

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Заречний Віталій Сергійович

УДК 631.363

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ВІБРОПНЕВМАТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЯ ЗА
ПАРАМЕТРАМИ ГУСТИНИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Заречний В.С.

Керівник роботи

Грудовий Р.С.

к. т. н., ст. викладач

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Заречний Віталій Сергійович. Дослідження та обґрунтування процесів вібропневматичного розділення насіння за параметрами густини. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі виконано огляд сучасних методів розділення насіннєвого матеріалу за густиною показав важливість цього підходу для забезпечення високої якості насіння, з основною проблемою – необхідністю підвищення ефективності процесу та зниження його вартості.

Доведено, що продуктивність пневмосепараторів залежить від конструктивних параметрів та швидкості повітряного потоку. Подальше підвищення продуктивності потребує нових підходів, зокрема розвитку математичних моделей та оптимізації кінематичних режимів. Отже, вдосконалення методів розділення насіннєвого матеріалу відкриває перспективи для нових досліджень у цій сфері.

Запропоновано вдосконалення процесу розділення насіння за густиною, що підвищує якість сортування та зменшує кількість домішок, забезпечуючи точніше відокремлення насіннєвого матеріалу й підвищуючи його ринкову вартість.

Вдосконалені методи сортування знижують енергозатрати та забезпечують стабільність процесу. Аналіз принципу дії пневмосортувального стола підтвердив його ефективність для таких культур, як зернові та бобові.

Проведені дослідження довели ефективність вібропневматичних методів у підвищенні точності сортування за густиною, що покращує якість продукції та ефективність аграрного виробництва.

Ключові слова: аналіз, дослідження, насіння, густина, вібропневматичне розділення, сепаратор, пшениця, кукурудза, соняшник, соя.

ANNOTATION

Zarechny Vitaliy Serhiyovych. Research and Justification of Vibratory Pneumatic Seed Separation Processes Based on Density Parameters. - Qualification work presented in manuscript form.

Qualification work for obtaining the master's degree in the specialty 208 Agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis reviews modern methods of seed material separation by density, demonstrating the importance of this approach for ensuring high seed quality. The main challenge is the need to improve the efficiency of the process and reduce its cost.

It has been proven that the productivity of pneumatic separators depends on design parameters and air flow speed. Further productivity improvements require new approaches, particularly the development of mathematical models and optimization of kinematic modes. Therefore, improving seed material separation methods opens up new prospects for research in this field.

Improvements to the seed separation process based on density have been proposed, enhancing sorting quality and reducing the amount of impurities, which ensures more precise separation of seed material and increases its market value.

The improved sorting methods reduce energy consumption and ensure process stability. The analysis of the operating principle of the pneumatic sorting table confirmed its effectiveness for crops such as cereals and legumes.

The research demonstrated the effectiveness of vibratory pneumatic methods in increasing sorting accuracy by density, which improves the quality of products and the efficiency of agricultural production.

Keywords: analysis, research, seeds, density, vibratory pneumatic separation, separator, wheat, corn, sunflower, soy.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ГУСТИНОЮ	8
1.1. Огляд сучасного стану проблеми підготовки насіннєвого матеріалу методом розділення за параметрами густини.....	8
1.2. Аналіз існуючих методів та обладнання для процесів розділення насіннєвого матеріалу.....	16
Висновки до 1 розділу	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРОПНЕВМАТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ	24
2.1. Покращення ефективності процесу вібропневматичного розділення насіння за параметрами густини.....	24
2.2. Опис та принцип дії пневмосортувального стола. Проведення дослідження.....	28
Висновки до 2 розділу	34
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ГУСТИНИ	35
3.1. Дослідження процесу вібропневматичного розділення насіння за їх густиною.....	35
3.1.1. Оцінка ефективності використання механіко-математичної моделі процесу вібропневматичного розділення насіннєвих матеріалів за параметрами густини насіння.....	37
Висновки до 3 розділу	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. На сьогоднішній день через обмеженість площ для вирощування актуальною стає проблема підвищення урожайності зернових культур.

Урожайність пшениці в Україні на 2023 році становила в середньому 44,8 ц/га, а соняшнику – 23,2 ц/га, що значно нижче відповідних показників у провідних країнах Європи, де для пшениці вона може досягати 75 ц/га. Основною причиною низької урожайності є низька якість насіннєвого матеріалу.

Для щорічної сівби на площі 15-16 млн. га зернових культур необхідно мати близько 3 млн тонн високопродуктивного насіння. У країнах ЄС щороку виробляється понад 200 млн. тонн зернових, з яких 3,5%, або близько 6-7 млн тонн, використовується як посівний матеріал. В Україні, через нижчу врожайність і вищі норми висіву, кількість насіння, яке використовується для посіву, майже вдвічі перевищує показники ЄС і становить 2,5-3,0 млн тонн, або близько 6%.

Насіннєва промисловість та фермерські господарства не забезпечують повного задоволення попиту держави і фермерів на насіннєвий матеріал. Імпортне насіння на 2024 рік коштує в межах 14 000 – 15 000 грн за тонну, що робить його значно дорожчим порівняно з вітчизняним, проте його якісна репродукція зазвичай зберігається лише на один рік.

Експорт насіння вітчизняної селекції перебуває на низькому рівні та користується попитом переважно у країнах колишнього СНД. У структурі українського експорту насіння домінує кукурудза, частка якої у загальному експорті насіння становить близько 99%. У 2022 році було продано близько 10 тонн насіннєвої пшениці та 20 тонн ячменю. Це пов'язано з низькою якістю насіннєвого матеріалу, адже лише 30% українського насіння відповідає вимогам першого класу.

Якість насіння залежить від багатьох чинників, зокрема від комплексу агротехнологічних операцій, таких як сівба, обробка посівів тощо, а також

технологічних процесів збирання врожаю, транспортування, післязбиральної обробки та зберігання. Найбільший вплив на якість насінневого матеріалу мають технологічні операції з післязбиральної обробки.

Один із найважливіших етапів післязбиральної обробки зерна для отримання високоякісного насінневого матеріалу — це процес сепарування зернового матеріалу, під час якого зерно розділяється на фракції, що відрізняються за фізико-механічними властивостями частинок.

Таким чином, наукове обґрунтування машинних технологій і обладнання для вібропневматичного розділення насінневого матеріалу за параметрами густини є вирішенням проблеми підвищення якості насіння та сприяє забезпеченню стабільної продовольчої безпеки України.

Об'єкт дослідження - процеси вібропневматичного розділення насінневого матеріалу та їхній зв'язок із конструктивними параметрами й кінематичними режимами роботи зернових сепараторів для розділення матеріалу за параметрами густини насіння.

Предмет дослідження - наукове обґрунтування процесу вібропневматичного розділення насінневого матеріалу за параметрами густини.

Метою роботи є підвищення ефективності процесів післязбиральної обробки зерна шляхом наукового обґрунтування вібропневматичного розділення насінневих матеріалів за параметрами густини.

Для досягнення мети в магістерській роботі вирішуються наступні **завдання:**

- проаналізувати технологічні процеси, які прискорюють та підвищують ефективність вібропневматичного розділення насінневого матеріалу за його параметрами густини;

- на основі процесу розділення насінневого матеріалу за параметрами густини на вібропневматичних сепараційних машинах обґрунтувати раціональні кінематичні режими їх роботи;

- враховуючи визначені характеристики насінневого матеріалу, розробити імітаційні моделі процесу розділення насінневого матеріалу за параметрами

густини, а також інтенсифікатори хвилеподібного типу, придатні для використання у вібропневматичних сепараційних машинах.

Методи дослідження. Методологічна основа магістерської роботи включає застосування системного підходу до дослідження. Теоретичні аспекти дослідження базуються на принципах теоретичної механіки та гідродинаміки багатофазних середовищ, методах теорії ймовірностей і випадкових процесів, математичної статистики, а також основних положеннях теорії коливань. Також застосовано методи планування експериментів та статистичного аналізу для обробки отриманих даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми, обґрунтуванні та подальшому розвитку наукових основ вібропневматичного розділення насінневого матеріалу за параметрами густини.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел. Основний текст магістерської роботи викладений на 40 сторінках, повний обсяг роботи становить 48 сторінок, включаючи 22 рисунки та 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 15 найменування і розміщений на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ГУСТИНОЮ

1.1. Огляд сучасного стану проблеми підготовки насіннєвого матеріалу методом розділення за параметрами густини

Підготовка насіннєвого матеріалу відіграє вирішальну роль у забезпеченні високих врожаїв та якості сільськогосподарської продукції. Один із сучасних методів підготовки насіння, який привертає увагу, це вібропневматичне розділення за густиною. Цей метод базується на використанні вібраційних та пневматичних сил для відділення насіння різної щільності, що дозволяє значно підвищити якість кінцевого продукту.

Сучасний стан проблеми:

1. Проблеми із рівнем чистоти насіння: однією з основних задач у підготовці насіннєвого матеріалу є досягнення високого рівня чистоти, оскільки це безпосередньо впливає на схожість та здоров'я майбутніх рослин. Традиційні методи розділення часто не справляються з відділенням легких домішок та частинок, що мають схожу масу з насінням.

2. Вимоги до енергоефективності: зі збільшенням вимог до зменшення енерговитрат у сільському господарстві вібропневматичне розділення вважається перспективним через відносно низьке енергоспоживання у порівнянні з іншими методами, такими як гравітаційне або механічне розділення.

3. Технологічні обмеження: не всі типи насіння можна обробляти вібропневматичним методом через особливості структури або форми. Крім того, не всі виробники мають доступ до високотехнологічного обладнання, яке дозволяє застосовувати цей метод.

4. Науково-технічний прогрес: сучасні розробки в області вібропневматичного розділення акцентують увагу на автоматизації процесу та

використанні датчиків для точнішого контролю якості розділення насіння. Це дозволяє зменшити втрати та підвищити продуктивність процесу.

Основні переваги вібропневматичного методу:

1. Висока точність: завдяки одночасному впливу вібрації та повітряних потоків можна відокремлювати насіння з незначними відмінностями у щільності, що особливо важливо для культур, де якість насіння впливає на рентабельність виробництва.

2. Мінімальні втрати: вібропневматичне розділення дозволяє мінімізувати механічні пошкодження насіння, що часто трапляється під час використання механічних методів розділення.

3. Ефективність для різних культур: метод показав свою ефективність для різних видів зернових, олійних та інших сільськогосподарських культур.

Підготовка насінневого матеріалу (НМ) є складним агротехнологічним процесом, який включає такі етапи, як сівба, вирощування, збирання, первинне очищення, сушіння, вторинне очищення, пакування та зберігання матеріалу [1]. Відповідно до агротехнологічних вимог до зернозбиральних комбайнів, чистота зернового матеріалу повинна становити не менше 95% при прямому комбайнуванні та не менше 96% при роздільному [2].

Після обробки комбайном матеріал потрапляє на технологічну лінію для підготовки насінневого матеріалу відповідної якості [3]. На початковому етапі зерновий ворох проходить обробку на сепаруючих машинах для попереднього очищення (сепараторах-ворохоочисниках). Очищення зернового вороху для отримання високоякісного насінневого матеріалу здійснюється на основі комплексу або окремих фізико-механічних властивостей. До основних фізико-механічних характеристик, згідно з [4], належать: форма, геометричні розміри, густина, щуплість, сипучість, парусність, гігроскопічність, теплопровідність і теплоємність, пружність насіння тощо. Кожен із цих показників змінюється протягом періоду дозрівання та зберігання культури.

Зазвичай технологічні операції з первинного очищення проводяться на основі розмірних характеристик частинок матеріалу, таких як товщина, ширина та довжина. Відповідно до [5], довжина частинки визначається як відстань від основи до верхівки, товщина – як відстань між спинною та черевною частинами частинки, а ширина – як відстань між боковими сторонами частинки.

Метод розділення насінневого матеріалу за густиною займає ключове місце серед відомих способів відокремлення домішок від насіння основної культури. До складних для відокремлення домішок належать: насіння бур'янів, частки основного матеріалу, пошкоджені шкідниками або травмовані, а також мінеральні домішки, що за більшістю фізико-механічних властивостей майже збігаються з характеристиками основної культури [6].

З метою вирішення цих завдань було проведено аналіз літературних джерел і визначено основні культури, що є найбільш поширеними у виробництві в Україні та світі. Аналіз даних USDA щодо структури посівних площ України під основні зернові культури показав, що найбільший обсяг виробництва припадає на пшеницю (30%), на другому місці соняшник (26%), на третьому – кукурудза (21%), і на четвертому – соя (7%) (рис. 1.1).

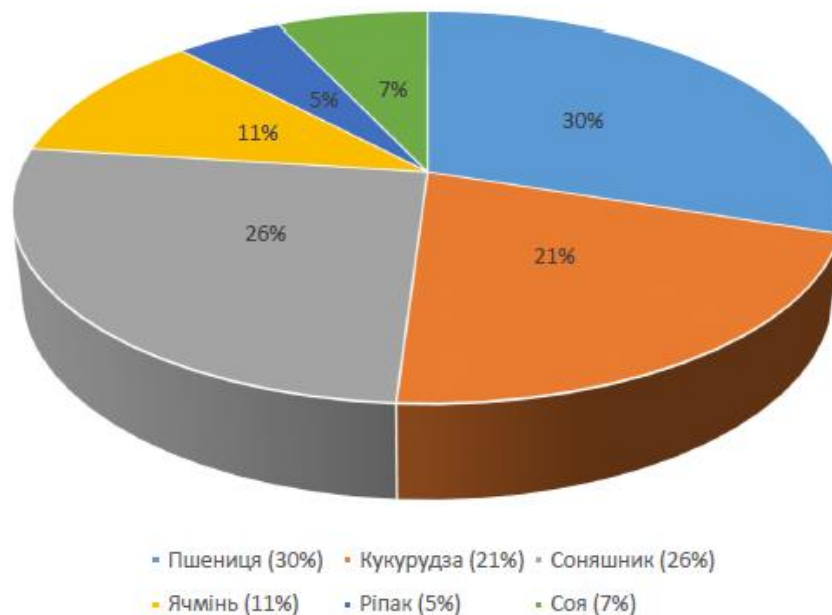


Рис. 1.1. Інфографіка із загальною інформацією про найбільш поширені в Україні зернові культури [6]

Україна входить до десятки світових лідерів з виробництва зернових культур і стабільно нарощує свою частку на глобальному ринку (рис. 1.2).

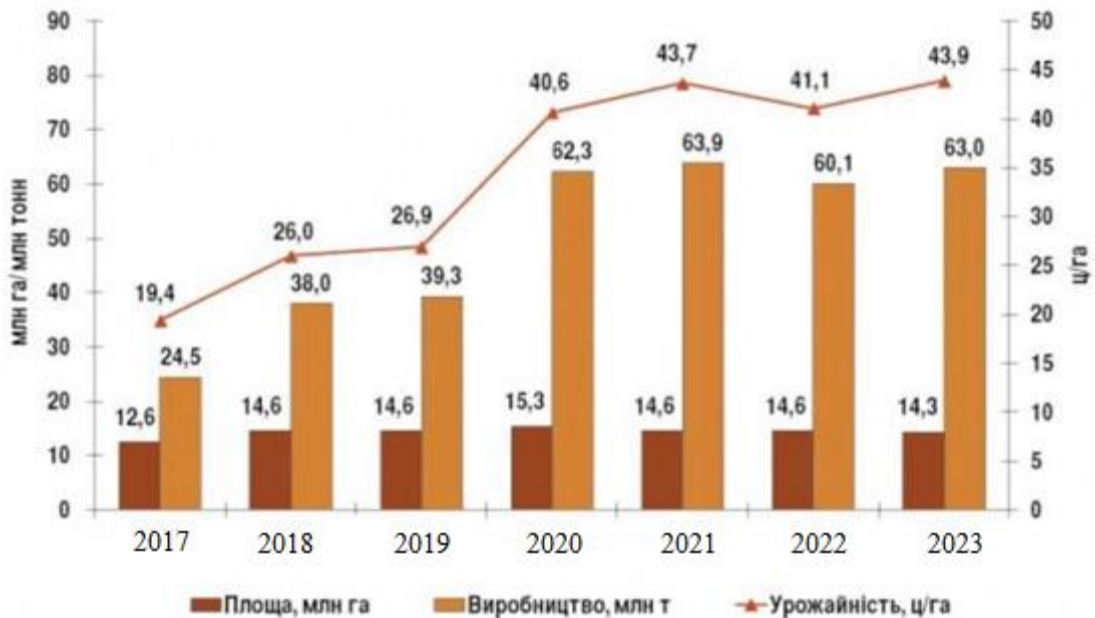


Рис.1.2. Інфографіка зростання глобального виробництва зернових культур [6]

Обсяги площ під зернові культури залишаються майже незмінними, і їхнє розширення можливе лише в незначних відсотках [7]. Збільшити обсяги виробництва зернових можна лише за рахунок підвищення врожайності. Ключовим фактором у вирішенні цього завдання є підготовка високоякісного насіннєвого матеріалу.

В Україні широко поширені такі сорти пшениці: вітчизняні – «Подільянка», «Шестопалівка», «Зоря», «Недра», «Гардемарин», «Таврида», «Босфор», «Конка», «Одеська – 50», «Миронівська – 80»; канадської селекції – «Квебек – 117», «Прейри – 109», «Альберта»; європейські – «Леннокс», «НС 40 С», «Емерино», «Міда», «Балатон».

Динаміка посівних площ під пшеницю за період 1993–2023 років представлена на рис. 1.3.

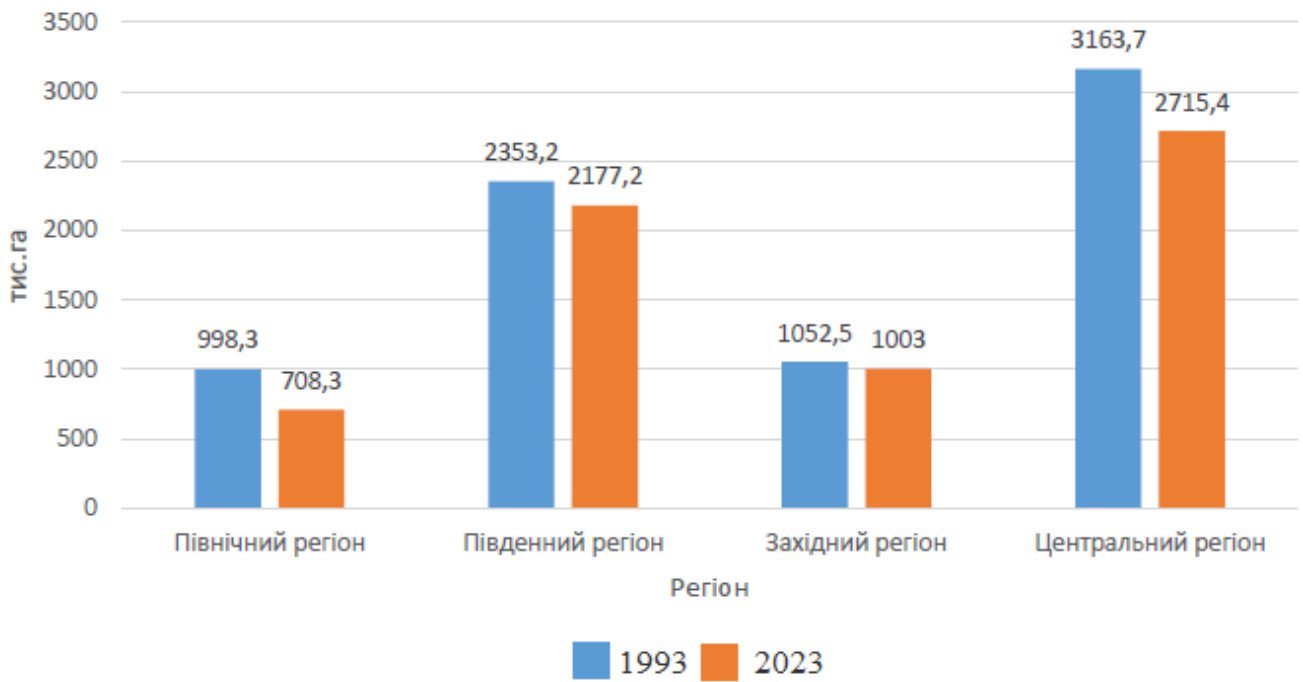


Рис.1.3. Динаміка посівних площ під пшеницю в регіонах України за період 1993–2023 років

Залежно від якості, зерно м'якої пшениці поділяється на чотири класи, а зерно твердої пшениці – на п'ять класів. Узагальнені показники якості зерна м'якої пшениці наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Узагальнені показники якості зерна м'якої пшениці [8]

Показник	Характеристика та норма за класами			
	1	2	3	4
Натура, г/л	775	740	730	Не обмежено
Склоподібність, %	50	40	Не обмежено	Не обмежено
Вологість, %	14			
Зернова домішка, % з НЕї:	5	5	8	15
біті зерна	5	8	5	-
зерна злакових культур	3	4	4	-
пророслі зерна	2	3	3	-

Продовження табл. 1.1

Сміттєва домішка, % з НЕї:	1	2	2	3
мінеральна домішка	0,15			
галька	0,3	0,5	0,5	1
зіпсовані зерна	0,3	0,3	0,5	1
фузаріозні зерна	0,1	0,1	0,2	0,2
сажа	0,05			
Сажкове зерно, %	5	5	8	10
Масова частка білку, %	14	12,5	11	Не обмежено
Масова частка сирої клейковини, %	28	23	18	-
Число падіння, сек	220	220	180	-

Узагальнені показники якості зерна твердої пшениці зведено до таблиці. 1.2.

Таблиця 1.2

Узагальнені показники якості зерна твердої пшениці [8]

Показник	Характеристика та норма для твердої пшениці за класами				
	1	2	3	4	5
Вміст зерна м'якої пшениці, %	4	4	8	10	Не обмежено
Натура, г/л	750	750	730	710	-
Вологість, %	14,5				
Склоподібність, %	70	60	50	40	Не обмежено
Зернова домішка, % з неї:	5	5	8	10	15
пророслі зерна, %	1	1	3	3	15
Сміттєва домішка, % з неї:	2	2	2	5	5
мінеральна домішка, %	0,3	0,3	0,5	0,5	1
галька, %	0,15	0,15	0,2	0,3	1

Продовження табл. 1.2

травмоване зерно, %	0,2	0,2	0,5	1	1
фузаріозне зерно, %	0,2	0,2	0,5	1	1
шкідлива домішка, %	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5
сажка, %	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1
триходесма сива, %	Вміст не дозволено				
кукіль, %	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5
інші види токсичного насіння, %	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1
Сажкове зерно, %	5	5	5	5	10
Масова частка білку, %	14	13	12	11	Не обмежено
Число падіння, сек	220	200	150	100	-

Технологічний процес підготовки високоякісного насіннєвого матеріалу включає поділ насіння за густиною із застосуванням спеціалізованих машин та обладнання, з обов'язковим дотриманням розроблених технологічних вимог для цього процесу [6].

Таким чином, наукові дослідження, спрямовані на підвищення ефективності процесу підготовки високоякісного насіннєвого матеріалу пшениці [6], удосконалення машин і обладнання, що здійснюють цей процес, через механіко-математичне моделювання та оптимізацію кінематичних режимів сепараційних машин, підтверджують актуальність обраного напрямку досліджень.

Представлено узагальнену технологічну схему (рис. 1.4) процесів очищення, розділення і сепарації насіннєвого матеріалу пшениці із застосуванням серійно вироблених машин та обладнання.

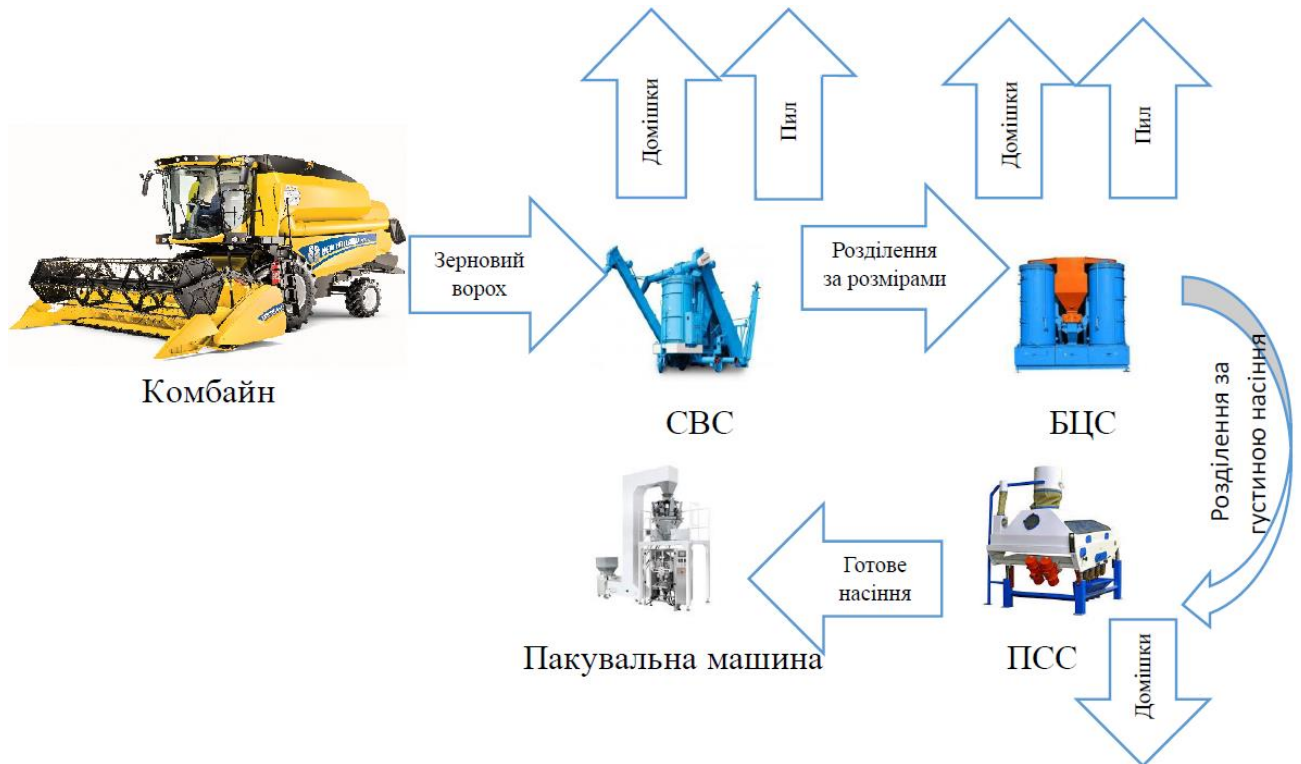


Рис.1.4. Узагальнена технологічна схема процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу із застосуванням серійно вироблених машин та обладнання

Дослідженнями відомими науковцями Поліського національного університету Грабара І.Г. та Дерев'янка Д.А. [6, 9] було доведено, що насіння з вищою власною густиною є більш дозрілим і має підвищену енергію проростання до 60%. Під густиною насіння слід розуміти масу частинки на одиницю об'єму, яку вона займає. Густина зерна може суттєво варіюватися і залежить від ряду факторів. Зерна з пошкодженим ендоспермом, відповідно, мають меншу густину. Також на густину зернівки впливає наявність повітря. Вміст повітря в зернівках різних культур коливається в межах від 6% до 35%.

Наприклад, середня густина зернівки пшениці становить: $1,50 \text{ г/см}^3$ для крохмалю; $1,34 \text{ г/см}^3$ для білків; $1,26 \text{ г/см}^3$ для клейковини; $0,92 \text{ г/см}^3$ для жиру. Густина зернівки залежить не тільки від її біохімічного складу, але й від ступеня її дозрівання (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Середня густина насіння в залежності від фази дозрілості [9]

Культура	Фаза дозрілості		
	Молочна г/см ³	Воскова г/см ³	Повна г/см ³
Пшениця	1,150	1,240	1,330
Соняшник	0,6	0,8	0,9
Кукурудза	0,6	0,8	0,82
Соя	1	1,05	1,25

1.2. Аналіз існуючих методів та обладнання для процесів розділення насіннєвого матеріалу

Збільшення густини насіння під час його дозрівання пов'язане зі зниженням вологості та зростанням вмісту крохмалю, який має більшу густину. Це дозволяє ефективно використовувати розділення насіннєвого матеріалу за параметрами густини для виділення не тільки важковідокремлюваних домішок, але й пошкодженого, незрілого насіння та того, що містить високу вологість. Найбільш поширеними методами розділення насіннєвого матеріалу за параметрами густини є розділення у рідинах («вологий» або «рідинний» спосіб) і в псевдорозрідженому шарі («сухий» спосіб) [10].

Вологі (рідинні) сепаратори (рис.1.5) використовуються для видалення з зернового матеріалу частинок, які мають механічні пошкодження, хворе або уражене шкідниками зерно. Одночасно з цим відбувається очищення матеріалу від пилу, смоли та інших домішок, які неможливо відокремити за розміром.

Принцип роботи таких сепараторів полягає в тому, що НМ зазвичай має іншу густину, ніж рідина, що використовується для сепарування. Таким чином, біологічно активне насіння залишається на поверхні рідини, а те, що необхідно видалити, осідає на дно. Залежно від густини рідини, процес може бути

зворотним: частинки з більшою густиною осідають на дно, а важковідокремлювані домішки залишаються на поверхні [10].



Рис.1.5. Рідинний сепаратор [10]

Розділення у рідинах забезпечує найбільшу точність процесу. Однак, головним недоліком цього методу є необхідність сушіння насіння після сепарації, що значно підвищує собівартість. Через це сепаратори «вологого» типу не отримали широкого застосування.

Сухий метод розділення НМ за густиною в псевдорозрідженому шарі набув широкого застосування. Цей шар формується під впливом однієї або кількох сил: вібраційний метод передбачає вплив вібрації робочої (опорної) поверхні на НМ; пневматичний метод використовує повітряний потік (постійний або пульсуючий); вібропневматичний поєднує одночасний вплив вібрації робочої поверхні та повітряного потоку; пневмовідцентровий метод додає вплив відцентрової сили до повітряного потоку; вібропневмовідцентровий метод комбінує вплив вібрацій, повітряного потоку та відцентрової сили на НМ.

Перші дослідження процесів сепарації НМ у вібропневморозрідженому шарі були здійснені в Україні у місті Харкові.

Нижче розглянемо пневмосортувальні столи різних моделей.

Розділення матеріалу на пневмосепарувальному столі БПС (рис.1.6) відбувалося на робочій поверхні з рифлями-інтенсифікаторами. Залежно від оброблюваного матеріалу, БПС мав змінні робочі поверхні: металеву сітку - для насіння пшениці та гороху, а полотняну тканину - для розділення насіння дрібнонасінневих культур, таких як конюшина. Під впливом коливань робочої поверхні та потоку повітря формувалася псевдорозріджений шар, у якому НМ розділявся на фракції з різною густиною.



Рис. 1.6. Пневмосортувальний стіл БПС [10]

Пневмосепарувальний стіл ПСС-2,5 (рис. 1.7) застосовувався для точного розділення та доочищення НМ. Його робоча поверхня виконана у вигляді металеві сітки, під якою розташовані дві решітки. Перша решітка забезпечувала необхідний тиск повітря в зоні попереднього формування шару НМ, друга - рівномірний розподіл повітряного потоку по робочій поверхні. Перед потраплянням у зону розділення повітряний потік проходив попередню фільтрацію.



Рис.1.7. Пневмосепарувальний стіл ПСС-2,5 [10]

Пневмосепарувальний стіл СПС-5 (рис. 1.8) здебільшого використовувався для розділення та доочищення НМ зернових та зернобобових культур. На відміну від інших машин цього класу, розділення відбувалося за комплексом фізико-механічних властивостей, таких як густина насіння, форма поверхні та пружні характеристики [10].

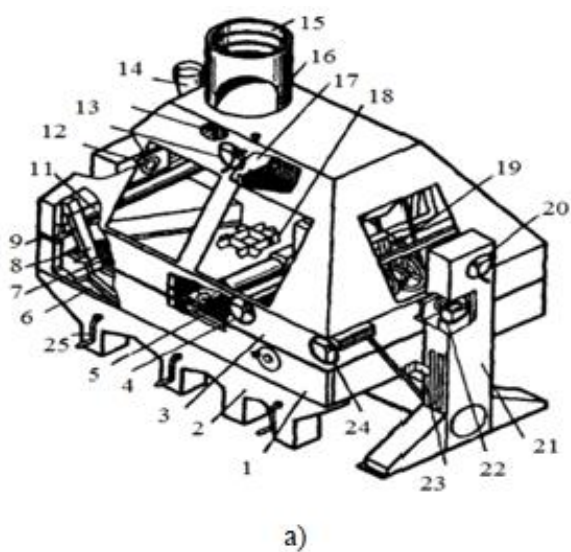


Рис.1.8. Пневматичний сортувальний стіл СПС - 5: а) конструктивна схема; б) загальний вид [10]

СПС-5 мав три схеми роботи: очищення, сортування та поєднане очищення й сортування. Зміна режиму роботи відбувалася через перекриття відповідних клапанів, а оператор за необхідності міг налаштувати додаткові режими.

Машина кінцевого очищення МОС-9С (рис. 1.9) здійснювала розділення та очищення НМ від домішок на основі густини та геометричних розмірів частинок. Вихідний матеріал розділявся на чотири фракції: важка (основна) фракція, важка домішка, легка домішка та проміжна фракція. Досягнення оптимальних результатів розділення НМ залежало від дотримання правильних режимів роботи. Зміна позовжнього кута нахилу робочої поверхні впливала на інтенсивність сходу легкої фракції, тоді як поперечний кут визначав швидкість руху НМ по робочій поверхні [10].

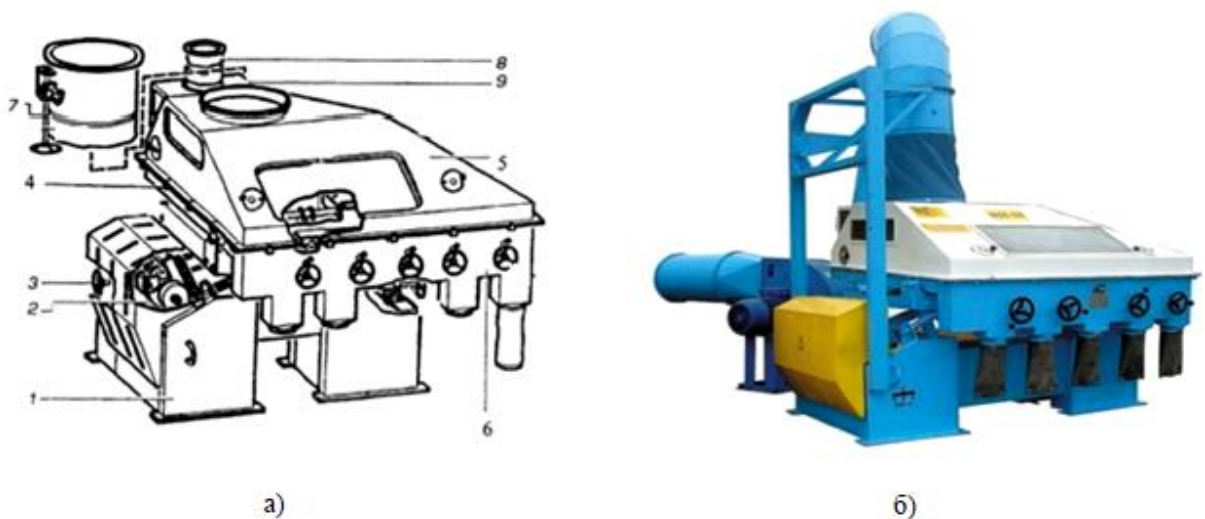


Рис.1.9. Машина кінцевого очищення МОС-9С: а) конструктивна схема; б) загальний вид [10]

Вібропневматичні сепаратори закордонного виробництва (рис.1.10) використовуються для ефективного розділення зернових та інших матеріалів за фізико-механічними властивостями. Ці машини поєднують в собі вібраційний вплив на матеріал та подачу повітряного потоку, що дозволяє досягати високої точності розділення. Завдяки передовим технологіям та використанню сучасних матеріалів, вібропневматичні сепаратори іноземного виробництва мають підвищену надійність, економічність та продуктивність [10].

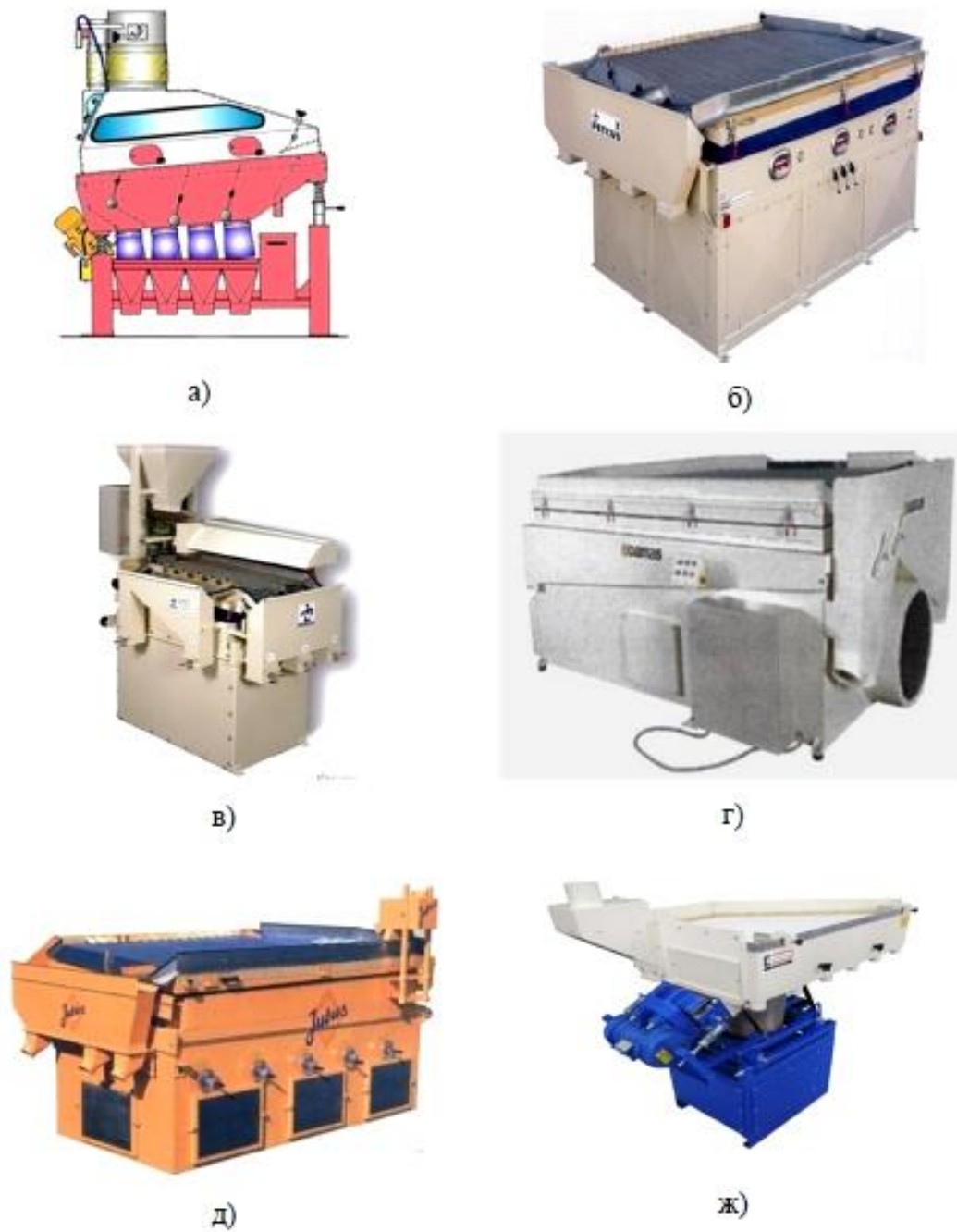


Рис.1.10. Вібропневматичні сепаратори закордонного виробництва:
 а) «OKRUM» (Італія); б) «PETKUS» KD200 (Німеччина); в) «PETKUS»
 (Німеччина) KD50; г) «KAMAS» (Швеція); д) «Jubus» (Італія); ж) «JGT 1200 JK
 Machinery» (Чехія) [10]

Вібропневматичні сепаратори класифікуються на три типи залежно від сукупності фізико-механічних ознак розділення НМ на фракції: протиточного (а), віяльного (б) та спадаючого (в) типів (рис. 1.11) [10].

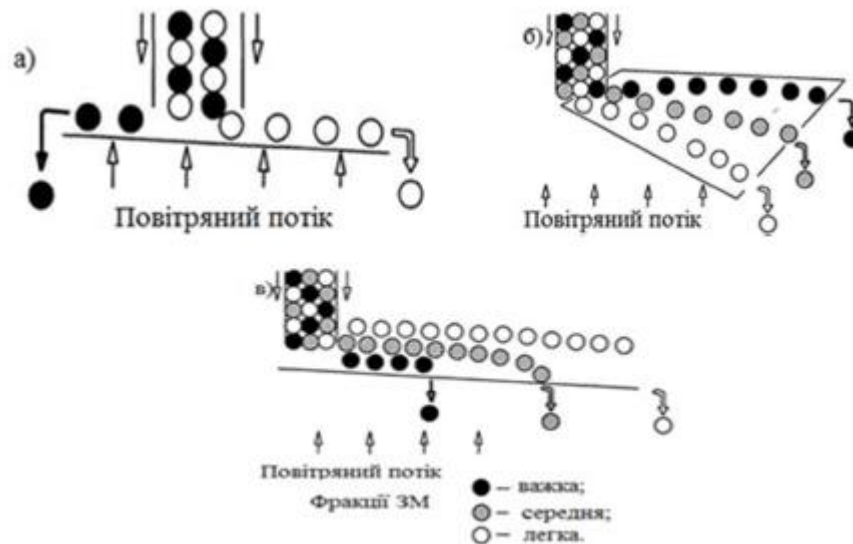


Рис. 1.11. Класифікація вібропневматичних сепараторів за принципом одночасного протікання фаз розділення НМ

Найбільш поширеними є вібропневматичні сепаратори типів (б) і (в). Робочу поверхню пневмосортувального столу (деку) можна умовно поділити на кілька зон: зона завантаження, де формується шар насіння і відбувається початкове розділення на фракції; зона розділення (розшарування) з одночасним транспортуванням фракцій до зони вивантаження; і зона вивантаження фракцій, сформованих в результаті розділення матеріалу.

Продуктивність пневмосепарувального столу значною мірою залежить від фрикційних властивостей робочої поверхні (коефіцієнтів тертя між нею та матеріалом) і її здатності рівномірно розподіляти повітряний потік. Оптимальна швидкість повітряного потоку становить 1,2 – 1,8 м/с. Швидкість нижче 1,2 м/с є недостатньою для переведення НМ у псевдорозріджений стан, тоді як швидкість понад 1,8 м/с може спричинити «кипіння» матеріалу, що призводить до постійного перемішування частинок і припинення процесу розділення.

Залежно від способу подачі повітряного потоку, пневмосепарувальні столи поділяються на вакуумні та нагнітальні. Важливу роль у рівномірному розподілі повітряного потоку по робочій поверхні відіграє опір робочої поверхні.

В подальших розділах ми будемо вести дослідження саме по вібропневматичним сепараторам.

Висновки до 1 розділу

Проведений огляд сучасного стану проблеми підготовки насінневого матеріалу шляхом його розділення за параметрами густини показав, що цей метод є важливим і актуальним у забезпеченні високої якості насіння. Основна проблема полягає у необхідності підвищення ефективності процесу розділення та зниження його собівартості.

Аналіз існуючих методів розділення насінневого матеріалу продемонстрував, що найбільш точним методом є «рідинний» спосіб, проте він вимагає додаткових операцій, таких як сушіння, що підвищує собівартість. Натомість «сухі» методи, зокрема вібропневматичні сепаратори, показали високу ефективність завдяки поєднанню вібраційного та пневматичного впливів на насіння, що дозволяє розділяти матеріал за його фізико-механічними властивостями.

Дослідження показали, що продуктивність пневмосепарувальних машин залежить від ряду факторів, таких як конструктивні параметри, фрикційні властивості робочої поверхні та рівномірність розподілу повітряного потоку. Оптимальна швидкість повітряного потоку є важливим чинником для забезпечення ефективного розділення насіння.

У процесі аналізу обладнання для розділення насінневого матеріалу було виявлено, що подальше підвищення продуктивності обмежене можливостями зміни конструктивних параметрів сепаруючих машин. Це вказує на необхідність пошуку нових підходів до інтенсифікації процесу розділення, включаючи розвиток математичних моделей та удосконалення кінематичних режимів роботи обладнання.

Таким чином, наявні методи та обладнання для розділення насінневого матеріалу за густиною потребують подальшого удосконалення, що відкриває перспективи для нових досліджень і розробок у цій галузі з метою підвищення продуктивності та якості насіння.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРОПНЕВМАТИЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ

2.1. Покращення ефективності процесу вібропневматичного розділення насіння за параметрами густини

Дослідження багатьох науковців довели, що подальше вдосконалення процесу виробництва насіннєвого матеріалу через збільшення режимних характеристик сепараційних машин є вкрай обмеженим.

Відомий дослідник Харченко С.О. [11] встановив, що вирішення проблеми підвищення продуктивності та поліпшення якості процесу полягає в інтенсифікації процесу та оптимізації кінематичних режимів сепараційних машин.

Було запропоновано як інтенсифікатор процесу розділення НМ використати чешуйчасту робочу поверхню. Рифлі, виконані у формі чешуйок, штучно уповільнюють рух частинок НМ і створюють анізотропне тертя, яке збільшується при русі НМ проти напрямку рифлів і зменшується під час руху по похилій поверхні. Рифлі спрямовані широкою кромкою проти руху шарів НМ і мають отвори для направленою введення повітряного потоку в шар.

Запропонований вібропневматичний [12] сепаратор складається з корпусу, вертикального ротора з циліндричною робочою поверхнею та дискового розкидача. Пристрій також оснащений вентилятором для забезпечення подачі повітряного потоку. Для розділення НМ у нижній частині сепаратора передбачено решітчастий дільник.

Одним із недоліків пневмосепаруючих машин є низька продуктивність. Для вирішення цієї проблеми запропоновано пристрій для розділення НМ за параметрами густини насіння, який має дві робочі поверхні (рис. 2.1) [12].

Цей пристрій включає дві похилі вібраційні робочі поверхні (деки), розташовані одна над одною, через які продувається повітряний потік і які здійснюють просторові коливання. На робочих поверхнях розташовані поздовжні

та поперечні рифлі. Подача матеріалу здійснюється окремо на кожну робочу поверхню.

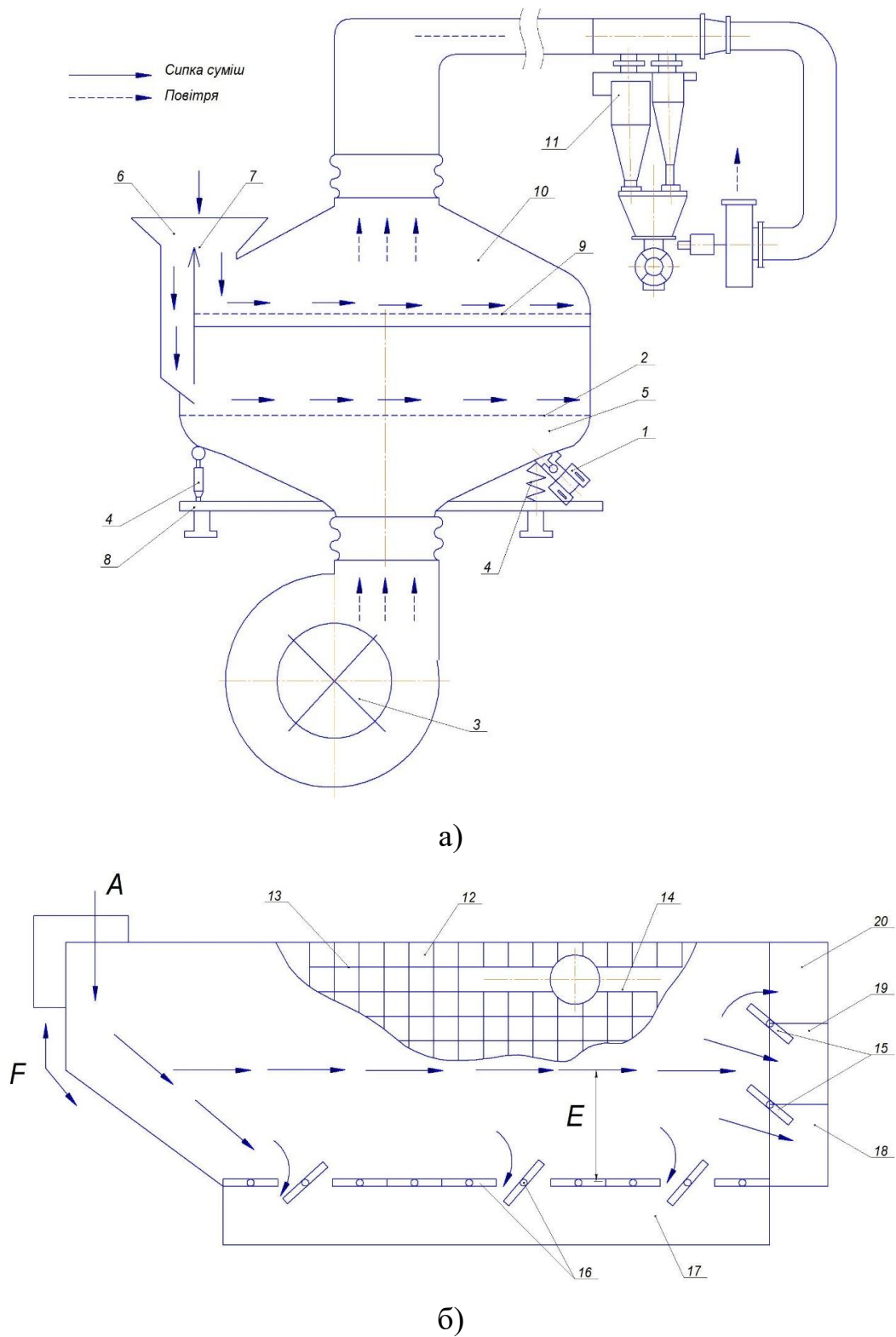


Рис.2.1. Прилад для розділення насінневого матеріалу за параметрами густини: а) 1 – вібробудник; 2 – дека; 3 – вентилятор; 4 – вібраційні опори;

5 – нижня дека (НД); 6 – живильник; 7 – заслінка завантаження матеріалу;
 8 – станина; 9 – верхня дека (ВД); 10 – корпус ВД; 11 – пристрій повітроочисний; б) дека пневмосортувального столу: 12 – рифлі повздовжні;
 13 – рифлі поперечні; 14 – патрубок пневматичний; 15 – клапан торцевий;
 16 – клапан бічний; 17, 18, 19, 20 – приймачі розділення фракцій; F – кут нахилу деки; E – напрямок коливань деки

Робочий процес відбувається таким чином: НМ через живильник рівномірним шаром потрапляє на вхідну частину робочих поверхонь 9 та 2. Висхідний повітряний потік, нагнітаємий вентилятором 3, проходить крізь деку 2. Під дією повітряного потоку і гармонічних коливань робочої поверхні, НМ переходить у псевдорозріджений стан. Легкі частинки піднімаються до поверхні шару, а важкі осідають на робочій поверхні, де взаємодіють із рифлями.

Поперечні рифлі 13 виконують функцію інтенсифікаторів, які сприяють руху частинок до приймачів продуктів розділення 17, 18 (важка фракція). Поздовжні рифлі 12 підштовхують суміш, прискорюючи процес розшарування. При збільшенні подачі НМ з метою підвищення продуктивності відкривають бічний клапан 16, що прискорює рух важкої фракції до приймачів.

Частинки з меншою густиною рухаються в протилежному напрямку до пневматичного патрубку для всмоктування 14 та потрапляють до приймача 20. Пил і легкі домішки видаляються шляхом відсмоктування через патрубок 14. Частинки середньої густини під дією коливань і рифлів переміщуються до приймачів продуктів 19. Гармонічні коливання обох робочих поверхонь забезпечуються віброзбудником 1.

Принцип роботи обох робочих поверхонь є ідентичним. Верхній стіл 9 знаходиться у герметичному корпусі 10. Щоб уникнути змішування фракцій, передбачені торцеві клапани 15 та 23, які обертаються навколо своєї осі, блокуючи шлях для суміші.

Аналіз літературних джерел показав, що, незважаючи на високу ефективність очищення матеріалу у вібропневматичних машинах, налаштування

оптимальних кінематичних режимів є досить складним завданням. Вибір і підтримка оптимальних кінематичних режимів залежить від комплексу параметрів, таких як: кути нахилу робочої поверхні, швидкість повітряного потоку на вході в шар, питома подача матеріалу та густина насіння. Встановлено, що одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є модернізація існуючих машин без суттєвої зміни їх конструктивних параметрів. Оптимізація кінематичних режимів сепаруючих машин, які вже використовуються в аграрному виробництві та є частиною діючих технологічних ліній, дозволяє значно підвищити якість обробки НМ та покращити економічну ефективність процесу.

У дослідженнях також відзначено, що основною проблемою машин для сухого розділення НМ є складність налаштувань. При обробці насіння, що має різні фізико-механічні характеристики (вологість, густину, ступінь засміченості тощо), налаштування машин для кожного типу матеріалу без швидкого та точного методу переналаштування займає багато часу, що знижує загальну економічну ефективність. Неправильний вибір режимів призводить до погіршення якості процесу: збільшується кількість домішок у насінні основної фракції, що негативно впливає як на якість продукції, так і на економічні показники.

Зокрема, як було зазначено, при неправильно налаштованих кінематичних режимах процес розділення може повністю зупинитися. Наприклад, для ПСС при швидкості повітряного потоку на вході в шар НМ, що перевищує 1,8 м/с, відбувається постійне перемішування насіння (ефект кипіння), і процес розділення матеріалу на фракції припиняється. Помилки в налаштуванні кутів нахилу робочої поверхні призводять до того, що частинки НМ рухаються за траєкторіями, які не відповідають оптимальним, і важкі, легкі та середні фракції не потрапляють у відповідні приймачі продуктів. Невідповідність частоти та амплітуди коливань робочої поверхні оптимальним значенням для конкретного матеріалу знижує продуктивність і якість розділення НМ.

2.2. Опис та принцип дії пневмосортувального стола. Проведення дослідження

Дослідження закономірностей процесу вібропневматичного розділення НМ проводилися на ПСС (рис. 2.2), що складається з таких елементів: станина, стіл, корпус, аспіраційна камера, каменевідбірник, дека, живильник, регулювальний клапан, повітряний клапан, механізм регулювання повітряного потоку, вивантажувальні патрубки, ємність для збору каменів, завантажувальний патрубок, механізми регулювання повздовжнього та поперечного кутів нахилу [13].

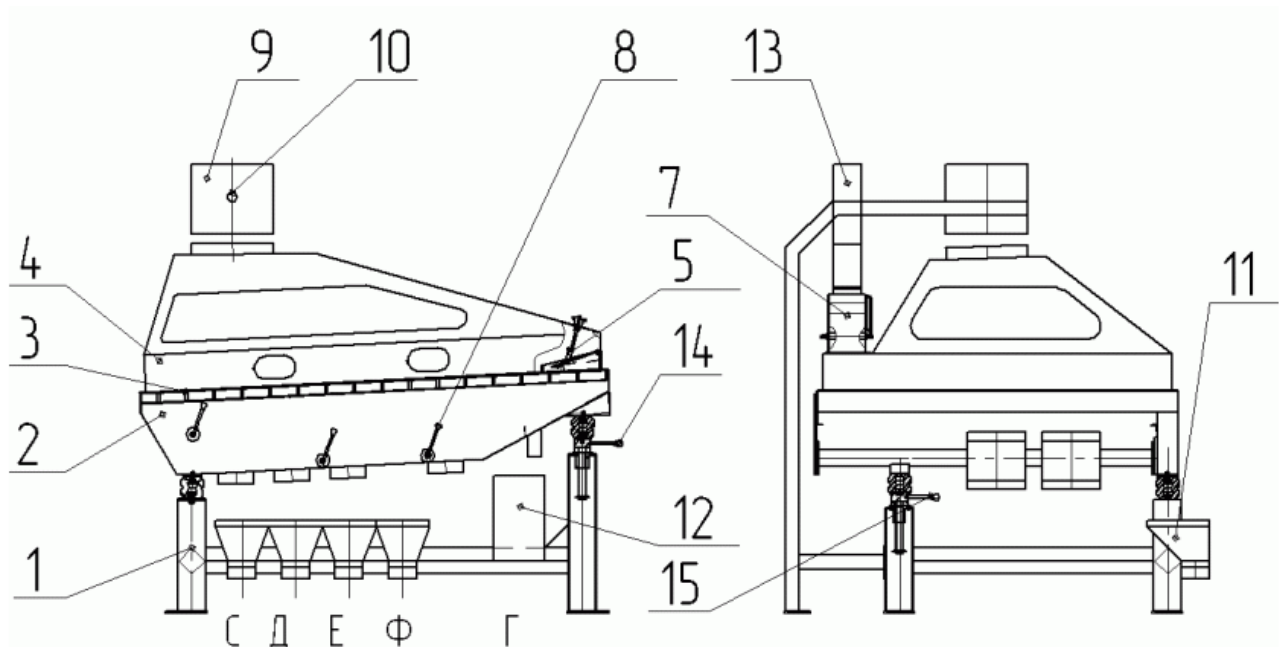


Рис.2.2. Конструктивна схема ПСС: 1 – станина; 2 – вібростіл; 3 – кузов; 4 – камера аспіраційна; 5 – каменевідбірник; 6 – дека; 7 – живильник; 8 – клапан регулювальний; 9 – клапан повітряний; 10 – механізм регулювання витрати повітря; 11 – патрубки вивантажувальні; 12 – ємність для каменів; 13 – патрубок завантажувальний; 14 – механізм регулювання повздовжнього кута нахилу; 15 – механізм регулювання поперечного кута нахилу; С – фракція легка; Д – фракція середня; Е – фракція змішана; Ф – фракція важка; Г – каміння

Технологічну схему розділення НМ на фракції різної густини зображено на рис. 2.3.

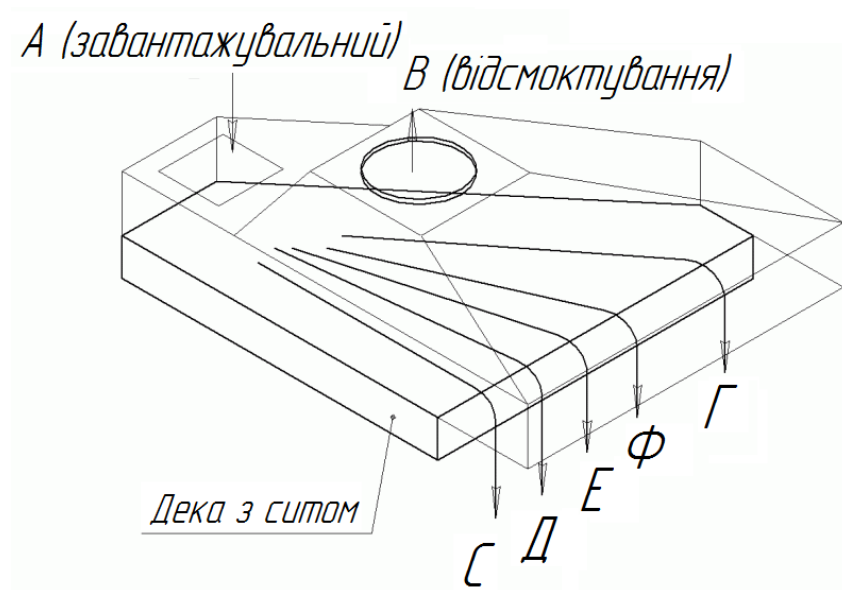


Рис. 2.3. Технологічна схема розділення насіннєвого матеріалу

Схему підключення ПСС наведено на рис. 2.4. Інформація взята з «Паспорту з експлуатації» ПСС.

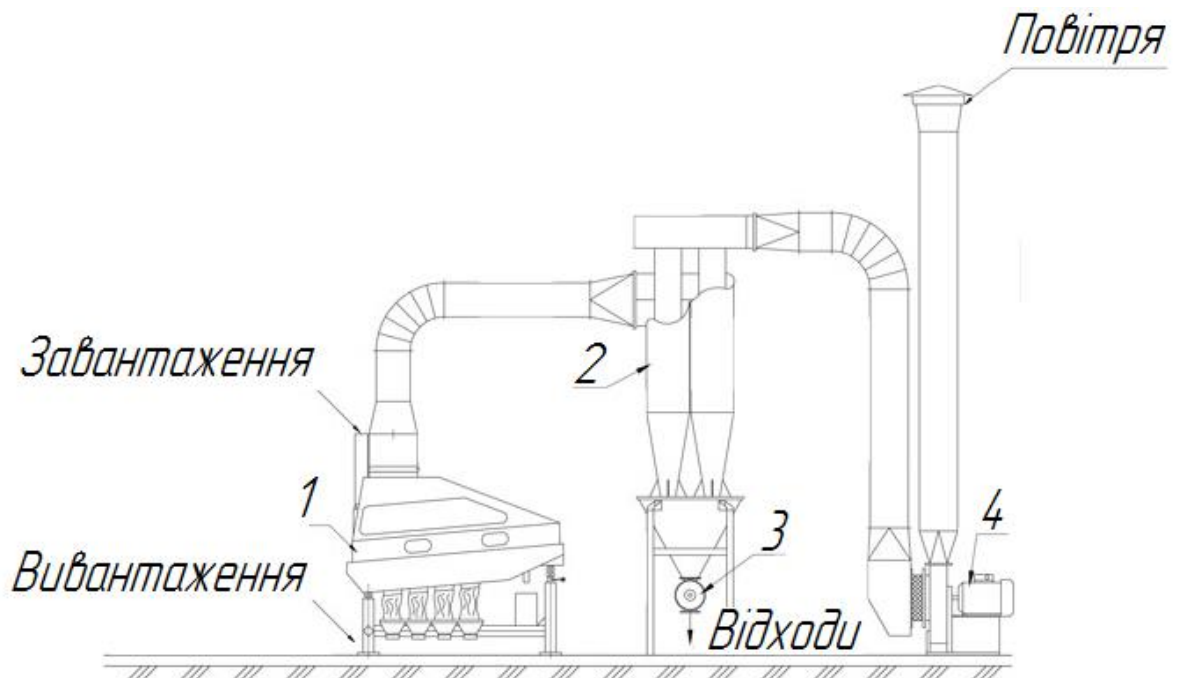


Рис.2.4. Схема підключення ПСС: 1 – стіл ПСС; 2 – батарейна установка циклонів ББЦп-650; 3 – шлюзовий затвор ШЗХ; 4 – вентилятор ВРП-6,3 (N=15,0 кВт)

Робочим елементом ПСС є дека, на якій здійснюється процес розділення НМ на фракції та їх транспортування до зони вивантаження. Дека складається з корпусу, повітряпроникного транспортувального полотна та решітки для вирівнювання повітряного потоку, які з'єднані за допомогою болтів.

Транспортувальне полотно може мати різні розміри отворів залежно від культури, що обробляється. Важливо, щоб поверхня транспортувального полотна не мала механічних пошкоджень.

Регулювання повітряного потоку виконується для досягнення оптимальної швидкості, необхідної для ефективного розділення НМ. При низькій швидкості повітря частинки НМ переміщуються вздовж деки до вивантаження «важкої» фракції. При підвищенні швидкості до оптимального рівня матеріал на поверхні деки починає "кипіти". Важливо уникати утворення «фонтанів», оскільки це призводить до змішування шарів матеріалу і припинення процесу розшарування.

Основні характеристики ПСС:

- номінальна продуктивність: від 2500 до 3500 кг/год (залежно від культури),
- частота коливань: 940 кол./хв.,
- амплітуда коливань: 5–6 мм,
- витрата повітря: не більше 140 м³/хв.,
- повздовжній кут нахилу деки: 0–8 градусів,
- поперечний кут нахилу деки: 0–8 градусів,
- встановлена потужність: 0,74 кВт,
- габарити: довжина – 2020 мм, ширина – 1858 мм, висота – 2010 мм.

Оптимальний режим роботи ПСС для різних культур досягається шляхом регулювання таких параметрів:

- продуктивність,
- питома подача матеріалу,
- витрата повітряного потоку,
- поперечний кут нахилу ПСС,
- повздовжній кут нахилу ПСС,

- положення клапана видалення каміння,
- положення розподільних клапанів,
- амплітуда коливань,
- частота коливань ПСС.

ПСС може працювати у режимах: очищення, сепарування, очищення + сепарування, видалення важких домішок (каміння)

Дослідження роботи ПСС проводилися відповідно до таких стандартів: ДСТУ 70.10.2–83 «Випробування сільськогосподарської техніки. Зерноочисні машини і агрегати, зерноочисно-сушильні комплекси. Програма і методика випробувань»; РТМ 8.53.00–64–84 «Сепаратори зерноочисні. Програма і методика випробувань»; СОУ 74.3–37–147:2004 «Випробування сільськогосподарської техніки. Зерноочисні машини та агрегати. Зерноочисно-сушильні комплекси».

Для підвищення ефективності процесу розділення НМ за параметрами густини насіння шляхом його інтенсифікації було розроблено механічний інтенсифікатор хвилеподібного типу.



Рис.2.5. Загальний вигляд інтенсифікатора хвилеподібного типу при розділенні насіннєвого матеріалу



Рис. 2.6. Випробування інтенсифікатора хвилеподібного типу

Інтенсифікатори хвилеподібного типу виконані у формі синусоїдальних гармонійних коливань і розташовані на робочій поверхні деки ПСС уздовж напрямку руху шарів НМ. Вони призначені для покращення ефективності перерозподілу частинок у фракції відповідної густини. Завдяки хвилеподібній формі інтенсифікатори сприяють прискоренню або уповільненню руху шарів матеріалу вздовж робочої поверхні.

Під час надходження НМ через завантажувальний пристрій на робочу поверхню ПСС, матеріал під дією коливань робочої поверхні з відповідною частотою та амплітудою, а також під впливом повітряного потоку, переходить у багатофазний псевдозріджений стан. Інтенсифікатори, розташовані на робочій поверхні (рис. 2.7), позитивно впливають на процес розшарування НМ, уповільнюючи рух шарів на вершинах «хвиль» через стиснення шару і прискорюючи на ділянках розширення «хвилі». Додатковий імпульс від механічного впливу інтенсифікаторів підвищує ефективність перерозподілу частинок у фракції за густиною, що в результаті покращує чистоту основної фракції, яка складається з частинок НМ з вищою густиною і енергією проростання.

У нижній частині хвилеподібного інтенсифікатора передбачена щілина для вільного проходу частинок нижнього шару. Щілина спроектована таким чином, щоб частинки матеріалу могли рухатися через неї без заклинювання.

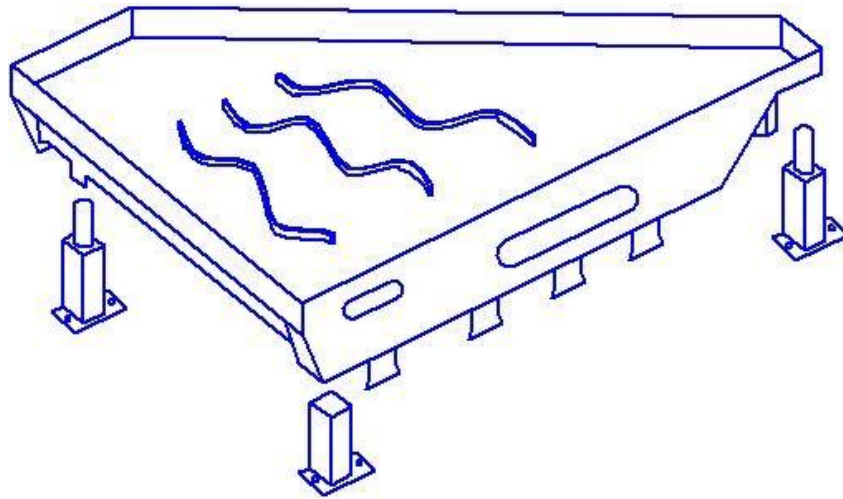


Рис. 2.7. Конструктивна схема ПСС з розташованими на робочій поверхні інтенсифікаторами хвилеподібного типу

Висоту хвилеподібного інтенсифікатора було розраховано таким чином, щоб шар НМ не переміщався через його верхню частину до сусідніх секторів робочої поверхні, а вільно рухався вздовж інтенсифікатора. Висоту щілини, розташованої в нижній частині інтенсифікатора, було визначено з урахуванням вільного проходження частинок НМ і запобігання їх заклинюванню в отворі.

Під час досліджень, залежно від типу НМ, який оброблявся, змінювалися такі параметри: висота хвилеподібного інтенсифікатора h та висота прорізу хвилі h_H , тоді як довжина хвилі l залишалася незмінною, оскільки була вибрана на основі параметрів формування шару (за винятком зон завантаження та вивантаження матеріалу).

Рекомендовані раціональні значення параметрів для хвилеподібних інтенсифікаторів, встановлених на робочій поверхні:

1. Крок встановлення $H = 350\text{--}450$ мм.
2. Для пшениці: висота інтенсифікатора $h = 10\text{--}12$ мм, висота прорізу хвилі $h_H = 2\text{--}3,5$ мм, довжина хвилі $l = 150\text{--}250$ мм.
3. Для кукурудзи: $h = 15\text{--}20$ мм, висота прорізу $h_H = 3\text{--}8,5$ мм, довжина хвилі $l = 150\text{--}250$ мм.
4. Для соняшнику: $h = 10\text{--}15$ мм, висота прорізу $h_H = 3\text{--}4,5$ мм, довжина хвилі $l = 150\text{--}250$ мм.

5. Для сої: $h = 15\text{--}20$ мм, висота прорізу $h_n = 5,5\text{--}7$ мм, довжина хвилі $l = 150\text{--}250$ мм.

На основі отриманих результатів було удосконалено серійно вироблюваний клас сепаруючих машин: розроблено та можна запроваджувати у виробництво хвилеподібні інтенсифікатори (для пневмосепарувальних столів), створено нову сепаруючу машину та вдосконалено технологічну лінію підготовки високоякісного НМ шляхом розділення матеріалу за параметрами густини насіння на робочих поверхнях плоскої та циліндричної форми.

Висновки до 2 розділу

Запропоновано вдосконалення процесу розділення насіння на основі їх густини, що дозволяє підвищити якість сортування матеріалу. Оптимізація параметрів густини насіння дозволяє значно зменшити частку домішок і забезпечити більш точне відокремлення насіннєвого матеріалу, що підвищує його ринкову вартість і ефективність використання у сільському господарстві.

Вдосконалені методи сортування насіння на основі густини забезпечують більшу стабільність процесу та зменшення енергозатрат.

Детально проаналізовано принцип дії пневмосортувального стола, який базується на використанні повітряного потоку для розділення насіння за їх фізичними характеристиками.

Проведені дослідження показали, що застосування пневмосортувального стола дозволяє досягти значного підвищення продуктивності процесу сортування насіннєвого матеріалу, зокрема для таких культур, як зернові та бобові.

Таким чином, досліджені методи та обладнання для вібропневматичного розділення насіннєвого матеріалу продемонстрували свою ефективність у підвищенні точності сортування за параметрами густини, що є ключовим фактором у підвищенні якості продукції. Впровадження цих технологій сприяє підвищенню загальної ефективності аграрних виробничих процесів.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ГУСТИНИ

3.1. Дослідження процесу вібропневматичного розділення насіння за їх густиною

У масі насінневих матеріалів (НМ) під час тривалого зберігання при впливі високих температур навколишнього середовища може виникати ефект самонагрівання, що посилюється значною кількістю пошкодженого насіння. Це сприяє лавиноподібному перебігу процесу, і температура може досягати 80°C лише за декілька годин. Процес самонагрівання є незворотним і призводить до суттєвих економічних втрат.

Для отримання елітного насіння важливо мінімізувати механічний вплив на частинки НМ та застосовувати ощадливі технології. Для відбору насіння з високим біологічним потенціалом використовують сепаруючі машини, що розділяють матеріал за щільністю насіння.

Для фракційного розподілу НМ за щільністю застосовуються пневмосортувальні столи та вібропневоцентрифуги. Хоча вони відрізняються за конструктивною схемою, обидві машини використовують схожі технології розділення.

У ході досліджень було використано найпоширеніші в Україні насінневі матеріали:

- озима пшениця сорту «Подільська», маса 1000 зерен – 40 - 45 г, густина частинки – 790 кг/м³, вологість – 13%;
- гібрид кукурудзи трійний модифікований «НК Кобальт», маса 1000 зерен – 280 – 320 г, густина частинки – 850 кг/м³, вологість – 14%;
- соняшник кондитерський СПК, маса 1000 зерен – 100 – 120 г, густина – 440 кг/м³, вологість – 7%;

• соя сорту «Аполло», маса 1000 зерен – 160 - 180 г, густина – 800 кг/м³, вологість – 11%.

Ефективність процесу розділення оцінюється за одним із ключових показників якості НМ – чистотою основної фракції. Під чистотою (Purity) основної фракції розуміють вміст основної культури у відсотках від маси наважки, взятої для аналізу.

Експериментальні дослідження були проведені на виробничих потужностях приватної агрофірми ПАФ «Єрчики» (Житомирська обл., Попільнянський р-н., с. Єрчики) у період вересень місяць 2024 року.

Завдяки використанню наших рекомендацій вдалося скоротити час налаштування поточної лінії підготовки НМ, а рекомендовані оптимальні параметри сепаруючих машин сприяли підвищенню чистоти основної фракції.

На рис.3.1 представлено підключення ПСС для проведення експериментальних випробувань.



Рис.3.1. Підключення ПСС для проведення експериментальних випробувань

3.1.1. Оцінка ефективності використання механіко-математичної моделі процесу вібропневматичного розділення насіннєвих матеріалів за параметрами густини насіння

Перед початком досліджень, відповідно до рекомендацій [14], було визначено інтервали варіювання показників, які суттєво впливають на процес розділення НМ за щільністю насіння, та здійснено їх кодування.

$$x_i = X_i - X_{0i} / \varepsilon_i, \quad (3.1)$$

де:

x_i - кодоване значення фактору, що позначено: верхній рівень (+1), нижній рівень (-1);

X_i – натуральне значення фактору;

X_{0i} – натуральне значення фактору на нульовому рівні;

ε_i - натуральне значення інтервалу варіювання фактору.

Для отримання математичних залежностей впливу обраних факторів було проведено факторний експеримент за планом Бокса-Бенкіна. Коефіцієнт надійності дослідів приймався рівним 0,95. Максимальна похибка становила $\pm 3\sigma$, де σ – середньоквадратичне відхилення. Необхідна кількість повторень дослідів дорівнювала трьом.

Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалася за допомогою методів теорії ймовірностей та математичної статистики з використанням загальноприйнятих критеріїв Фішера-Стюдента. Визначалися також такі загальновідомі величини: \bar{X} – середньоарифметичне, σ^2 – дисперсія, v – коефіцієнт варіації. Після завершення дослідів визначався показник точності, що дорівнював відношенню середньої похибки до середньоарифметичного.

Для перевірки адекватності дослідження було застосовано метод дисперсійного аналізу на рівні довірчої ймовірності 0,95. Використовувалися

підготовлені матеріали, попередньо очищені та вирівняні за розмірними характеристиками.

До основних параметрів пневмосортувального столу (ПСС), що мають вирішальний вплив на ефективність процесу розділення НМ, віднесено: частоту та амплітуду коливань деки, поздовжній і поперечний кут нахилу деки та швидкість повітряного потоку на вході до шару НМ. Дослідження проводилися на матеріалах, що найбільш поширені у виробничій сфері України, зокрема на пшениці, соняшнику та сої.

При дослідженні процесу розділення НМ критерієм оптимізації та показником ефективності процесу на пневмосортувальному столі було обрано один з ключових показників якості НМ – чистоту основної фракції. Це відрізняється від процесу первинного очищення зерна, де критерієм оптимізації є питома продуктивність або повнота виділення.

Під чистотою основної фракції НМ (Purity) розуміють вміст основної культури у відсотках від маси наважки, взятої для аналізу:

$$Purity = (m_{ок} / m_{\partial}) \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де:

$m_{ок}$ – маса основної культури;

m_{∂} – маса домішок.

Під час розділення НМ у виробничих умовах кінцеву наважку продукції (насіння на виході з ПСС) сортували вручну, поділяючи на дві групи: насіння основної культури та відходи, що склалися з різних домішок. Далі обчислювали вміст основної фракції НМ у відсотках за формулою (3.2).

Форма, середній розмір основної фракції вихідної сировини, а також середня густина цієї сировини при теоретичному моделюванні процесу її розділення та під час розділення у виробничих умовах наведені в таблиці 3.1.

Під час експериментальних досліджень були визначені діапазони кінематичних режимів для моделювання процесу розділення НМ на повітропроникних робочих поверхнях ПСС.

Таблиця 3.1

Форма і розмір основної фракції вихідної сировини та середня густина вихідної сировини

Сировина	Форма зерна	Середні характерні розміри $a \times b \times c$, мм	Середня густина, кг/м ³
Пшениця	Еліптична	3x3x8	780
Кукурудза	Трикутна	10x10x7	760
Соняшник	Трикутна	11x5x5x3	440
Соя	Кругла	6	800

Обрані діапазони представлені в таблиці 3.2. Оскільки чинників, що впливають на ефективність розділення НМ на ПСС, налічується п'ять, для проведення аналізу були зроблені наступні припущення. Передбачалося, що оптимальні частота та амплітуда коливань деки пневмосортувального столу в більшій мірі залежать від густини вихідної сировини.

Таблиця 3.2

Діапазони кінематичних режимів для моделювання процесу розділення насінневого матеріалу на ПСС

Параметр	Діапазон
Частота коливань деки, (кол./хв.)/(с ⁻¹)	800 ... 1000/13,4 ... 16,8
Амплітуда коливань деки, мм	4 ... 6
Поздовжній кут нахилу деки, град.	0 ... 8
Поперечний кут нахилу деки, град.	0 ... 8
Швидкість повітряного потоку, м/с	1 ... 3

Параметрами вібропневматичного сепаратора, які мають основний вплив на ефективність розділення НМ, були визначені частота коливань робочої поверхні (ротора) та швидкість повітряного потоку. Виходячи з цього, було проведено двофакторне моделювання процесу сепарації НМ за допомогою відповідної механіко-математичної моделі [15].

Як критерій ефективності процесу розділення НМ за щільністю було прийнято чистоту основної фракції.

Швидкість повітряного потоку варіювалася в межах від 1 до 2 м/с. Для теоретичного моделювання швидкість змінювалася з кроком 0,1 м/с, а для випробувань у виробничих умовах - з кроком 0,25 м/с. Частота коливань ротора змінювалася в межах від 400 до 600 коливань на хвилину, з дискретністю 250 коливань/хв для теоретичного моделювання та 500 коливань/хв. для експериментальних досліджень.

Розділення НМ у виробничих умовах виконувалося наступним чином: матеріал після вторинної обробки відповідної культури піддавався розділенню у вібропневмовідцентровому сепараторі. Після обробки матеріал розділявся на дві фракції в окремі бункери - насіння та домішки. Потім наважку насіння розбирали вручну, визначаючи кількість частинок «легкої» фракції (N_1) та «важкої» фракції (N_2) у загальній масі частинок ($N=N_1+N_2$). Чистоту «важкої» фракції обчислювали за формулою (3.3) [15].

$$\text{Purity} = N_2 / N_1 + N_{2\text{exp.}} \quad (3.3)$$

Швидкість повітряного потоку змінювалася в межах від 1 до 2 м/с з кроком 0,25 м/с. Частота коливань ротора варіювалася в діапазоні від 4000 до 6000 коливань за хвилину з кроком 500 кол./хв. Отримані експериментальні точки були апроксимовані для наочності поліноміальними функціями.

У дослідженні використовували насіннєвий матеріал пшениці, соняшнику та сої, як було сказано раніше.

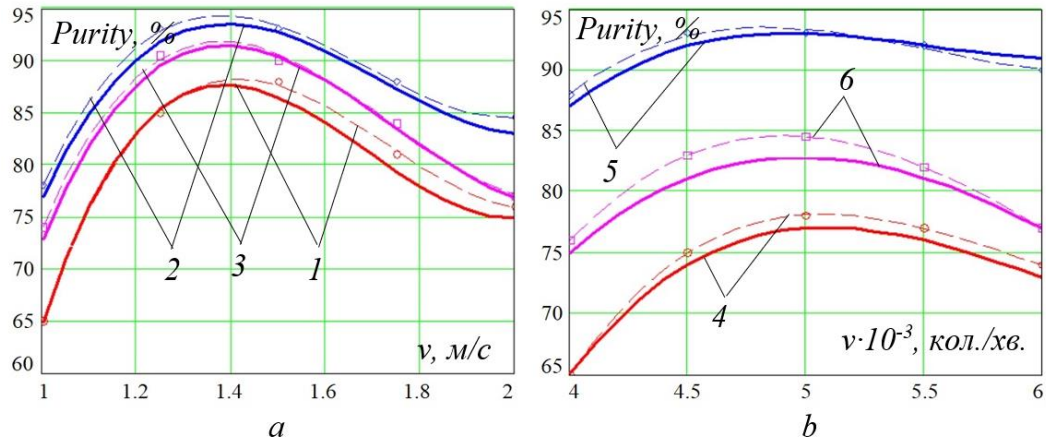


Рис. 3.2. Зміна чистоти основної фракції, отриманої розділенням НМ пшениці у вібропневматичному сепараторі, в залежності від швидкості повітряного потоку (а) та частоти коливань ротора (b), відповідно, за різних швидкості повітряного потоку (1 – 1 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2 м/с) та частоти коливань ротора (4 – 4000 кол./хв.; 5 – 5000 кол./хв.; 6 – 6000 кол./хв.)

Для підтвердження адекватності розробленої моделі розділення НМ у вібропневматичному сепараторі та визначення діапазонів значень швидкості повітряного потоку й частоти коливань ротора, за яких досягається максимальна чистота основної фракції

цих сумішей, що можна вважати раціональними параметрами процесу.

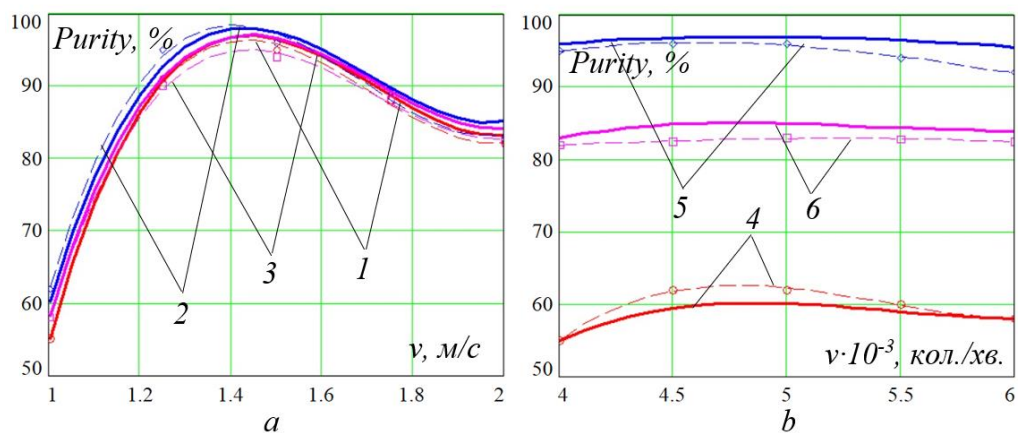


Рис. 3.3. Зміна чистоти основної фракції, отриманої розділенням НМ соняшнику вібропневматичним сепаратором, в залежності від швидкості повітряного потоку

(*a*) та частоти коливань ротора (*b*), відповідно, за різних швидкості повітряного потоку (1 – 1 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2 м/с) та частоти коливань ротора (4 – 4000 кол./хв.; 5 – 5000 кол./хв.; 6 – 6000 кол./хв.)

Графічні залежності, представлені на рис. 3.2 – 3.4, є апроксимаційними функціями даних, отриманих теоретичним моделюванням, і зображені суцільними лініями. Експериментальні дані позначені точками, отриманими експериментальним шляхом і у виробничих умовах. Точки з'єднані пунктирними лініями, які є апроксимаційними функціями для цих експериментальних точок і використовуються для зручності аналізу.

З результатів, наведених на рис. 3.2 – 3.4, випливає, що теоретичні результати відрізняються від експериментальних не більше ніж на 4 %.

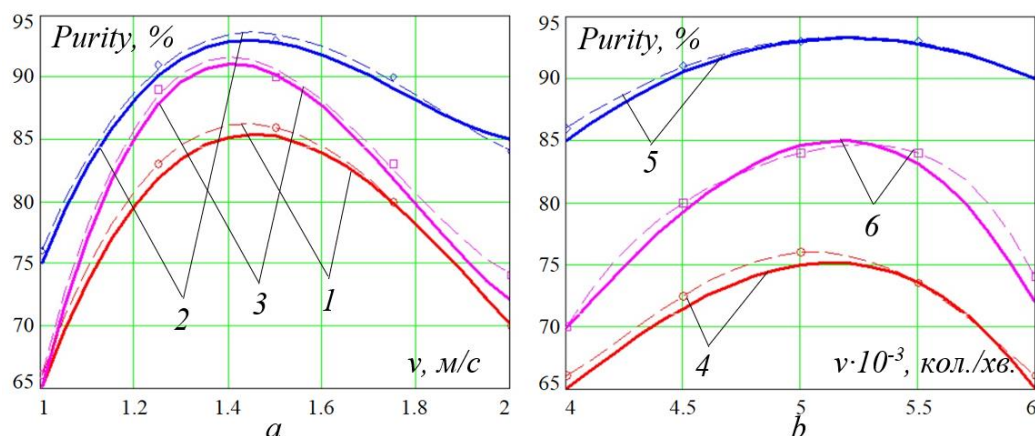


Рис. 3.4. Зміна чистоти основної фракції, отриманої розділенням НМ сої вібропневмовідцентровим сепаратором, в залежності від швидкості повітряного потоку (*a*) та частоти коливань ротора (*b*), відповідно, за різних швидкостей повітряного потоку (1 – 1 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2 м/с) та частот коливань ротора (4 – 4000 кол./хв.; 5 – 5000 кол./хв.; 6 – 6000 кол./хв.)

Відхилення для досліджень, де вихідною сировиною є пшениця, не перевищує 3,5-4%, а для насіння соняшнику та сої – не більше 2-3%. Для

проведених досліджень це відхилення можна вважати несуттєвим, оскільки воно знаходиться в межах допустимої похибки. Такий результат дозволяє зробити висновок, що розроблена модель розділення НМ у вібропневматичному сепараторі може бути використана для опису процесу за умови варіювання параметрів, таких як швидкість повітряного потоку та частота коливань ротора.

На основі отриманих результатів були визначені діапазони значень швидкості повітряного потоку та частоти коливань ротора вібропневматичного сепаратора, при яких досягається максимальна чистота основної фракції оброблюваної сировини. Ці раціональні діапазони наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Діапазони раціональних значень швидкості повітряного потоку (v) та частоти коливань ротора (ν) вібропневматичного сепаратора

Сировина	v , м/с	ν , кол./хв.
Пшениця		4500 ... 5100
Соя	1,3 ... 1,6	5000 ... 5500
Соняшник	1,3 ... 1,5	4500 ... 5000

Таким чином, підтверджено можливість застосування розробленої моделі розділення НМ у вібропневматичному сепараторі для визначення кінцевого результату процесу за умов варіювання параметрів, таких як швидкість повітряного потоку та частота коливань ротора. Встановлено діапазони оптимальних значень цих параметрів, при яких досягається максимальна чистота основної фракції оброблюваної сировини.

Висновки до 3 розділу

Випробування, що були проведені на виробничих потужностях приватної агрофірми ПАФ «Єрчики» підтвердили високу експлуатаційну ефективність застосування результатів досліджень з розділення НМ за густиною насіння.

Експериментальні дослідження підтвердили адекватність розробленої моделі розділення НМ за густиною насіння на циліндричній робочій поверхні вібропневматичного сепаратора. Різниця між теоретичними та експериментальними результатами не перевищує 4%. Для пшениці це відхилення становить 3,5–4%, а для соняшнику та сої — 2–3%, що відповідає допустимій похибці.

Визначено діапазони швидкості повітряного потоку та частоти коливань ротора вібропневматичного сепаратора, за яких досягається максимальна чистота основної фракції під час розділення НМ. Для пшениці ці значення складають $v = 1,2\text{--}1,5$ м/с, $\nu = 4500\text{--}5100$ кол./хв.; для соняшнику - $v = 1,3\text{--}1,5$ м/с, $\nu = 4500\text{--}5000$ кол./хв.; для сої - $v = 1,3\text{--}1,6$ м/с, $\nu = 5000\text{--}5500$ кол./хв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При написанні магістерської роботи на тему «Дослідження та обґрунтування процесів вібропневматичного розділення насіння за параметрами густини» можемо зробити такі висновки та пропозиції:

1. Огляд сучасних методів розділення насінневого матеріалу за густиною показав важливість цього підходу для забезпечення високої якості насіння, з основною проблемою – необхідністю підвищення ефективності процесу та зниження його вартості.

2. Продуктивність пневмосепараторів залежить від конструктивних параметрів та швидкості повітряного потоку. Подальше підвищення продуктивності потребує нових підходів, зокрема розвитку математичних моделей та оптимізації кінематичних режимів. Отже, вдосконалення методів розділення насінневого матеріалу відкриває перспективи для нових досліджень у цій сфері.

3. Запропоновано вдосконалення процесу розділення насіння за густиною, що підвищує якість сортування та зменшує кількість домішок, забезпечуючи точніше відокремлення насінневого матеріалу й підвищуючи його ринкову вартість.

4. Вдосконалені методи сортування знижують енергозатрати та забезпечують стабільність процесу. Аналіз принципу дії пневмосортувального стола підтвердив його ефективність для таких культур, як зернові та бобові.

5. Проведені дослідження довели ефективність вібропневматичних методів у підвищенні точності сортування за густиною, що покращує якість продукції та ефективність аграрного виробництва.

6. Випробування на виробничих потужностях ПАФ «Єрчики» підтвердили високу ефективність технологій. Експериментальні дослідження показали, що відхилення між теоретичними та експериментальними результатами не перевищує 4%. Для пшениці це відхилення становить 3,5–4%, а для соняшнику та сої - 2–3%, що відповідає допустимій похибці.

7. Визначено діапазони швидкості повітряного потоку та частоти коливань ротора вібропневматичного сепаратора, за яких досягається максимальна чистота основної фракції під час розділення НМ. Для пшениці ці значення складають $v = 1,2-1,5$ м/с, $\nu = 4500-5100$ кол./хв.; для соняшнику - $v = 1,3-1,5$ м/с, $\nu = 4500-5000$ кол./хв.; для сої - $v = 1,3-1,6$ м/с, $\nu = 5000-5500$ кол./хв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В.С., Самойчук К.О., Тарасенко В.Г., Верхоланцева В.О., Паляничка Н.О., Михайлов Є.В., Червоткіна О.О. Процеси і апарати харчових виробництв. Механічні та гідромеханічні процеси: підручник, Мелітополь, 2021. 476 с.
2. Бурков А.І. Підвищення ефективності функціонування пневмосистем зерно- та насіннеочисних машин шляхом удосконалення їх технологічного процесу і основних робочих органів: дис. ...докт. техн. наук. Київ, 1993. 500 с.
3. Сліпченко М.В. Обґрунтування параметрів процесу та розробка пневмосепаруючого пристрою віброцентробіжних зернових сепараторів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2013. 225 с.
4. Гончаров Є.С. Дослідження процесу сепарації зернових матеріалів центробіжно-вібраційними решетами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Київ: УСГА, 1963. 23 с.
5. Дерев'янка Д.А. Шляхи покращення якісних показників зерна. Збірник наукових статей. Луцький національний технічний університет. Вип. 21, 2011. С. 117 – 120.
6. Дерев'янка Д.А., Тарасенко О.П., Оробинський В.І. Вплив травмування на якість насіння зернових культур: монографія. Житомир, 2012. 438 с.
7. Аверченко В.І., Самойленко Н.М. Ґрунтознавство: навчальний посібник. Харків: Мачулін, 2018. 118 с.
8. Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (FAO). <https://www.fao.org/home/uk> (дата звернення: 10.09.2024).
9. Грабар І.Г., Дерев'янка Д.А., Герук С.М. Вплив вологості зерна при збиранні та післязбиральній обробці зернового вороху озимого жита на його травмування і насінневі якості: збірник праць Вінницького національного аграрного університету. Вінниця: ВНАУ, 2010. Вип.5. С. 60 – 62.

10. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ: «Каравелла», 2008. 407 с.
11. Харченко С. А, Тищенко Л.Н. Уточнення рівнянь динаміки бульбашкової псевдозрідженої зернової суміші на структурному віброситі: Вібрації в техніці і технологіях. Вінниця: ВНАУ, 2014. №1 (73). С. 50 – 53.
12. Бредихін В.В. Теоретичні основи вібропневмовідцентрового розділення насінневих матеріалів за густиною насіння: монографія. Харків, 2017. 81 с.
13. Петренко М.М., Богатирьов Д.В. Пневмоімпульсна сепарація насіння за густиною як випадковий марківський процес. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 33. – Кіровоград: КДТУ, 2003. С. 286 – 291.
14. Тищенко Л.М., Ольшанський В.П., Ольшанський С.В., Харченко Ф.М., Сліпченко М.В. Динаміка віброцентробіжної зерноочистки: монографія. Харків. 2013. 438 с.
15. Balkose D., Egbuchunam T., Okieimen F., 2010. Thermal behaviour of metal soaps from biodegradable rubber seed oil. J. Therm. Anal. Calorim. 101, 795–799. <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0940-4>.