov, M.M. Majboroda, O.S. Chalaya, V.V. Bezpal`ko, O.V. Sinyayeva, A.P. Gorban`ov, O.S. Votchenko, A. Kuz`omens`ky`j // Visny`k L`viv. nacz. agrar. un-tu. Agroinzh. doslidzh. Mashy`ny` ta robochi procesy` agroprom. vy`r-va. – L`viv : LNAU, 2021. – Vy`p. 25. – S. 177-186.

**Завгородній Олексій Іванович**, д-р техн. наук, проф., професор кафедри фізики та математики, Державний біотехнологічний університет, [alexey.z.2014@gmail.com](mailto:alexey.z.2014@gmail.com)

**Zavgorodniy Oleksiy**, Sc.D. in Tech., Professor, Professor of the Department of physics and mathematics, State Biotechnological University, [alexey.z.2014@gmail.com](mailto:alexey.z.2014@gmail.com)

**Сіяєва Ольга Володимирівна**, старший викладач, старший викладач кафедри фізики та математики, Державний біотехнологічний університет, [masay020488@gmail.com](mailto:masay020488@gmail.com)

**Siniaeva Olga**, Senior teacher, Senior teacher of the Department of physics and mathematics, State Biotechnological University, [masay020488@gmail.com](mailto:masay020488@gmail.com)

**Пак Андрій Олегович**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри фізики та математики, Державний біотехнологічний університет, [pak.andr1980@gmail.com](mailto:pak.andr1980@gmail.com)

**Pak Andriy**, Sc.D. in Tech., Professor, Professor of the Department of physics and mathematics, State Biotechnological University, [pak.andr1980@gmail.com](mailto:pak.andr1980@gmail.com)

**Крекот Микола Миколайович**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри сільськогосподарських машин та інженерії тваринництва, Державний біотехнологічний університет, [krekotshm@gmail.com](mailto:krekotshm@gmail.com).

**Krekot Mykola**, Ph.D. of Technical Sciences., associate professor, associate professor of the Department agricultural machinery and livestock engineering, State Biotechnological University, [krekotshm@gmail.com](mailto:krekotshm@gmail.com)

**DOI 10.5281/zenodo.14678183**

УДК 664.858:634

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗДОРОВИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ**

**О.Є. Загорулько, К.Р. Касабова, А.М. Загорулько,  
О.І. Черевко, О.Є. Громов**

*Удосконалена технологія виробництва мармеладу з пасти гарбуза, яблук і кизилу дозволяє значно покращити якість готової продукції. Розроблений мармелад відрізняється приємним рубіновим кольором і зтяженою консистенцією. Завдяки використанню натуральної сировини вміст некрохмальних полісахаридів, особливо пектинових речовин, а також вітаміну С збільшується майже вдвічі. Крім того, у готовому виробі суттєво зростає концентрація макро- та мікроелементів порівняно з контрольним зразком, що підвищує його харчову цінність.*

**Ключові слова:** кондитерські вироби, мармелад, вакуум-випарний апарат, функціональні інгредієнти, покращення якості.