

**Д. А. Дерев'янку**

доктор технічних наук,
професор кафедри агроінженерії і технічного сервісу,
Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

**В. М. Поліщук**

доктор технічних наук,
професор кафедри охорони праці
та біотехнічних систем у тваринництві,
Національний університет біоресурсів
і природокористування (м. Київ, Україна)
E-mail: polishchuk@nubip.edu.ua

**Р. С. Грудовий**

кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і технічного сервісу,
Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

**О. Д. Дерев'янку**

магістр,
Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ЙОГО ТРАВМУВАННЯ ПІД ЧАС РУХУ ПО ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕШЕТА ВІБРОСЕПАРАТОРА

Для виконання головного завдання агропромислового комплексу країни, щодо кількісного і якісного продовольчого забезпечення населення, важливим є збільшення урожайності зернових культур до 55-60 центнерів з гектара посіву, щоб отримати 100 млн тонн зерна, а підготовки якісного насіння є визначальним для вирішення цього питання.

Основною метою наукових досліджень є зниження макро- і мікротравмування насіння та покращення якісних показників, особливо схожості, маси, натури, клейковини, білку під час оброблення зернового вороху і підготовки якісного насіння на всіх стадіях технологічного процесу від збирання до сівби та розроблення і вдосконалення конструкційно-технологічних параметрів робочих органів технічних засобів, для реалізації цих процесів у виробництво.

Виконання досліджень проводилось на основі методу математичного моделювання процесів підготовки насіння, застосування диференціювання, інтегрування, основних законів механіки та сучасних комп'ютерних обчислень.

Доведено, що найкращої якості насіння з мінімальним деформуванням і травмуванням отримано під час його підготовки на решеті діаметром 2,6 мм при обертах до 6 рад. c^{-1} .

Експериментальні, лабораторні та виробничі результати досліджень показали, що при обертах решета більше 9 рад. c^{-1} , насіння масою 0,05-0,06 г зазнає значного мікротравмування, що інколи сягає 35-45% і суттєво впливає на зниження його якості, особливо схожості, навіть менше 70%.

Перспективи подальших досліджень бажано зосередити на вивченні впливу різних робочих органів технічних засобів в комплексі та взаємозв'язку на зернівки різних сортів зернових культур за всіх технологічних процесів підготовки насіння від збирання до сівби.

Ключові слова: насіння, мікротравмування, технічні засоби, робочі органи, ударяння, моделювання, сила, швидкість, якість.

D. A. Derevyanko

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service, Polis National University
(Zhytomyr, Ukraine)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

V. M. Polishchuk

Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Labor Protection and Biotechnical Systems in Animal Husbandry,
National University of Bioresources and Nature Management (Kyiv, Ukraine)
E-mail: polishchuk@nubip.edu.ua

R. S. Grudovy

Phd of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and Technical Service,
Polissia National University (Zhytomyr, Ukraine)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

O. D. Derevyanko

Master,
Polissia National University (Zhytomyr, Ukraine)
E-mail: derevyanko.dmutro@gmail.com

SUBSTANTIATION OF THE IMPACT INTERACTION OF GRAIN CROP SEEDS AND THEIR DAMAGE DURING MOVEMENT ON THE SURFACE OF THE OSCILLATING SEPARATOR'S CYLINDRICAL SCREEN

It is important to increase grain yields to 55-60 centners per hectare to produce 100 million tons of grain to fulfill the main task of the country's agro-industrial complex in terms of quantitative and qualitative food supply. The preparation of quality seeds is crucial to solve this issue.

The main purpose of the research is to reduce macro- and micro-damages of seeds and to improve quality indicators especially germination ability, weight, natural weight, gluten, protein during grain thrashed heap processing as well as the preparation of quality seeds at all stages of the process from harvesting to sowing and development or technological parameters improvement of the working bodies of technical means for the implementation of these processes in production.

The research was carried out on the basis of the mathematical model approach of seed preparation processes, application of differentiation, integration, general laws of mechanics and modern computer calculations.

It is proved that the best quality seeds with minimal deformation and damage were obtained during their preparation on a sieve with a diameter of 2.6 mm at speeds up to 6 rad. s⁻¹.

Experimental, laboratory and production results of the research have shown that at the speed of a sieve more than 9 rad. s⁻¹, seeds weighing 0.05-0.06 g. undergo significant micro-trauma, sometimes reaching 35-45% and significantly reduce their quality especially germination ability, even less than 70%.

Prospects for the further research should focus on studying the impact of different working bodies of technical means in the complex and the relations between the grains of different varieties of grain crops in all technological processes of seed preparation from harvesting to sowing.

Key words: seeds, micro-trauma, technical means, working bodies, impact, modeling, strength, speed, quality.

Постановка проблеми. Для виробництва 100 млн тонн зерна і отримання урожайності зернових культур у країні більше 55-60 ц/га, необхідно підготувати більше 2 млн тонн високоякісного насіння. Адже сімба низькоякісним посівним матеріалом, призводить до завищених норм використання, зниження урожайності, суттєвого зростання собівартості, що позначається на зростанні цін на продукти харчування.

Для отримання насіння високої якості, насамперед польової схожості, дуже важлива оптимальна робота режимів роботи та впливу на пошкодження, деформацію і мікротравмування зернівок, під час всіх стадій технологічних процесів підготовлення насіння, від збирання до сівби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [1, 2] свідчать, що технічні засоби і технологічні лінії, не сприяють підготовленню насіння високої якості згідно існуючих вимог державних стандартів та потреб забезпечення великої кількості населення необхідними продуктами харчування, тому що в значній мірі деформують та травмують зернівки під час технологічних процесів.

Для мінімізації мікротравмування насіння необхідно, щоб сила ударяння $F_{\text{вд}}$ була меншою допустимої сили удару $[F_{\text{вд}}]$, а під час проходження робочими органами необхідне обмеження максимальної швидкості руху в межах

7,7-8,2 м/с і обертів циліндричного решета до 6 рад. с⁻¹. Важливу роль відіграють розміри отворів комірок сортувальних решіт і час дії ударяння 0,001-0,002 с.

За даними [3, 4], травмування насіння, особливо мікротравмування під час збирання сягає до 33%, а під час різних технологічних процесів післязбирального оброблення інколи навіть перевищує 55%, що суттєво впливає на зниження схожості, інших показників якості та, що дуже важливо на урожайність.

Згідно результатів даних [5, 6], оптимальні режими підсушування у поєднанні з механічними впливами робочих органів і необхідними мінімальними витратами енергії, позитивно впливають на якість насіння різних зернових культур.

В роботах щодо наукових, експериментальних, лабораторних і виробничих досліджень [7-12], тощо стверджується, що оптимальні витрати енергії, умови екологічного довкілля, забезпечення поживними речовинами, погоднокліматичні фактори мають значний вплив на якість і продуктивність, а зіткнення і ударяння зернівок з робочими поверхнями технічних засобів, кути їх нахилу α більше 15° та оберти, під час технологічного процесу, більше 6 рад. с⁻¹ сприяють збільшенню мікротравмованого насіння і зниженню його якісних показників, особливо схожості, натуре, скловидності та ураження

мікроорганізмами – фузаріозом, гельмінтоспориозом, септоріозом, плісневими грибами, тощо.

Метою дослідження є моделювання динаміки травмування та деформації насіння і покращення його якості на основі експериментальних, лабораторних, виробничих аналізів отриманих результатів у комплексі та взаємозв'язку за різних технологічних процесів його підготовки від збирання до сівби.

Методика дослідження. Наукові дослідження експериментального і виробничого характеру щодо макро- та мікротравмування насіння виконувалось із використанням натурних зразків багатофакторного досліді озимої пшениці сортів Миронівська 65 і Одеська 237 та озимого жита сортів Вехняцьке 32 і Клич у господарствах Полісся і Лісостепу України.

Підготовка насіння високої якості, його калібрування і сортування проводилось із використанням запатентованого нового робочого органу і розміщеного незалежно від роботи інших частин машини. Робочі поверхні і окремі частини робочих компонентів вловлювача-розподільника насіння, виготовлені із пом'якшуючих ударянням матеріалів, а саме: з дерева, пластмаси, гуми, що суттєво знижує мікротравмування і деформацію зернівок.

Встановлено, що використання решета з отвором комірок діаметром 2,6 мм і швидкості руху насіння по його поверхні 7,7-8,2 м/с та обертання циліндричного решета вібросепаратора до 6 рад. с⁻¹, суттєво зменшує кількість мікротравмованих зернівок і підвищує їх якість, особливо схожість.

Основні результати дослідження. Згідно теоретичних розрахунків відповідно абсолютної швидкості сходження насіння з пневмосепарувального пристосування $V_n(T)$ на верхнє циліндричне решето впливає на контактування, тобто ударяння, що викликає травмування, а інколи і руйнування. Через те, що відстані сходження і потрапляння дуже малі, біля 1-2 мм, то, потрапивши на решето зернівка продовжують рух з тією ж швидкістю.

Ударна взаємодія зернівок з поверхнею робочого органу надана на (рис. 1).

Під час зустрічі зернівки із робочою частиною решета вона ударяється з поверхнею під певним кутом α до нормалі його поверхні. Через велику швидкість руху, кут зіткнення дуже близький до нуля, а час ударяння надзвичайно малий, тому обертальним рухом можна знехтувати і сприймати ударяння як з нерухою поверхнею, а тому ударний імпульс \bar{S} направлений по нормалі до поверхні решета. В цьому випадку використаємо теорему зміни кількості руху при ударі:

$$m\bar{U} - m\bar{V} = S\bar{n} \quad (1)$$

де S – ударний імпульс; \bar{n} – одиничний вектор нормалі; \bar{U} – швидкість руху після ударяння; \bar{V} – швидкість до ударяння; m – маса зернівки.

У проекції на осі $\bar{\tau}$ і \bar{n} векторне рівняння зміни кількості руху матиме вигляд:

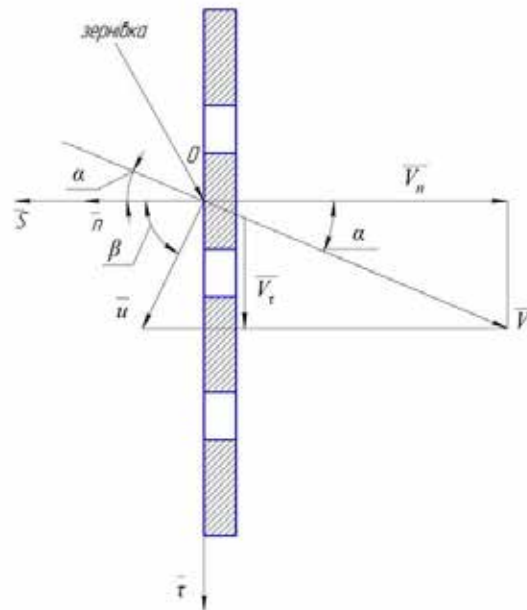


Рис. 1. Взаємодія зернівки з робочою поверхнею решета під час підготовки насіння

$$U_t - V_t = 0, \quad U_n - V_n = \frac{1}{m}S \quad (2)$$

У цьому випадку $U_t = V_t$, або дотична складова швидкості V_t після ударяння зберігає свій модуль і напрям. Одночасно модуль і напрям нормальної складової змінюється в зв'язку із зміною величини ударного імпульсу S .

Якщо врахувати, що ϵ це коефіцієнт відновлення, що значить відновлення модуля нормальної складової швидкості після удару до цієї складової до удару, то отримаємо наступний вираз:

$$U_n = -\epsilon \cdot V_n \quad (3)$$

Тому, здійснивши відповідні розрахунки і підставивши у вираз (2) та враховуючи, що ударний імпульс отримуємо з виразу інтегрування пропоруційності сили удару і часу ударяння $S = \int_0^{t_{yd}} F_{yd} dt$, тоді матимемо:

$$S = F_{yd, cp} \cdot t_{yd}, \quad \text{звідки} \quad F_{yd, cp} = \frac{S}{t_{yd}} \quad (4)$$

Провівши необхідні розрахунки та підставивши значення імпульсу S , отримаємо:

$$F_{yd} = \frac{2mV_n(1 + \epsilon)}{t_{yd}} \quad (5)$$

Якщо $V_n = V \cos \alpha$, а $\alpha \approx 0$, то $\cos \alpha \approx 1$, відповідно матимемо наступний результат:

$$F_{yd} = \frac{2mV(1 + \epsilon)}{t_{yd}} \quad (6)$$

Щоб травмування зернівок не відбувалося необхідно, щоб сила удару була меншою, або хоч би дорівнювала допустимій силі ударяння, тобто $F_{yd} \leq [F_{yd}]$, тому зробимо підставлення у вираз (6)

$\frac{2mV(1+\varepsilon)}{t_{y\partial}} \leq [F_{y\partial}]$, звідки можемо розрахувати обмеження максимальної швидкості руху насіння робочими поверхнями:

$$V_{\max} \leq \frac{[F_{y\partial}] \cdot t_{y\partial}}{2m(1+\varepsilon)}, \quad (7)$$

Згідно теоретичних розрахунків такі обмеження створюють стримування кутової швидкості диска пневмосепарувального пристосування і, таким чином, зменшують швидкість руху насіння, його зіткнення з робочими поверхнями, взаємозіткнення та сприяють зниження травмування.

Після сходження насіння з диска розподільника та потрапляння його на поверхню верхнього циліндричного решета, основною причиною мікротравмування зернівок є їх взаємодія з робочою поверхнею і гострою кромкою комірки решета, зберігаючи певний запас кінетичної енергії поступального руху. Під час цього руху на зернівку діє нормальна реакція (\bar{N}) поверхні решета. При зустрічі з коміркою, нормальна реакція зникає, а відцентрова сила інерції ($F_{\text{відц}}$) стає незрівноваженою і зернівка проникає в отвір комірки. В цей час і відбувається взаємодія з гострими поверхнями, ударяння і вкрай небезпечними є випадки, якщо вектор імпульсу ударяння проходить через центр ваги зернівки, яка травмується, а інколи і руйнується (рис. 2).

Припустимо, що реакція ударяння та імпульс удару направлені вздовж нормалі \bar{n} і після зіткнення зернівки з кромкою комірки отвору решета змінюється швидкість, сила і напрям удару. Тому застосуємо теорему зміни кількості руху, споектуємо векторне рівняння на осі $\bar{\tau}$ і \bar{n} з якого видно, що $U_{\tau} = V_{\tau}$, тобто дотична складова швидкості після ударяння не змінюється отримавши розрахунковим шляхом силу і час руху від верхньої кромки комірки до нижньої, та після інтегрування бачимо, що час дуже малий і практично $V_{\tau} \approx 0$, а кут $\varphi \approx 0$.

Тому, використавши відповідні розрахунки та умови, отримаємо значення імпульсу ударяння під час руху зернівки вниз S_1 і вгору S_2 по решету.

$$S_1 = m(1+\varepsilon)V_{1\max}; \quad S_2 = m(1+\varepsilon)V_{2\max} \quad (8)$$

Враховуючи значення імпульсу ударяння, середньої та допустимої сил ударяння і обмеження швидкості руху, отримаємо силу ударяння під час руху зернівки вниз $F_{y\partial 1}$, та вгору $F_{y\partial 2}$:

$$F_{y\partial 1} = \frac{2m(1+\varepsilon)V_{1\max}}{t_{y\partial}}, \quad F_{y\partial 2} = \frac{2m(1+\varepsilon)V_{2\max}}{t_{y\partial}} \quad (9)$$

З попередніх розрахунків відомо, що умовою нетравмування насіння є менші значення фактичної сили удару від допустимої, та використавши обмеження максимальної швидкості руху насіння по поверхні циліндричного решета знаходимо максимальну швидкість руху насіння вниз $V_{1\max}$ і вгору $V_{2\max}$.

$$V_{1\max} = \frac{[F_{y\partial}] \cdot t_{y\partial, \text{вниз}}}{2m(1+\varepsilon)}, \quad V_{2\max} = \frac{[F_{y\partial}] \cdot t_{y\partial, \text{вгору}}}{2m(1+\varepsilon)} \quad (10)$$

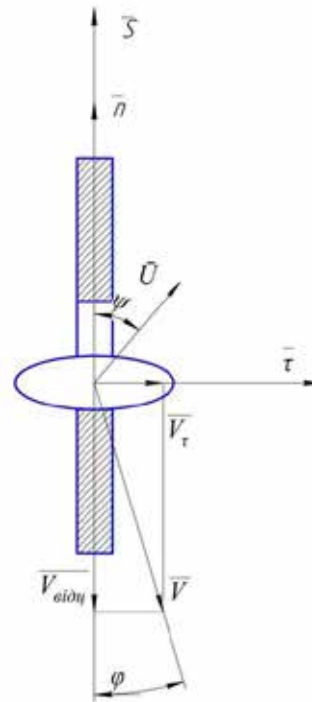


Рис. 2. Зустріч зернівки з коміркою отвору решета:

\bar{V}_e – рух насіння поверхнею решета; (швидкість руху насіння(зернівки) по поверхні решета)

V_{τ} – рух насіння від впливу відцентрової сили; (швидкість руху насіння(зернівки) під дією відцентрової сили)

\bar{V} – загальна швидкість руху зернівки до потрапляння в комірку;

\bar{U} – загальна швидкість після зіткнення з коміркою;

\bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні комірки решета;

$\bar{\tau}$ – одиничний дотичний вектор до кромки комірки решета;

φ – кут між вектором швидкості \bar{V} і вектором нормалі \bar{n} ;

\bar{S} – імпульс ударяння вздовж нормалі до комірки отвору решета.

Таким чином, теоретичні розрахунки свідчать, що швидкість руху, час дії та сила ударяння впливають на травмування, а особливо – на мікротравмування насіння озимої пшениці та жита, а відповідно здійснюється негативний вплив на якісні показники, що призводитиме до зниження урожайності.

Експериментально встановлено, що під час підготовки насіння зернових культур меншого травмування зазнають зернівки при використанні сортувальних решіт з діаметром комірок 2,6 мм та швидкістю їх руху в межах 7,7-8,2 м/с у порівнянні із використанням решіт з іншим діаметром отворів і швидкістю руху більше 9 м/с.

Під час експериментальних досліджень встановлено, що при потраплянні зернівок масою 0,05-0,06 г на поверхню циліндричного решета, що обертається із швидкістю 6-7 рад. с⁻¹, деформація і мікротравмування проходить у мінімальній кількості. Збільшення обертів до 9 рад. с⁻¹ і більше суттєво впливає на деформацію зернівок

та їх мікротравмування, що інколи сягає 25-30% і більше. Якщо оберти решета вібровідцентрового сепаратора сягають 9,5 рад с⁻¹, а його отвори менше 2,4 мм, то отримуємо більше половини мікротравмованого і неякісного насіння.

Висновки. Теоретичні та виробничі дослідження свідчать, що маса зернівок, швидкість руху поверхнями робочих органів, зіткнення, імпульс ударяння та сила ударяння мають суттєвий вплив на деформацію та мікротравмування насіння, а відповідно на урожайність рис. 1, 2.

Сила ударяння, згідно виразу 6, прямопропорційна масі зернівки, швидкості її руху, коефіцієнту відновлення (ϵ) та залежить від часу протікання ударяння, який можна вважати в межах 0,001-0,002 с. Умовою не виникнення мікротравмування буде значення, коли сила ударяння буде меншою або дорівнюватиме допустимій силі удару $[F_{уд.}]$.

Під час зустрічі насіння з комірками-отворами на циліндричному решеті, рухом поверхню решета вниз і вгору на деформацію та мікротравмування впливає імпульс сили ударяння, обмеження максимальної швидкості руху та час дії ударяння.

Дослідження показали, що розміри комірок-отворів решета 2,6 мм для підготовки зернівок масою 0,04-0,05 г, швидкість руху 7,7-8,2 м/с і оберти решета до 6 рад. с⁻¹ мінімально впливають на їх деформацію та мікротравмування і забезпечують підготовлення насіння високої якості, що вплине на отримання високої врожайності.

Література

1. Derevjanko, Dmytro, Holovach, Ivan, Bulgakov, Volodymyr, Ihnatiev, Yevhen, Nozdrovický, Ladislav *Mathematical model of uniform cereal crops seeding using a double-disk coulter. Acta Technologica Agriculturae 4 Nitra, Slovaca. Universitas Agriculturae Nitriae*, 2020, pp. 195–200.
2. Derevjanko D., Holovach I., Bulgakov V., Kuvachev V. & Oir J. Theoretical and experimental research into impact of threshing toss in combine grain harvesters on quality of ureal crop seeds. *Scopus. Agronomy Research*, 2020, 18 (2), 393–403.
3. Orobinsky V. I., Gievsky A. M., Schwartz A. A., Baskakov I. V. & Chernyshov A. V. Improving the efficiency of apparatus of exact seeding of small-seeded crops. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2018, 10 (5S), 1226–1241.
4. Гамаюнова В., Касаткіна Т. Вплив оптимізації живлення ярого ячменю на формування якості зерна в умовах південного Степу України. *Наукові горизонти*. 2019. 83(10), 3–12.
5. Mellmann J., Weigler F. & Scaar H. Research on procedural optimization and development of agricultural drying processes. *Drying technology*, 5, 2019. 569–578.
6. Головач І. В., Дерев'яно Д. А., Дерев'яно О. Д. Травмування насіння під час сушіння технічними засобами. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. 1 (96), 78–82.

7. Поліщук В. М., Войтюк В. Д. Процеси, машини та обладнання для виробництва твердого та рідкого біопалива: монографія. Київ, Україна: . Нулес України. 2018. 588.

8. Pascoe R. D., Fitzpatrick R. & Garratt, J. R. Prediction of automated sorter performance utilising a Monte Carlo simulation of feed characteristics. *Minerals Engineering*, 72, 2015, 101–107.

9. Сидякіна О., Дворецький В. Продуктивність озимої пшениці залежно від фонів живлення в умовах Західного Полісся. *Наукові обрії*. 2020. № 07 (92), 45–52.

10. Бараболя О. В., Барат Ю. М., Кулик М. І., Онопрієнко О. В. Урожайність пшениці озимої залежно від системи удобрення та погодних умов вегетаційного періоду (врожайність озимої пшениці в залежності від системи удобрення та погодних умов вегетаційного періоду). *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2018. № 2. 3–9.

11. Гасанова, І. І., Єрашова, М. В., Педаш, О. О. Вплив підживлення азотом на урожайність і якість зерна пшениці м'якої в Північному Степу України. *Зернові культури*. 2019. 3 (1), 77–82.

12. Хоцький, Я. Н., Степанюк А. Р. Переваги застосування гранульованих органо-мінеральних добрив пролонгованої дії. *Вісник Національного технічного університету України. Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. Серія Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2019. 1 (18), 61–67.

References

1. Derevjanko, Dmytro, Holovach, Ivan, Bulgakov, Volodymyr, Ihnatiev, Yevhen, Nozdrovický, Ladislav. (2020). Mathematical model of uniform cereal crops seeding using a double-disk coulter. *Acta Technologica Agriculturae 4 Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae*, pp. 195–200.
2. Derevjanko, D., Holovach, I., Bulgakov, V., Kuvachev, V. & Oir, J. (2020). Theoretical and experimental research into impact of threshing toss in combine grain harvesters on quality of ureal crop seeds. *Scopus. Agronomy Research*, 18 (2), 393–403.
3. Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Schwartz, A. A., Baskakov, I. V. & Chernyshov, A. V. (2018). Improving the efficiency of apparatus of exact seeding of small-seeded crops. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10 (5S), 1226–1241.
4. Hamaiunova, V., Kasatkina, T. (2019). Vplyv optyimizatsii zhyvlennia yaroho yachmeniu na formuvannia yakosti zerna v umovakh pivdennoho Stepu Ukrainy [Influence of spring barley nutrition optimization on grain quality formation in the southern Steppe of Ukraine]. *Naukovi horyzonty*. 83(10), 3–12 [in Ukrainian].
5. Mellmann, J., Weigler, F. & Scaar, H. (2019). Research on procedural optimization and development of agricultural drying processes. *Drying technology*, 5, 569–578.
6. Holovach, I. V., Derevianko, D. A., Derevianko, O. D. (2017). Travmuвання nasinnia pid chas sushinnia tekhnichnymy zasobamy [Seed injury during drying by technical means]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 1 (96), 78–82 [in Ukrainian].

7. Polishchuk, V. M., Voitiuk, V. D. (2018). Protsesy, mashyny ta obladnannia dlia vyrobnytstva tverdoho ta ridkoho biopalyva: monohrafiia [Processes, machinery and equipment for the production of solid and liquid biofuels: a monograph]. Kyiv, Ukraina: Nules Ukrainy. 588 [in Ukrainian].

8. Pascoe, R. D., Fitzpatrick, R. & Garratt, J. R. (2015). Prediction of automated sorter performance utilising a Monte Carlo simulation of feed characteristics. *Minerals Engineering*, 72, 101–107.

9. Sydiakina, O., Dvoretzkyi, V. (2020). Produktivnist ozymoi pshenytsi zalezno vid foniv zhyvlennia v umovakh Zakhidnoho Polissia [Productivity of winter wheat depending on nutrition background in Western Polissya]. *Naukovi obrii*. № 07 (92), 45–52 [in Ukrainian].

10. Barabolia, O. V., Barat, Yu. M., Kulyk, M. I., Onopriienko O. V. (2018). Urozhainist pshenytsi ozymoi zalezno vid systemy udobrennia ta pohodnykh umov vehetatsiinoho periodu [Yield of winter wheat

depending on the fertilizer system and weather conditions of the growing season]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu Sadivnytstva*. № 2. 3–9 [in Ukrainian].

11. Hasanova, I. I., Yerashova, M. V., Pedash, O. O. (2019). Vplyv pidzhyvlennia azotom na urozhainist i yakist zerna pshenytsi miakoi v Pivnichnomu Stepu Ukrainy [Effect of nitrogen fertilization on yield and grain quality of durum wheat in the Northern Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury*. 3 (1), 77–82 [in Ukrainian].

12. Khotskyi, Ya. H., Stepaniuk, A. R. (2019). Perevahy zastosuvannia hranulovanykh orhano-mineralnykh dobryv prolonhovanoi dii [Benefits of using granular organic-mineral fertilizers with prolonged release]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy*. Kyivskyi politekhnichniy instytut imeni Ihoria Sikorskoho. Seriiia Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia. 1 (18), 61–67 [in Ukrainian].