

RESEARCH OF GRAIN BATCH FORMATION BY MIXING

I. Dudarev*, S. Panasyuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Quality indicators of grain, which delivers from agricultural producers to elevators and grain terminals, vary widely due to the natural and climatic conditions of crop cultivation and harvesting, varietal characteristics of crops. At these enterprises the primary processing of grain (cleaning, drying), its storage and formation of grain batches for customers with the quality indicators provided in the signed contracts take place. For functioning of the enterprises with high profitability it is necessary to provide effective use of grain raw materials of various quality which is stored at the enterprise. At these enterprises, formation of grain batches is provided by mixing grain with different quality indicators. Mixing is also used for formation of grain batches, that allow us to produce flour with stable properties and rational use of raw materials. The main task of the grain mixing is to obtain homogeneous mixtures in which grain with different quality indicators is evenly distributed throughout the batch. For mixing of bulk materials, which include grain of agricultural crops, mixer designs of periodic and continuous action, in particular, tape, screw, drum, gravitational, vibrating are developed. Elevators, grain terminals and flour mills must mix large volumes of grain in a continuous stream, respectively, grain mixers must be continuous, they must not damage the grain and energy costs for the process must be minimal. So, the use of gravity grain mixers of continuous action is promising, because they do not consume energy for the mixing process, and they do not damage the grain because they do not contain active working bodies. Study of the possibility of forming grain batches by mixing was carried out on a gravity mixer of the column type. According to the results of experimental study of mixing wheat and rye grain of four colors that mimic grain with different quality indicators, the satisfactory quality of grain mixture can be obtained by mixing grain flows in seven sections of the proposed mixer. The value of the coefficient of heterogeneity of such a mixture of wheat and rye grains does not exceed 20%.

Key words:

grain batch,
grain mixing,
grain mixer,
grain mixture,
grain mixture quality

Article history:

Received 26.10.2021
Accepted 10.12.2021

***Corresponding author:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.656

To cite this article:

Dudarev, I., & Panasyuk, S. (2021). Research of grain batch formation by mixing. *Agricultural Machines*, 47, 113-123. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.656>

УДК 621.929.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПАРТІЙ ЗЕРНА ШЛЯХОМ ЗМІШУВАННЯ**І.М. Дударев*, С.Г. Панасюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АНОТАЦІЯ**

Показники якості зерна, яке надходить від агровиробників на елеватори та зернові термінали, змінюються в широких межах внаслідок природно-кліматичних умов вирощування та збирання, сортових особливостей сільськогосподарських культур. На цих підприємствах відбувається первинне оброблення зерна (очищення, сушіння), його зберігання та формування партій зерна для замовників із передбаченими у підписаних контрактах показниками якості. При цьому для функціонування підприємств з високою рентабельністю необхідно забезпечити ефективне використання зернової сировини різної якості, що зберігається на підприємстві. Формування партій зерна на цих підприємствах відбувається шляхом змішування зерна із різними показниками якості. Також змішування застосовується під час формування помельних партій зерна, що дозволяє отримати борошно із стабільними властивостями та раціонально використати сировину. Для змішування сипких матеріалів, до яких відноситься зерно сільськогосподарських культур, розроблені конструкції змішувачів періодичної та безперервної дії, зокрема, стрічкові, гвинтові, барабанні, гравітаційні, вібраційні. Перспективним є використання гравітаційних змішувачів зерна безперервної дії, оскільки у них немає витрат енергії на процес змішування, а також вони не пошкоджують зерно, оскільки не містять активних робочих органів. Дослідження можливості формування партій зерна шляхом змішування проводилися на гравітаційному змішувачі запропонованої конструкції. За результатами проведених експериментальних досліджень змішування зерна пшениці та жита чотирьох кольорів, що імітують зерно із різними якісними показниками, в однаковому співвідношенні у гравітаційному змішувачі колонного типу встановлено, що задовільну якість зернової суміші можна отримати під час змішування зернових потоків у семи секціях змішувача. Значення коефіцієнта неоднорідності такої суміші зерна пшениці та жита не перевищує 20%.

Ключові слова:

партія зерна,
змішування зерна,
змішувач зерна,
зернова суміш,
якість зернової суміші

Історія публікації:

Отримано 26.10.2021

Затверджено 10.12.2021

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.656

Цитувати цю статтю:

Дударев, І. М., & Панасюк, С. Г. (2021). Дослідження формування партій зерна шляхом змішування. *Сільськогосподарські машини*, 47, 113-123. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.656>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зерно сільськогосподарських культур після збирання спрямовується виробниками для первинного оброблення (очищення, сушіння) та/або зберігання на підприємства системи зберігання зерна (елеватори, річкові та морські зернові термінали тощо). Основне призначення цих підприємств полягає у прийманні великих обсягів зерна із різними фізичними і хіміко-біологічними показниками та формування з нього однорідних партій для відвантаження замовникам (Ryndin et al., 2021). Оскільки показники якості зерна, що надходить від виробників агропродукції, змінюються в широких межах внаслідок природно-кліматичних умов вирощування та збирання, а також сортових особливостей сільськогосподарських культур (Шпак, 2021), відповідно, виникає необхідність формування партій зерна для замовників із передбаченими у контрактах показниками якості. При цьому для функціонування підприємств системи зберігання зерна з високою рентабельністю необхідно забезпечити максимально ефективне використання зернової сировини різної якості, що зберігається на підприємстві. Формування партій зерна відбувається шляхом змішування зерна із різними показниками якості. Крім того, змішування застосовується під час формування помельних партій зерна, що дозволяє отримати борошно із стабільними властивостями та раціонально використати сировину. Це змішування проводять на елеваторах або у підготовчих відділеннях борошномельних заводів (Борта та ін., 2020).

Результати досліджень із формування партій зерна із різними якісними показниками висвітлені в наукових працях (Stankevych et al., 2020; Меренкова & Лукин, 2016; Терешкен, 2006). Формування партій зерна за цільовим призначенням є складним технологічним процесом, що передбачає облік якості зерна на всіх етапах виробництва (Ревенко та ін., 2016). Формування партій зерна відбувається шляхом змішування потоків зерна у визначеному співвідношенні, щоб забезпечити необхідні усереднені показники якості зерна. Основним завданням процесу змішування зернових мас є отримання однорідних сумішей (Гучева, 2014), в яких зерно із різними якісними показниками рівномірно розподілене в усьому об'ємі партії. На борошномельних заводах для змішування

зерна використовуються гвинтові конвеєри, в які зерно із різними якісними показниками подається за допомогою дозаторів із силосів, або гомогенізатори, в які зерно спрямовується транспортером, на якому, у свою чергу, дозаторами у необхідному співвідношенні формується об'єднаний потік зерна різної якості (Урубков & Дудаєв, 2019).

Для змішування сипких матеріалів, до яких відноситься зерно сільськогосподарських культур, розроблені конструкції змішувачів періодичної та безперервної дії, зокрема, стрічкові, гвинтові, барабанні, гравітаційні, вібраційні тощо (Dudarev & Hunko, 2019; Ghanem et al., 2014; Ivanec et al., 2014; Moakher et al., 2000; Thakur et al., 2003).

На елеваторах, зернових терміналах та борошномельних заводах важливо забезпечити змішування великих обсягів зерна у неперервному потоці, відповідно, змішувачі зерна мають бути безперервної дії, вони не мають пошкоджувати зерно та витрати енергії на процес мають бути мінімальними.

Із відомих конструкцій змішувачів лише у гравітаційних немає витрат енергії на процес змішування. Оскільки гравітаційні змішувачі не містять активних робочих органів, відповідно, відсутні витрати на їх привод та пошкодження зерна внаслідок взаємодії робочих органів із зерною масою. Таким чином, для формування партій із зерна з різними якісними показниками перспективним є використання гравітаційних змішувачів безперервної дії.

Мета дослідження – дослідити можливість формування партій зерна шляхом змішування у гравітаційному змішувачі колонного типу запропонованої конструкції.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження можливості формування партій зерна шляхом змішування проводилися на гравітаційному змішувачі колонного типу (Дударев, 2018), що містить секції однакової конструкції (рис. 1, а), які встановлені одна над одною. Кожна секція містить корпус, всередині якого встановлені дві перегородки (рис. 1, б). До перегородок секцій приєднані об'єднувачі та подільники потоку зернової маси. Під час переміщення секціями змішувача зверху вниз потоки зерна із різними якісними показниками неодноразово об'єднуються та

поділяються, внаслідок чого відбувається їх змішування (рис. 1, в). Під нижньою секцією встановлені чотири контейнери, в яких накопичується змішана зернова маса, що виходить із змішувача чотирма окремими потоками.

Матеріалом для дослідження слугувало зерно пшениці та жита, яке було пофарбоване у чотири кольори (рис. 2, а): зелений (позначено *A*); червоний (позначено *B*); синій (позначено *C*); жовтий (позначено *D*).

Фарбування зерна пшениці і жита у різні кольори дозволило зімітувати зерно із різними якісними показниками та розрізнити його

після змішування. Вологість зерна під час дослідження становила 12%. Зерно різних кольорів (якісних показників) змішувалося у заданому співвідношенні 1:1:1:1 (необхідний вміст зерна кожного кольору в суміші становив $c_{0A} = c_{0B} = c_{0C} = c_{0D} = 25\%$). Загальна маса порцій зерна різних кольорів, що завантажувалася у змішувач для дослідження, становила 300 г (зерно *A* – 75 г; зерно *B* – 75 г; зерно *C* – 75 г; зерно *D* – 75 г). Дослідження проводилося окремо із зерном пшениці та жита у змішувачі, що містив три, п'ять та сім секцій. Після змішування отримували суміш зерна у кожному контейнері (рис. 2, б).

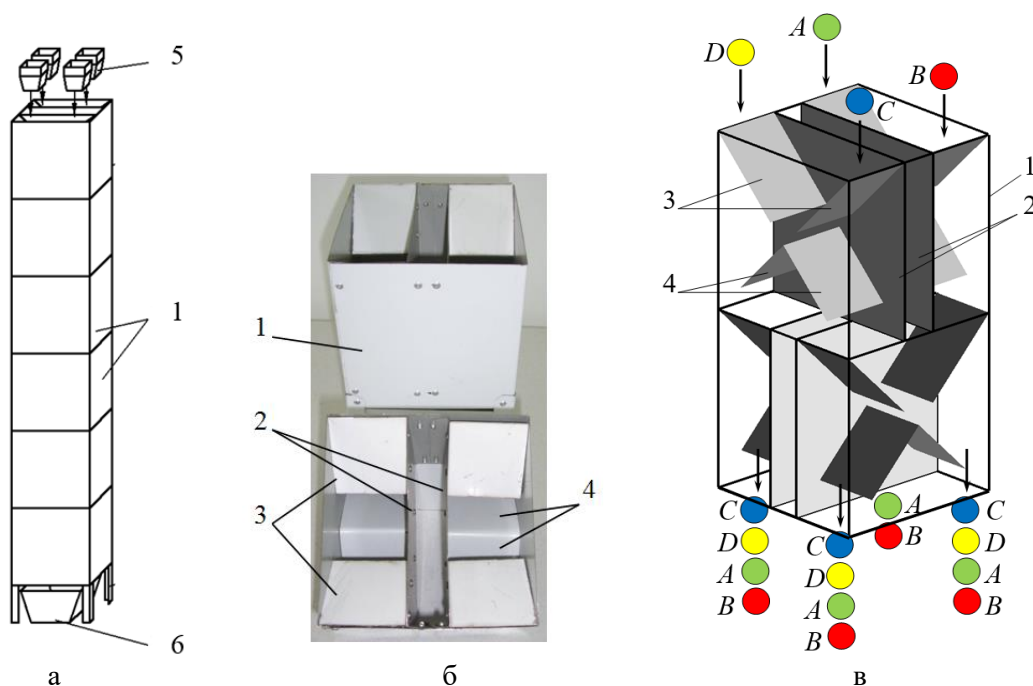


Рис. 1 – Схема гравітаційного змішувача колонного типу (а), його секції (б) та функціональна схема (на прикладі двох секцій) (в):

1 – корпус секції; 2 – вертикальні перегородки; 3 – об'єднувачі потоку; 4 – подільники потоку;
5 – дозатори зерна; 6 – контейнери

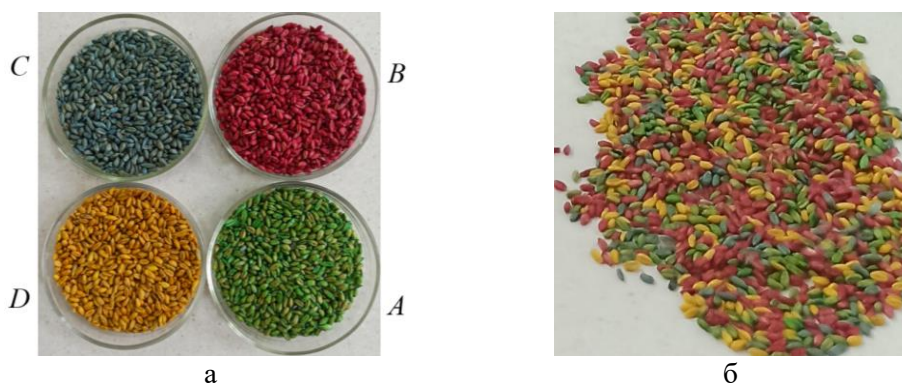


Рис. 2 – Підготовлене для дослідження зерно (а) та суміш зерна після змішування (б)

Зернову масу окремо із кожного контейнера розділяли за кольором зерна та визначали вміст c_i у відсотках (концентрацію) зерна кожного кольору:

$$c_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot 100\%; \quad (1)$$

де c_i – вміст (концентрація) у контейнері зерна певного кольору (якості), %; m_i – маса зерна у контейнері певного кольору (m_A – маса зерна зеленого кольору (A); m_B – маса зерна червоного кольору (B); m_C – маса зерна синього кольору (C); m_D – маса зерна жовтого кольору (D)), г; n – кількість потоків зерна різного кольору (якості), що змішуються у змішувачі ($n = 4$).

Окремо для суміші з кожного контейнера розраховували індекс, що характеризує відхилення вмісту зерна певного кольору (якості) від необхідного його вмісту у суміші (необхідний вміст визначається заданим співвідношенням між зерном певного кольору (якості)):

$$\Delta_i = \frac{|c_i - c_{0i}|}{c_{0i}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

де Δ_i – індекс, що характеризує відхилення вмісту c_i зерна певного кольору (якості) від необхідного його вмісту у суміші c_{0i} , %; c_{0i} – необхідний вміст зерна певного кольору (якості) у зерновій суміші із окремого контейнера ($c_{0A} = c_{0B} = c_{0C} = c_{0D} = 25\%$), %.

Рекомендовано, щоб значення індексу Δ_i не перевищувало 20%.

За значеннями вмісту c_i для зерна кожного кольору окремо розраховували коефіцієнт неоднорідності суміші, що отримана шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}; \quad (3)$$

де V_c – коефіцієнт неоднорідності суміші за зерном певного кольору (якості), %; \bar{c} – середнє значення вмісту зерна певного кольору в об'єднаній суміші із чотирьох контейнерів, %; n – кількість відібраних проб зерна певного кольору (рівна кількості контейнерів, $n = 4$).

Якість змішування суміші залежно від значення коефіцієнту неоднорідності суміші поділяється: $V_c < 5\%$ – відмінна; $5\% \leq V_c < 10\%$ – хороша; $10\% \leq V_c \leq 20\%$ – задовільна.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Результати визначення вмісту c_i зерна кожного кольору у зернових сумішах із кожного контейнера залежно від кількості секцій гравітаційного змішувача, через які пройшли потоки зерна, представлені для суміші зерна пшениці на **рис. 3**, а для суміші зерна жита – на **рис. 4**.

Аналіз результатів змішування зерна пшениці чотирьох кольорів у трьох секціях змішувача показав, що такої кількості секцій не достатньо для одержання якісної зернової суміші із рівномірним розподілом зерна різних кольорів (якості) за її об'ємом. У контейнерах вміст зерна пшениці різних кольорів коливався в таких межах: від $c_B = 14,2\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 2) до $c_B = 39,5\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1)) (**рис. 3, а**). Відповідно, це зумовило значні відхилення вмісту зерна пшениці усіх кольорів (якості) у суміші від необхідного його вмісту ($c_{0i} = 25\%$) у ній. Для цього випадку значення індексу Δ_i знаходилося в межах 2,8–58,0% (**таблиця 1**). Рекомендоване відхилення вмісту ($\Delta_i \leq 20\%$) зерна певного кольору від заданого значення дотримане лише для зерна зеленого кольору (A) у контейнері 1 ($\Delta_A = 2,8\%$) та у контейнері 2 ($\Delta_A = 4,4\%$), червоного кольору (B) у контейнері 4 ($\Delta_B = 8,4\%$) та жовтого кольору (D) у контейнері 2 ($\Delta_D = 18,8\%$). Таким чином, для отримання якісної суміші зерна пшениці недостатньо проходження потоків зерна через три секції змішувача.

У випадку змішування пшениці чотирьох кольорів у п'яти секціях змішувача (**рис. 3, б**) також мало місце значне коливання вмісту зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів (у межах $c_i = 18,3$ –34,8%). Це спричинило відхилення вмісту зерна пшениці від необхідного його вмісту у межах від $\Delta_C = 4,8\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 1) до $\Delta_C = 39,2\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 3) (**таблиця 1**). У цьому випадку значення індексу Δ_i також перевищували рекомендоване значення, тому для змішування зерна пшениці недостатньо п'яти секцій гравітаційного змішувача.

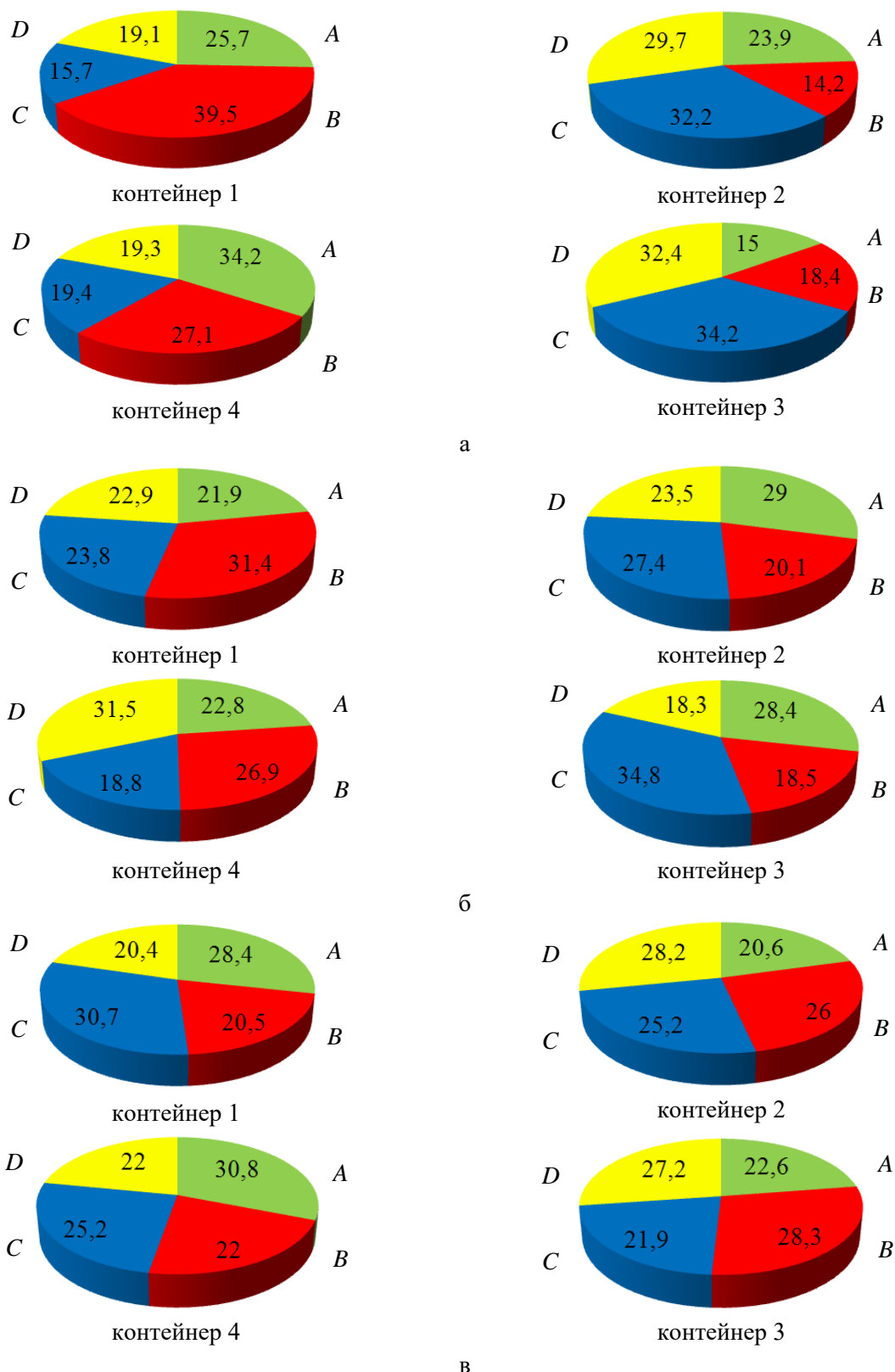


Рис. 3 – Вміст c_i (%) зерна пшениці різних кольорів (якості) у контейнерах змішувача після проходження: а – трьох секцій; б – п'яти секцій; в – семи секцій

■ – зерно пшениці А; ■ – зерно пшениці В; ■ – зерно пшениці С; ■ – зерно пшениці D

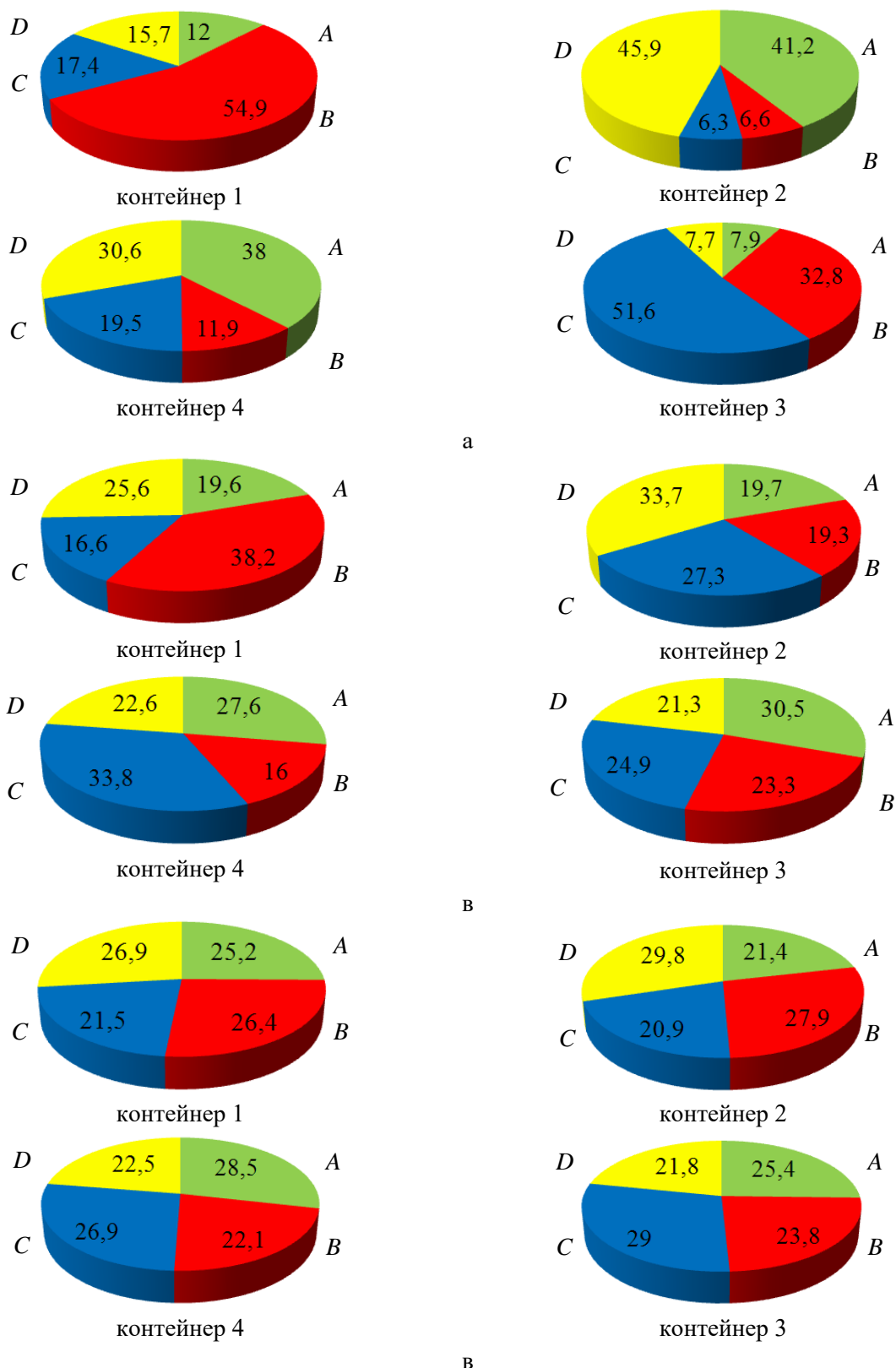


Рис. 4 – Вміст c_i (%) зерна жита різних кольорів (якості) у контейнерах змішувача після проходження:

а – трьох секцій; б – п'яти секцій; в – семи секцій

■ – зерно жита А; ■ – зерно жита В; ■ – зерно жита С; ■ – зерно жита D

Таблиця 1 – Результати розрахунку індексу Δ_i (%) для зерна пшениці певного кольору (якості) у кожному контейнері

Контейнер	Колір (якість) зерна пшениці			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Контейнер 1	2,8	58,0	37,2	23,6
Контейнер 2	4,4	43,2	28,8	18,8
Контейнер 3	40,0	26,4	36,8	29,6
Контейнер 4	36,8	8,4	22,4	22,8
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Контейнер 1	12,4	25,6	4,8	8,4
Контейнер 2	16,0	19,6	9,6	6,0
Контейнер 3	13,6	26,0	39,2	26,8
Контейнер 4	8,8	7,6	24,8	26,0
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Контейнер 1	13,6	18,0	22,8	18,4
Контейнер 2	17,6	4,0	0,8	12,8
Контейнер 3	9,6	13,2	12,4	8,8
Контейнер 4	23,2	12,0	0,8	12,0

У випадку змішування пшениці чотирьох кольорів у семи секціях змішувача (рис. 3, в) вміст зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів знаходився в межах від $c_D = 20,4\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 1) до $c_A = 30,8\%$ (зерно зеленого кольору (A) в контейнері 4). У цьому випадку значення індексу Δ_i перевищувало рекомендоване значення лише у контейнері 4 для зерна зеленого кольору (A) – $\Delta_A = 23,2\%$ та у контейнері 1 для зерна синього кольору (C) – $\Delta_C = 22,8\%$.

Результати розрахунку коефіцієнтів неоднорідності суміші V_c (%) зерна пшениці з усіх контейнерів представлені у таблиці 2. Їх аналіз показує, що значення коефіцієнта неоднорідності суміші зерна пшениці, яку отримали шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів, залежно від кольору (якості) зерна, за яким визначався коефіцієнт, знаходилося в межах (таблиця 2):

- для суміші після змішування у трьох секціях змішувача – від $V_c = 27,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 45,1\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у п'яти секціях змішувача – від $V_c = 14,5\%$ (для зерна

зеленого кольору (A)) до $V_c = 25,7\%$ (для зерна синього кольору (C));

- для суміші після змішування у семи секціях змішувача – від $V_c = 14,2\%$ (для зерна синього кольору (C)) до $V_c = 18,7\%$ (для зерна зеленого кольору (A)).

З огляду на отримані результати, семи секцій гравітаційного змішувача колонного типу цілком достатньо для змішування зерна пшениці із задовільною якістю, оскільки у цьому випадку $V_c < 20\%$.

Проаналізуємо результати змішування зерна жита чотирьох кольорів у трьох, п'яти та семи секціях запропонованого гравітаційного змішувача колонного типу.

У випадку змішування зерна жита у трьох секціях змішувача вміст зерна різних кольорів (якості) в контейнерах коливався від $c_C = 6,3\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 2) до $c_B = 54,9\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1) (рис. 4, а). Це зумовило відхилення вмісту зерна жита усіх кольорів (якості) у суміші від необхідного його вмісту ($c_{0i} = 25\%$) у ній. Тому значення індексу Δ_i знаходилося в межах від $\Delta_C = 22,0\%$ (для зерна жита синього кольору (C) у контейнері 4) до $\Delta_B = 119,6\%$ (для зерна червоного кольору (B)

у контейнері 1) (таблиця 3). Рекомендоване відхилення вмісту ($\Delta_i \leq 20\%$) зерна певного кольору від заданого значення не було дотримане у жодному контейнері для зерна жита усіх кольорів. Тому проходження потоків зерна через три секції змішувача не забезпечує необхідну якість зернової суміші.

У випадку змішування жита чотирьох кольорів у п'яти секціях змішувача (рис. 4, б) вміст зерна різних кольорів (якості) в контейнерах перебував у межах від $c_B = 16,0\%$

(зерно червоного кольору (B) в контейнері 4) до $c_B = 38,2\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1). Відхилення вмісту зерна жита від необхідного його вмісту знаходилося у межах від $\Delta_C = 0,4\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 3) до $\Delta_B = 52,8\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1) (таблиця 3). Значення індексу Δ_i у цьому випадку значно перевищувало рекомендоване значення, тому для змішування зерна жита недостатньо п'яти секцій змішувача.

Таблиця 2 – Результати розрахунку коефіцієнта неоднорідності суміші V_c (%) з усіх контейнерів за зерном певного кольору (якості)

Культура	Колір (якість) зерна			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Пшениця	31,9	45,1	36,2	27,6
Жито	69,6	82,9	82,2	67,6
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Пшениця	14,5	24,8	25,7	22,8
Жито	22,8	40,5	27,7	21,6
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Пшениця	18,7	14,8	14,2	15,7
Жито	11,7	10,4	16,3	14,9

Таблиця 3 – Результати розрахунку індексу Δ_i (%) для зерна жита певного кольору (якості) у кожному контейнері

Контейнер	Колір (якість) зерна жита			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Контейнер 1	52,0	119,6	30,4	37,2
Контейнер 2	64,8	73,6	74,8	83,6
Контейнер 3	68,4	31,2	106,4	69,2
Контейнер 4	52,0	52,4	22,0	22,4
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Контейнер 1	21,6	52,8	33,6	2,4
Контейнер 2	21,2	22,8	9,2	34,8
Контейнер 3	22,0	6,8	0,4	14,8
Контейнер 4	10,4	36,0	35,2	9,6
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Контейнер 1	0,8	5,6	14,0	7,6
Контейнер 2	14,4	11,6	16,4	19,2
Контейнер 3	1,6	4,8	16,0	12,8
Контейнер 4	14,0	11,6	7,6	10,0

У випадку змішування зерна жита чотирьох кольорів у семи секціях змішувача (рис. 4, в) вміст зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів знаходився в межах від $c_C = 20,9\%$ (зерно синього кольору (С) в контейнері 2) до $c_D = 29,8\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 2). Значення індексу Δ_i не перевищувало рекомендоване значення у жодному контейнері, а найбільше значення індексу становило $\Delta_D = 19,2\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 2) (таблиця 3).

Розраховані коефіцієнти неоднорідності суміші V_c (%) зерна жита з усіх контейнерів представлені у таблиці 2. Їх аналіз показує, що значення коефіцієнта неоднорідності суміші зерна жита, яку отримали шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів, залежно від кольору (якості) зерна, за яким визначається коефіцієнт, знаходилося в межах (таблиця 2):

- для суміші після змішування у трьох секціях змішувача – від $V_c = 67,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 82,9\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у п'яти секціях змішувача – від $V_c = 21,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 40,5\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у семи секціях змішувача – від $V_c = 10,4\%$ (для зерна червоного кольору (B)) до $V_c = 16,3\%$ (для зерна синього кольору (C)).

Таким чином, при змішуванні зерна жита у семи секціях змішувача можна отримати зернову суміш задовільної якості, оскільки у цьому випадку $V_c < 20\%$.

ВИСНОВКИ

За результатами експериментальних досліджень змішування зерна пшениці та жита чотирьох кольорів, що імітують зерно із різними якісними показниками, в однаковому співвідношенні у гравітаційному змішувачі колонного типу встановлено, що задовільну якість зернової суміші можна отримати під час змішування зернових потоків у семи секціях змішувача. У цьому випадку індекс Δ_i перевищував рекомендоване значення лише в одному контейнері для зерна пшениці зеленого кольору (A) – $\Delta_A = 23,2\%$ та в одному контейнері для зерна пшениці синього кольору (C) – $\Delta_C = 22,8\%$, а для зерна жита індекс Δ_i не перевищував рекомендоване значення у жодному контейнері. Разом із тим, значення

коефіцієнта неоднорідності суміші зерна для випадку змішування у семи секціях не перевищувало $V_c = 18,7\%$ (для суміші зерна пшениці) та $V_c = 16,3\%$ (для суміші зерна жита), що свідчить щодо задовільної якості зернової суміші.

З огляду на отримані результати дослідження, рекомендується проводити формування партій зерна (пшениці, жита та інших сільськогосподарських культур) із сировини з різними якісними показниками шляхом змішування у змішувачі колонного типу. До переваг такого змішування можна віднести: задовільну якість зернової суміші без енерговитрат безпосередньо на змішування; реалізація безперервного змішування у великих обсягах і, відповідно, можливість встановлення запропонованого гравітаційного змішувача у технологічних лініях елеваторів та зернових терміналів; відсутність факторів (активних робочих органів), які б могли зумовити пошкодження зерна. Основними перевагами змішувача колонного типу є компактність та зручність в обслуговуванні.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Dudarev, I., & Hunko, Yu. (2019). Determining the advantages of the gravitational mixer of granular and bulk materials. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2(13), 5-13. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i13.82>
- Ghanem, A., Lemeland, T., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2014). Static mixers: mechanisms, applications, and characterization methods – a review. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(2), 205-228. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.07.013>
- Ivanec, V. N., Borodulin, D. M., Popov, A. M., & Tikhonov, V. V. (2014). Design of drum type apparatus for processing of bulk materials. *Procedia Chemistry*, 10, 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.066>
- Moakher, M., Shinbrot, T., & Muzzio, F. J. (2000). Experimentally validated computations of flow, mixing and segregation of non-cohesive grains in 3D tumbling blenders. *Powder Technology*, 109(1-3), 58-71. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00227-2](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00227-2)
- Ryndin, A. A., Streljuhina, A. N., & Sorokina, Y. A. (2021). Approaches to improving the grain quality control system at elevators. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(3), 61-67. (in Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-61-67>
- Stankevych, G., Borta, A., & Penaki, A. (2020). Improving the quality of export consignments of

- class 4 wheat intended to be used as food. *Food Science and Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i2.1724>
- Thakur, R. K., Vial, C. H., Nigam, K. D. P., Nauman, E. B., & Djelveh, G. (2003). Static mixers in the process industries – a review. *Chemical Engineering Research and Design*, 81(7), 787-826. <https://doi.org/10.1205/026387603322302968>
- Борта, А. В., Яковенко, А. І., & Артюшенко, П. М. (2020). Формування помольної партії при змішуванні пшениці різних класів (*Formation of a grinding batch when mixing wheat of different classes*). *Хранение и переработка зерна. Научно-практический портал*. Отримано 27.02.2020 з <https://hipzmag.com/tehnologii/formuvannya-pomolnoyi-partiyi-pri-zmishuvanni-pshenitsi-riznih-klasiv/>
- Гучева, Н. В. (2014). Экспериментальные исследования процесса смешивания сыпучих зерновых материалов (*Experimental studies of the mixing process of bulk grain materials*). *Вестник ДГТУ*, 14/3(78), 172-177. <https://doi.org/10.12737/5696>
- Дударев, І. М. (2018). Патент України 127950 (*Patent UA 127950*). Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.
- Меренкова, С. П., & Лукин, А. А. (2016). Рациональные принципы формирования оптимальных технологических свойств муки пшеничной хлебопекарной (*Rational principles of formation of optimum technological properties of the flour baking*). *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 2, 20-25.
- Ревенко, А. А., Бошканяну, Х. О., Станкевич, Г. М., & Борта, А.В. (2016). Формування партій зерна пшениці підвищеної якості (*Formation of batches of high quality wheat grain*). В *Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді. Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів* (С. 245). Харків: ХДУХТ.
- Терешкин, Е. (2006). Скрытые резервы формирования помольных партий (*Hidden reserves for the formation of grinding parties*). *Хлебопродукты*, 10, 44-45.
- Урубков, С. А., & Дудаев, В. Г. (2019). Производство однородных помольных партий и смесей зерна мягкой пшеницы на элеваторах и мукомольных заводах (*Production of homogeneous grinding batches and mixtures of soft wheat grain in elevators and flour mills*). *Хранение и переработка зерна. Научно-практический портал*. Отримано 15.05.2019 з <https://hipzmag.com/tehnologii/pererabotka/proizvodstvo-gomogen-nyh-pomolnyh-partij-i-smesej-zerna-myagkoj-pshenitsy-na-elevatorah-i-mukomolnyh-zavodah/>
- Шпак, В. М. (2021). Удосконалення технології приймально-відпускних операцій та зберігання зерна на зернових терміналах (*Improving the technology of acceptance and release operations and storage of grain at grain terminals*) [Дисертація канд. техн. наук]. Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.