

Бредихін Вадим Вікторович,
кандидат технічних наук, доцент, декан
факультету мехатроніки та інжинірингу
Державного біотехнологічного університету

Bredykhin Vadym,
PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
State Biotechnological University,
<https://orcid.org/0000-0002-5956-5458>

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ НАСІННЕВОГО МАТЕРІАЛУ

WAYS OF INCREASING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE SEED PREPARATION PROCESS

Бредихін В. В. Шляхи підвищення
економічної ефективності процесу
підготовки насінневого матеріалу.
*Український журнал прикладної економіки та
техніки*. 2023. Том 8. № 2. С. 109 – 114.

Bredykhin V. Ways of increasing the economic
efficiency of the seed preparation process.
*Ukrainian Journal of Applied
Economics and Technology*.
2023. Volume 8. № 2, pp. 109 – 114.

У статті наведено фактори, що є визначальними для ефективного та ощадливого процесу сепарування насінневого матеріалу за густиною насіння. Наведено метод гідродинаміки багатозфазних середовищ, як оптимальний при механіко-математичному моделюванні шару насінневого матеріалу. Такий підхід ефективно пов'язує кінематично-конструктивні параметри сепаруючої машини з фізико-механічними властивостями сировини. Метод дозволяє прогнозувати якісні показники процесу в залежності від властивостей матеріалу, що потрапляє на обробку, і скоротити час на налаштування пневмосортувального столу під конкретну культуру. Впровадження методу дозволяє покращити економічну ефективність процесу за рахунок зниження собівартості виробництва та покращення чистоти основної фракції.

Ключові слова: економічна ефективність, насінневий матеріал, біологічний потенціал, сепарація, вібропневморозріджений шар, багатозфазне середовище, пневмосортувальний стіл, травмування насіння, схожість.

Implementing the method considered allows to improve the economic efficiency of the process by reducing the cost of production and improving the purity of the main fraction. With the increase in the gross production of grain crops, as one of the primary sources of human nutrition, the intensification of post-harvest grain processing becomes relevant. It is necessary to use biologically active seed material (SM) to obtain a high yield of grain crops without reducing quality and nutritional characteristics. Separating machines that separate by seed density have the highest efficiency of separating seed material by selecting highly productive and biologically active seeds. The aspect of reducing the economic efficiency of the process during long-term storage is considered, which is the effect of self-heating. This effect occurs when wet material is placed in storage, which begins to release heat and moisture actively during long-term interaction with the environment (high external temperatures). The process of damaging healthy grain can last for weeks. However, in poorly cleaned material with cracks and injuries, the self-heating process occurs slowly and lasts several hours. In a short period, the grain temperature can reach 85 degrees. This process is irreversible and affects large batches of grain. Repeated mechanical interaction of working bodies of machines and equipment implementing the process with SM particles causes micro- and macroinjury of seeds. Macrotraumas may include the reflection of a part of the embryo and a partially or destroyed shell. Microtraumas are internal cracks and injuries from interaction with pests. The number of injured seeds can reach 90%, depending on the culture. The article lists the factors that are decisive for an efficient and economical process of separating seed material by seed density: The frequency of oscillations of the working surface; The amplitude of oscillations of the working surface; Airflow speed, tray angles, and seed density. The hydrodynamics method of multiphase media is optimal for mechano-mathematical modeling of the seed layer. The SM layer was modeled as a multiphase medium consisting of two phases: "discrete" - the SM layer and "continuous" - airflow. This approach effectively links the kinematic and structural parameters of the separating machine with the physical and mechanical properties of the raw material. One of the critical indicators of SM's quality is its main fraction's purity, which has been adopted as a criterion for the efficiency of the separation process using a pneumatic sorting table. The purity of the main fraction of SM is understood as the content of the primary culture in it, expressed as a percentage of the weight. The method makes it possible to predict the process's quality indicators depending on the material's properties that get processed and to reduce the time for setting up the pneumatic sorting table for a specific culture.

Keywords: economic efficiency, seed material, biological potential, separation, vibro-pneumatic fluidized bed, multiphase environment, pneumatic sorting table, seed injury, germination.

Вступ

Внаслідок бойових дій, що відбуваються на території України, тимчасово втрачено близько 35% родючих земель. За даними [1], для повного відновлення одного сантиметру родючої землі потрібно близько 250 – 300 років. За інформацією [2], розораність земель в Україні сягає 80%, в залежності від регіону. В країнах ЄС та США такий показник знаходиться у межах 35 – 45%. Відповідно, площа земель під посів зернових культур є обмеженим ресурсом, подальше її збільшення обмежено.

При збільшенні валового виробництва зернових культур як одного з основних джерел харчування людини актуальності набувають процеси інтенсифікації післязбиральної обробки зерна. Для отримання високої урожайності зернових культур, без зниження якісних та поживних характеристик, необхідно використовувати біологічно активний насіннєвий матеріал (НМ). Загальновідомо [4], що використання насіння з поліпшеним біологічним потенціалом дозволяє отримати найбільш продуктивні сходи. На відміну від травмованого, хворого та ураженого шкідниками насіння, яке при лабораторній схожості може давати непогані сходи, однак при польових роботах схожість зменшується на 45%. Разом з тим, хворе та травмоване насіння дає не життєстійкі сходи, які будуть суттєво відставати у своєму розвитку. Ці фактори в комплексі знижують врожайність культури і продуктивність процесу, що значно знижує економічну ефективність.

Разом з тим, впровадження методики точного налаштування сепаруючих машин та ефективного прогнозування процесу розшарування НМ на фракції з покращенням чистоти основної фракції дозволяє значно покращити економічну ефективність процесу [3].

Середня ринкова вартість однієї тони НМ [2], в залежності від культури, коливається в межах від 15000 грн/т для пшениці і до 90000 грн/т – сояшника. На відміну від вартості сортового зерна: для пшениці – 7800 грн/т та 13500 грн/т для сояшника. Недоотримання (недоочищення) якісного НМ знижує економічну ефективність процесу до 50%. Зменшення простою машин технологічної лінії при налаштуванні потенційно підвищує ефективність до 15%.

Технологічна лінія з підготовки насіннєвого матеріалу включає в себе спектр машин з транспортування, очищення та сушіння. Під час первинної очистки насіннєвий матеріал очищають від крупних домішок, які потрапили до зернового вороху під час збирання на полі. При вторинному очищенні матеріал розділяють за розмірними характеристиками. Сировину розділяють на фракції відповідного розміру та кондицій. Однак, при розділенні матеріалу неможливо виділити зерно щупле, травмоване та травмоване шкідниками, адже таке насіння практично не відрізняється за розмірами від здорового, повноцінного зерна.

За даними досліджень [5], найвищу ефективність сепарування насіннєвого матеріалу з виділенням високопродуктивного та біологічно активного насіння мають сепаруючі машини, що розділяють НМ за густиною насіння.

Існує два способи розділення матеріалу за густиною: «вологий» і «сухий». При «вологому» способі розділення насіннєвий матеріал занурюють у рідинні розчини. Такий спосіб має високу чіткість розділення, однак потребує додаткові витрати часу та енергетичних ресурсів на подальше сушіння. «Сухий» спосіб виконується сепаруючими машинами, без занурення матеріалу у рідину, а шляхом ініціації переведення матеріалу до псевдорозрідженого шару. Тобто сухий матеріал набуває властивостей псевдорідини.

Багаторазова механічна взаємодія робочих органів машин та обладнання, що реалізують процес з частинками НМ, викликає мікро- та макротравмування насіння. До макротравм слід віднести: відбиття частини зародку та частково або повністю знищену оболонку. Мікротравмами вважаються: внутрішні тріщини та травмування від взаємодії зі шкідниками. В залежності від культури кількість травмованого насіння може сягати 90% [7, 8].

Інший аспект зниження економічної ефективності процесу при довготривалому зберіганні це ефект самонагрівання. Такий ефект виникає при закладенні на зберігання вологого матеріалу, який при тривалій взаємодії з навколишнім середовищем (високі зовнішні температури), починає активно виділяти тепло і вологу. Процес ураження здорового зерна може тривати тижнями. Однак у недоочищеному матеріалі, що має тріщини та травми, процес самонагрівання відбувається лавиноподібно і може тривати декілька годин. За короткий період температура зерна може сягнути 85 градусів. Такий процес є незворотнім і вражає великі партії зерна.

Таким чином, дослідження з підвищення ефективності процесу та якості насіннєвого матеріалу мають високу виробничу та економічну актуальність.

Результати, що представлені у статті, одержано в рамках науково-дослідної тематики, що виконується за державним замовленням «Підвищення продовольчої безпеки з розробкою конкурентоспроможних технологій одержання якісного насіння з поліпшеним біопотенціалом» (0122U000810) з 01.01.2022 по 31.12.2023.

Питанням отримання високоякісного НМ присвячено роботи: Алієва Ельчіна Бахтіяр огли [9], Котова Б.І. [10], Степаненка С.П. [11], Богатирьова Д.В. [12], Babatunde G.M. [13] та ін.

Однак, авторами попередніх досліджень не враховувались внутрішньошарові процеси, які відбуваються у НМ. У роботі [9] було розглянуто процес розділення насіннєвого матеріалу сояшника. Наведено метод молекулярної динаміки та дискретних середовищ, що базується на теорії дискретної структури матеріалу. Автором використано програмний пакет Star CCM+.

Відповідно, фізико-математична модель враховує прецизійну сепарацію окремої культури та не має універсальності. В роботах Котова Б.І. та Степаненко С.П. досліджено вплив на зерновий шар направлених сил. Однак, механіко-математична модель має певні спрощення, що не повною мірою характеризує реальність процесу. Богатирьовим Д.В. розглянуто процес розділення НМ пневмоімпульсною машиною, яка не має широкого виробничого впровадження. Babatunde G.M. розглянуто процес сепарування окремої культури, що також ускладнює процес використання результатів досліджень при зміні культури.

Мета статті

Метою досліджень, що наведено у статті, є отримання математичного апарату для моделювання процесу розділення НМ за густиною насіння, при використанні якого можна достовірно прогнозувати якісні показники процесу та ефективно налаштовувати кінематичні параметри пневмосепаруючих машин для обробки конкретної культури.

Для досягнення визначеної мети біли поставлені завдання: визначити зернові культури, які мають найбільше поширення; обрати визначальні параметри, що впливають на процес сепарації НМ за густиною насіння; розробити математичний апарат для моделювання процесу розділення НМ за густиною насіння, при використанні якого можна достовірно прогнозувати якісні показники процесу та ефективно налаштовувати кінематичні параметри пневмосепаруючих машин для обробки конкретної культури.

Виклад основного матеріалу дослідження

При ощадливому виробництві НМ до складу технологічної лінії, на кінцевому етапі обробки, включають пневмосепарувальні столи (ПСС), які розділяють НМ за густиною насіння (рис. 1). На рис. 2 наведено пневмосепарувальний стіл виробництва «Хорольського механічного заводу» під час лабораторних випробувань на навчально-дослідних полях ДБТУ (м. Харків).

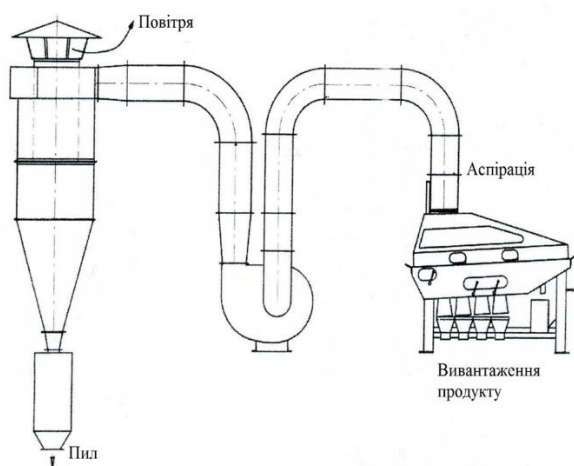


Рис. 1. Схема підключення пневмосепарувального столу



Рис. 2. Лабораторні дослідження процесу розділення НМ на пневмосепарувальному столі

Пневмосепарувальний стіл працює наступним чином (рис. 3): НМ через завантажувальний пристрій потрапляє на робочу поверхню (деку) і під дією коливань робочої поверхні починає пофракційно рухатись до вивантажувальних лотків. Шар НМ продувається повітряним потоком. Під впливом одночасної дії частоти коливань деки та сили повітряного потоку шар НМ набуває властивостей псевдорідини. Частинки руху НМ з більшою густиною потрапляють до шару «Важкої фракції», а з меншою густиною, до «Легкої фракції». Такий принцип роботи дозволяє отримати найвищу гостроту розділення та чистоту основних фракцій. При цьому ефективно видаляються легке та/або травмоване насіння.

Робочим органом пневмостолу є дека, на якій відбувається процес розділення НМ на фракції та транспортування фракцій до вивантаження. Дека складається з корпусу, повітря-проникного транспортувального полотна та решітки для вирівнювання повітряного потоку, які скріплено болтами.

В залежності від культури, що обробляється, транспортувальне полотно може мати різні розміри отворів. Поверхня транспортувального полотна не повинна мати механічних дефектів. При малій швидкості повітряного потоку поблизу робочої поверхні деки НМ рухається вздовж деки до вивантаження «важкої» фракції. У такому разі швидкість повітряного потоку підви-

щується до значення, при якому матеріал, що знаходиться на поверхні деки, починає «кипіти». Утворення «фонтанів» не дозволяється, оскільки відбувається перемішування шарів матеріалу, і процес розшарування припиняється.

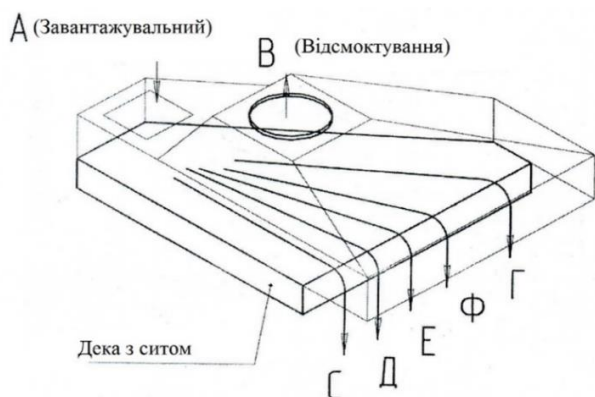


Рис. 3. Технологічна схема розділення НМ на фракції за густиною насіння, де:
С – фракція легка; Д – фракція середня;
Е – фракція змішана; Ф – фракція важка;
Г – каміння

змінювалася подача НМ. Незалежно один від одного змінювалися наступні параметри:

- швидкість повітряного потоку – варіювалася частотним перетворювачем ПЧВ203 - 5К5-В;
- частота коливань – варіювалася частотним перетворювачем ПЧВ102- 1К5-В;
- амплітуда коливань – варіювалася дебалансними вібраторами ІВ -104Б-6, які мають

шість рекомендованих положень;

- повздовжній кут нахилу – змінювався механізмом повздовжнього регулювання;
- поперечний кут нахилу – змінювався механізмом поперечного регулювання.

Налаштування оптимального режиму роботи пневмосепарувального столу, в залежності від культури, що обробляється, досягається відповідними регулюваннями визначальних факторів процесу:

- продуктивності;
- питомої подачі матеріалу;
- витрат повітряного потоку;
- поперечного кута нахилу пневмосепарувального столу;
- повздовжнього кута нахилу пневмосепарувального столу;
- положення клапану видалення каміння;
- положення розподільних клапанів;
- амплітуди коливань;
- частоти коливань пневмосепарувального столу.

Оскільки організацію руху повітряного потоку ПСС виконано за схемою «зонти», то деку було розділено на кільцеві зони з центром на осі всмоктування. Поле швидкостей при штатному варіанті опору (перфоровані робочі поверхні на вході і виході повітря з деки) має нерівномірність, яка характерна для такої схеми руху: зменшення швидкості руху повітря по мірі віддалення від всмоктуючого каналу. Слід зазначити, що безпосередньо над всмоктуючим каналом швидкість повітря близька до рівномірної.

Для визначення поля швидкостей при зменшенні гідравлічного опору деки проводилася заміна двох перфорованих поверхонь на одну легкопроникну сітку (встановлено поверхню з ячею 0,9×0,9 мм при проникності – 65%), що значно вплинуло на поле швидкостей за зонами. Дослідження проводилися у співдружності зі ТОВ «СПЕЦЕЛЕВАТОРМЕЛЬМАШ» (м. Харків) [14].

На процес розділення визначальний вплив мають фактори: частота коливань робочої поверхні; амплітуда коливань робочої поверхні; швидкість повітряного потоку, кути нахилу деки та густина насіння.

Для одержання адекватної та уніфікованої механіко-математичної моделі шар НМ моделювався за методом багатозональних середовищ, що складається з двох фаз: «дискретної» – шару НМ та «неперервної» – повітряний потік [15].

Дискретна фаза розглядається як кінцеве число дискретних компонент, кожен з яких утворено твердими частинками з густиною $\rho_n, n = 1, 2, \dots, N$.

Основні характеристики пневмосепарувального столу: номінальна продуктивність від 2500 до 3500 кг/год (в залежності від культури), частота коливань – 940 кол./хв., амплітуда коливань 5-6 мм, необхідна витрата повітря – не більше 140 м³/хв., кут нахилу деки повздовжній 0-8 град., кут нахилу деки поперечний 0-8 град., встановлена потужність – 0,74 квт. Габаритні розміри: довжина – 2020 мм, ширина – 1858 мм, висота – 2010 мм. Пневмосепарувальний стіл може працювати у режимах: очищення, сепарування, очищення + сепарування, видалення важких домішок (каміння).

При проведенні експериментальних досліджень використовувались ваги типу ВЛКТ – 5, похибка яких складає ± 200 мг.

Під час досліджень регулювальною заслінкою, яка знаходиться у живильнику 7,

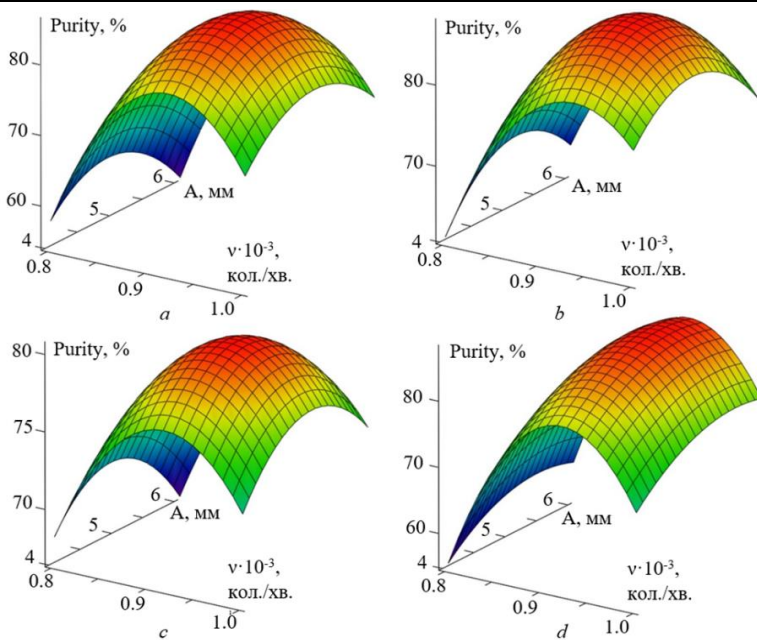


Рис. 4. Теоретичне моделювання зміни чистоти основної фракції НМ в залежності від частоти (ν) та амплітуди (A) коливань пневмосепарувального столу в залежності від сировини: а – пшениця; б – кукурудза; в – насіння соняшника; д – соя

танням пневмосепарувального столу прийнято один із важливих показників якості НМ – чистота його основної фракції. Під чистотою (purity) основної фракції НМ розуміють вміст в ньому основної культури, виражений у відсотках до наважки, взятої для аналізу:

$$\text{Purity} = (\text{mb. c} + \text{mad.}) \times 100\%, \quad (4)$$

де: mb. c – маса основної культури; mad. – маса домішок.

Так, визначено оптимальні значення частоти та амплітуди коливань робочої поверхні (рис. 4). Відповідно, для НМ пшениці оптимальні параметри процесу було отримано в залежності від частоти та амплітуди коливань пневмосепарувального столу, відповідно, за різної амплітуди (1 – 4 мм; 2 – 5 мм; 3 – 6 мм) та частоти (4 – 800 кол./хв; 5 – 900 кол./хв; 6 – 1000 кол./хв).

Для сепарування насіння кукурудзи найбільше відхилення також спостерігається за частоти коливань 950 кол./хв та амплітуди 5 мм і складає 2%.

Щодо сепарування НМ насіння соняшника спостерігається аналогічний результат, відмінності полягають у значенні максимального відхилення. Для цього результату відхилення теоретично отриманого результату від результату, отриманого у виробничих умовах, складає 3%.

Таблиця 1. Діапазони оптимальних значень амплітуди та частоти коливань ПСС

Сировина	Амплітуда коливань, мм	Частота коливань, кол./хв
Пшениця	4,5...5,5	930...960
Кукурудза	4,5...5,5	940...960
Соняшник	4,5...5,5	940...960
Соя	5,5...6	930...950

дель [15] задовільно описує залежність чистоти основної фракції, отриманої сепаруванням зернової маси, від амплітуди та частоти коливань пневмосепарувального столу. Комплексне впровадження результатів досліджень дозволяє покращити економічну ефективність підготовки НМ до понад 50%. Покращення економічної ефективності процесу досягається шляхом: зменшення часу простої технологічної лінії при налаштуваннях під конкретну задачу; підвищення точності, чистоти та якості розділення основної фракції; збільшення урожайності шляхом використання повноцінного, біологічно активного НМ.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Результатом досліджень є визначення оптимальних кінематичних та фізико-механічних параметрів, що є визначальними для ефективної реалізації процесу розділення НМ за густиною

В такому випадку густина безлічі частинок n - компонента дискретної фази дорівнює:

$$\rho_n = \delta_n \bar{\rho}_n, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

де: δ_n - об'ємна доля частинок, n - компонента у псевдорозрідженому НМ.

Густину дискретної фази в цілому визначаємо як:

$$\rho_P = \sum_{n=1}^N \rho_n. \quad (2)$$

Густину неперервної фази, відповідно до [16], визначаємо як:

$$\rho = \bar{\rho} \left(1 - \sum_{n=1}^N \frac{\rho_n}{\bar{\rho}_n} \right) = \bar{\rho} (1 - \sum_{n=1}^N \delta_n), \quad (3)$$

де: $\bar{\rho}$ - густина газоподібного середовища (повітря).

Математичний апарат дозволяє ефективно пов'язати визначальні кінематико-конструктивні параметри пневмосортувального столу з фізико-механічними властивостями сировини (НМ).

Критерієм ефективності процесу сепарування з викорис-

танням пневмосепарувального столу прийнято один із важливих показників якості НМ – чистота його основної фракції.

насіння. Запропоновано побудову механіко-математичної моделі процесу на базі положень гідродинаміки багатофазних середовищ, що враховує комплекс внутрішньошарових процесів. Впровадження результатів досліджень дозволяє покращити економічну ефективність процесу як підготовки НМ, так і виробництва валового продукту зерна в Україні.

Список літератури

1. Звіт Міністерства аграрної політики та продовольства України. Київ. URL: <https://minagro.gov.ua/pro-nas/plani-ta-zviti/zviti-pro-robotu-minagropolitiki>.
2. Звіт Міністерства економіки України. Київ. URL: <https://www.me.gov.ua/?lang=uk-UA>.
3. Кириленко В.В. Економіка: навчальний посібник для студентів ВНЗ. Тернопіль: Економічна думка, 2002. 193 с.
4. Дерев'яно Д.А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія. Житомир: «Полісся», 2015. 774 с.
5. Ольшанський В.П., Бредихін В.В., Лук'яненко В.М., Півень М.В., Сліпченко М.В., Харченко С.О. Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2017. 802 с.
6. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ: «Каравелла», 2008. 407 с.
7. Дерев'яно Д.А. Травмування зерна внаслідок дії внутрішніх і зовнішніх чинників на якість насіння і зернофуражу. *Збірник наукових праць КНТУ*. Вип. 24, 2011. С. 184 – 187.
8. Зінченко О.І. Рослинництво. Київ: Вища освіта, 2004. 418 с.
9. Алієв Елічін Бахтіяр огли. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
10. Котов Б.І., Волошин М.І. Основні напрями розвитку техніки та технології післязбиральної обробки зерна. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Глеваха, 1997. С. 39 – 40.
11. Степаненко С.П. Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів: автореф. дис. ...докт. техн. наук: 05.05.11, Глеваха, 2020. 48 с.
12. Богатирьов Дмитро Володимирович. Обґрунтування параметрів пневмоімпульсної машини сепарації насіння за густиною: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2005. 24 с.
13. Babatunde G.M., Pond W.G., Peo E.R. Nutritive value of rubber seed (*Hevea brasiliensis*) meal: utilization by growing pigs of semipurified diets in which rubber seed meal partially replaced soybean meal. *J. Anim. Sci* 68, 392–397.
14. Фадєєв Л.В. Ощадливі пофракційна технологія Фадєєва. Харків, 2016. 96 с.
15. Bredykhin V., Gurskyi P., Alfayorov O., Bredykhina K., Pak A. Improving the mechanical-mathematical model of grain mass separation in a fluidized bed. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Т. 3 № 1. P. 79 – 86.
16. Альтман Е.І., Бошкова І.Л. Гідрогазодинаміка. Одеса: Нац. акад. харчових технологій, 2019. 188 с.

References

1. Report of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Kyiv, 2022. Available at: <https://minagro.gov.ua/pro-nas/plani-ta-zviti/zviti-pro-robotu-minagropolitiki>.
2. Report of the Ministry of Economy of Ukraine. Kiev, 2022. Available at: <https://www.me.gov.ua/?lang=uk-UA>.
3. Kyrylenko, V.V. (2002). *Ekonomika: navchal'nyj posibnyk dlia studentiv VNZ*. [Economics: a study guide for university students]. Economic opinion. Ternopil. Ukraine.
4. Derev'ianko, D.A. (2015). *Vplyv tekhnichnykh zasobiv ta tekhnolohichnykh protsesiv na travmuvannia i iakist' nasinnia*. [The influence of technical means and technological processes on injury and seed quality]. «Polissia». Zhytomyr. Ukraine.
5. Ol'shans'kyj, V.P., Bredykhin, V.V., Luk'ianenko, V.M., Piven', M.V., Slipchenko, M.V., Kharchenko, S.O. (2017). *Teoriia separuvannia zerna*. [Theory of grain separation]. KhNTUSH im. P. Vasilenka. Kharkiv. Ukraine.
6. Vojtiuk, D.H., Havryliuk, H.R. (2008). *Sil's'kohospodars'ki mashyny*. [Agricultural machinery]. «Karavella». Kyiv, Ukraine.
7. Derev'ianko, D.A. (2011). «Grain injury due to the action of internal and external factors on the quality of seeds and grain fodder». *Zbirnyk naukovykh prats' KNTU*. Vyp. 24, pp. 184-187.
8. Zinchenko, O.I. (2004). *Roslynytstvo*. [Plant growing]. Vyscha osvita. Kiev. Ukraine.
9. Aliiev Elichin Bakhtiiar ohly. (2019). *Fyzyko-matematychni modeli protsesiv pretsyzijnoi separatsii nasinnievoho materialu soniashnyku*. [Physico-mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material]. STATUS. Zaporizhzhia. Ukraine.
10. Kotov, B.I., Voloshyn, M.I. «The main directions of development of technology and technology of post-harvest processing of grain». *Proceeding of the Materials of the international scientific and technical conference*. Hlevakha. Ukraine, pp. 39 – 40.
11. Stepanenko, S.P. *Mekhaniko-tekhnolohichne obgruntuvannia protsesiv i obladnannia bezreshitnoho fraktsionuvannia zernovykh materialiv*. [Mechanical and technological substantiation of the processes and equipment of sieveless fractionation of grain materials]. Abstract of Ph.D. Thesis. 05.05.11. Hlevakha. Ukraine.
12. Bohatyr'ov, D.V. *Obgruntuvannia parametriv pnevmoimpul'snoi mashyny separatsii nasinnia za hustynoiu*. [Justification of the parameters of the pneumatic pulse machine for the separation of seeds by density]. Abstract of Ph.D. Thesis. 05.05.11. Kirovohrad. Ukraine.
13. Babatunde, G.M., Pond, W.G., Peo, E.R. (1990). «Nutritive value of rubber seed (*Hevea brasiliensis*) meal: utilization by growing pigs of semipurified diets in which rubber seed meal partially replaced soybean meal». *J. Anim.* vol 68, pp. 392–397. Available at: <https://doi.org/10.2527/1990.682392x>.
14. Fadiiev, L.V. (2016). *Oshadlyvi pofraktsijna tekhnolohiia Fadiieva*. [Fadiiev's economical fractional technology]. Kharkiv. Ukraine.
15. Bredykhin, V., Gurskyi, P., Alfayorov, O., Bredykhina, K., Pak, A. (2021). «Improving the mechanical-mathematical model of grain mass separation in a fluidized bed». *European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 3 № 1, pp 79-86.
16. Al'tman, E.I., Boshkova, I.L. (2019). *Hidrohadodynamika*. [Hydrogas dynamics]. Nats. akad. kharchovykh tekhnolohij. Odesa. Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2023 р.

ISSN 2415-8453. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2023 рік. Том 8. № 2.