

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Обґрунтування параметрів процесу первинної
обробки зерна з метою зменшення його
травмування**

Виконав: здобувач вищої освіти 4курсу,
групи ХТ-2-21 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Володимир КОЛОМОЄЦЬ

Керівник: _____ Віталій КОШУЛЬКО

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Коломойцю Володимирі Володимировичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів процесу первинної обробки зерна з метою зменшення його травмування».

Керівник роботи: Кошулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 963.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія та обладнання для первинної обробки зерна. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Стан питання і задачі дослідження. 2 Теоретичні дослідження процесу організації обробки зернового вороху. 3 Програма і методика експериментальних досліджень. 4 Результати експериментальних досліджень. 5 Охорона праці та довкілля. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Постановка питання. 2 Мета і завдання досліджень. 3 Обговорення результатів досліджень. 4 Кошторис витрат на проведення досліджень. 5 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Доцент Віталій КОШУЛЬКО	07.05.25	09.06.25

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Стан питання і задачі дослідження	09.05-14.05.25	виконано
3	Теоретичні дослідження процесу організації обробки зернового вороху	15.05-16.05.25	виконано
4	Програма і методика експериментальних досліджень	17.05-23.05.25	виконано
5	Результати експериментальних досліджень	24.05-31.05.25	виконано
6	Охорона праці та довкілля	01.06-02.06.25	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.06-03.06.25	виконано
8	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.25	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ Володимир КОЛОМОЄЦЬ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування параметрів процесу первинної обробки зерна з метою зменшення його травмування»

Кваліфікаційна робота: 80 сторінок, 10 рисунків, 19 таблиць, 0 додатків, 30 літературних джерел.

Об'єктом дослідження є технологічний процес потокової обробки зернового вороху з його фракціонуванням.

Предметом досліджень є закономірності зміни рівня травмування зерна елементами технологічної лінії, а також впливу вихідної вологості зернового вороху на склад і вологість виділених фракцій при потоковій фракційній його обробці.

Метою роботи є зниження травмування зерна шляхом вишукування можливості потокової обробки зернового вороху різної вологості з його фракціонуванням.

Головною причиною низької якості насіння є високий рівень їх травмування при збиранні й післязбиральній обробці, а також несвоєчасна обробка зерна, що надходить від комбайна. Рівень травмування зерна при збиранні й післязбиральній обробці нерідко досягає 80 – 90 %. Чим вище рівень травмування насіння, тим більше знижується врожайність зернових. Установлено, що кожні 10 % травмованих зерен знижують урожайність на 1,0 – 2,5 ц/га.

У зв'язку із цим особливу актуальність і практичну значимість для АПК усієї країни здобуває розробка й застосування найбільш прогресивних технічних засобів і технологій післязбиральної обробки зерна спрямованих на одержання й збереження якісного продукту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Робота, сепарування, решітна сепарувальна машина, дослідження, зерно, пшениця, ефективність, травмування, відбір, проростання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку.....	9
1.2 Удосконалення механізації післязбиральної обробки зерна	15
Висновки за розділом	25
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ	27
2.1 Біолого-технологічне обґрунтування вибору технології післязбиральної обробки зернового вороху.....	27
2.2 Теоретичне обґрунтування вибору технічних засобів для потокової фракційної технології обробки зернового вороху	29
Висновки за розділом	32
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	33
3.2 Об'єкт досліджень.....	33
3.3 Методика проведення експериментальних досліджень.....	33
3.3.1 Методика визначення вологості зернового вороху.....	34
3.3.2 Методика визначення вологості розмірних фракцій	34
3.3.3 Методика дослідження складу зернового вороху по фракціях.....	34
3.3.4 Методика визначення впливу рівня травмування і маси 1000 зерен на лабораторну схожість насіння	35
3.3.5 Методика визначення впливу вологості та засміченості зернового вороху на зміну вологості зерна основної або фуражної фракцій при обробці	36
3.3.6 Методика дослідження впливу складу технологічної лінії й вихідної вологості зернового вороху на якість очищення зерна.....	37
Висновки за розділом	38
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39

4.1 Дослідження впливу вологості зернового вороху й ширини отворів решіт на склад і вологість виділених фракцій	39
4.1.1 Вплив вологості зернового вороху й розмірів отворів решета на розподіл компонентів по фракціях.....	39
4.1.2 Вплив вологості зернового вороху і розмірів отворів решіт на вологість виділених фракцій.....	47
4.2 Удосконалювання процесу обробки зернового вороху під час первинної очистки	50
4.2.1 Вплив приймального обладнання зерноочисних агрегатів на якість зерна та їх продуктивність	50
4.2.2 Знаходження шляхів зниження травмування зерна норіями	52
4.2.3 Вплив повітряно-решітних зерноочисних машин ОЗФ-80/40/20 та U-80 на зміну складу зернового вороху під час первинної очистки.....	54
4.2.4 Дослідження впливу вологості зернового вороху на якість його очищення машиною ОЗФ-80 і її зміни під час первинної очистки	60
Висновки за розділом	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	66
5.1 Розроблення картки з безпеки праці для працівників цеху з первинної обробки зерна	66
5.2 Шляхи утилізації відходів під час первинної обробки зерна на елеваторах та підприємствах з переробки зерна.....	68
Висновки за розділом	69
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	70
6.1 Витрати на проведення досліджень	70
6.2 Визначення вартості дослідження.....	74
Висновки за розділом	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
БІБЛІОГРАФІЯ.....	77

ВСТУП

Продовольча безпека – складова частина національної безпеки України і значною мірою визначається саме валовим збором зерна, необхідного для формування насіннєвих фондів, забезпечення продуктами харчування населення й тваринництва зернофуражем. При стабільному збереженні посівних площ, одним з основних шляхів збільшення виробництва зерна, є підвищення врожайності.

Однак, по даним насіннєвої інспекції України, в останні роки в Україні висівають не більше 20 % висококласних насіннь, а некондиційних – до 34,9 %. У результаті недобір урожаю через незадовільну підготовку насіннь у середньому по країні досягає 10 – 15 млн. тон на рік.

Головною причиною низької якості насіннь є високий рівень їх травмування при збиранні й післязбиральній обробці, а також несвоєчасна обробка зерна, що надходить від комбайна. Рівень травмування зерна при збиранні й післязбиральній обробці нерідко досягає 80 – 90 %. Чим вище рівень травмування насіння, тим більше знижується врожайність зернових. Установлено, що кожні 10 % травмованих зерен знижують урожайність на 1,0 – 2,5 ц/га [4].

Несвоєчасно очищене зерно є сприятливим середовищем для проживання й розмноження мікроорганізмів, що вражають насіння, що й погіршують їхні товарні й посівні якості. Велика частина мікрофлори розміщується на домішках і травмованих зернах [5].

Тому свіжозібраний зерновий ворох необхідно негайно очищати від смітників, дробленого, травмованого, біологічно неповноцінного зерна на ранній стадії його післязбиральної обробки; А якщо ні, то якість зерна різко знижується [5].

У зв'язку із цим особливу актуальність і практичну значимість для АПК усієї країни здобуває розробка й застосування найбільш прогресивних технічних засобів і технологій післязбиральної обробки зерна спрямованих на одержання й збереження якісного продукту.

Метою роботи є зниження травмування зерна шляхом вишукування

можливості потокової обробки зернового вороху різної вологості з його фракціонуванням.

Відповідно до поставленої мети в завдання досліджень входило:

- розробити методику вибору технічних засобів для реалізації потокової фракційної технології післязбиральної обробки зерна;
- виявити рівень травмування й посівні якості зерна, а також вологість компонентів зернового вороху різних розмірних фракцій;
- обґрунтувати шляхи зниження травмування зерна приймальним пристроями, очисними машинами й транспортуючими органами зерноочисних агрегатів;
- виконати техніко-економічні розрахунки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес потокової обробки зернового вороху з його фракціонуванням.

Предметом досліджень є закономірності зміни рівня травмування зерна елементами технологічної лінії, а також впливу вихідної вологості зернового вороху на склад і вологість виділених фракцій при потоковій фракційній його обробці.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку

Склад і стан зернового вороху, що надходить від комбайнів, залежать від агротехніки, зернових культур, кліматичних умов і режимів роботи збиральних машин.

Такі показники зернового вороху, як засміченість і вологість, мають випадково-імовірнісну природу, між якими спостерігається досить тісний зв'язок. Ці показники змінюються протягом доби, що ускладнює обробку зернового вороху.

Наявність вологого й засміченого зерна обумовлює необхідність підвищення вимог до технологічних операцій очищення, тимчасового зберігання й сушіння зерна.

Зерновий ворох, що надходить являє собою механічну суміш різних компонентів, вологість яких за певних умов може досягати 10 – 45 % і більше. Залежно від засміченості полів, погоди і якості роботи комбайна вміст зерна основної культури коливається в межах 85 – 98 % [9]. Іншу частину зернового вороху становлять насіння інших рослин (культурних і бур'янистих), стебла й листки основної культури й бур'янів, мінеральна домішка, комахи в різних стадіях розвитку та інше. Органічна домішка, що включає в основному вегетативні частини рослин основної культури й бур'янів, є найбільшою за обсягом фракцією незернової частини вороху. Розміри елементів, що складають органічну частину домішок вороху, у значній мірі залежать від регулювання і якості роботи молотильного обладнання сепаруючих органів комбайнів. Серйозні труднощі представляє відділення соломистих домішок, тому що довжина більшості часток здрібненої соломи значно перевершує робочий розмір отворів решіт зерноочисних машин. Мінеральна домішка – пил мінерального походження, пісок, грудочки землі та інше – становить звичайно не більш 1 – 1,5 % від маси поступаючого на обробку зернового вороху [3]. Тільки при збиранні маловрожайних ділянок з

полеглим стеблом у роки з несприятливими погодними умовами кількість мінеральних домішок збільшується до 4 – 5 %.

Велику засміченість вороху супроводжує наявність часток з дуже високою вологістю, 50 – 70 % і більше. Зелені частини рослин, як правило, мають більш високу вологість, що негативно позначається на збереженні зерна [5] до його обробки.

Вологість має технологічне й економічне значення. Її технологічне значення проявляється в тому, що зернову масу підвищеної вологості важко зберегти, не можна розмолоти в борошно й переробити в крупу. Таке зерно небезпечно розміщати в бункерах активного вентилявання, тому що в результаті швидкого злежування й втрати сипкості його важко вивантажити самопливом. По цій же причині виникають складності й при сушінні зерна з вологістю вище 28 – 30 % у сушарках шахтного типу. Воно швидко пліснявіє, втрачає харчові й насіннєві якості, самозігрівається.

Економічне значення цього показника виражається у тому, що зерно оплачують у перерахуванні на базисну вологість. За відхилення від установлених норм роблять знижки або надбавки до маси. Підвищена вологість зернового вороху підсилює інтенсивність його дихання.

При вологості насіння зернових культур вище 14 % і з підвищенням температури навколишнього середовища різко зростає інтенсивність дихання.

Уже в перші дні зберігання більша частина вологи з домішок поглинається зерном, і вона є джерелами гніздового самозігрівання, у результаті чого насіння вражає цвіль, що погіршує його посівні й урожайні якості.

У роботі [7] приводяться припустимі строки безпечного зберігання зерна без погіршення його якості залежно від вологості й температури зерна, які представлено в таблиці 1.1.

У випадку недотримання цих вимог створюються сприятливі умови для розвитку цвілевих грибів, бактерій, комах, що погіршують якість зерна.

Організація раціональних режимів і умов зберігання зерна підвищеної вологості складна й дорога.

Таблиця 1.1 – Тривалість безпечного зберігання зерна

Культура	Температура, °С	Тривалість зберігання (діб) при вологості зерна (%)															
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Пшениця	5						180	130	70	36	26	23	20	18	16	15	14
	10				180	135	70	32	20	13	10	8	6	5	4	2	1
	15			170	75	35	20	12	8	5	3	1					
	20		180	80	36	20	11	7	4	2							
	25	200	125	37	19	9	4										
	30	180	90	30	14	5	2										

У роботі [8] вказується, що кількість уражених цвілью зерен неочищеного матеріалу наприкінці третьої доби становить 25 %, тоді як в очищеного зерна воно залишається майже незмінним – 3 %.

При вологості 15 – 30 % активно розвиваються різного роду цвілеві гриби, а при вологості більше 30 % - головним чином бактерії [6]. Тому свіжозібране зерно необхідно вчасно очистити від дрібних і великих бур'янистих домішок.

Мікрофлора (бактерії, цвілеві гриби, актиноміцети), що втримується на зернівках і інших компонентах вороху, виявляє активний вплив на його стан і зберігання. Цвіль може підняти температуру в зерні до 60 – 70 °С, а потім наступає її самостерилізація, а комахи можуть підвищити температуру зерна до 40 – 45°С, після чого вони гинуть.

Підвищення температури зерна інтенсифікує процес дихання. При підвищенні температури від 4 до 25 °С дихання зерна з вологістю 15 % збільшується в 2 рази, а підвищення температури до 45 – 55 °С підсилює інтенсивність дихання в 20 – 100 разів. Підвищення температури вище 55 °С приводить до зниження інтенсивності дихання й життєдіяльності зерна [9]. При зниженні температури нижче 5 – 10 °С розвиток мікроорганізмів і цвілевих грибів сильно вповільнюється, зменшується інтенсивність дихання. Тому зниженням

температури зерна з підвищеною вологістю можна, на деякий період зберегти зерно від псування.

Для того щоб збільшити час зберігання зерна прибігають до попереднього очищення, при цьому з видаленням частини вологих домішок середня вологість зернової маси може знижуватися на 1 – 3 % і більше [6]. Крім того, ця операція створює сприятливі умови для виконання наступних технологічних операцій післязбиральної обробки зерна, головним чином сушіння.

Попереднє очищення найбільш ефективно тільки в тому випадку, якщо проводиться відразу ж при вступі зерна на струм. Затримка з очищенням навіть на нетривалий час веде до перерозподілу вологи між зерном і більш вологими домішками, у результаті чого зерно трохи воложитьься, що пов'язане з небезпекою зниження його якості.

Для забезпечення безпечного й тривалого зберігання зерно повинне бути висушене до кондиційної вологості в зерносушарках, яка для різних культур становить від 7 до 14 %. При цьому вся волога перебуває у зв'язаному стані й недоступна для активних процесів життєдіяльності. Це є основною умовою тривалого зберігання зерна [6].

Якщо по тим або іншим причинам зерно не можна висушити, його необхідно тимчасово законсервувати, охолоджуючи на установках активного вентилявання шаром 1 – 2 м [67]. У цьому випадку потреба в навісах і майданчиках для тимчасового зберігання зерна на току зменшується в 3 – 5 разів. Зниження температури зерна до 5 – 10 °С сприяє значному зниженню діяльності мікрофлори [7]. Однак цвілеві гриби здатні повільно розвиватися на зерні з підвищеною вологістю, навіть якщо воно перебуває в охолодженному стані. Тому тривале вентилявання зерна зовнішнім повітрям не дозволяє зберегти зерно від псування. У зв'язку із цим сире охолоджене зерно, особливо насіннєвого призначення, може задовільно зберігатися лише нетривалий час. Тривале зберігання насіння можливе лише в сухому стані.

За даними [6], пшеницю, ячмінь, овес із вологістю 22 % при температурі повітря 15 – 20 °С можна зберігати на установках активного вентилявання зерна близько 14 днів, при вологості 24 – 26 % – 6 – 8 днів.

Одночасно зі зміною вологості й температури в зерновому воросі відбуваються зміни фізичних властивостей: сипкості, шпаруватості, щільності, парусності, пружності.

Сипкість зернової маси головним чином залежить від вологості зерна. З підвищенням вологості підвищується коефіцієнт тертя й знижується свобода переміщення одних зерен щодо інших.. На сипкість матеріалу впливають форма зерна, шорсткість його поверхні, наявність бур'янистих домішок. Більшість бур'янистих домішок знижують сипкість зернового матеріалу, а зменшення сипкості викликає погіршення виділення їх з основної фракції й зниження продуктивності зерноочисних машин.

З урахуванням вологості й засміченості зернового вороху дійсна продуктивність зерноочисних машин визначається з рівняння [9].

$$P_3 = P_{3.п.} \cdot k_K \cdot k_E \cdot k_t (1 - k_W \cdot W) \cdot (1 - k_S \cdot S), \quad (1.1)$$

де $P_{3.п.}$ – паспортна продуктивність зерноочисної машини, т/год;

k_K – коефіцієнт, що враховує вид культури, що очищається;

k_E – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації машини;

k_t – коефіцієнт часу зміни;

k_W – коефіцієнт в частках одиниці, що враховує зниження продуктивності в залежності від збільшення вологості понад 14 % на 1 %;

$W = \omega_1 - 14$ – вологість матеріалу в % понад 14%;

k_S – коефіцієнт у частках одиниці, що враховує зниження продуктивності залежно від збільшення засміченості понад 3 % на 1 %;

$S = S_1 - 3$ – засміченість матеріалу вище 3 %.

За даними ряду досліджень, кожний відсоток збільшення вологості вороху понад 16 % спричиняє зниження фактичної продуктивності зерноочисних машин у середньому на 5 %. При вмісті домішок у вихідному матеріалі понад 10 % продуктивність зерноочисних машин знижується на 2 % на кожний відсоток збільшення домішок [7].

Зі збільшенням вологості вороху до 30 % продуктивність машин попереднього очищення знижується в 2 рази [3], сушарок у насінневому режимі роботи більш ніж в 4 рази, а при збільшенні вологості вороху на 3 – 4 % ефективність виділення домішок повітряним потоком знижується на 3 – 5,5 % [6].

Також наявність у зерновій масі травмованого зерна, де активно розвиваються цвілеві гриби, сприяє збільшенню дихання зерна й втраті сухих речовин. Як правило, після збирання комбайном 20 – 25 % зерна пшениці й 50 – 90 % зерна жита мають механічні ушкодження, і дуже часто – в області зародка. Ці мікроушкодження небезпечні самі по собі, але головне – вони позбавляють зерно захисту від ураження мікроорганізмами. При цьому в першу чергу травмується зародок.

Встановлено, що посівні якості насіння сильно залежать від рівня їх травмування в момент збирання й післязбиральної обробки [6].

Кожні 10 % мікротравмованих насінин у посівному матеріалі викликають зниження врожайності зерна на 1,5 ц/га і більше [6].

У поступаючому на післязбиральну обробку зерновому вороху втримується в середньому 0,92 % зернівок з вибитим зародком, 0,64 % – з ушкодженим зародком, 8,44 % – з ушкодженою оболонкою зародка, 14,3 % – з ушкодженою оболонкою зародка й ендосперму, 1,1 % – з ушкодженим ендоспермом, 29,9 % – з ушкодженою оболонкою ендосперму. Рівень травмування зерна при збиранні досягає 60 – 80 %, найбільш стійкими до ушкодження є спілі насінини, в. більшому ступені травмується біологічно неповноцінне зерно [4].

В роботі [4] докладно досліджувала види механічних ушкоджень насінь і їх вплив на посівні якості. Результати цих досліджень показують, що насіння зі значним ушкодженням, ендосперму мають лабораторну й польову схожість

відповідно 65 і 26 %, а насіння з ушкодженим зародком – 40 і 23 %. При цьому схожість цілих насінин становила 100 %. Аналогічні результати отримані й іншими дослідниками.

Аналіз літературних даних показує, що найбільш істотними факторами, що впливають на регулювання життєдіяльності насіння, є: вологість насіння у період збирання й післязбиральної обробки, температура його зберігання, рівень травмування, кількісний і якісний склад вороху, тривалість зберігання.

Тому для одержання якісного, зернового матеріалу необхідно на самій ранній стадії післязбиральної обробки із зернового вороху виділити компоненти, що є сприятливим середовищем для проживання й розмноження мікроорганізмів.

1.2 Удосконалення механізації післязбиральної обробки зерна

При вдосконаленні технічних засобів і технології післязбиральної обробки зерна на різних етапах вирішували різні задачі.

По-перше, прагнули підвищити продуктивність зерноочисних машин і знизити витрати на післязбиральну обробку зерна.

По-друге, у процесі післязбиральної обробки повинна бути підвищена стійкість зерна, щоб можна було зберегти його без істотних втрат до нового врожаю й на більш тривалий строк.

По-третє, свіжозібрана зернова маса в процесі післязбиральної обробки повинна бути доведена до встановлених кондицій по чистоті. У процесі післязбиральної обробки, зерно очищають від бур'янистої й зернової домішок і сортують із виділенням малоцінних зерен основної культури, біологічно неповноцінних, щуплих, битих, ушкоджених і дрібних.

Важливою конструктивною й технологічною особливістю агрегатів, що випускаються промисловістю, і комплексів є поверхове розташування зерноочисних машин і бункерів, що дозволяє повною мірою використовувати властивість сипкості зернової маси й забезпечити самопливну подачу всіх фракцій зерна й відходів у відведені для них бункера, а також вивантаження їх з бункерів у

транспортні засоби. При цьому забезпечується приймання зерна з більшою продуктивністю, чим продуктивність основного встаткування. Це дозволяє приймати зерно не тільки для негайної його обробки, але й для створення запасу зерна в напружений період, коли надходить найбільша кількість партій зернового матеріалу.

У результаті застосування таких комплексів продуктивність праці підвищилася в 7 – 10 разів у порівнянні із системою пересувних машин, що працювали на електроенергії, вартість обробки знизилася в 2 – 3 рази [7]. Але при цьому для досягнення необхідної чистоти насіння доводиться найчастіше пропускати зерновий ворох через агрегати, або комплекси два-три рази, що призводить до збільшення його травмування.

Дослідженню травмування насіння робітниками й транспортуючими органами потокових ліній присвячені роботи [3, 6, 8, 9] та інших авторів.

З метою зниження травмування зерна при його післязбиральній обробці воно повинне проходити через мінімальну кількість машин і транспортних засобів. Тому при розробці нових зерноочисних машин або зерноочисних агрегатів необхідно скорочувати число операцій і зменшувати довжину міжопераційних зв'язків [9].

Ушкоджене зерно до того ж характеризується поганим зберіганням. Через це мають місце втрати при наступному зберіганні зерна.

Втрати зерна й зниження його якості в післязбиральний період можуть початися вже з перших хвилин після доставки зернового матеріалу з поля.

Результати досліджень наявних потокових ліній показують, що залежно від умов роботи продуктивність зерноочисного устаткування може бути нижче номінальної на 30 – 60 %. Основними причинами низької ефективності потокових ліній є недоліки організаційного, технологічного характеру, а також конструктивні параметри машин [17]. У результаті не все зерно відразу піддається очищенню, і якийсь час зерновий ворох лежить без обробки на току. У міру звільнення зерноочисних агрегатів зерно занурюють зерноавантажувачами або зернометальниками в транспортні засоби й подають на очищення.

Таким чином, тимчасове зберігання передбачає виконання додаткових, вантажно-розвантажувальних операцій пов'язаних із запобіганням злежування зерна, формуванням буртів та навантаженням у транспортний засіб. Найбільш часто застосовують при цьому зернонавантажувач з скребковими транспортерами. Так, самохідний зернонавантажувач ЗПС-60 тільки скребковою гілкою травмує насіння, пшениці при волочінні по асфальтовому покриттю за один пропуск на 11 %, а за 10 – на 51 %. Після 10 пропусків лабораторна схожість насіння знизилася на 6 %, а польова – на 15 – 24 % [15]. При цьому вологість зернового вороху, становила 19,5 %. Крім того, зерно проходить через увесь зернонавантажувач, де додатково ушкоджується. При пропуску зерна через зернометальник ЗМ-60 його травмування зросло на 4,5 %, а лабораторна схожість знизилася на 4,5 %. За один пропуск через зернонавантажувач ЗПС-100 тільки дроблення доходить до 1,4 – 1,6 % [15].

З вищенаведених даних видно, що виконання навантажувально-розвантажувальних операцій веде до збільшення його травмування й погіршенню посівних якостей насіння.

Отже, необхідно уникати можливі перевалочні операції на току, а використовувати потокову технологію очищення насіння при якій весь урожай, що збирається, обробляється на зерноочисному агрегаті або зерноочисно-сушильному комплексі.

В теперішній час загально прийнято підрозділяти зерноочисні лінії на продовольчі й насіннєві. Лінії універсального призначення можуть працювати при обробці як продовольчого, так і насіннєвого зерна.

Ці агрегати включають наступний комплекс технічних засобів: приймальне обладнання (завальна яма), транспортуючі органи (норії, скребкові транспортери, шнеки, самопливні обладнання, стрічкові транспортери), робочі машини (машини попереднього очищення, сушарка, трієрний блок, бункер активного вентилявання, пневмосортувальний стіл [8, 9, 15, 18].

До зерна різного цільового призначення (продовольчого, фуражного, насіннєвого) пред'являються різні вимоги, які можна умовно розділити на декілька груп, а саме: вимоги за чистотою (вмісту повноцінного насіння основної культури),

за вмістом певних видів домішок, вимоги за рівнем травмування зернівок і за вологістю зернового вороху.

Машина й устаткування поточкових підприємств обробки зерна й насіння підбирають і розміщують таким чином, щоб необхідні технологічні операції виконувалися послідовно з доведенням матеріалу до посівних або базисних кондицій за один пропуск.

При реконструкції зношених зерноочисних агрегатів необхідно підібрати найбільш перспективні зерноочисні машини з мінімальними матеріало- і енерговитратам, також транспортуючі органи, що входять у технологічну лінію, які забезпечують потрібну продуктивність при мінімальному травмуванні зерна [4].

В зерноочисних поточкових лініях більша частка ушкоджень насіння припадає. Аналіз літературних джерел показав, що кількість механічних ушкоджень зерна машинами й устаткуванням коливається в значних межах. Зерноочисні й сортувальні машини ушкоджують зерно від 3,4 до 8,4 %, сушарки – від 4,3 до 15,5 %, норії – від 4,6 до 10,2 %, шнеки – від 2,6 до 4,2 %, пневмотранспортери – до 17,2 %, самопливні трубопроводи – до 1,6 %, на виході із завальної ями травмується 5 – 13,7 % зерна [13].

В технологічних лініях сучасних зерноочисних агрегатів особливо з насіннєвими приставками, нерідко міститься трохи зазначених вище елементів. Наприклад, кількість приймального обладнання досягає 5 – 8 і більше, норій – 2 – 5, шнеків 2 і більше тощо.

Збільшення кількості транспортуючих або робочих органів веде до збільшення довжини поточної лінії й механічних впливів на насіння [12], а отже, до травмування зерна (табл. 1.2).

Аналізуючи дані таблиці 1.2, бачимо, що чим більша довжина технологічної лінії, тим більше насіння піддається механічним впливам з боку робочих елементів, що приводить до його травмування.

У такий спосіб післязбиральна обробка зерна являє собою комплекс взаємозалежних і доповнюючих одна одну технологічних операцій, у результаті

виконання яких забезпечується тривале зберігання зерна й підвищується його якість до необхідного рівня [5].

Таблиця 1.2. – Травмування зерна зерноочисними агрегатами

Зерноочисний агрегат	Довжина технологічної лінії, м	Травмування насіння, %
ЗАВ-20	37,8	9,4
ЗАВ-40	42,3	10,4
ЗАВ-50	102,0	14,5

Зменшення впливу довжини технологічної лінії може досягатися шляхом удосконалення технології післязбиральної обробки зерна й вибору перспективних технічних засобів.

Вибір технології обробки насіння залежить від природно-кліматичних умов, матеріально-технічного забезпечення, фінансового стану господарства, наявності трудових ресурсів, а також фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу [8].

У цей час очищення зерна проводять із використанням двох основних технологічних схем робочого процесу: двоетапної і потокової фракційної.

Послідовна схема очищення зерна передбачає послідовний пропуск вихідного матеріалу через кілька робочих органів, об'єднаних у певній послідовності в межах однієї або декількох зерноочисних машин. Після його пропуску з вихідного продукту виділяють частину характерних домішок і малоцінного зерна. Очищене зерно основної культури виділяється лише на останньому етапі технологічної лінії.

Послідовна технологія обробки зернового матеріалу реалізована на типових зерноочисних агрегатах, де очищення й сортування зерна й насіння проводять із використанням різних машин. Вона містить у собі ряд технологічних операцій: приймання зернового вороху і завантаження в завальні ями, очищення від легких дрібних і великих домішок на різного роду зерноочисних машинах, а потім

виділення коротких і довгих домішок у трієрних циліндрах. Дана технологічна лінія в основному призначена для обробки продовольчого зерна. Для обробки зерна насіннєвого призначення зерноочисні агрегати доповнюються комплектом спеціального устаткування - насіннєочисними приставками, у яких застосовується операція сортування насіння на повітряно-решітній машині й поділ насіння за щільністю на пневмосортувальному столі. Переваги потокового методу обробки вороху виражаються в різкому скороченні трудових ресурсів і строків обробки, виключенні небезпечних для якості зерна періодів очікування початку кожної чергової операції. Однак наявність у даній технологічній схемі великої кількості різних машин призводить до збільшення довжини технологічної лінії. Пов'язана із цим багаторазовість механічних впливів на зерно приводить до збільшення його травмування й зниження схожості [15]. Крім того, ті фракції домішок, які виділяються на завершальному етапі технологічного процесу, є баластовим матеріалом на початку очищення, що погіршують якість роботи органів, що сепарують, і знижують їх продуктивність.

Ефективність поділу таких сумішей зростає при використанні фракційної технології обробки зерна. Сутність її полягає у тому, що на першому етапі обробки всю зернову суміш розділяють на дві частини за якою-небудь ознакою [16] так, щоб в одній з них виявилася більша частина основного зерна при невеликій кількості домішок, а в другий – більша частина домішок і деяка кількість основного зерна. При цьому прагнуть, щоб характер домішок у кожній із двох виділених фракцій був різний, для того щоб для їх наступного поділу використовувати відповідно різні робочі органи.

Позитивний ефект застосування фракційної технології виражається в можливості скорочення довжини технологічного ланцюжка й зменшення числа робочих органів, що сприяє зниженню ушкодження насіння. При цьому знижуються матеріало- і енерговитрати.

Відділення на самій ранній стадії менш цінної фракції де як правило, присутні домішки з високою вологістю й дроблене зерно, від найціннішої дозволяє збільшити пропускну здатність усієї технологічної лінії, а також підвищити посівні

властивості зерна. Так, відбір для посіву насіння за товщиною дає збільшення врожаю на 1,8 – 2,2 ц/га, за щільністю – 2,5 – 3,0 ц/га, за аеродинамічними властивостями – 2,2 – 2,7 ц/га [6],

На сьогоднішній день залежно від засміченості й вологості, а також цільового призначення зерна пропонують різні схеми фракціонування зернового вороху, які найчастіше застосовують при обробці продовольчого зерна.

При обробці продовольчого зерна поділ його на фракції роблять на решітних сепараторах, а можливість повітряного його аспірування мінімальна [6]. Повітряний потік використовують для видалення легких і пилоподібних часток і щуплих недорозвинених зернівок основної культури. Фракціонування зернового вороху сполучають із його очищенням і роблять одним сепаратором. Технічний засіб і робочий органі вибирають виходячи з фізико-механічного стану вихідного матеріалу й вимог до фракцій.

У даній технології вже на першому етапі обробки весь зерновий ворох ділять як мінімум на дві частини таким чином, щоб в одній з них виявилася більша частина повноцінного зерна, а в другий фуражного. Характер домішок у виділюваних, фракціях повинен бути різний для того, щоб для їхнього наступного поділу можна було використовувати різні робочі органи, в результаті чого для обробки виділених фракцій вдається скоротити довжину технологічної лінії, число робочих органів [7].

Перевагою фракційної технології є найбільш повне виділення домішок та біологічно неповноцінного зерна при мінімальній кількості робочих органів. Тип робочих органів, і їх параметри підбирають на основі діагностики зернового вороху кожного з потоків при цьому навантаження на кожний робочий орган зменшується майже в 2 рази [7].

Численні дослідження вказують на те, що при фракціонуванні зернового вороху в якості основної ознаки слід використовувати ширину й товщину повноцінного й фуражного зерна і їх аеродинамічні властивості.

Аеродинамічні властивості оброблюваного вороху і його компонентів залежать від фізико-механічного стану на момент обробки. Істотний вплив на них виявляє вологість.

У роботі [20] вказано на те, що високоякісна пневмосепарація дозволяє підвищити ефективність очищення зерна продовольчого й насіннєвого призначення. Збільшення повноти виділення легкої фракції в 2 рази, а дрібних домішок – в 1,5 рази знижує затрати на первинне очищення відповідно на 17 – 18 % і 9 – 10 %.

Ефективність застосування високоякісної пневмосепарації відзначають вчені [22]. Ними встановлене, що при збільшенні швидкості повітряного потоку в першій аспірації до 6 м/с виділяється 97 – 98 % бур'янів і інших смітних домішок. При швидкості повітряного потоку в другій аспіраційній системі більше 8,5 м/с із зернового вороху повністю виділяється вівсюг. При швидкості повітряного потоку в головній аспірації 8,5 – 9,4 м/с виділяються біологічно неповноцінні зернівки низької щільності, які слід використовувати на фуражні цілі.

Вчені [1, 18] пропонують для виділення якісного зерна до подачі вихідного матеріалу на решітні стани двічі піддавати його впливу повітряного потоку: перший раз при поділі в горизонтальному аспіраційному каналі методом розсіювання на важку й легку фракції й у вертикальних – методом зважування в повітряному потоці.

Вивчення процесу обробки невіяного вороху показало, що висока якість очищення досягається при пневмосепараційній його сепарації.

Для поліпшення якості очищення насіннєвого зерна й підвищення продуктивності технологічних ліній на 30 – 40 % пропонується проводити технологію поділу зернового вороху на насіннєву й фуражну фракції до сушіння на пневмоінерційних сепараторах. При цьому орієнтування компонентів зернового вороху щодо повітряного потоку сприяє інтенсифікації поділу основного зерна й домішок.

Деякі насінницькі господарства переходять на обробку насіннєвого зерна з виділенням фуражної фракції до сушіння. Необхідна чистота насіння

забезпечується збільшенням виходу фуражної фракції, тобто встановлюють розділове решето з більшими розмірами отворів. У різних регіонах країни вихід просушеного й повністю очищеного насінного матеріалу коливається від 50 до 75 % [3].

Вчені [21, 22] і інші відзначають, що в зонах підвищеного зволоження з метою виключення перевантаження зерноочисної лінії зерном, що не відповідають ДСТУ, збільшення продуктивності технологічної лінії на 20 % і одержання кондиційного насіння доцільно післязбиральну обробку виконувати з попереднім фракціонуванням зернового вороху до сушіння на насінневу й фуражну фракції з обробкою фуражної фракції на агрегатах АВМ.

При післязбиральній обробці зернового вороху фракціонуванням уже на першому етапі його обробки можна одержати матеріал, що відповідає стандарту, а проміжний – підлягаючий подальшій обробці на відповідних машинах.

Відомі варіанти фракціонування з використанням високопродуктивних повітряно-решітних зерноочисних машин, здатних уже на першому етапі виділити до 80 % зерна базисних кондицій. Решта зерна, виділена в окремі фракції, обробляють на низькопродуктивних машинах [5]. Це дозволяє суттєво підвищити, продуктивність технологічної лінії знизити травмування зерна, підвищити його якість.

В роботі [8] запроповано дві технологічні схеми післязбиральної обробки зерна. Перша технологія полягає в тому, що вихідний матеріал обробляють у першому аспіраційному каналі, а потім на решітному верстаті розділяють на дві фракції великого й дрібного зерна. Фракцію крупного зерна очищають на решеті й у каналі другої аспірації, довгі фракції виділяються в вівсюжному трієрі. Виділення дрібних домішок із фракції дрібного зерна проводиться на решеті, а коротких – в куколевідбірному трієрі.

Друга технологічна схема передбачає очищення вихідного матеріалу в каналі першої аспірації, поділ на решітному верстаті на фракції великого, середнього й дрібного зерна за розміром. Фракцію середнього зерна (70 – 80 %) не обробляють, а велику фракцію обробляють трієром.

З метою підвищення якісного поділу зернової суміші [2, 26] пропонують обробляти вихідний матеріал у повітряному потоці до його вступу на трьохярусний решітний верстат.

Вибір решіт роблять таким чином, щоб з верхнього ярусу сходили великі домішки із припустимою за агротехнічними вимогами кількістю основного зерна, середнього – фракція крупного зерна з переважним вмістом довгих і припустимою кількістю дрібних і коротких домішок, нижнього – фракція дрібного зерна з короткими домішками й припустимою кількістю довгих. Фракцію крупного зерна додатково обробляють у повітряному потоці. Дана технологія вимагає збільшення коштів на додаткову обробку.

При обробці продовольчого зерна на ЗАВ-40, що не містить у своєму складі вівсюга, відцентрово-вібраційну машину налаштовують на поділ зернового вороху на дві фракції. Основну масу очищеного повітряно-решітною машиною матеріалу подають у бункер кінцевого продукту, а його частину, що залишилася, доочищують іншими машинами, встановленими в технологічній лінії. Очищену масу матеріалу кожної з, наступних машин подають у бункер кінцевого продукту, зменшуючи тим самим масу матеріалу, що підлягає подальшій обробці.

Застосування даної технології при роботі зерноочисного агрегату ЗАВ-40 по фракційним схемам дозволило збільшити його продуктивність, в 2,3 – 2,6 рази в порівнянні з контрольним. До недоліків даної технології можна віднести застосування в технологічній лінії відцентрового сепаратора, тому що використання його приведе до збільшення дроблення і травмування зерна, зниженню виходу кінцевого продукту.

Узагальнюючи відомі розробки по використанню застосовуваних технологій для післязбиральної обробки зерна, слід зазначити, що обробку зернового вороху необхідно здійснювати на машинах комбінованого типу, що включають решітне обладнання й повітряні системи, що дозволяє сполучати очищення й сортування за найбільш коротким шляхом, тим самим зменшуючи кількість механічних впливів на основну фракцію; розвантажити в цілому технологічну лінію, а також знизити витрати на післязбиральну обробку. У зв'язку з цим найбільш перспективною є

повітряно-решітна машина ОЗФ-80, що дозволяє фракціонувати зерновий ворох на різноякісні фракції (основну, фуражну й відходову) зі збільшеною в порівнянні з аналогами площею сортувальних решіт, що дозволяє одержувати однорідний зерновий матеріал, вирівняний як за розмірами, так і за аеродинамічними властивостями.

Однак, ефективне використання фракційної технології очищення зернового матеріалу неможливо без налагодженої роботи зерноочисного агрегату й технічних засобів (комбайнів і транспортних засобів), що забезпечують потоковий рух оброблюваного продукту.

Організація виробничого процесу за принципом потоку обумовлює необхідність строгого добору машин, які за своїми техніко-експлуатаційними параметрами змогли б забезпечити безперервність руху продукту при високій якості виконання й ритмічній роботі всіх ланок процесу.

Висновки за розділом

Встановлено, що організація виробничого процесу за принципом потоку обумовлює необхідність строгого добору машин, які за своїми техніко-експлуатаційними параметрами змогли б забезпечити безперервність руху продукту при високій якості виконання й ритмічній роботі всіх ланок процесу.

Метою роботи є зниження травмування зерна шляхом вишукування можливості потокової обробки зернового вороху різної вологості з його фракціонуванням.

Відповідно до поставленої мети в завдання досліджень входило:

- розробити методику вибору технічних засобів для реалізації потокової фракційної технології післязбиральної обробки зерна;
- виявити рівень травмування й посівні якості зерна, а також вологість компонентів зернового вороху різних розмірних фракцій;
- обґрунтувати шляхи зниження травмування зерна приймальним пристроями, очисними машинами й транспортуючими органами зерноочисних

агрегатів;

- виконати техніко-економічні розрахунки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес потокової обробки зернового ворху з його фракціонуванням.

Предметом досліджень є закономірності зміни рівня травмування зерна елементами технологічної лінії, а також впливу вихідної вологості зернового вороху на склад і вологість виділених фракцій при потоковій фракційній його обробці.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ

2.1 Біолого-технологічне обґрунтування вибору технології післязбиральної обробки зернового вороху

Встановлено, що у зерновому воросі який надходить з комбайна на післязбиральну обробку вологість зерна основної культури змінюється від 16 до 28 %, засмічувачів – від 16 до 52 %, а вологість вегетативних частин рослин нерідко досягає 50 – 80 % [4].

У перші дні зберігання свіжозібраного зернового вороху відбувається швидке вирівнювання вологості, тобто відбувається зволоження спілих зернівок і погіршення їх якості й збереження. Підвищення вологості вороху сприяє самозігріванню зерна через підвищення інтенсивності дихання, причому в бур'янистої домішки вона приблизно в 2,5 – 4, а відходів – в 4 – 9 раз вище, ніж у зерна основної культури. Інтенсивність дихання зерна є основним критерієм життєдіяльності зернового вороху. Поглинання зерном кисню й виділення діоксиду вуглецю викликає зміна газового складу повітря міжзернових просторів, що погіршує зберігання зерна [6].

Схожість зерна знижується вже на перших етапах самозігрівання [7]. При вологості вороху 25 – 28 % уже через три дні схожість насіння знизиться на 20 %. Зміна властивостей зерна при самозігріванні є результатом теплової денатурації білкових речовин, яка залежить від вологості, температури й тривалості нагрівання [7].

Процес самозігрівання свіжозібраного неочищеного зерна швидкоплинний, і температурний максимум може досягатися за 2 – 4 доби. Тому свіжозібраний зерновий ворох не повинен зберігатися на відкритому майданчику й у бункерах резерву, а відразу по мірі надходження направлятися на очищення.

Наявність у зерновій масі окремих вогнищ засмічення є джерелом інфекцій і приводить до швидкого зараження зерна цвілевими грибами [6].

Встановлено, що від 31,5 до 66,4 % усієї мікрофлори розміщується на засмічувачах. Чим більше засмічувачів у зерновій масі, тим, як правило, у ній більше й мікроорганізмів. Найбільш насичені ними дрібні засмічувачі ними ушкоджені зерна. У свіжозібраних партіях зерна та підвищеною вологістю, багато мікроорганізмів перебуває і на насіннях бур'янистих рослин. Чисельність мікроорганізмів зростає в партіях зерна сильно запиленого або того, що піддалося самозігріванню [5].

Якщо вологість зерна перебуває в межах 15 – 30 %, то на його поверхні переважають цвілеві гриби (які представляють найбільшу небезпеку), при більш високій вологості – бактерії [7].

Найбільша кількість вмісту грибів *Aspergillus* і *Penicillium* міститься у пробах битих зерен, проходах через решето з отворами шириною $1,7 \times 2,0$ мм і з отворами діаметром 1,0 мм [3]. Результати досліджень показують, що зберігання свіжозібраної зернової маси у вологому стані характеризується інтенсивним розвитком грибів у вищевідзначених фракціях компонентів.

Найменшому ушкодженню мікроорганізмами підлягає зерно великої фракції, а більше дрібної. Так, наприклад, через місяць зберігання у фракції 3,2 мм було уражено 34,6 % зерна, а 1,6 мм – 67,7 %, через 2 місяці – відповідно 40,3 і 73,9 % [7].

У зерновому вороху, що містить 5 – 10 % засмічувачів, в 2 – 3 рази інтенсивніше, ніж при засміченості 1 %, розвиваються цвілеві гриби, в 2 – 4 рази зростає інтенсивність дихання й на 6 – 12 % знижується енергія проростання насіння [3].

Після збирання значна частина зернівок має ушкодження, які позбавляють їх захисту від ураження мікроорганізмами, які швидше добираються до необхідних для їх життєдіяльності поживних речовин [3]. Проникаючи через травми в оболонках ендосперму або зародка, вони можуть зробити зерно повністю непридатним не тільки для насінних, але навіть для харчових і фуражних цілей [3].

Наявність травмованих зернівок у зерновому вороху негативно впливає на його зберігання: знижує його стійкість при зберіганні, підсилює інтенсивність дихання; розвиток мікроорганізмів, кліщів і інших шкідників зерна [29, 30].

При цьому погіршуються посівні якості насіння. Встановлено [14], що в зерні пшениці енергія проростання; схожість, сила початкового росту при вологості насіння 18 % через 30 діб знизилися відповідно на 40; 38 і 35 %. Поверхнева мікрофлора збільшилася в 126 разів.

З аналізу вищенаведених даних випливає, що свіжозібраний зерновий ворох дуже швидко зазнає псування під впливом активного розвитку цвілевих грибів, а також у результаті самоотруєння при анаеробному диханні, різкого підвищення температури при самозігріванні. Час зберігання такого вороху в завальній ямі не повинен перевищувати більше 2 год, тому що перевищення цього строку сприяє появі необоротних наслідків, що погіршують якість зерна.

Нажаль, в теперешній час зерновий ворох, що надходить від комбайнів через недостатню продуктивність машин для післязбиральної його обробки укладають на тік на тимчасове зберігання. Зберігання на току необробленого зернового вороху веде до погіршення якості зерна.

Щоб не допустити погіршення якості й забезпечити високу збереженість продукції, усі механізовані технологічні операції повинні забезпечувати потоковість процесу, при якому забезпечувалося б своєчасне видалення вологих засмічувачів, дефектного й біологічно неповноцінного зерна, що є джерелами розвитку шкідливих мікроорганізмів.

2.2 Теоретичне обґрунтування вибору технічних засобів для потокової фракційної технології обробки зернового вороху

Щоб знизити втрати врожаю, а також поліпшити посівні та зберегти поживні властивості зерна, особливу увагу слід приділяти технологічній взаємодії, усіх технічних засобів, що беруть участь у процесі його збирання і післязбиральній обробці.

По своїй взаємодії збиральну техніку, транспортні засоби й комплекс для післязбиральної обробки зерна слід віднести до потокового виробництва, що передбачає організацію технологічного процесу, при якому оброблюваний матеріал рухається безупинно або окремими порціями від однієї групи машин до іншої. При побудові виробничих процесів, що забезпечують безперервне переміщення оброблюваного матеріалу від вихідного стану, до одержання готової продукції, необхідно розрахувати потрібну кількість машин для виконання кожної операції. Згідно [27], розрахунок полягає в тому, щоб середня продуктивність групи машин, що виконують дану операцію, рівнялася середній продуктивності групи машин, що виконують наступну операцію, тобто стосовною до нашого випадку умовою безперервності потоку є рівність пропускної здатності зерноочисного агрегату, продуктивності комбайнів і транспортних засобів для їхнього обслуговування.

Щоб зберегти якість зерна при проектуванні механізованих процесів, за основу слід приймати продуктивність зерноочисних агрегатів. У виробничих підрозділах, як правило, прагнуть підвищувати в першу чергу продуктивність комбайнів, не враховуючи реальну продуктивність зерноочисної лінії. У цей час агрегати цієї лінії в середньому відробили по два й більш експлуатаційні строки і мають недостатню продуктивність. При їхній низькій пропускній здатності в пікові періоди надходження зернового вороху значну частину прибраного зерна зерноочисні агрегати не можуть прийняти й обробити в потоці, що приводить до скупчення його на майданчику тимчасового зберігання й псуванню через самозігрівання. По деяких дослідженнях [7] тільки у Дніпропетровській області близько 46 % фермерських господарств потребують більш продуктивної зерноочисної техніки, а значна її частина, вимагає реконструкції. Через це зерно змушені вивантажувати на відкриті майданчики, потім знову перевантажувати й транспортувати в завальну яму агрегату для переробки, що, у свою чергу, приводить до збільшення собівартості післязбиральних робіт і додатковому ушкодженню зерна. У результаті якість насінного й продовольчого зерна не задовольняє вимоги ДСТУ, а його втрати перевищують допустимий рівень. Через

це зерно реалізується по низькій ціні, що значно знижує ефективність його виробництва.

Тому найважливішою вимогою до зерноочисних агрегатів є достатня продуктивність, що забезпечує потокову обробку зернового вороху.

У зв'язку із цим доцільно приймати зерноочисні агрегати як основну ланку, відносно продуктивності якого формується склад збирально-транспортної ланки.

У загальному виді схема функціонування системи виглядає наступним, рисунок 2.1.

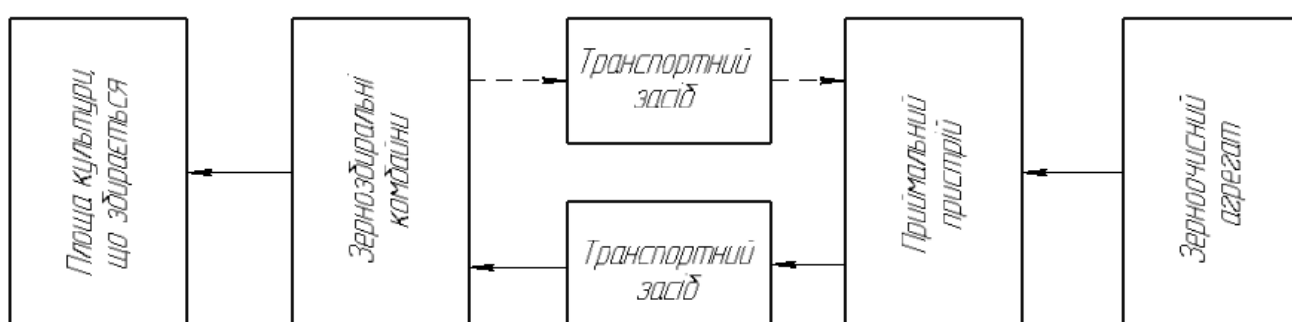


Рисунок 2.1 – Схема функціонування потокової лінії

Для того щоб, ритмічність завезення, зернового вороха не змінювалася, а взаємообумовлені простой транспортних засобів та зерноочисного агрегату зводилися до мінімуму, потрібно їхню роботу зробити більш незалежною одна від одної. Для цього використовується компенсаційна ємність (приймальне обладнання), розташована між транспортними машинами й очисним агрегатом.

Необхідність застосування бункерного обладнання виникає внаслідок використання в одній технологічній лінії, робочих органів періодичної й безперервної дії, нерівномірності, завантаження, вивантаження або протікання, технологічного процесу, різної продуктивності машин у лінії.

Одне з основних завдань на цьому етапі – визначення місткості приймального бункера. Збільшення обсягу приймального бункера пов'язане, з певними матеріальними витратами, у зв'язку із чим необхідно, щоб $V \rightarrow \min$.

Розглядаючи дану технологічну схему, виділимо три її складові частини й визначимо їх кількісний склад. Для розв'язку відповідного комплексу взаємозалежних завдань запропоновано наступний системний підхід.

На першому етапі визначається продуктивність зерноочисних агрегатів для обробки врожаю в заданий агротехнічний строк.

Другий етап передбачає визначення кількісного складу зернозбиральної техніки.

На третьому етапі визначається потрібна кількість транспортних засобів, залежно від установленної продуктивності зерноочисного агрегату й відстані перевезення.

Висновки за розділом

Для забезпечення високої якості продукції і її зберігання всі механізовані технологічні операції повинні забезпечувати потоковість процесу, при якому здійснювалося б своєчасне видалення вологих засмічувачів, дефектного й біологічно неповноцінного зерна, що є джерелами розвитку шкідливих мікроорганізмів.

Для забезпечення потоковості процесу доцільно приймати зерноочисні агрегати як основну ланку, відносно продуктивності якої формується склад збирально-транспортних засобів.

Для зниження травмування зерна й збереження його якості розроблена методика вибору технічних засобів для реалізації потокової фракційної технології обробки зернового вороху різної вологості, яка показує, що зі збільшенням урожайності культури, що збирається відповідно необхідно використовувати зерноочисний агрегат більшої продуктивності.

Для підвищення ефективності й продуктивності всього виробничого комплексу необхідно використовувати приймальне обладнання, що забезпечує мінімальне ушкодження зерна.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Відповідно до поставлених завдань і результатів теоретичного аналізу була прийнята наступна програма експериментальних досліджень:

1. Визначити вплив вихідної вологості зернового вороху на його склад і вологість по фракціях.
2. Виявити вплив складу технологічної лінії і вихідної вологості зернового вороху на якість очищення зерна.
3. Визначити вплив рівня травмування і маси 1000 зерен на лабораторну схожість насіння.
4. Виявити вплив вологості та засміченості зернового вороху на зміну вологості зерна основної і фуражної фракцій при обробці.

Експериментальні дослідження проводили в лабораторії кафедри харчових технологій ДДАЕУ та у виробничих умовах.

3.2 Об'єкт досліджень

Об'єктом досліджень був обраний технологічний процес потокової обробки зерна, що включає ряд операцій, виконуваних різними поточковими лініями з багаторазовими діями на зерно їх робочих і транспортуючих елементів.

3.3 Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводили на основі відомих методів планування експерименту дослідних даних, , а також з урахуванням вимог ДСТУ.

3.3.1 Методика визначення вологості зернового вороху

Для визначення вологості вихідного зернового вороху використовували вологомір Wile-65. При цьому зразки зерна озимої пшениці відбирали у відповідності з ДСТУ 4138-2002, після вивантаження його в завальну яму. Досліди проводили в трикратній повторності й потім знаходили середню вологість.

3.3.2 Методика визначення вологості розмірних фракцій

Після визначення вологості вихідного зернового вороху оброблюваний матеріал у виробничих умовах розділяли на фракції за допомогою плоских решіт з довгастими отворами шириною від 1,8 до 3,2 мм із інтервалом 0,2 мм.

Далі визначали вологість кожної виділеної розмірної фракції за допомогою вологоміра Wile-65 відповідно до ДСТУ 4138-2002. Експериментальні дослідження проводили при вологості зернового вороху пшениці сорту Коханка 14,1 і 15,5, 17,5 і 18, 9 % у п'ятьох повторностях.

3.3.3 Методика дослідження складу зернового вороху по фракціях

Дослідження проводили на вихідному вороху вологістю 14,1, 15,5, 17,5 і 18,9 %, після його розвантаження транспортним засобом у завальну яму. Зразки зерна відбирали в пакети відповідно до ДСТУ 4138-2002 у трикратній повторності приблизно по 1 кг кожний для його аналізу в лабораторії. Поділ зернового вороху робили на лабораторному розсіві У1-ЕРЛ-2-1 з набором решіт, розмір отворів яких змінювався в межах від 1,8 до 3,2 мм із інтервалом 0,2 мм. Виділені на решетах фракції зважували на електронних вагах JW-1 з точністю до 0,01 г і записували в таблицю. Процентний вміст окремої фракції в загальній наважці визначали за формулою:

$$u_i = \frac{m_i}{M_o} \cdot 100, \quad (3.1)$$

де u_i – вміст i -тої фракції в загальній наважці, %;

m_i – маса i -тої фракції, г;

M_o – маса загальної наважки, г.

Після цього з кожної отриманої розмірної фракції відбирали по 3 наважки масою 45 – 50 г і вручну визначали вміст чистого зерна, дробленого зерна, зерна в плівці й засмічувачів, а також масу 1000 зерен. Далі отримані компоненти зважували й результати записували в таблицю.

3.3.4 Методика визначення впливу рівня травмування і маси 1000 зерен на лабораторну схожість насіння

Аналіз зерна на мікротравмування проводили в такий спосіб. Після розбору наважок на чистоту відбирали без вибору три проби по 100 штук кожна. Кожні 100 зерен поміщали в посудину, заливали 0,5 % розчином харчового барвника і помішували протягом 3 – 5 хвилин. Температура барвника при цьому була рівна 45 °С. Потім барвник зливали і після ретельного промивання водою насіння розкладали на фільтрувальний папір для просушки. Після просихання насіння розбирали за видами травм, використовуючи для цього лупу 10-кратного збільшення і виділяли зерна з:

- вибитим зародком;
- ушкодженим зародком;
- ушкодженою оболонкою зародка;
- ушкодженою оболонкою зародка й ендосперму;
- ушкодженим ендоспермом;
- ушкодженою оболонкою ендосперму.

Оскільки кожний вид травм виявляє різний негативний вплив на лабораторну схожість насіння, розраховували єдиний узагальнений, показник травмування T_{np} (де всі види травм призводили до ушкодження зародка) за формулою:

$$T_{np} = G_2 + G_1 \frac{g_1}{g_2} + G_3 \frac{g_3}{g_2} + G_4 \frac{g_4}{g_2} + G_5 \frac{g_5}{g_2} + G_6 \frac{g_6}{g_2}, \quad (3.2)$$

де $G_1 - G_6$ – відсотковий вміст зерна з вибитим зародком, ушкодженим зародком, ушкодженою оболонкою зародка, ушкодженою оболонкою зародка й ендосперму, ушкодженим ендоспермом, ушкодженою оболонкою ендосперму;
 $e_1 - e_6$ – коефіцієнти, обумовлені за формулою:

$$e_1 = 0,01(B_7 - B_i), \quad (3.3)$$

де B_7 – схожість нетравмованих насінин;

B_i – схожість насінин, з окремими видами травм.

Лабораторну схожість і енергію проростання визначали в чотири повторення за ДСТУ 3657-97.

3.3.5 Методика визначення впливу вологості та засміченості зернового вороху на зміну вологості зерна основної або фуражної фракцій при обробці

На одному з фермерських господарств нашої області були проведені виробничі випробування машини ОЗФ- 80/40/20 у складі зерноочисного агрегату ЗАВ, однією із цілей яких було визначення впливу вихідної вологості й засміченості зернового вороху на зміну вологості зерна основної і фуражної фракцій. Для цього зразки зерна відбирали відповідно до ДСТУ 4138-2002 у наступних місцях:

1. Завальна яма.
2. Подача в норію НПК – 50.
3. Подача у повітряно-решітну машину.
4. Основна фракція.
5. Фуражна фракція.

У процесі дослідження в кожному з передбачених місць відбирали зразки зерна в заздалегідь приготовлені пакети, на яких наносили позначення з датою дослідження, місця відбору проби, вологості й номер повторності. У результаті досліджень були зафіксовані коливання вологості вихідного вороху в діапазоні від

13,8 до 23 %. Вологість зерна визначали за допомогою в вологоміра Wile-65 відповідно до ДСТУ 4138-2002.

З отриманих зразків виділяли три наважки по 50 г і розбирали вручну. У кожному з відібраних у процесі дослідження зразків визначали в відсотках вміст цілого зерна, дробленого зерна, зерна в плівці й засмічувачів. Отримані дані записували в таблицю.

3.3.6 Методика дослідження впливу складу технологічної лінії й вихідної вологості зернового вороху на якість очищення зерна

Для проведення досліджень були обрані технологічні лінії з різними варіантами обладнань для подачі зернового вороху у повітряно-решітні машини первинного очищення та різними їх конструкціями. Схеми технологічних ліній по варіантах наведено на рисунку 3.1.

Зразки зерна озимої пшениці відбирали в заздалегідь приготовлені пакети місткістю приблизно 1 кг відповідно до ДСТУ 4138-2002 після його вивантаження в завальну яму зерноочисного агрегату й на виході з обладнання і машин. На зразках наносили позначення з вологістю, датою, часом і місцем відбору, а також номер повторності. Вологість зерна визначали за допомогою вологоміра Wile-65 відповідно до ДСТУ 4138-2002:

У всіх трьох випадках зразки відбирали на ділянках потокової лінії:

- 1, 7, 13 – завальна яма;
- 2, 8, 14 – подача в норію;
- 3, 9, 15 – подача у повітряно-решітну машину;
- 4, 10, 16 – подача на решета (після першої аспірації);
- 5, 11, 17 – схід із сортувальних решіт (до другої аспірації);
- 6, 12, 18 – очищене зерно.

У лабораторних умовах від кожного зразка відбирали три наважки по 50 г кожна й розбирали на компоненти (ціле зерно, дроблене зерно, зерно в плівці й засмічувачі), після чого зважували на вагах JW-1 з точністю до 0,01 г. Результати

аналізу записували в таблицю й остаточний результат виводили як середнє арифметичне по кожного з компонентів.

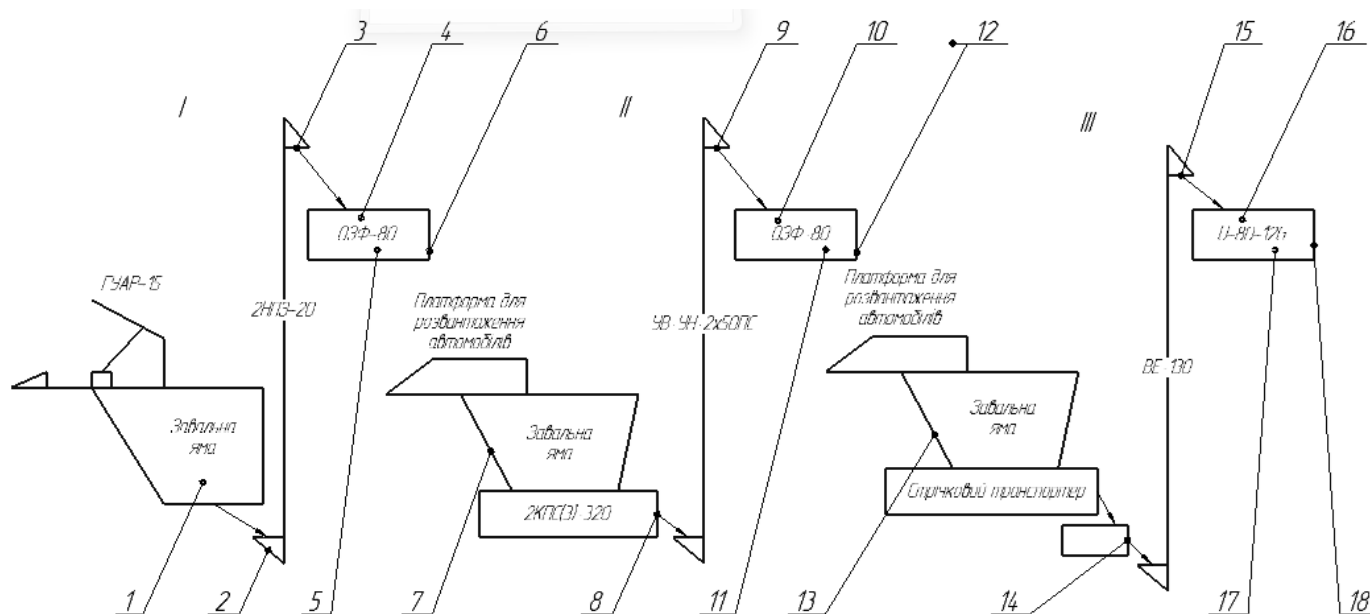


Рисунок 3.1 – Схема технологічної лінії для подачі зернового вороху

Висновки за розділом

В даному розділі дипломної роботи було приведено програму експериментальних досліджень, яка передбачає: визначення впливу вихідної вологості зернового вороху на його склад і вологість по фракціях; виявлення впливу складу технологічної лінії і вихідної вологості зернового вороху на якість очищення зерна; визначення впливу рівня травмування і маси 1000 зерен на лабораторну схожість насіння; виявлення впливу вологості та засміченості зернового вороху на зміну вологості зерна основної і фуражної фракцій при обробці. Згідно з програмою експериментальних досліджень було запропоновано методики проведення цих досліджень.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу вологості зернового вороху й ширини отворів решіт на склад і вологість виділених фракцій

4.1.1 Вплив вологості зернового вороху й розмірів отворів решета на розподіл компонентів по фракціях

Своєчасна післязбиральна обробка зернового вороху передбачає, що відразу ж після зважування його направляють на зерноочисні машини. Навіть короточасна затримка з очищенням свіжозібраного вороху знижує якість зерна через наявність у ньому компонентів, схильних до ураження мікроорганізмами. Ситуація посилюється ще й тим, що вологість такого вороху в збиральний період нерідко наближається до 35 %, що сприяє більш інтенсивному ураженню зернового вороху мікроорганізмами. Вологість зернової маси носить випадковий характер і залежить у першу чергу від погодних умов, способів і строків збирання [12, 13]. Особливо високу вологість мають вегетативні частини рослин, у яких вона може доходити до 50 – 80 %.

Тому вже при первинному очищенні із зернового вороху необхідно виділити дроблене зерно, у плівці й біологічно неповноцінне, а також засмічувачі, які більше піддаються ураженню мікроорганізмами, тобто розділити його на основну й фуражну фракції.

Для підтвердження доцільності поділу зернового вороху на фракції вже при первинному очищенні були проведені дослідження, у яких зерновий ворох озимої пшениці Коханка розділяли на решітному класифікаторі на ряд фракцій і визначали вміст різних компонентів у кожній з них. Дослідження проводили за методикою, викладеної в розділі 3.3.3. Такі дослідження проводили при різній вологості вихідного вороху.

Результати, досліджень представлено в таблицях 4.1, 4.2, і на рисунках 4.1; 4.2; 4.3; 4.4.

Таблиця 4.1 – Розподіл компонентів зернового вороху за розмірами

Вологість вихідного зернового вороху, %	Ширина отворів решіт, мм	Розподіл компонентів зернового вороху на решетах, %	Склад компонентів, %			
			Ціле зерно	Дроблене зерно	Зерно в плівці	Засмічувачі
14,4	2,0	2,4	88,84	8,76	0	2,4
	2,2	3,1	95,92	2,6	0,2	1,28
	2,4	9,1	97,55	1,4	0,7	0,35
	2,6	30,3	97,6	1,2	0,85	0,35
	2,8	25,2	98,03	0,9	0,95	0,12
	3,0	26,2	95,5	0,8	2,85	0,85
	3,2	3,7	87,74	0,86	8,2	3,2
15,5	2,0	2,4	89,22	8,98	0	1,8
	2,2	3,0	96,37	2,52	,035	0,76
	2,4	7,7	97,6	1,25	0,6	0,55
	2,6	35,8	97,7	1,15	0,6	0,55
	2,8	24,6	98,1	0,9	0,9	0,1
	3,0	22,9	95,4	0,7	3,1	0,8
	3,2	3,6	88,04	0,75	8,61	2,65
17,5	2,0	3,0	89,27	7,75	0,12	2,86
	2,2	3,2	95,99	2,46	0,3	1,25
	2,4	8,0	97,35	1,35	0,6	0,7
	2,6	37,8	97,8	0,95	0,65	0,6
	2,8	25,3	97,95	0,9	0,95	0,2
	3,0	19,1	95,45	0,68	,2	0,65
	3,2	3,6	88,08	0,7	10,02	1,3
18,9	2,0	2,7	89,45	6,15	0,1	4,3
	2,2	4,2	94,69	2,32	0,35	2,64
	2,4	13,1	7,2	1,4	0,55	0,85
	2,6	40,5	97,85	1,2	0,7	0,25
	2,8	22,5	98,08	0,9	0,9	0,12
	3,0	15,0	96,44	0,5	2,76	0,3
	3,2	2,0	87,98	0,6	10,14	1,28

Аналіз наведених даних, показує, що основна частина вороху (близько 90 %) виділяється на решетах з розміром отворів 2,4 – 3,0 мм, частка, що залишилась, припадає на решета з розмірами отворів 2,0 – 2,2 і 3,2 мм. На решетах з розміром отворів 2,4 – 3,0 мм виділилося цілого зерна від 97,2 до 98,1 %. Крупні засмічувачі та зерно в плівці виділяються сходом в основному на решеті з розміром отворів 3,2 мм, а дрібні засмічувачі і дроблене зерно – проходять на решетах з розмірами отворів менше 2,4 мм.

Обробка результатів досліджень без урахування незначних факторів показала, що спільний вплив вологості вихідного вороху $W_{\text{в}}$ розміру отворів решета b на розподіл цілого зерна з достатньою точністю апроксимується квадратичною залежністю:

$$C_z = 84,357 + 139,0463 \cdot b + 0,394 \cdot W_{\text{в}} - 27,253 \cdot b^2 + 0,127 \cdot b \cdot W_{\text{в}} - 0,0218 \cdot W_{\text{в}}^2; R = 0,97 \quad (4.1)$$

На рисунку 4.1 представлена графічна залежність впливу розмірів отворів решета і вихідної вологості зернового вороху на вміст цілого зерна.

Аналіз результатів показує, що зі збільшенням ширини отворів решіт від 2,0 до 2,8 мм виділення цілого зерна підвищується з 88,84 до 98,03 % при вологості вихідного вороху 14,1 % і з 89,45 до 98,08 % при вологості вихідного вороху 18,9 %. Зі збільшенням ширини отворів решіт від 2,8 до 3,2 мм виділення цілого зерна, навпаки, знижується з 98,03 до 87,74 % при вологості вороху 14,1 % і з 98,08 до 87,98 % при вологості 18,9 %. Як видно з дослідів, основний вплив на чистоту цілого зерна виявляє розмір отворів решіт, а менший – вологість вихідного вороху.

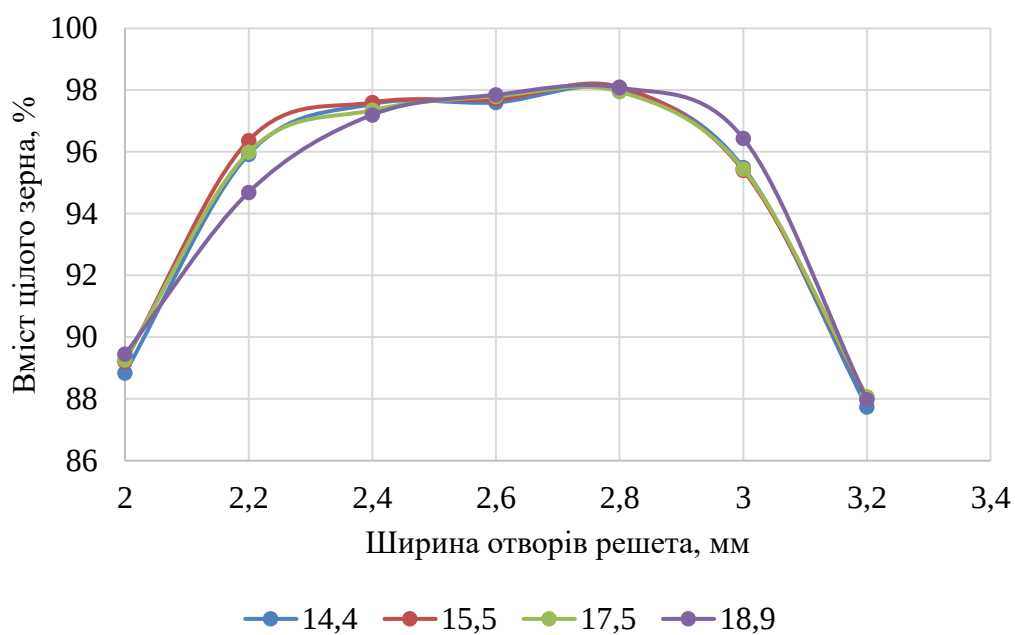


Рисунок 4.1 – Вплив розміру отворів решета і вологості зернового вороху на вміст цілого зерна

Від розмірів зернівок залежать їхні посівні якості, енергія проростання та лабораторна схожість насіння. Вплив розмірів зернівок на енергію проростання та лабораторну схожість насіння показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зміна енергії проростання й лабораторної схожості

Розмір фракцій	$W_g = 14,1 \%$		$W_g = 18,9 \%$	
	Енергія проростання	Лабораторна схожість	Енергія проростання	Лабораторна схожість
2,0	75,5	91,7	75,2	84,2
2,2	70,5	92,2	75,2	90,5
2,4	63,5	95,7	70,7	91,0
2,6	50,7	95,7	59,0	92,1
2,8	48,7	96,0	36,2	94,2
3,0	33,0	97,2	23,5	93,0
3,2	12,2	98,0	6,7	93,2

Дані таблиці 4.2 показують, що посівні якості насіння залежать як від вологості зерна, так і від розміру фракції. Зі збільшенням розміру зерна спостерігається підвищення його лабораторної схожості з 91,7 до 98,0 % і з 84,2 до 93,2 % при вологості зерна відповідно 14,1 і 18,9 %. Енергія проростання; навпаки, зі збільшенням розміру зерна знижується з 75,5 до 12,2 % і з 75,2 до 16,7 % при вологості вихідного вороху відповідно 14,1 і 18,9 %.

Вимоги до посівних якостей насіння зернових культур визначені Державним стандартом, у відповідність з яким схожість насіння повинна, бути не менше 92 %. Так, при вологості зернового вороху 14,1 % кондиційним є насіння фракцій 2,2 – 3,2 мм із лабораторною схожістю від 92,2 до 98,0 % відповідно. При вологості вихідного вороху 18,9 % найбільш цінне насіння виділяється тільки на решетах з розміром отворів 2,6 – 3,2 мм, де лабораторна схожість склала відповідно 92,1 – 93,2 %. Низька лабораторна схожість дрібних фракцій пояснюється високим рівнем їх травмування (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Вплив розміру зерна на його травмування

Розмір отворів решіт, мм	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
Приведене травмування зерна, %	33,38	31,79	31,60	30,08	27,60	28,89	29,18

Аналіз наведених даних (таблиця 4.3) показує, що зі збільшенням розмірів отворів решета наведене травмування зерна спочатку знижується, а потім зростає. Найбільша кількість травмованих зернівок відзначена в дрібних фракціях. Такі зернівки будуть сприяти появі й розмноженню шкідливих мікроорганізмів і, як наслідок, погано зберігаються. Тому їх необхідно виділяти з основної фракції на ранній стадії післязбиральної обробки.

Обробка результатів досліджень (таблиця 4.1) з відкиданням незначних факторів показала, що спільний вплив вологості вихідного вороху W_e й розміру отворів решета b на розподіл дробленого зерна з достатньою точністю апроксимується рівнянням виду

$$D_o = 84,161 - 58,433 \cdot b - 0,0835 \cdot W_g + 9,505 \cdot b^2 + 0,268 \cdot b \cdot W_g; R = 0,92 \quad (4.2)$$

На рисунку 4.2 представлена графічна залежність впливу розмірів отворів решета й вихідної вологості зернового вороху на вміст дробленого зерна.

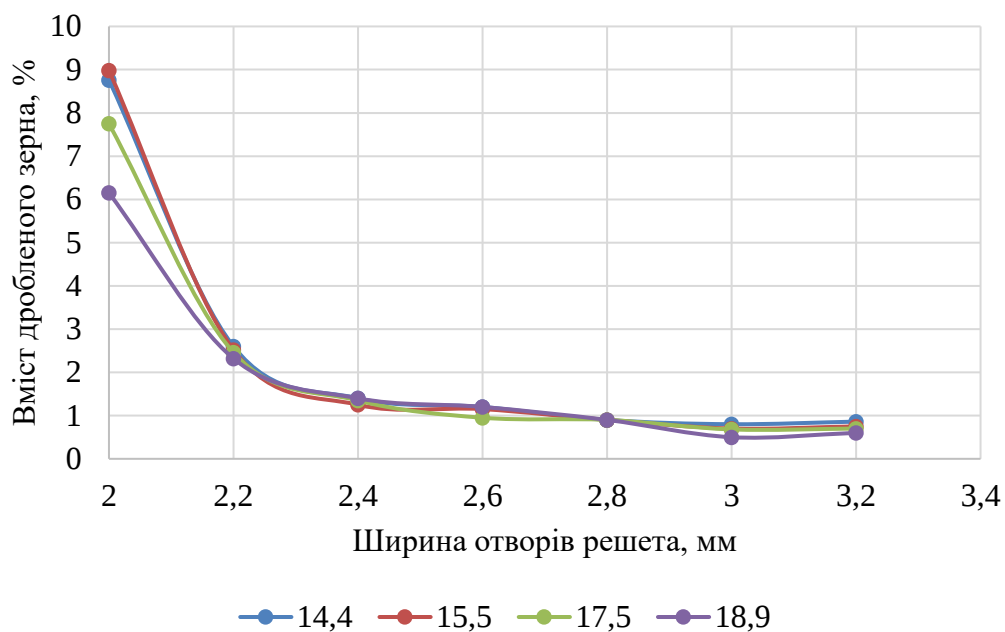


Рисунок 4.2 – Вплив розмірів отворів решета й вихідної вологості зернового вороху на вміст дробленого зерна

Аналіз результатів досліджень вихідного матеріалу з поділом його на решетах з довгастими отворами показав, що зі збільшенням розміру зернівок і вологості вміст дробленого зерна спочатку знижується, досягаючи мінімуму – фракція 2,8 – 3,0 мм, а потім незначно підвищується (рисунок 4.2). Зі збільшенням ширини отворів решіт з 2,0 до 3,0 мм кількість виділеного дробленого зерна знизилася з 8,76 до 0,8 % і з 6,15 до 0,5 при вологості вихідного вороху відповідно 14,1 і 18,9 %. Зі збільшенням вологості зернового вороху з 14,1 до 18,9 % на решеті із шириною отворів 2,0 мм кількість дробленого зерна знизилася з 8,76 до 6,15 % та з 0,8 до 0,5 % при ширині отворів решета 3,0 мм.

Така закономірність пояснюється тим, що при низькій вологості зерно більш тендітне й воно піддається утворенню тріщин при зіткненні з робочими елементами обладнання. Причому, чим сухіше зерно, тим більше глибина проникнення тріщин.

При цьому більше дробиться зерно. Наявність у зерновому матеріалі ушкодженого зерна приводить до розвитку мікроорганізмів, які навіть при нетривалому зберіганні погіршують його посівні й продовольчі якості. Очевидно, на етапі вже первинного очищення необхідно виділити із зернового вороху дрібні фракції, де спостерігається основна маса дробленого зерна.

Також одним з основних показників, що характеризують якість одержуваної основної фракції, є наявність у зерновому вороху зерна в плівці. У результаті обробки результатів досліджень із відсіванням незначних факторів встановлено, що спільний вплив вологості вихідного вороху й розмірів отворів решіт на розподіл зерна в плівці з достатньою точністю апроксимується рівнянням:

$$U_n = 68,772 - 58147 \cdot b - 0,135 \cdot W_e + 11,629 \cdot b^2 + 0,218 \cdot b \cdot W_e - 0,0113 \cdot W_e^2; R=0,94 \quad (4.3)$$

Результати досліджень впливу розмірів отворів решіт b и вихідної вологості зернового вороху W_e на розподіл зерна в плівці наведено на рисунку 4.3.

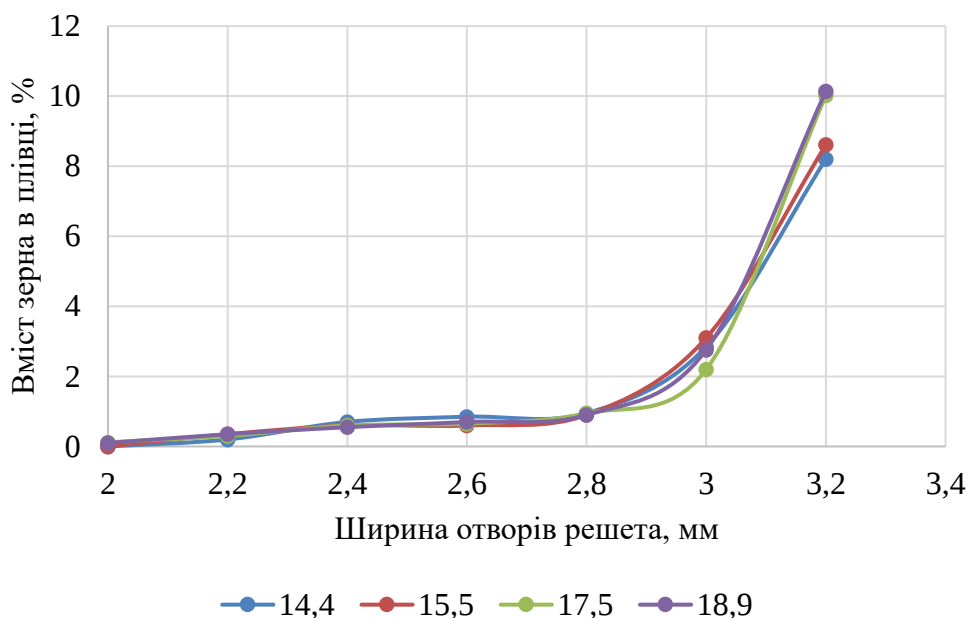


Рисунок 4.3 – Вплив розмірів отворів решета й вихідної вологості зернового вороху на вміст зерна в плівці

Розподіл зерна в плівці більшою мірою залежить від зміни ширини отворів решета. При зміні ширини отворів решіт з 2,0 до 3,2 мм кількість виділеного зерна в плівці збільшується від 0 до 7,4 % при вологості вихідного вороху 14,1 % і з 0,1 до 10,14 % при вологості вихідного вороху 18,9 %. Як видно, з підвищенням вологості вихідного вороху спостерігається тенденція до збільшення виділення зерна в плівці, особливо на решеті 3,2 мм з 7,4 до 10,14 %.

У ході обробки результатів досліджень із відкиданням незначних факторів встановлено, що спільний вплив вологості вихідного вороху й розмірів отворів решіт на розподіл засмічувачів з достатньою точністю апроксимується рівнянням виду

$$Z = 31,278 - 22,761 \cdot b + 0,114 \cdot W_g + 6,174 \cdot b^2 - 0,613 \cdot b \cdot W_g + 0,0528 \cdot W_g^2; R = 0,95 \quad (4.4)$$

Залежність розподілу засмічувачів на решетах від їх розмірів і вихідної вологості зернового вороху представлено на рисунку 4.4.

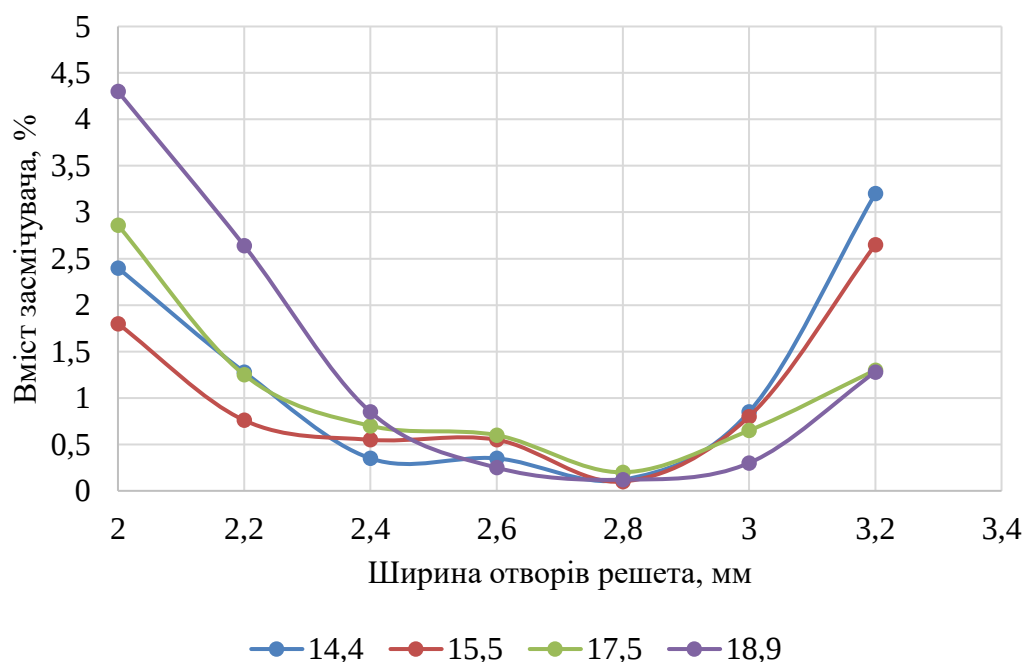


Рисунок 4.4 – Вплив розмірів отворів решета й вологості зернового вороху на вміст засмічувачів

З наведеної графічної залежності (рисунок 4.4) видно, що зі збільшенням розміру отворів кількість виділених засмічувачів на решетах спочатку знижується, а потім збільшується, причому з підвищенням вологості вороху кількість засмічувачів у дрібних фракціях збільшується, а у великі знижується. Так, з підвищенням вологості зернового вороху з 14,1 до 18,9 % при ширині отворів решета 2,0 мм кількість виділених засмічувачів підвищується з 2,0 до 4,1 % і знижується з 3,1 до 1,28 % при ширині отворів решета 3,2 мм. Найменша кількість засмічувачів спостерігається на решеті з розміром отворів 2,8 мм. При цьому їх вміст змінюється в межах від 0,1 до 0,2 %.

Наявність у зерновій масі окремих вогнищ засмічення є джерелом інфекції й приводить до швидкого зараження зерна цвілевими грибами. Зерно, засмічене частинами зелені, насіннями бур'янів або недоспілими зернами, псується набагато швидше, чим очищене й дозріле.

Узагальнюючи, дані по фракційному складу зернового вороху, що надходить на обробку, знаходимо, що при виділенні у фуражну фракцію компонентів вороху розміром $>3,2$ мм і $<2,4$ мм суттєво зменшується вміст зерна в плівці, дробленого зерна й засмічувачів в основній фракції, що дасть можливість зберігати його без додаткових обробок.

4.1.2 Вплив вологості зернового вороху і розмірів отворів решіт на вологість виділених фракцій

Дослідження впливу вологості вихідного вороху та розмірів отворів решета на вологість виділених фракцій проводили згідно з методикою, яка викладена в розділі 3.3.2.

Результати досліджень представлено в таблиці 4.4 і на рисунку 4.5.

Таблиця 4.4 – Вплив вологості вихідного вороху та розміру отворів решета на вологість виділених фракцій

№	Вологість вихідного вороху, W_e , %	Ширина отворів решета b , мм	Вологість виділеної фракції W , %	$\Delta W = W - W_e$
1	14,1	2,0	14,9	0,8
2		2,2	14,4	0,3
3		2,4	14,1	0
4		2,6	14,1	0
5		2,8	14,0	-0,1
6		3,0	14,0	-0,1
7		3,2	14,7	0,6
8	5,5	2,0	16,4	0,9
9		2,2	16,4	0,9
10		2,4	16,0	0,5
11		2,6	15,4	-0,1
12		2,8	15,6	0,1
13		3,0	15,4	-0,1
14		3,2	15,2	-0,3
15	17,5	2,0	18,2	0,7
16		2,2	18,2	0,7
17		2,4	18,2	0,7
18		2,6	17,4	-0,1
19		2,8	17,3	-0,2
20		3,0	17,7	0,2
21		3,2	17,3	-0,2
22	18,9	2,0	20,0	1,1
23		2,2	20,0	1,1
24		2,4	19,9	1,0
25		2,6	19,6	0,7
26		2,8	19,7	0,8
27		3,0	18,4	-0,5
28		3,2	18,6	-0,3

З таблиці 4.4 видно, що найбільшу вологість мають дрібні фракції. Це пояснюється більшим вмістом у них засмічувачів і біологічно неповноцінного зерна.

Обробка результатів досліджень показала, що спільний вплив вологості вихідного вороху та розміру зернівок на вологість виділених фракцій апроксимується рівнянням:

$$\Delta W = 3,9770,354 \cdot b - 0,327 \cdot W_{\text{в}} + 0,453 \cdot b^2 - 0,175 \cdot b \cdot W_{\text{в}} + 0,0255 \cdot W_{\text{в}}^2; R = 0,82 \quad (4.5)$$

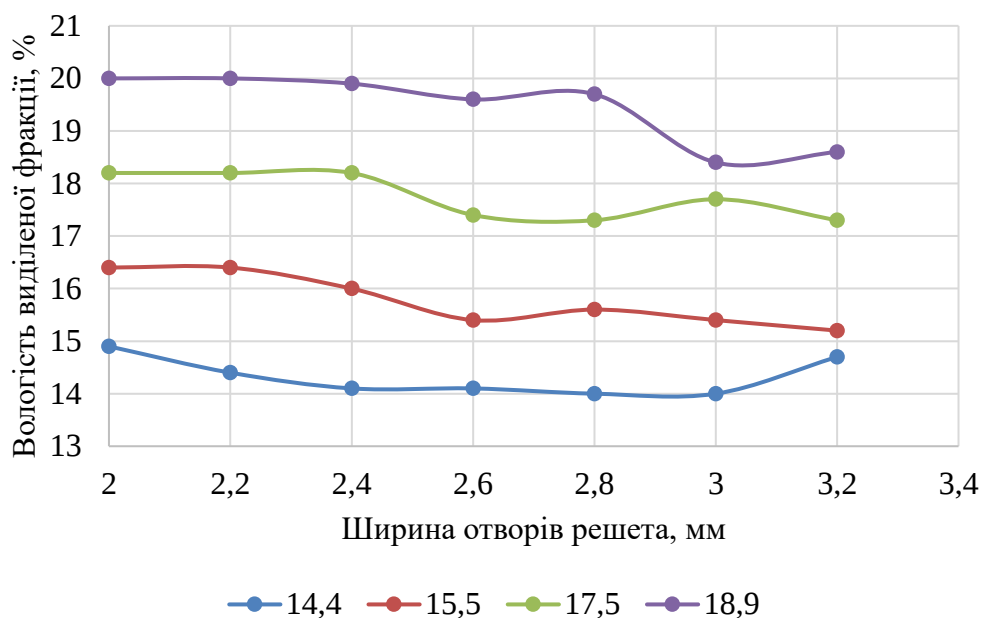


Рисунок 4.5 – Вплив вологості зернового вороху і розміру отворів решета на зміну вологості фракції

Дослідження показали (рисунок 4.5), що вологість виділених на решетах фракцій зі збільшенням розміру отворів решіт знижується, причому чим вище вологість вихідного вороху, тим нижче вологість крупної фракції, а в дрібній фракції, навпаки, вище.

Висока вологість дрібних фракцій пояснюється більшим вмістом засмічувачів. Наявність у вороху компонентів з підвищеним вмістом вологи може привести до псування зерна через його самозігрівання.

Тому виділення на ранній стадії обробки зернового вороху дрібних і великих компонентів дозволить суттєво знизити вологість основної фракції й збільшити час безпечного зберігання.

4.2 Удосконалювання процесу обробки зернового вороху під час первинної очистки

4.2.1 Вплив приймального обладнання зерноочисних агрегатів на якість зерна та їх продуктивність

Дослідження проводили у виробничих умовах на трьох варіантах діючих технологічних ліній для післязбиральної обробки зерна (рисунок 3.1). Кожна технологічна лінія для первинного очищення зерна включає приймальне обладнання: під'ємну норію та універсальну повітряно-решітну машину із двома аспіраційними системами для дорешітного і післярешітного очищення зернового вороху за аеродинамічними властивостями.

Склад технологічних ліній по варіантах наведений нижче:

I – завальна яма; норія 2НПЗ-20; зернопровід; повітряно-решітна машина ОЗФ-80/40/20;

II – приймальне обладнання з донним скребковим конвеєром 2КПС(3)-320; норія УВ-УН-2×50ПС; зернопровід; повітряно-решітна; машина ОЗФ- 80/40/20;

III - приймальне обладнання із двома стрічковими транспортерами; норія ВЕ-130; зернопровід; повітряно-решітна машина Petkus U80-12 G.

Приймальне обладнання першого варіанту забезпечує послідовне розвантаження тільки по одній машині із заїздом на автомобілепідйомник, її підйом, розвантаження, опускання й з'їзд розвантаженого автомобіля. Виконання перерахованих операцій при прийманні й розвантаженні автомобіля вимагає витрат певного часу й стримує пропускну здатність приймального обладнання.

У другому варіанті приймальне обладнання забезпечує потокове розвантаження з можливістю заїзду на естакаду великовантажних машин із причепом або одночасно декількох автомобілів без причепів, а також можливість бічного заїзду їх на розвантаження.

У третьому варіанті приймальне обладнання забезпечує потокове розвантаження будь-яких автомобілів.

У процесі досліджень роботи приймального обладнання відбирали зразки для аналізу якості зерна з вихідного вороху й при подачі в норію. При розбиранні зразків визначали вміст зерна цілого, дробленого, травмованого й у плівці, а також засмічувачів. Результати досліджень представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. – Вплив приймальних пристроїв на якість зерна

Показники	Варіант технологічної лінії					
	I		II		III	
	Вихідний ворох	Подача в норію	Вихідний ворох	Подача в норію	Вихідний ворох	Подача в норію
Вміст зерна в вороху, % в т.ч. цілого	90,3	90,2	95,82	95,42	98,01	97,76
мікротравмованого	36,18	36,18	34,98	35,76	25,78	26,08
дробленого	0,85	0,95	2,78	3,2	1,2	1,45
в плівці	0,55	0,55	0,73	0,71	0,63	0,63
засмічувачів	8,3	8,3	0,67	0,67	0,16	0,16
Лабортарна схожість, %	86,0	86,0	86,7	85,0	92,0	91,6

Отримані дані (таблиця 4.5) свідчать про те, що після проходу зернового вороху через приймальне обладнання в першому варіанті вміст цілого зерна знизився на 0,1 % з 90,3 до 90,2 %, дробленого збільшився на 0,1 % з 0,85 до 0,95 %, а лабораторна схожість насіння залишилася на колишньому рівні – 86,0 %. Вміст зерна в плівці та засмічувачів залишився незмінним. У другому варіанті вміст цілого зерна зменшився на 0,4 % з 95,82 до 95,42 % і зерна в плівці на 0,02 % з 0,73 до 0,71 %, а вміст дробленого зерна збільшився на 0,42 % з 2,78 до 3,2 %. При цьому лабораторна схожість насіння знизилася на 1,7 % з 86,7 до 85,0 %. Вміст засмічувачів залишився незмінним. У третьому варіанті вміст цілого зерна зменшився на 0,25 %, дробленого зерна збільшився на 0,25 %, лабораторна схожість насіння знизилася на 0,4 % з 92,0 до 91,6 %. Зерно у плівці й засмічувачі

при проходженні зернового вороху через приймальне обладнання залишилися на вихідному рівні.

4.2.2 Знаходження шляхів зниження травмування зерна норіями

Ушкодження зерна в процесі післязбиральної обробки, за даними ряду авторів [3], досягає значних величин, причому основне травмування відбувається в транспортуючому обладнанні, яке може доходити до 80,5 %. У сучасних очисних агрегатах для транспортування зернової маси до очисних машин використовують норії продуктивністю від 10 до 100 т/год. Залежно від продуктивності потокової лінії і її конструктивних особливостей у лінії може бути від 1 до 15 норій, у той час як інших машин (сортувальних і очисних) значно менше. Не випадково багато авторів [4] відзначають, що основний приріст механічних ушкоджень відбувається за рахунок норій. У цьому зв'язку для знаходження можливості зниження негативних наслідків на якість зерна після його проходу через норії досліджуваних поточкових ліній (рисунок 3.1) були отримані наступні дані, які представлено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати досліджень показників якості роботи норій

Показники	Варіант технологічної лінії					
	I		II		III	
	до норії	після норії	до норії	після норії	до норії	після норії
Склад зерна у вороху, %:						
цілого	90,2	89,93	95,42	95,14	97,76	97,62
травмованого	36,18	38,44	35,76	37,43	26,08	26,22
дробленого	0,95	1,22	3,2	3,48	1,45	1,59
зерно в плівці	0,55	0,55	0,71	0,69	0,63	0,63
засмічувачі	8,3	8,3	0,67	0,67	0,16	0,16
Лабораторна схожість, %	86,0	84,5	85,0	84,5	91,6	90,5

Аналіз даних, представлених у таблиці 4.7 показав, що в першому варіанті вміст дробленого зерна збільшився на 0,27 % з 0,95 до 1,22 %, травмованого – на 2,26 % з 36,18 до 38,44 %, а лабораторна схожість, насіння знизилася на 1,5 % з 86,0 до 84,5 %. У другому варіанті вміст дробленого зерна збільшився на 0,28 % з 3,2 до 3,48 % і травмованого – на 1,67 %, з 35,76 до 37,43 %, а лабораторна схожість насіння зменшилась на 0,5 % з 85,0 до 84,5 %. В третьому варіанті вміст дробленого зерна збільшився на 0,14 % з 1,45 до 1,59 % і мікротравмованого – на 0,14 % з 26,08 до 26,22 %, а лабораторна схожість насіння знизилася на 1,1 % з 91,6 до 90,5 %.

З результатів досліджень слід відзначити, що на частку норій доводиться значна частина мікроушкоджень зерна, особливо в першому й у другому варіантах. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню дроблення зерна.

Знизити ушкодження зернового матеріалу можна за рахунок правильного вибору, режимних і конструктивних параметрів норій. При виборі норій виходять з того, щоб їх продуктивність Π_n на тій або іншій ділянці технологічної лінії забезпечувала завантаження зерноочисних машин. Продуктивність норій залежить від швидкості руху стрічки V , об'єму ковшів U_κ , кроку їх розміщення b , щільності матеріалу γ і коефіцієнта заповнення ковшів ψ .

$$\Pi_n = 3,6 \frac{U_\kappa}{b} \psi \gamma V, \quad (4.7)$$

Параметри вітчизняних відцентрових норій змінюються в межах: V – від 1,53 до 2,97 м/с, U_κ – від 0,00081 до 0,003 м³, b – від 0,16 до 0,19 м та ψ – від 0,33 до 0,87. Ці параметри, а також вміст травмованого зерна у вихідному воросі $T_{пр.вих}$ впливають на травмування й дроблення зерна норіями.

Дослідження проводили у виробничих умовах при обробці зернового вороху озимої пшениці з різним вмістом травмованого зерна у вихідному вороху. У складі досліджуваних зерно- і насіннеочисних агрегатів були встановлені норії вітчизняних фірм НСЗ-10, НПЗ-20, НПЗ-50, НПЗ-100, НПК-50 та закордонних

(Petkus) – BE-130 і BE-180. При визначенні травмованого зерна всі види травм приводили до травмування зародка.

Конструктивні й режимні параметри норій впливають також і на дроблення зерна. Середні значення показників травмування й дроблення зерна норіями наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Зміна травмування й дроблення зерна в залежності від конструктивних та режимних параметрів норій

Норія	НСЗ-10	НПЗ-20	НПЗ-55 (НПК-50)	НПЗ-100
Потужність, т/год	10	20	50	100
Швидкість переміщення стрічки, м/с	1,53	2,53	2,53	2,97
Об'єм ковша, л	0,81	1,5	2,44 (2,2)	3,0
Коефіцієнт заповнення ковшів	0,53	0,33	0,45 (0,5)	0,87
Травмування зерна, %	12,73	4,4	2,37	2,34
Дроблення зерна, %	0,3	0,18	0,31	0,68

Проведені дослідження показали, що при комплектуванні насіннеочисних ліній з метою зниження травмування насіння за рахунок зменшення «зворотного висипу» не слід застосовувати відцентрові норії з малим об'ємом ковшів, а коефіцієнт заповнення ковшів не повинен перевищувати 0,5. «Зворотний висип» можна зменшити й за рахунок збільшення швидкості руху стрічки. При її збільшенні до 3 м/с травмування зерна норіями зменшується на 0,47 – 1,25 %. Для зменшення травмування зерна під час післязбиральної обробки слід зменшувати кількість норій у технологічній лінії.

4.2.3 Вплив повітряно-решітних зерноочисних машин ОЗФ-80/40/20 та U-80 на зміну складу зернового вороху під час первинної очистки

В першому варіанті машина ОЗФ-80 була налаштована на роботу в режимі первинної очистки, тобто в верхньому ярусі кожного решітного агрегату були установлені послідовно два сортувальних решета із шириною отворів 2,4 мм і

колосове з розмірами отворів 3,4 мм, а в нижньому ярусі – два підсівні решета, з розмірами отворів 1,8 мм та сортувальні з розмірами отворів 2,4 мм, з наявністю розвантажувального каналу між підсівними і сортувальними решетами для виведення сходів з підсівних решіт у фуражну фракцію. Прохід через колосове решето поступає на сортувальне решето нижнього ярусу, де додатково виділяються біологічно неповноцінні зернівки й засмічувачі.

У другому варіанті машина ОЗФ-80 була налаштована на роботу також у режимі первинної очистки, однак у нижньому ярусі решітних агрегатів встановлювали послідовно один за одним підсівні решета із шириною отворів 1,8 мм.

У третьому варіанті машина Petkus U-80 також працювала в режимі первинної очистки.

У процесі досліджень визначали зміни складу зернового вороху в кожному з варіантів.

У першому варіанті вміст дробленого зерна після обробки на повітряно-решітній машині (ділянка 1-3, рисунок 4.8) зменшився в 1,93 рази, у другому в 1,51 і в третьому – в 1,75 рази. Повнота виділення дробленого зерна по варіантах склала відповідно 48,3, 32,2 і 38,9 %

Вміст необмолочених зернівок зменшився в першому варіанті в 1,34 рази, у другому – в 1,28 і в третьому – в 1,37 рази. Повнота виділення необмолочених зернівок по варіантах склала відповідно 25,5, 21,7 і 26,9 %.

Вміст засмічувачів після обробки на повітряно-решітній машині зменшився в першому варіанті в 4,53, у другому – в 2,68 і в третьому – в 2,0 рази. Повнота виділення засмічувачів по варіантах склала відповідно 78,4, 62,7 і 50,0 %.

При обробці зернового вороху на розглянутих технологічних лініях зростає й маса 1000 зерен.

Це обумовлено тим, що у повітряно-решітній машині із зернового вороху виділяються легкі, дрібні й біологічно неповноцінні зернівки. У результаті в першому варіанті маса 1000 зерен підвищилася з 42,8 до 44,5 г, у другому з 39,96 до 40,51 і в третьому з 41,74 до 44,07 г.

Найбільше підвищення маси 1000 зерен (на 2,33 г) забезпечила машина U-80 (третій варіант), тоді як у першому й в другому варіантах, де в складі технологічної лінії була встановлена машина ОЗФ-80 масу 1000 зерен удалося підвищити відповідно на 1,7 і 0,55 г.

У процесі досліджень вивчали також посівні якості зерна, при цьому визначали вміст травмованого T_{np} і лабораторну схожість зерна B_l у вихідному вороху, при подачі в повітряно-решітну машину й після неї в основній фракції. Отримані результати наведені в таблиці 4.9:

Таблиця 4.9 – Зміна якості насіння при обробці на лінії первинної очистки

Місце відбору зразків	Варіант технологічної лінії					
	I		II		III	
	T_{np}	B_l	T_{np}	B_l	T_{np}	B_l
Вихідний ворох	36,18	86,0	34,98	86,7	25,78	92,0
Подача в повітряно-решітну машину	38,44	84,5	37,43	84,5	26,22	90,5
Очищене зерно	30,84	91,5	31,86	89,7	26,38	96,7

Аналіз результатів досліджень, представлених у таблиці 4.9, показує, що в основній фракції (після пропуску через повітряно-решітну машину) за рахунок реалізованої в машині ОЗФ-80 фракційної технології обробки зернового вороху вміст травмованого зерна зменшився в першому варіанті на 7,6 %, у другому – на 5,57 %, а лабораторна схожість підвищилася, відповідно на 7,0 і 5,2 %. У третьому варіанті при обробці машиною U-80 кількість ушкодженого зерна збільшилась на 0,16 %, але незважаючи на це лабораторна схожість очищеного зерна підвищилася відповідно на 6,2 %. Це можна пояснити більш низьким рівнем травмування зерна у вихідному вороху ніж в першому й у другому варіантах.

Таким чином, лабораторна схожість насіння залежить від маси 1000 зерен M та рівня їх травмування T_{np} .

Отже, зі збільшенням маси 1000 зерен лабораторна схожість насіння збільшується, а зі збільшенням рівня їх травмування знижується. Це пояснюється

тим, що зернівки з меншою масою 1000 зерен менш міцні й відповідно більш схильні до механічного ушкодження при обробці, а травмовані зернівки більш піддаються ушкодженню мікроорганізмами, тому дрібні фракції зерна, які мають низьку масу 1000 зерен більше ушкоджуються, і їх слід виділяти із загальної маси.

Тому для одержання якісного насіння під час післязбиральної обробки з вороху слід виділити фракцію з більшою масою 1000 зерен і меншим рівнем їх травмування.

Оцінка якісних показників очищення зернового вороху зерноочисною машиною ОЗФ-80 у якій реалізована фракційна технологія очищення зерна, і U-80 фірми Petkus проведена з використанням даних, отриманих при очищенні пшениці. Вологість зерна на момент проведення дослідів не перевищувала 15,3 %.

У машині U-80 решітний блок складається із двох решітних станів. У верхньому встановлені послідовно три колосові решета, а в нижньому застосоване двох'ярусне компонування решіт, де в кожному ярусі встановлені послідовно по два сортувальних решета.

У машині ОЗФ-80 встановлено два решітних станки із двох'ярусним розташуванням решіт. У кожному ярусі розташоване по три решета. У верхньому ярусі встановлені послідовно два сортувальних і колосове решета, а в нижньому – два підсівні й сортувальне з можливістю виділення фуражного зерна сходом з підсівних решіт і проходом через сортувальні решета нижнього ярусу.

В машині ОЗФ-80 ворох розділяється на два потоки, кожний з яких подається на сортувальне решето окремого решітного стану із двох'ярусним розташуванням решіт (рисунки 4.6, а), де виділяються проходом дрібні засмічувачі й зернівки розміром $< 2,4$ мм. Ворох, що залишилася, іде сходом на друге сортувальне решето, де відокремлюються дрібні засмічувачі й зернівки розміром $< 2,4$ мм.

Зернівки розміром $> 2,4$ мм і великі засмічувачі подаються на колосове решето з діаметром отворів 3,4 мм, де проходом виділяється зерно, а крупні домішки йдуть сходом у лоток і виводяться з машини. Ворох, виділений проходом через сортувальні решета верхнього ярусу, надходить на підсівні решета нижнього ярусу, де виділяються дрібні засмічувачі, а зерно, що пройшло через колосове

решето надходить на сортувальне решето нижнього ярусу, де виділяються проходом зернівки розміром $< 2,4$ мм і дрібні засмічувачі, а повноцінне зерно йде сходом у пневмосепаруючий канал другої аспірації. Прохід через сортувальне решето нижнього ярусу решіт поєднується зі сходом з підсівних решіт і являє собою фуражну фракцію.

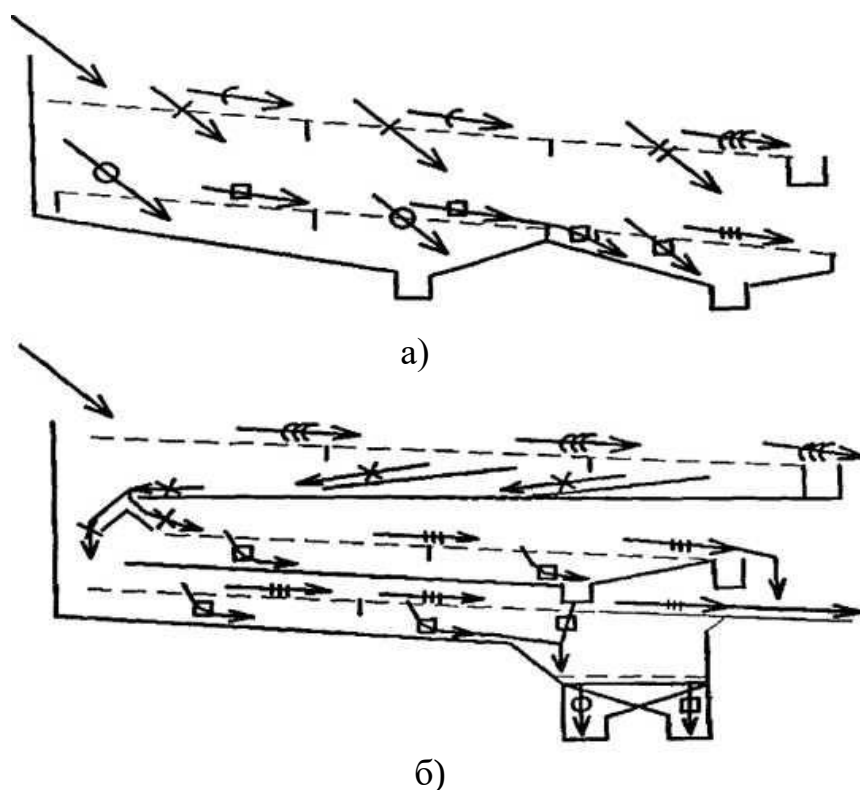


Рисунок 4.6 – Схеми решітних станків: а) – технологічна схема роботи решітного очищення ОЗФ-80; б) – технологічна схема роботи решітного очищення U-80.

Поділ оброблюваного вороху машиною U-80 (рисунок 4.6, б) здійснюється в такий спосіб.

Оброблюваний потік зернового вороху подається на верхній решітний станок, де розташовуються послідовно колосові решета з діаметром отворів 9, 10, 11 мм, сходом з яких ідуть крупні домішки, а проходом дрібні засмічувачі, великі, дрібні й биті зерна, частина зерна в плівці. Зернова маса, що пройшла через колосове решето по піддону верхнього решітного станку направляється на нижній решітний станок, де розділяється на два рівні потоки, кожний з яких подається на

послідовно розташовані сортувальні решета, де виділяються проходом дрібні засмічувачі, зерно дроблене розміром < 2.4 мм. Зернівки розміром > 2.4 мм ідуть сходом із сортувальних решіт і направляються в другий пневмоканал. Прохід через сортувальні решета направляється на нижнє решето нижнього решітного станку, де відбувається виділення фуражної фракції.

Дослідження проводили в режимі первинного очищення при продуктивності 40 т/год. Результати представлено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Повнота виділення компонентів зернового вороху на зерноочисних машинах

Показники Машина	Дроблене, %	Зернов плівці, %	Засмічувачі, %
U-80 «Petkus»	38,9	26,9	50,0
ОЗФ-80/40/20	48,3	25,4	78,4

Порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних показав, що машина ОЗФ-80 дозволяє виділити більше дробленого зерна й засмічувачів, але менше зерна в плівці ніж U-80. Так, на первинному очищенні в ОЗФ-80 повнота виділення дробленого зерна склала 48,3 %, а в U-80 – 38,9 %, зерна в плівці – відповідно 25,4 і 26,9 % і засмічувачів – 78,4 % і 50,0 %.

Узагальнюючи результати досліджень, слід зазначити, що застосування машини ОЗФ-80 дозволить виділити дробленого зерна на 9,4 %, а також засмічувачів – на 28,4 % більше ніж U-80. Це досягнуте за рахунок реалізації в машині ОЗФ-80 фракційної технології обробки зернового вороху з більшою площею сортувальних решіт. Зерна в плівці на 1,5 % більше виділяє машина U-80, тому що має більшу площу колосових решіт.

Середні значення показників зміни складу вороху при його обробці за результатами тривалих випробувань машин ОЗФ-80/40/20 у складі агрегатів ЗАВ наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Зміна складу зернового вороху під час обробки машиною ОЗФ-80 у складі агрегатів ЗАВ

Показники	Вихідний ворох	Основна фракція	Фуражна фракція
Вміст зерна, % цілого	90,01	97,94	77,88
т.ч. розміром: >2,4 мм	80,22	4,19	46,12
<2,4 мм	9,80	3,75	31,76
дробленого	1,04	0,61	3,15
в плівці	0,65	0,39	0,552
Вміст засмічувачів, %	8,29	1,06	18,45

З таблиці 4.11 знаходимо, що у вихідному вороху містилось цілого зерна 90,02 %, у тому числі розміром менше 2,4 мм – 9,8 %, а також зерна дробленого – 1,04 %, у плівці – 0,65 % і засмічувачів – 8,29 %. Після обробки на машині ОЗФ-80 в основний, фракції зменшився вміст дрібного зерна в 2,61, дробленого – в 1,7, у плівці – в 1,7 і засмічувачів – в 7, 82 рази. У той же час у фуражній фракції містилось цілого зерна 77,8 %, у тому числі розміром більше 2,4 мм – 46,12 %, а також дробленого – 3,15 %, у плівці – 0,52 % і засмічувачів – 18,45 %. У якості недоліку машини слід зазначити вихід у фуражну фракцію деякої кількості крупного зерна розміром > 2,4 мм. Це обумовлене недоліком конструкції козирка, встановленого над розвантажувальним каналом для сходу фуражного зерна з підсівних решіт. У процесі експлуатації машин конструкція козирка була змінена й усунуто вихід крупного зерна у фуражну фракцію.

4.2.4 Дослідження впливу вологості зернового вороху на якість його очищення машиною ОЗФ-80 і її зміни під час первинної очистки

Зерновий ворох, який надходить від комбайнів має певну вологість і містить разом з повноцінними зернівками біологічно неповноцінне, дроблене та зерно в плівці, а також різні засмічувачі. Ці компоненти вороху є сприятливим середовищем для проживання й розмноження мікроорганізмів, які навіть при

нетривалому зберіганні необробленого зерна знижують його якість. Щоб зберегти якість зерна, необхідно відразу по мірі надходження очистити його і довести вологість до кондиційної.

Досягнення бажаних результатів можна забезпечити при фракціонуванні зернового вороху за допомогою двоаспіраційних повітряно-решітних машин відразу по мірі надходження його з поля.

Для реалізації технології фракціонування розроблена високопродуктивна універсальна машина ОЗФ-80, призначена для попереднього, первинного й вторинного очищення зернового вороху. Її встановлюють у складі зерноочисних агрегатів ЗАВ, зерноочисно-сушильних комплексів КЗС і інших технологічних ліній.

Були проведені виробничі випробування машини ОЗФ-80 у складі зерноочисного агрегату ЗАВ. Машина була налаштована на режим первинного очищення. При цьому у верхньому ярусі кожного решітного стану встановлювали послідовно два сортувальних решета і колосове з розмірами отворів відповідно 2,4 і 3,4 мм, а в нижньому ярусі – два підсівні решета і сортувальне з розмірами отворів 1,8 і 2,4 мм, з розвантажувальним каналом між решетами для виходу сходів з підсівних решіт у фуражну фракцію.

На рисунках 4.7, 4.8, 4.9 показані залежності ступеня виділення компонентів вороху (дробленого зерна, зерна в плівці й засмічувачів) з основної маси від його вологості машиною ОЗФ-80 під час первинної очистки.

Аналіз результатів досліджень (рисунки 4.7, 4.8, 4.9) показав, що при фракціонуванні зернового вороху в режимі первинної очистки при вологості вихідного вороху 15,3, 17,2, 19,0 і 20,5 % повнота виділення дробленого зерна склала відповідно 38,0, 36,3, 41,0 і 53,5 %, зерна в плівці – 25,5, 32,3, 39,6 і 52,2 % і засмічувачів – 77,9, 78,6, 80,3 і 85,0 %

Отримані дані підтверджують ефективність використання фракційної технології в умовах підвищеної вологості вороху.

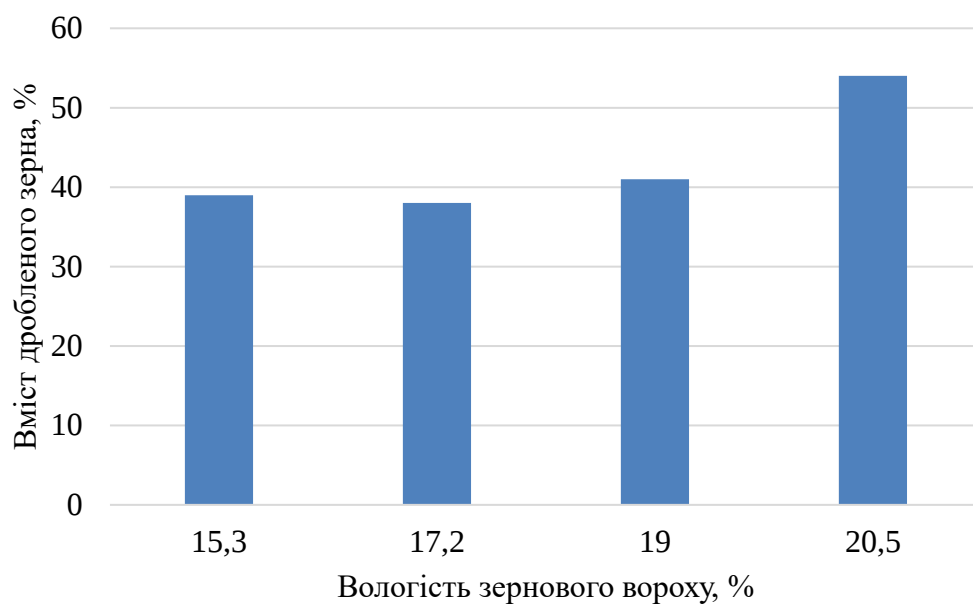


Рисунок 4.7 – Вплив вихідної вологості вороху на виділення дробленого зерна

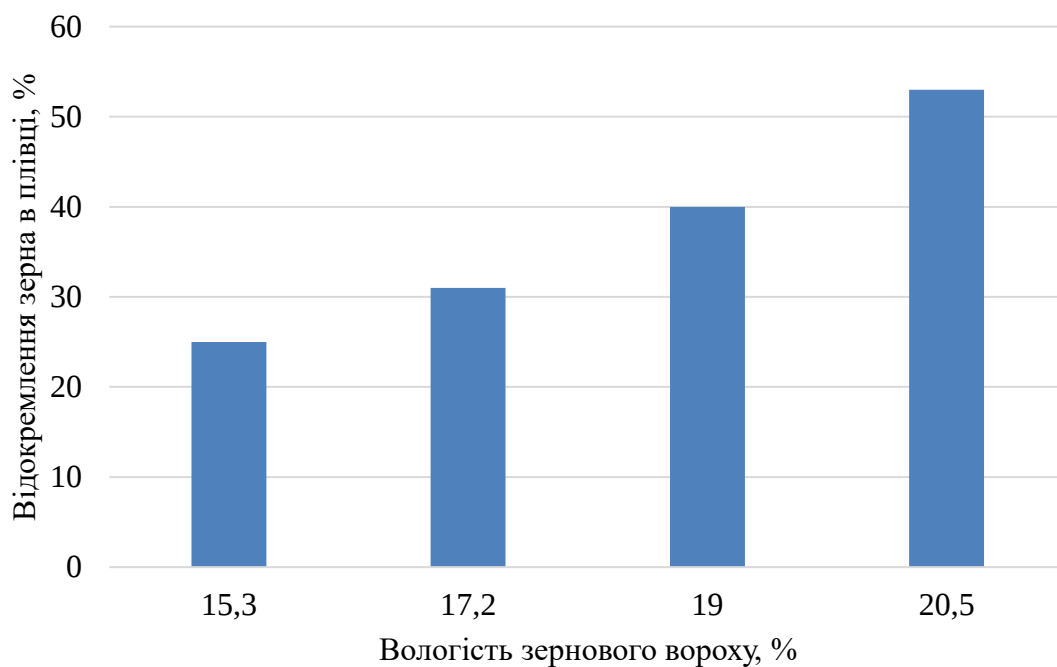


Рисунок 4.8 – Вплив вихідної вологості вороху на виділення зерна в плівці

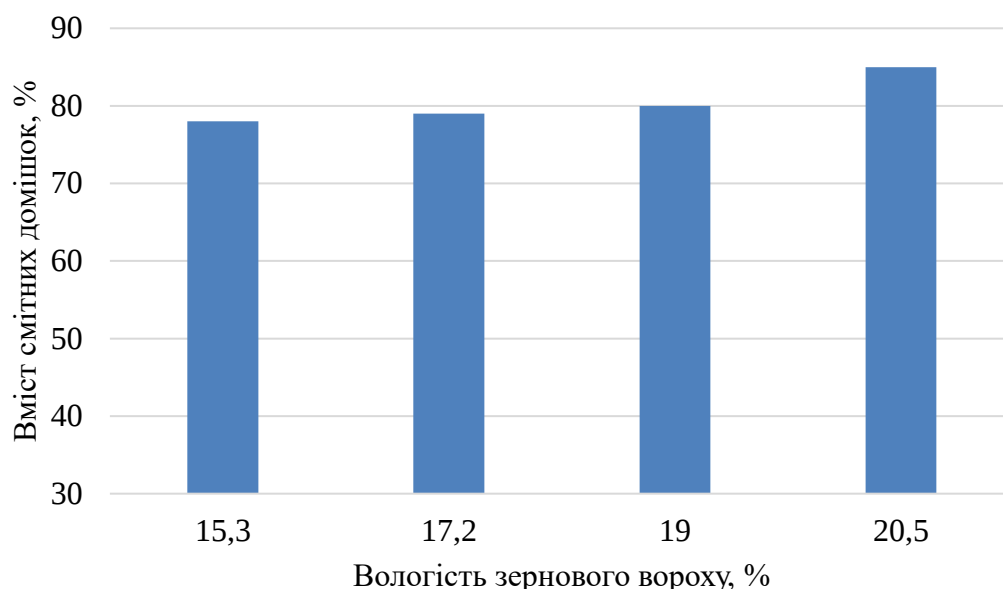


Рисунок 4.9 – Вплив вихідної вологості вороху на виділення засмічувачів

Враховуючи, що дроблене зерно і засмічувачі є сприятливим середовищем для проживання й розвитку мікроорганізмів, що погіршують товарні якості зерна, їх слід негайно виділяти з основної маси. Тому на етапі первинної очистки застосування машини ОЗФ-80 дозволяє одержати, більш однорідний за складом зерновий ворох і стійкий до його наступного тимчасового або тривалого зберігання.

В процесі очищення вихідного вороху змінюється вологість основної і фуражної фракції зерна, усереднені дані яких представлено в таблиці 4.12.

З таблиці 4.12 видно, що при обробці зернового вороху основної фракції виділяється більша частина засмічувачів, які мають підвищену вологість. Частина їх виноситься в відхідний бункер і в міру його заповнення видаляється за межі санітарної зони, а деяка частина виділяється у фуражну фракцію. Таким чином, вміст засмічувачів в основній фракції зменшується, а у фуражній – зростає. Видалення засмічувачів приводить до зменшення вологості зерна. Крім того, у процесі обробки зернового вороху на двоаспіраційних повітряно-решітних зерноочисних машинах він двічі продувається інтенсивним повітряним потоком, і при цьому також видаляється частина вологи. Усе це приводить до зниження вологості зерна як основної так і фуражної фракції.

Таблиця 4.12 – Вплив вихідної вологості та засміченості зернового вороху на вологість основної та фуражної фракції

№	Вологість вихідного вороху, %	Вологість основної фракції, %	Вологість фуражної фракції, %	$W_1 = W_B - W_o$ (%)	$W_2 = W_B - W_{\phi}$ (%)	Вміст засмічувачів у вихідному вороху Z_B , %	Вміст засмічувачів в основній фракції Z_o , %	Вміст засмічувачів у фуражній фракції Z_{ϕ} , %	$Z_1 = Z_B - Z_o$, (%)	$Z_2 = Z_B - Z_{\phi}$, (%)
1	15,3	14,8	15,0	0,5	0,3	8,4	2,6	17,1	5,8	-8,6
2	17,2	16,6	17,1	0,6	0,1	6,5	1,1	14,2	5,4	-7,7
3	19,1	17,6	18,0	1,5	1,1	7,5	1,3	13,7	6,2	-6,2
4	20,5	19,1	20,4	1,4	0,1	8,5	1,3	17,6	7,1	-9,1
5	23,0	18,9	21,3	4,1	1,7	12,9	4,1	18,7	8,8	-5,8

З таблиці видно, що в основній фракції при високій вихідній вологості зернового вороху кількість вилученої вологи зростає зі збільшенням кількості виділених засмічувачів, а при низькій – відзначена зворотна закономірність.

У фуражній фракції кількість, засмічувачів у порівнянні з вихідним ворохом зростає. При цьому кількість вилученої вологи при високій вихідній вологості зернового вороху зростає зі зменшенням засмічувачів, а при низькій знижується.

Таким чином, з підвищенням вологості зернового вороху з 15,3 до 23 % вологість зерна основної фракції при очищенні знижується на 0,5 – 4,1 %, а фуражної – на 0,1 – 1,7 %.

Висновки за розділом

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволив зробити наступні висновки.

Виділення у фуражну фракцію компонентів вороху розміром $> 3,2$ мм і $< 2,4$ мм дозволило підвищити повноту виділення з основної фракції дробленого зерна до 56 – 78,2 %, зерна в плівці – до 32,5 – 34,5 %, засмічувачів – до 44,8 – 71,1%, а також травмованого зерна – до 9,4 %.

Фракціонування зернового вороху при його вологості 15,3, 17,2, 19,0 і 20,5 % на повітряно-решітній машині забезпечило повноту виділення дробленого зерна відповідно 38,0, 36,3, 41,0 і 53,5 %, зерна в плівці – 25,5, 32,3, 39,6 і 52,2 % і засмічувачів – 76,5, 78,6, 80,3 і 85,0 %.

Фракціонування зернового вороху вологістю 15,3 – 23 % на машині ОЗФ-80 дозволило знизити вологість зерна основної фракції на 0,5 – 4,1 %.

Приймальне обладнання зерноочисного агрегату має забезпечити розвантаження будь-яких транспортних засобів і не мати скребкові транспортери, які підвищують дроблення зерна на 0,38 – 0,68 % і його травмування – на 0,78 %.

При комплектуванні зерноочисних ліній не слід застосовувати відцентрові норії з малим об'ємом ковшів, а коефіцієнт заповнення ковшів не повинен перевищувати 0,5. Збільшення швидкості руху стрічки до 3 м/с дозволить зменшити «зворотний висип» зерна, що веде до зниження травмування зерна на 0,47 – 1,25 %.

За рахунок виділення у фуражну фракцію біологічно неповноцінного зерна, яке більше піддається травмуванню при збиранні, фракційна, повітряно-решітна машина ОЗФ-80 дозволяє зменшити вміст травмованого зерна в основній фракції на 7,6 %.

Узагальнення параметрів універсальних повітряно-решітних машин вітчизняних і закордонних фірм для попередньої, первинної і вторинної очистки зернового вороху дозволило виявити залежності для визначення матеріало- і енерговитрат від їх продуктивності, а також необхідної площі для їх розміщення в технологічній лінії.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

5.1 Розроблення картки з безпеки праці для працівників цеху з первинної обробки зерна

Нижче наведено приклад карти безпеки праці під час первинної обробки зерна – з основними небезпеками, засобами захисту та діями працівника. Такий документ може слугувати інструктивним матеріалом для працівників елеваторів, млинів, зерносклади тощо.

Карта безпеки праці: первинна обробка зерна.

Місце виконання робіт: Зерноочисний комплекс, зерносушарка, пункт приймання зерна.

Посада працівника: оператор, вантажник, обслуговуючий персонал.

Етап виробництва: приймання, очищення, сушка, зберігання.

1. Можливі небезпеки:

Небезпека	Джерело
Пил вибухонебезпечний	Зерновий пил у повітрі
Ушкодження від рухомих частин	Транспортери, норії, вентиляційне обладнання
Падіння з висоти	Робота на естакадах, драбинах
Шум підвищеного рівня	Робота сушарок, вентиляторів
Теплове навантаження	Висока температура в зоні сушки
Токсичні гази, задушливе повітря	Недостатня вентиляція, ферментація зерна
Електротравми	Пошкоджені кабелі, відкриті щити
Опіки, травми від гарячих поверхонь	Металеві елементи сушарок та трубопроводів

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

Засіб	Обов'язковість використання
Респіратор (проти пилу)	✓
Захисні окуляри	✓
Навушники або беруші	✓ (при шумі >85 дБ)
Спецодяг з вогнезахисної тканини	✓
Рукавиці	✓
Захисне взуття	✓
Запобіжний пояс (роботи на висоті)	✓

3. Правила безпечної поведінки:

- перед запуском обладнання – переконатися у відсутності сторонніх осіб;
- не відкривати кожухи обладнання під час його роботи;
- не допускати скупчення зернового пилу – регулярно прибирати;
- всі електрообладнання мають бути заземлені;
- тримати поруч вогнегасник (вуглекислотний або порошковий);
- забезпечити постійну вентиляцію;
- повідомляти відповідального при будь-якій аварійній ситуації;
- проходити інструктаж перед початком робіт.

4. Дії у разі надзвичайної ситуації:

Ситуація	Дія працівника
Пожежа	Активувати пожежну сигналізацію, евакуація, виклик 101
Вибух або загроза вибуху	Припинити роботу, вимкнути обладнання, евакуація
Травмування колеги	Надати першу допомогу, викликати 103
Задимлення або токсичний запах	Покинути зону, повідомити відповідальних

5. Підпис працівника про ознайомлення:

 _____  « ____ » _____ 20__ р.

5.2 Шляхи утилізації відходів під час первинної обробки зерна на елеваторах та підприємствах з переробки зерна

Під час первинної обробки зерна на елеваторах та підприємствах з переробки зерна утворюється значна кількість відходів, які можуть бути екологічно та економічно цінними при правильній утилізації.

Давайте розглянемо основні шляхи утилізації відходів, що утворюються в процесі очищення, сушки та зберігання зерна.

1. Утилізація органічних залишок (лушпиння, пил, солома, недобір зерна):

- кормові добавки для тваринництва – висівки, биті зерна, відходи зернового пилу можуть використовуватись у виробництві комбікормів;
- компостування – відходи змішують з іншими органічними залишками для виробництва добрив;
- виробництво біогазу – включення в біогазові установки як джерело біомаси;
- паливо для твердопаливних котлів – суха солома та пил можна пресувати в пелети або брикети;
- мікробіологічна переробка – вирощування грибів (наприклад, гливи на соломі чи полові).

2. Утилізація зернового пилу:

- пилопригнічення і збір – збір через фільтраційні системи (циклон, аспірація);
- використання як паливо – після брикетування може застосовуватися як тверде паливо;
- захоронення (лише як крайній захід) – якщо інші шляхи недоступні, пил утилізують у контрольованих умовах.

3. Утилізація мінеральних домішок (камінці, пісок, земля):

- засипка кар'єрів або технічна рекультивація – використання у будівництві доріг чи ландшафтних роботах;
- вивіз на спеціальні полігони – за екологічними нормами, якщо непридатні до вторинного використання.

4. Утилізація вологих відходів після сушки зерна:

- осушення та подальше використання (підпал, компостування);
- використання в біогазових установках;
- змішування з тирсою чи соломою для спалювання.

5. Утилізація металевих домішок (цвяхи, дріт тощо):

- збір через магнітні сепаратори;
- здача на металобрухт.

Рекомендовані заходи для ефективної утилізації:

- встановлення аспіраційних систем для збору пилу та дрібних часток;
- впровадження роздільного збору відходів;
- налагодження співпраці з підприємствами, які переробляють органіку або виробляють біопаливо;
- складання схеми обігу відходів на підприємстві.

Висновки за розділом

Розроблено карту безпеки праці працівників цеху з первинної обробки зерна, зокрема під час роботи на обладнанні для очистки зерна, також запропоновано шляхи утилізації відходів під час обробки зерна на елеваторах та підприємствах з переробки зерна.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Витрати на проведення досліджень

Складений кошторис витрат слугує основою для визначення фінансових потреб, пов'язаних із проведенням наукових досліджень. У ньому враховуються такі складові, як витрати на матеріальні ресурси, спожиту електроенергію, заробітна плата працівників, амортизаційні нарахування та накладні витрати.

Вартість основних і допоміжних матеріалів обчислюється за такою формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (6.1)$$

де m_1 – кількість витраченого матеріалу;

C_1 – вартість одиниці витраченого матеріалу, грн/кг.

У таблиці 6.1 представлено результати розрахунків щодо вартості матеріалів.

Таблиця 6.1 – Обсяги необхідних основних матеріалів та їхня вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	50	8,2	410,0
Всього			410,0

Таблиця 6.2 містить результати обчислення витрат на заробітну плату учасників дослідження, яка визначається шляхом множення середньої погодинної оплати праці на загальну кількість відпрацьованих годин.

Таблиця 6.2 – Розрахунок витрат на заробітну плату учасників наукового дослідження

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	8500	50,59	20	1011,80
Всього				1011,80

Нарахування на заробітну плату становить 22% від загального обсягу оподаткованої суми, що підлягає єдиному соціальному внеску:

$$H = \frac{1011,80 \cdot 22}{100} = 222,60 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості спожитої електроенергії здійснюється за наступною формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.2)$$

де M – загальна потужність лабораторного устаткування, кВт;

K – безрозмірний коефіцієнт використання потужності ($K = 0,9$);

T – час роботи дослідного устаткування, год;

a – тариф на електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на сушильну шафу складають:

$$E_1 = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 16 \cdot 6,4 = 110,59 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на електронні ваги складають:

$$E_2 = 0,006 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 6,4 = 0,28 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на привід робочих органів розсійника:

$$E_3 = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 6,4 = 82,94 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу ПК:

$$E_{п.к.} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 6,4 = 1036,8 \text{ грн.}$$

Сумарні затрати на електроенергію:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 110,59 + 0,28 + 82,94 + 1036,8 = 1230,61 \text{ грн.}$$

На основі рівняння 6.3 розраховується сума амортизаційних витрат на обладнання, задіяне під час проведення дослідження:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

де A – відрахування на амортизацію обладнання, грн;

Φ – вартість обладнання, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

365 – тривалість року.

У таблиці 6.3 наведені результати розрахунків амортизаційних відрахувань.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків витрат на амортизацію обладнання

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Сушильна шафа	13850,0	24	2	18,21
Електронні ваги	3090,0	24	1	2,03
Дослідна установка розсійника	18540,0	24	2	24,38
Персональний комп'ютер	20800,0	24	25	341,91
Всього				386,53

Накладні витрати, що стосуються технічного обслуговування та організації виробничого процесу, охоплюють виплати обслуговуючому та адміністративному персоналу. Витрати на технічне обслуговування обладнання становлять 80% від розрахункової заробітної плати дослідника:

$$\frac{(1011,80 \cdot 80)}{100} = 809,44 \text{ грн.}$$

Розрахункова вартість проведення лабораторного дослідження приведена в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахункова вартість дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	410,0
Заробітна плата	1011,80
Нарахування на заробітну плату	222,60
Електроенергія	1230,61
Амортизація	386,53
Накладні витрати	809,44
Всього	4070,98

На основі проведеного аналізу, основними та найзначущими витратами є витрати на заробітну плату та електроенергію, які займають провідні позиції у загальній структурі витрат.

6.2 Визначення вартості дослідження

Оскільки дослідження має фундаментальний характер, розрахунок вартості здійснювався з урахуванням витрат та очікуваної прибутковості від його проведення:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.8)$$

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

P – нормативна рентабельність ($P = 30$), %.

$$Ц = 4070,98 + \frac{30 \cdot 4070,98}{100} = 5292,27 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 5292,27 грн.

Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу встановлено, що основними та найзначущими витратами є витрати на заробітну плату (1011,80 грн) та витрати електроенергію (1230,61 грн), які займають провідні позиції у загальній структурі витрат.

Загальна сума витрат, пов'язаних із проведенням досліджень, становить 5292,27 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1 Розроблено методика вибору технічних засобів для реалізації потокової фракційної технології післязбиральної обробки зернового вороху різної вологості з метою зниження травмування зерна й збереження його якості. Згідно якої розроблено схему функціонування потокової технологічної лінії та з метою збереження якості зерна при проектуванні механізованих процесів, за основу слід приймати продуктивність зерноочисних агрегатів.

2. Виявлено, що виділення у фуражну фракцію компонентів вороху розміром $> 3,2$ мм і $< 2,4$ мм, дозволило знизити рівень травмування зерна до 9,4 %, що в свою чергу призведе до підвищення повноти виділення з основної фракції дробленого зерна до 56 – 78,2 %, зерна в плівці – до, 32,5 – 34,5 %, засмічувачів – до 44,8 – 71,1 %. Встановлено, що фракціонування зернового вороху при його вологості 15,3, 17,2, 19,0 і 20,5 % на повітряно-решітній машині забезпечило повноту виділення дробленого зерна відповідно 38,0, 36,3, 41,0 і 53,5 %, зерна в плівці – 25,5, 32,3, 39,6 і 52,2 % і засмічувачів – 76,5, 78,6, 80,3 і 85,0 %.

Встановлено та підтверджено дослідженнями, що у результаті фракціонування зернового вороху вологістю 15,3 – 23 % на машині ОЗФ-80 дозволило знизити вологість зерна основної фракції на 0,5 – 4,1 %.

3. Обґрунтовано, що приймальне обладнання зерноочисного агрегату повинне забезпечити розвантаження будь-яких транспортних засобів і не включати скребкові транспортери, які підвищують дроблення зерна на 0,42 % і його травмування на 0,78 %. При комплектуванні зерноочисних ліній не слід застосовувати відцентрові норії з малим об'ємом ковшів, а коефіцієнт заповнення ковшів не повинен перевищувати 0,5. Збільшення швидкості руху стрічки до 3 м/с дозволить зменшити «зворотний висип» зерна, що веде до зниження травмування зерна на 0,47 – 1,25 %.

Підтверджено, що за рахунок виділення у фуражну фракцію біологічно неповноцінного зерна, яке більше піддається травмуванню при збиранні, фракційна повітряно-решітна машина ОЗФ-80 дозволяє зменшити вміст травмованого зерна в

основній фракції на 7,6 %.

Розроблено карту безпеки праці працівників цеху з первинної обробки зерна, зокрема під час роботи на обладнанні для очистки зерна, також запропоновано шляхи утилізації відходів під час обробки зерна на елеваторах та підприємствах з переробки зерна.

На основі проведеного аналізу встановлено, що основними та найзначущими витратами є витрати на заробітну плату (1011,80 грн) та витрати електроенергію (1230,61 грн), які займають провідні позиції у загальній структурі витрат.

Загальна сума витрат, пов'язаних із проведенням досліджень, становить 5292,27 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Адамчук В. В., Прилуцький, А. Н., Заришняк, А. С., Степаненко, С. П. (2014). Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах: ННЦ «ІМЕСГ». Вип. 99. С. 40-56.
- 2 Ольшанський, В. П., Бредихін, В. В., Лук'яненко, В. М., Півень, М. В., Сліпченко, М. В., Харченко, С. О. (2017). Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт. 803 с.
- 3 Котов, Б. І., Пастушенко, М. Г., Степаненко, С. П. (2012). Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів. Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. Випуск 42. Частина 2. С. 70-75.
- 4 Дерев'янка, Д. (2015). Дослідження ударної взаємодії травмування насіння поверхнею циліндричного решета вібросепаратора після його сходження з диска розподільника. Техніка і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, № 6 (69). С. 9-12.
- 5 Заїка, П. М., Бакум, М. В., Михайлов, А. Д., Козій, О. Б. (2012). Сепарація насіння льону на вібраційних сепараторах. Вібрації в техніці та технологіях. № 3 (67). С. 106-111.
- 6 Thomson, W. H., Pomerang, Y. (1991). Classification of wheal kernels using three-dimensional image analysis. Cereal Chem. 68. № 34. P. 357-361.
- 7 Kiratiratanapruk, K., Sinthupinyo, W. (2011). Color and texture for corn seed classification by machine vision. Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. "The Decad. Intell. Green Signal Process. Commun. ISPACS. P. 7-11.
- 8 Ronge, R. V., Sardeshmukh, M. M. (2014). Comparative analysis of Indian wheat seed classification. Icacci'14. P. 937-942.
- 9 Li, J., Liao, G., Xiao, F. (2008). Rapeseed seeds colour recognition by machine vision. Proc. 27th Chinese Control Conf. CCC. P. 146-149.

- 10 Кирпа, М. Я., Скотар, С. О., Рослик, О.О. (2014). Дослідження процесу та параметрів аеродинамічного сепарування однокомпонентних насіннєвих сумішей. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. № 2 (34). С. 95-98.
- 11 Гросул, Л. Г., Гапонюк, О. І., Мосієнко, Г. А., Яцкова, Т. Й., Гончарук, Г. А. (2011). Повітряно-гравітаційний сепаратор для попередньої обробки збіжжя. Зернові продукти і комбікорми. № 2 (42). С. 40-42.
- 12 Рудь, А. В., Дуганець, В. І., Павельчук, Ю. Ф., Мошенко, І. О., Мельник, В. В. (2013). Результати дослідження технологічної доцільності використання аеродинамічних сепараторів. Збірник наукових праць. За редакцією доктора с.-г. наук, професора, академіка АН ВО України, Заслуженого діяча науки і техніки України, ректора університету (голова) М.І. Бахмата. № 21. Кам'янець-Подільський. С. 372-377.
- 13 Lockett James F. (1982). Univeisal sorting apparatus. Патент США, кл. В 07 С. 5/342, НКІ 209/564, N4344539. Заявл. 05.05.78, N 903050. Опубл. 17.08.82.
- 14 Runmann, K. (1990). Beaiigong durch elektronische Farb-sortierung. Muhle Mischfutter-fechn. 1990. 127, №19. P. 244-245.
- 15 Osbome, D. Y., Berfrand, D. (1992). Image analysis and spectroscopic techniques. Rapp 9 Congr. Int. Cereals et pain, Paris, 1-5 juin 1992. Ind. cereal. № 77. P. 10-12.
- 16 Barrozo, M., Silva, A., Oliveira, D. (2008). The use of curvature and bias measures to discriminate among aquilibrium moisture equations for mustard seed. Journal of Stored Products Research. 2008. Vol. 44. P. 65-70.
- 17 Baumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S., Riccobene I. (2006). Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. Journal of Food Engineering. Vol. 72. P. 134-140.
- 18 Gupta, R. K., Das, S. K., (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive Loading. J. Food Eng. 46. P. 1-8.
- 19 Khazaei J., Sarmadi, M., Behzad, J. (2008). Physical properties of sunflower seeds and kernels ralated to harvesting and dehulling. Lucrari Stiintifice. P. 49.

20 Білокопитов, О. О. (2012). Аналіз результатів визначення критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. Вип. 2. Т. 5. С. 198-207.

21 Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica, APTEFF*, 50, P. 12-22.

22 Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 24–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657> (Scopus).

23 В.С.Кошулько, Ю.О. Чурсінов. Н.А. Сова. Вплив динамічної нерівномірності коливань робочого столу падді-машини на сепарування зернових сумішей. Ст. 90-98. Сільськогосподарські машини. Вип. 49. ЛНТУ, Луцьк, 2023. 142с.

24 Aliiev E., Aliieva O., Maliehin R. Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. *Scientific Horizons*. 2020. № 07 (92). P. 112-19. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

25 Shevchenko I. Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409.

26 Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova, V. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(1 (109)), 43–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>.

27 Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators, 27(4), 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>

28 Paliy A., Aliiev E., Nanka A., Bogomolov O., Bredixin V., Paliy A., Shkromada O., Musiienko Y., Stockiy A., Grebenik N.. Identifying changes in the technical parameters of milking rubber under industrial conditions to elucidate their effect on the milking process. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, Issue 1 (111), 2021. 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231917>.

29 Koshulko, V.S., Tymchak, D.O. (2022). Naukove obgruntuvannia konstruktyvno-tekhnologichnykh parametriv obladnannia dlia separuvannia produktiv lushchennia zerna vivsa vibroudarnym metodom (Scientific substantiation of the structural and technological parameters of the equipment for separating oat grain husking products using the vibro-impact method). V: Zemlerobska mekhanika. Innovatsiini tekhnologii kharchovykh vyrobnytstva. T. 4. Innovatsiini tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv. Dnipro: Svidler A.L. 312–374.

30 Koshulko, V.S., Aliiev E.B., Kobets O.O., Ivliev V.V. (2025). Mathematical justification of the oat grain dehulling products separation process in a vibro-impact separator machine: Engineering, energy, transport aic. Vinnytsia: 76 – 83.