

УДК 664.641.12:633.111
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.21>

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В БОРОШНО

Любич В. В. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри харчових технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0003-4100-9063

Єремєєва О. А. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0001-5973-7814

Відповідно до прийнятої структури сортів помелів пшениці перші три розмелювальні системи подрібнюють продукти першої якості. На цих системах утворюється найбільша кількість борошна високих сортів, тому дослідження режимів подрібнення цих систем має велике значення для отримання найбільшого виходу борошна вищого сорту. Метою роботи є дослідження щодо вдосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно для зниження енерговитрат у процесі його виробництва. Дослідженнями проведеними у виробничих умовах встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцьового верстату при подрібненні сходових продуктів з 1-ї розмелювальної системи на 2-ій розмелювальній системі відбувається зменшення виходу дрібної крупки та дунстів, а вихід борошна 1-го сорту збільшується на незначну величину. вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи може дати максимальний добуток борошна до 35 %, в той же час додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисмембраторі дозволяє підвищити загальний добуток борошна вищого сорту до 60 %, що на 25 % більше ніж при застосуванні тільки одного вальцьового верстата. Дослідженнями встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Зі збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 31,0 %, вихід борошна після ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1 % до 30,6 %. Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак. Отже, найбільшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцьовому верстаті – 35 %. При цьому застосування ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62 %.

Ключові слова: борошно, розмел, крупка, дунст, ентолейтор-дисмембратор, вальцьовий верстат.

Liubych V. V., Yermeeva O. A. Improvement of the technological process of wheat grain grinding into flour

In accordance with the adopted structure of graded wheat grinding, the first three grinding systems grind products of the first quality. On these systems, the largest amount of high-grade flour is formed. Therefore, the study of grinding modes of these systems is of great importance for obtaining the largest yield of high-grade flour. The aim of the work is research on improving the technological process of grinding wheat grain into flour to reduce energy consumption in the process of its production. The research carried out in production conditions established that the roll spacing of the mill is reduced when grinding the grain products from the 1st grinding system to the 2nd grinding system, the yield of middlings and dusts decreases, and the yield of the 1st grade flour increases by an insignificant amount. The rolling machine of the 2nd grinding system can give a maximum flour yield of up to 35 %. At the same time, additional grinding of intermediate stock in entoleter-dismembrator allows to increase the total yield of high-grade flour to 60 %, which is 25 % more than when using only one rolling machine. Research has established that the dependence of the flour yield in ESM-1.5 entoleter-dismembrator complies

with a linear law depending on the yield of high-grade flour in the rolling machine of the 2nd grinding system. With an increase in the yield of high-grade flour in a rolling machine from 5.3 % to 31.0 %, the yield of flour after ESM-1.5 entoleter-dismembrator increases from 23.1 % to 30.6 %, respectively. The correlation coefficient of the experimental data is 0.92, which indicates a close connection of the studied features. Therefore, the highest yield of flour on the 2nd grinding system is achieved in grinding modes on a rolling machine – 35 %. At the same time, the use of ESM-1.5 entoleter-dismembrator allows to increase the total flour yield on the 2nd grinding system up to 62 %.

Key words: *flour, grinding, middlings, dust, entoleter-dismembrator, rolling machine.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Відповідно до прийнятої структури сортових помелів пшениці перші три розмелювальні системи подрібнюють продукти першої якості [1; 2]. На цих системах утворюється найбільша кількість борошна високих сортів, тому дослідження режимів подрібнення цих систем має велике значення для отримання найбільшого виходу борошна вищого сорту. Режим роботи розмелювальних систем визначається добутком борошна вищого сорту [3; 4].

Дослідженнями [5; 6] режимів подрібнення в драному процесі встановлено, що існують режими подрібнення зерна та сходових продуктів драного процесу у вальцьових верстатах при яких досягається найбільший вихід круподунових продуктів, які в подальшому направляються на збагачення. Найбільший вихід круподунових продуктів, які можна отримати в драному процесі дає можливість збільшити вихід борошна високих сортів, які отримують на перших трьох розмелювальних системах. У роботах доведено [7; 8], що збагачені крупки і дунсти подаються на розмелювальні системи, де подрібнюються до розмірів частинок менше 130 мкм, що утворюють борошно найвищої якості. Тому постає питання ефективності режимів подрібнення збагачених круподунових продуктів у вальцьових верстатах розмелювальних систем з метою отримання найбільшого виходу борошна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних та інформаційних джерелах відсутні дані щодо режимів подрібнення вальцьових верстатів найбільш важливих перших трьох розмелювальних систем першої якості на яких отримують найбільшу кількість борошна високих сортів [9]. Ці питання є важливими для проектувальників під час розроблення балансів помелу нових борошномельних заводів, а також для технологів борошномельних заводів [10]. Виходячи із цього одним із таких завдань наших наукових досліджень є вивчення режимів подрібнення круподунових продуктів у вальцьових верстатах та ентолейторах-дисембраторах, а також їх сумісної дії.

Із загальних витрат енергії на млинзаводі 70...75 % витрачається у розмелювальному процесі і близько 11 % у зерноочисному відділенні. На процес подрібнення витрачається не менше 1/3 загальної кількості енергії, яка споживається [8; 11]. У розмелювальному процесі заводу 55...58 % енергії витрачається в драному процесі, 25...57 у ситовійному і шліфувальному процесах і 42...46 % – в розмелювальному процесі. Питомі витрати енергії тісно корелюють із фактичним виходом борошна. Витрати електроенергії на виробництво борошна залежить від ступеня розвинутої технологічної схеми помелу [7; 12]. При більш розвинутій технологічній схемі витрати електроенергії вищі. Рекомендовані норми питомих витрат електроенергії при багатосортних помелах із розвинутою схемою помелу становлять 65...70 кВт·год на 1 т виробленого борошна, для помелів зі скороченою схемою технологічного процесу становлять 52...60 кВт·год на 1 т виробленого борошна [3; 13]. При впровадженні нових технологій помелу та технологічних

рішень необхідно слідкувати, щоб питомі витрати електроенергії не перевищували рекомендованих норм [14]. Тому зниження витрат електроенергії на подрібнення зерна і проміжних продуктів є важливою інженерною задачею.

Формування цілей статті. Метою роботи є дослідження щодо вдосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно для зниження енерговитрат у процесі його виробництва.

Матеріали і методи дослідження. Під час проведення досліджень переробляли зерно пшениці із наступними показниками якості: натурна вага зерна – 791 г/л, вологість зерна на I драній системі – 16,2 %, скловидність – 38 %, смітна домішка – 0,4 %, зернова домішка – 2,3 %. Дослідження показників якості зерна та продуктів помелу проводили у виробничій лабораторії у виробничих умовах борошномельного заводу продуктивністю 330 т/добу. Для дослідження системи «вальцьовий верстат – ентолейтор-дисембратор» було обрано перші три розмелювальні системи першої якості, на яких встановлюють ентолейтори-дисембратори для максимального подрібнення збагачених продуктів у борошно.

Зміна режимів подрібнення та відбір зразків на першій розмелювальній системі здійснювали наступним чином: під час роботи розмелювального відділення на вказаній системі по всій довжині вальця відбирався за допомогою лотка продукт в кількості до 400...500 г. Оскільки продукти подрібнення розмелювальних систем подаються пневмотранспортом із вальцьового верстата в ентолейтори-дисембратори, а потім у циклон-розвантажувач, то відбір зразків при різних режимах подрібнення здійснювали через лючки після циклона-розвантажувача. Після відбору продукту за допомогою штурвалу, яким обладнано вальцьові верстати, змінювали зазор між вальцями і повторно здійснювали відбір продукту по всій довжині вальця та після ентолейтора-дисембратора.

Продукти подрібнення просівали на наборі сит № 27ПА-120, № 33/36ПА, № 41/43ПА та № 49/52ПА. Отримані результати виходу окремих фракцій продуктів подрібнення зображували графічно у координатах «загальний добуток борошна – вихід фракції».

Виклад основного матеріалу дослідження. Доведено, що на 1-й розмелювальній системі вальцьовий верстат може давати добуток борошна вищого сорту до 28 %, застосування ентолейторів-дисембраторів ЕСМ – 1,5 збільшує добуток борошна вищого сорту до 56 %.

Основним продуктом подрібнення для 2-ї розмелювальної системи є сходові продукти, які направляються із 1-ї розмелювальної системи. В залежності від режиму роботи 1-ї розмелювальної системи – це суміш дрібної крупки та дунстів. Можлива наявність борошна в сходових продуктах, які надходять у вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи за рахунок недосіву. Після подрібнення суміш складається із дрібної крупки, дунстів і борошна.

Дослідженнями проведеними у виробничих умовах встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцьового верстату при подрібненні сходових продуктів з 1-ї розмелювальної системи на 2-й розмелювальній системі відбувається зменшення виходу дрібної крупки та дунстів, а вихід борошна 1-го сорту збільшується на незначну величину. Результати досліджень наведено на рис. 1.

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 35,8 % вихід дрібної крупки зменшувався на 9,9 % із 11,9 % до 2,0 % за криволінійною залежністю, вихід дунстів зменшувався на 22,3 % із 53,9 % до 31,6 % за криволінійною залежністю. Вихід борошна вищого сорту

збільшувався на 2,7 % з 9,5 % до 12,2 %. Порівняння отриманих даних вказує на те, що вміст дунстів у подрібненій суміші має значний вміст і формування борошна вищого сорту відбувається за рахунок подрібнення переважно дунстів і менше дрібної крупки. Приріст борошна першого сорту є незначним у порівнянні з виходом борошна вищого сорту.

Подрібнений продукт після вальців пневмотранспортом подається в ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5, в якому додатково здійснюється подрібнення дрібної крупки та дунстів.

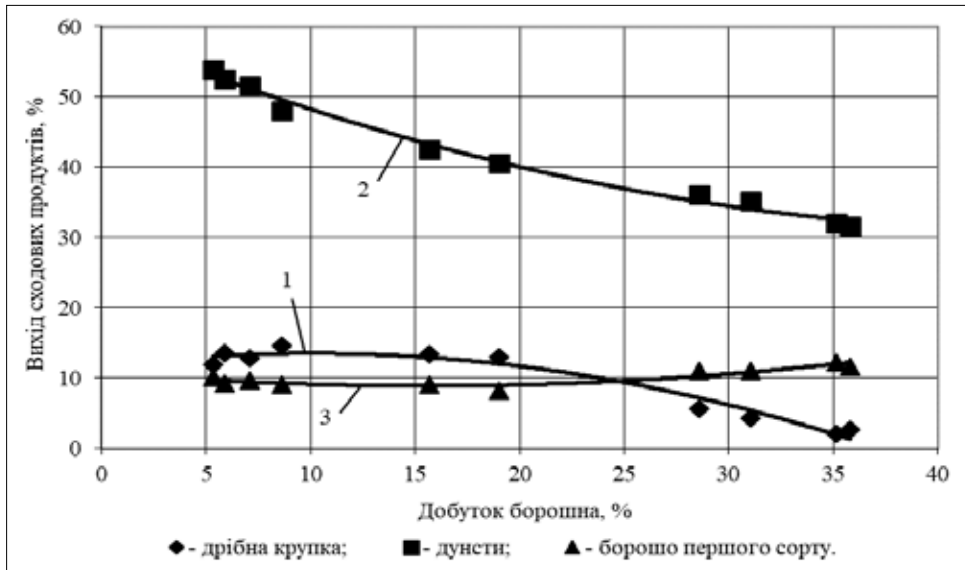


Рис. 1. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцовому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцовому верстаті після проходження суміші продуктів подрібнення через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 спостерігається аналогічне зменшення виходу дрібної крупки та дунстів також за криволінійними залежностями, а вихід борошна першого сорту суттєво не змінюється. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Підвищення загального добутку борошна вищого сорту з 28,5 % до 61,7 % на 2-й розмелювальній системі призвело до зниження виходу дрібної крупки на 5,2 % з 6,0 % до 0,8 %, дунстів на 27,9 % з 37,3 % до 9,4 %. Вихід борошна першого сорту суттєво не збільшився і коливався в межах від 9,0 % до 11,0 %.

Із аналізу рис. 1 та 2 також видно, що вальцовий верстат 2-ї розмелювальної системи може дати максимальний добуток борошна до 35 %, в той же час додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисембраторі дозволяє підвищити загальний добуток борошна вищого сорту до 60 %, що на 25 % більше ніж при застосуванні тільки одного вальцового верстата.

Вихід продуктів подрібнення на 2-й розмелювальній системі в залежності від загального добутку борошна вищого сорту $B_{б.в.с}$ описується наступними рівняннями:

вихід дрібної крупки на 2-й розмелювальній системі:

$$B_{ор.кр} = -0,00291 B_{б.в.с.}^2 + 0,104 B_{б.в.с.} + 5,4$$

де $B_{ор.кр}$ – вихід дрібної крупки, %;

$B_{б.в.с.}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 2-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,33 %.

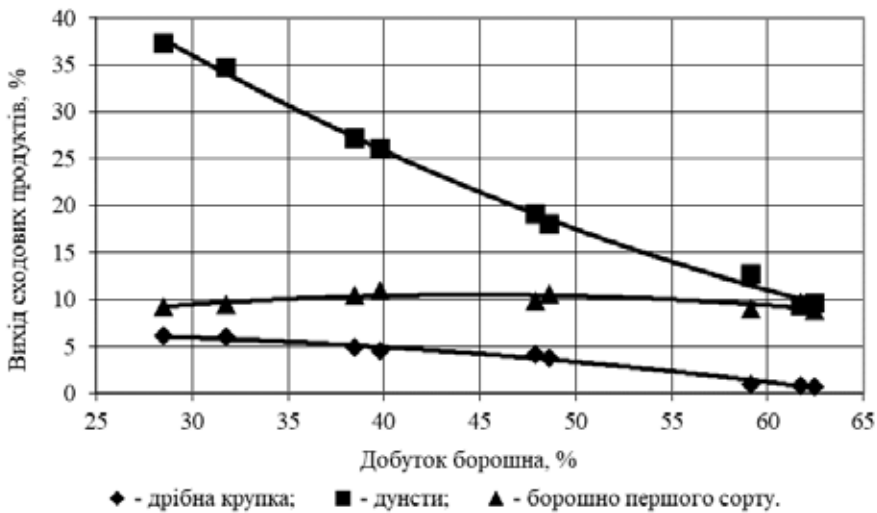


Рис. 2. Вихід сходових продуктів на 2 розмелювальній системі (вальцьовий верстат + ентолейтор-дисембратор) з врахуванням недосвігу

Дослідженнями встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейтор-дисембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Зі збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 31,0 %, вихід борошна після ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1 % до 30,6 %. Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак.

Пояснити цю залежність можна тим, що вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи подрібнюючи проміжні продукти, які на нього подаються, створює мікротріщини в крупках і дунстах, порушує мікроструктуру частинок, знижуючи їх міцність, які потім руйнуються до дрібніших частинок по межі утворених тріщин при проходженні через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5. Для забезпечення найбільшого виходу борошна високих сортів можна рекомендувати максимально низькі режими подрібнення у вальцьовому верстаті. Під час проведення виробничих досліджень досягнути умов при яких процес подрібнення буде супроводжуватися утворенням пластівців не вдалося.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Визначено режими подрібнення та запропоновано математичні залежності добутку борошна

та круподунстових продуктів першої розмелювальної системи із додатковим обладнанням ентолейтором-дисембратором ЕСМ-1,5. Найбільшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцювому верстаті – 35 %. При цьому застосування ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62 %. Експериментально встановлено, що залежність між добутком борошна вищого сорту у вальцювому верстаті розмелювальної системи та виходом борошна вищого сорту в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 має лінійну залежність. Результати експериментальних досліджень описано математичними залежностями, що дозволяє використовувати їх для розрахунку кількісних балансів борошна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Любич В. В., Железна В. В., Єремєєва О. А., Новак Л. Л. Вплив режимів помелу збагачених круподунстових продуктів на вихід борошна під час сортового помелу пшениці. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. № 3. С. 150–158.
2. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В. Хлібопекарські властивості зерна спелти залежно від удобрення. *Вісник Уманського НУС*. 2015. № 1. С. 11–16.
3. Vereshchinsky A. P. Grain preparation by hulling in mills of high-quality grinding of wheat. *Storage and processing of grain*. 2009. Vol. 11. P. 34–35.
4. Mateos-Salvador F., Sathukhan J., Campbell G. M. Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. *Powder Technology*. 2013. Vol. 237. P. 107–116.
5. Fistes A., Tanovic G., Mastilovic J. Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 85. P. 296–302.
6. Mateos-Salvador F., Sathukhan J., Campbell G. M. The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*. 2011. Vol. 208. P. 144–157.
7. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brdar M. Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 102. P. 346–353.
8. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brda M. Solution of the breakage matrix reverse problem. *Powder Technology*. 2014. Vol. 268. P. 412–419.
9. Господаренко Г. М., Любич В. В., Новіков В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В. Вплив типу зерна пшениці на техніко-економічні показники круп'яного виробництва та кулінарну оцінку готового продукту. *Вісник Уманського НУС*. 2017. № 1. С. 38–44.
10. Mabile J., Abecassis F. Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective. *Journal of Cereal Science*. 2003. Vol. 37. P. 43–53.
11. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. № 2. С. 35–41.
12. Любич В. В., Железна В. В., Стратуца Я. С. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 3. С. 133–143.
13. Господаренко Г. М., Любич В. В., Железна В. В., Новіков В. В. Оптимізація технології хліба з використанням борошна гарбузового. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 81–87.
14. Любич В. В., Железна В. В., Новіков В. В. Формування кулінарної якості хліба з борошном гарбузовим різних сортів. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2022. Вип. 2. С. 5–10.

REFERENCES:

1. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Ereneyeva, O.A., Novak, L.L. (2020). Vplyv rezhymiv pomelu zbahachenykh krupodunstovykh produktiv na vykhid boroshna pid chas sortovoho pomelu pshenytsi [The effect of grinding regimes of enriched grain products on the yield of flour during graded milling of wheat]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho – Academic notes of the Tavri National University named after V.I. Vernadskyi*, 3, 150–158 [in Ukrainian].
2. Hospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., Polyanetska, I.O., Voziyan, V.V. (2015). Khlibopekarski vlastyvoli zerna spelyt zalezho vid udobrennia [Baking properties of spelled grain depending on fertilizer]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of Uman NUS*, 1, 11–16 [in Ukrainian].
3. Vereshchinsky, A. P. (2009). Grain preparation by hulling in mills of high-quality grinding of wheat. *Storage and processing of grain*, no. 11, pp. 34–35 [in English].
4. Mateos-Salvador, F., Sadhukhan, J., Campbell, G. M. (2013). Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. *Powder Technology*, no. 237, pp. 107–116 [in English].
5. Fistes, A., Tanovic, G., Mastilovic, J. (2008). Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. *Journal of Food Engineering*, no. 85, pp. 296–302 [in English].
6. Mateos-Salvador, F., Sadhukhan, J., Campbell, G. M. (2011). The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*, no. 208, pp. 144–157 [in English].
7. Fistes, A., Rakic, D., Takaci, A., Brdar, M. (2013). Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. *Chemical Engineering Science*, no. 102, pp. 346–353 [in English].
8. Fistes, A., Rakic, D., Takaci, A., Brda, M. (2014). Solution of the breakage matrix reverse problem. *Powder Technology*, no. 268, pp. 412–419 [in English].
9. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Novikov, V. V., Polyanetska, I. O., Voziyan, V. V. (2017). Vplyv typu zerna pshenytsi na tekhniko-ekonomichni pokaznyky krupianoho vyrobnytstva ta kulinarnu otsinku hotovoho produktu [The influence of the type of wheat grain on the technical and economic indicators of cereal production and the culinary evaluation of the finished product]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of the Uman State University*, 1, 38–44 [in Ukrainian].
10. Mabile, J., Abecassis, F. (2003). Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective. *Journal of Cereal Science*, no. 37, pp. 43–53 [in English].
11. Liubich, V.V. (2017). Khlibopekarski vlastyvoli zerna sortiv pshenytsi ozymoi zalezho vid vydiv, norm i strokiv zastosuvannia azotnykh dobryv [Bread properties of grain of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of application of nitrogen fertilizers]. *Visnyk Dnipropetrovskoho DAEU – Bulletin of Dnipropetrovsk State Economic University*, 2, 35–41 [in Ukrainian].
12. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Stratutsa, Ya.S. (2022). Perspektyvy vykorystannia trytykale v khlibopekarskii promyslovosti [Prospects for the use of triticale in the bakery industry]. *Tavriiskyi naukovi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 3, 133–143 [in Ukrainian].
13. Gospodarenko, H. M., Lyubich, V. V., Zhelezna, V. V., Novikov, V. V. (2022). Optyimizatsiia tekhnolohii khliba z vykorystanniam boroshna harbusovoho [Optimization of bread technology using pumpkin flour]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of the Uman State University*, 1, 81–87 [in Ukrainian].
14. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Novikov, V.V. (2022). Formuvannia kulinarnoi yakosti khliba z boroshnom harbusovym riznykh sortiv [Formation of the culinary quality of bread with pumpkin flour of different varieties]. *Naukovi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of the Poltava University of Economics and Trade*, 2, 5–10 [in Ukrainian].