

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти магістр
на тему: «Удосконалення технологічного процесу експлуатації
пневмотранспорту для зернопереробних підприємств»

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою

Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП

спеціальності 133 Галузеве
машинобудування

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи 1

Басова Юлія Олександрівна
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Брикун О.М.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023 рік

ВСТУП

Актуальність теми. Завдання агропромислового комплексу країни - забезпечення потреб населення в продовольстві. Основа агропромислового комплексу – виробництво зернових культур. Зростання споживання зерна, особливо в останні роки ставить перед виробниками зерна завдання збільшення його виробництва. Інтенсивні технології передбачають використання передових прийомів ведення сільськогосподарського виробництва, використання останніх технічних рішень у галузі сільськогосподарського машинобудування, а також використанні високоякісних посівних матеріалів.

Для забезпечення та збереження високої якості посівного матеріалу недостатньо використовувати якісне насіння. Необхідно також використовувати комплекс сільськогосподарських машин - як збиральних, так і призначених для обробки зернової маси після збирання.

Удосконалення технологічного процесу експлуатації пневмотранспорту для зернопереробних підприємств може мати значущий вплив на ефективність, економічність та екологічність їхньої діяльності.

Удосконалення технологічного процесу дозволить підвищити продуктивність та зменшити час, необхідний для транспортування зерна. За допомогою сучасних технологій можна оптимізувати шляхи, використовувати автоматизовані системи управління та моніторингу для забезпечення ефективності вантажоперевезень. Також, удосконалення технологічного процесу може призвести до зменшення витрат на інше, обслуговування та управління персоналом. Оптимізована система пневмотранспорту дозволяє економити ресурси та знижує оперативні витрати.

Забезпечення безпеки та надійності транспортування важливе для уникнення втрат зерна через розсипання чи забруднення. Удосконалені технології можуть забезпечити більшу захищеність вантажу під час перевезення.

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Удосконалення технологічного процесу дозволяє відповідати сучасним стандартам безпеки та нормам, що може бути важливим для забезпечення відповідності законодавству та зниження ризиків нещасних випадків.

Враховуючи ці аспекти, удосконалення технологічного процесу експлуатації пневмотранспорту стає актуальним для підприємств зернопереробної галузі, сприяючи підвищенню ефективності та конкурентоспроможності в сучасних умовах.

Зважаючи на важливість зазначених проблем **метою дослідження** удосконалення технологічного процесу експлуатації пневмотранспорту для зернопереробних підприємств. Для досягнення мети були виконані наступні **завдання**:

- дослідити механічні характеристики зерна пшениці на етапах збирання та післязбиральної обробки;
- аналітично та експериментально обґрунтувати режими роботи стрічкового зернокидача;
- дослідити процес роботи стрічкового зернокидача в лабораторних та виробничих умовах;
- обґрунтувати економічну ефективність використання стрічкового зернокидача.

Об'єкт дослідження є вдосконалення режимів роботи стрічкового зернокидача, що вплине на якість оброблюваного зернового матеріалу. **Предмет дослідження** - робочий процес стрічкового зернокидача.

Практичне значення отриманих результатів:

- теоретичне обґрунтування технологічної схеми стрічкового зернокидача;
- математичні моделі, що описують вплив основних режимних параметрів на продуктивність стрічкового зернокидача;
- результати оптимізації режимних параметрів стрічкового зернокидача.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати досліджень були висвітлені та обговорені на I Всеукраїнській науково-практичній

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтернет-конференції «Нові технології і обладнання харчових та переробних виробництв» (Полтава, 19-20 квітня 2023 р.)

Публікації Основний зміст і результати магістерської роботи опубліковано у 1 фаховій статті та 1 збірнику матеріалів конференції.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних джерел (52 найменувань). Роботу викладено на 79 сторінках та ілюстровано 5 таблицями та 25 рисунками.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Аналіз технологічного процесу післязбиральної обробки зернової маси

Операції, направлені на попередню обробку та подальше зберігання зерна є важливими ланками всього технологічного процесу післязбиральної обробки зернової маси, оскільки від них залежить збереження зерна у належній якості та повнота забезпечення сільськогосподарського виробництва насіннєвим, продовольчим та фуражним матеріалом.

Зернова маса після збирання повинна відповідати вимогам нормативної документації щодо якості сировини. Тому, технологічна схема післязбиральної обробки зернової маси повинна бути адаптована до конкретного регіону України. Це перш за все залежить від природно-кліматичних умов регіону, і як наслідок, від різного стану зерна, насамперед вологості, що надходить на майданчик зберігання свіжозібраної зернової маси.

Однак у будь-якому випадку технологічний процес післязбиральної обробки зерна, як правило, включає наступні операції [1-6]:

Рисунок 1.1. – Типовий технологічний процес післязбиральної обробки зерна

Технологічна схема післязбиральної обробки зерна, наведена в ВНТП 05 Норми технологічного проектування хлібоприймальних підприємств і елеваторів [7], представлена на рис. 1.1.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.2. – Деталізована технологічна схема післязбиральної обробки зерна

В ідеальному вигляді, зернова маса доставляється до місця обробки автотранспортом і завантажується в приймальну яму.

В іншому випадку, зерно вивантажують на відкритий майданчик, потім, з якого за допомогою навантажувачів або зернокидачів завантажується у спеціальний транспорт зерноскладища, яким подається безпосередньо в завальну яму (рис. 1.2).

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така схема, як правило, використовується при недостатній оснащеності підприємства високопродуктивним автопарком для запобігання простоїв автомобілів, що відвозять зерно безпосередньо від комбайна, а отже й ліквідації простоїв комбайнів в очікуванні розвантаження та скорочення термінів збирання. Слід зазначити, що наявність великого автопарку найчастіше неможливе або нерациональне для сільськогосподарських виробників, тому другий варіант найбільш популярний.

Попереднє очищення зерна дозволяє привести зернову масу до кондиції, що забезпечує оптимальні умови для проведення наступних технологічних процесів. Попереднє очищення найбільш важливе при збиранні зернових культур у несприятливих умовах, наприклад, при підвищеній вологості в період випадіння опадів. За даними досліджень відомо, що при підвищеній вологості зерна більше, ніж на 16%, продуктивність машин для післязбиральної обробки з кожним відсотком збільшення вологості знижується на 5% [8-10]. При вмісті у масі домішок понад 10% продуктивність очисних машин знижується на 2% на кожний відсоток збільшення кількості домішок. Саме тому, завдання попереднього очищення полягає у відокремленні домішок від основного матеріалу. Якісний і кількісний склад домішок залежить від таких факторів, як ефективність заходів щодо захисту рослин при виробництві зерна, робота збиральної техніки, технологія збирання, а також організація транспортування зібраного врожаю [11–15].

Для зниження вологості зерна застосовується сушіння. Завданням сушіння є зниження вологості маси зерна для забезпечення збереження якості зібраного врожаю. Зібране однофазним способом зерно зазвичай має вологість більше 14 %, що неприйнятно для його тривалого зберігання, тому що в цьому випадку посилюється життєдіяльність хвороботворних мікроорганізмів, підвищується температура всередині маси (з'являється ефект самозігрівання), в результаті виникає небезпека псування зерна. Отже, для запобігання втраті якості зерно необхідно піддавати процедурі сушіння в найкоротші терміни після збирання [8, 10, 16, 17].

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сушіння полягає у подачі до зерна теплоносія з метою доведення вологості маси до величини не більше 14%. Як правило, використовується гаряче повітря, температура якого підвищується або шляхом змішування з топочними газами, або за допомогою теплообмінника. В даний час в господарствах, що займаються виробництвом зерна, сушильних комплексів, як правило, немає. У цьому випадку вологість свіжозібраного зерна знижують шляхом багаторазового пропуску через зернокидач на відкритому майданчику.

Зерно, яке доведене до кондиційної вологості, проходить процедуру первинного очищення. Первинне очищення необхідне для відділення домішок, які залишилися у масі після попередньої очищення. Найбільш поширеними домішками є насіння бур'янів та інших культурних рослин, бите, пошкоджене механічно, а також комахами і грибковими хворобами (цвіль, сажка, спор'я), зерно основної культури. За допомогою первинного очищення зернова маса, що надійшла після попереднього очищення, поділяється на 4 фракції (рис 1.3).

Первинне очищення проводять після досягнення зерном кондиційної вологості. Цю умову необхідно суворо дотримуватись, оскільки вологий матеріал погано піддається очищенню, а крім того у масі зерна міститься фуражна фракція, яка у свою чергу повинна мати кондиційну вологість для забезпечення тривалого зберігання.

Рисунок 1.3 – Фракції зерна після попереднього очищення

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед закладкою на зберігання або перед відвантаженням кінцевому споживачу, якщо інше не обумовлено в договорі поставки стосовно якості матеріалу, зерно повинно бути піддане вторинному очищенню. Мета вторинного очищення полягає в поділі загальної маси на продовольче зерно і насіннєвий матеріал. Поділ зерна на фракції в процесі вторинного очищення ґрунтується на відмінності зернонок, з метою виділення як насіння повноцінного зерна сортової культури.

При вторинній обробці широко застосовуються триєрні блоки. Пристрої, що застосовуються при вторинному очищенні, мають різну конструкцію та продуктивність [18-22].

1.2 Застосування зернокидача у технологічному процесі первинної обробки зерна. Аналіз існуючих конструкцій зернокидачів

Основною умовою підвищення ефективності розділення і очищення (сортування) зерна при метанні є досконалість конструкції робочого органу зернокидача.

Зернокидачі – спеціалізований тип машин сільськогосподарського призначення, за допомогою яких здійснюється навантаження зерна в зерновози, залізничні вагони, причеи, контейнери. Вони можуть також застосовуватися для формування буртів або механічного перелопачування зерна на відкритих майданчиках і в закритих складах. Ще одним додатковим плюсом такого виду сільськогосподарських машин є можливість за їх допомогою здійснювати сепарацію і очищення зерна від легких домішок [23, 24].

Для забезпечення досконалості конструкції необхідно враховувати:

- рівні умови викиду порції зерна;
- однакові початкові швидкості всіх зерен строго в одному напрямку;

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

•розміри і форму порції зерна при киданні та польоті у повітрі, щоб забезпечувати умови поділу (сортуння) і очищення основного зерна від домішок.

Існують також порційні зернокидачі. Вони практично виключають травмування зерна, До них належать стрічкові зернокидачі з пористими і лопатевими барабанами, зернокидачі з одним робочим лопатевим барабаном.

Зернокидачі сипучих матеріалів складається з привідного барабана, веденого і лопатевого барабана з поперечними дисками, охоплений транспортерною стрічкою, бункера, Рисунок 1.2 – Схема порційного шнекового живильника (рис. 1.2).

зернокидача

Натяг стрічки транспортера здійснюється за рахунок переміщення опори лопатевого барабана за направляючою, і ці опори стопоряться болтами. Над лівими опорами лопатевого барабана розташований бункер із заслінкою. Бункер з'єднаний зі шнеком і може переміщатися разом з опорою за направляючою за допомогою своїх виступів. Шнековий живильник складається з жолоба та шнека. До верхньої частини жолоба прикріплена болтами захисна пластинка, а в нижній є гумова накладка, поєднана з жолобом за допомогою шарніра. Гумова накладка котиться по внутрішній поверхні лопатевого барабана, який складається з поздовжніх планок трикутної форми і поперечних дисків, загострених з внутрішньої сторони. Привід всіх механізмів здійснюється від електродвигуна. Рух ведучого барабану металника передається через клиноремінну передачу. Шнековому живильнику обертальний рух передається за допомогою клинопасової передачі від веденого барабана. На рамі укріплений гвинтовий механізм для регулювання нахилу машини до горизонту, тобто для зміни кута метання зерна. Внизу під рамою є колеса для зручного переміщення машини. Працює він у такий спосіб. Зерно, яке піддається очищенню і сортунню, подається шнеком з бункера через наскрізні отвори лопатевого барабана, розташовані в чотири ряди по всьому колу барабана. Ці отвори знизу прикриваються транспортерною стрічкою та мають прямокутну форму

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розмірами 60×120 мм. Глибина цих отворів досягає 100 мм, і вони утворені поздовжніми лопатями та поперечними дисками натискного барабана. Кількість поступального зерна через отвори можна регулювати заслінкою. Ці отвори знизу прикриваються транспортерною стрічкою і не дають можливості вилітати з них під дією відцентрової сили частинками зерна. При русі транспортерної стрічки відбувається взаємне обертання лопатевого барабана. У момент зіткнення стрічки з лопатевим барабаном відбувається заповнення отворів даного барабана. І наповнення отворів зерном припиняється до відходу стрічки від лопатевого барабана. При відході стрічки від даного барабана відбувається відкриття отворів, і зерно, яке міститься в ньому вилітає під дією відцентрової сили. В залежності від ваги і шпаруватості одні зерна (чисте зерно) відлітають далі, а інші (домішки) – ближче від металника і таким чином розсортовуються на різні фракції. Захисна пластинка запобігає заповненню отворів до зіткнення стрічки з лопатевим барабаном, тобто процес заповнення починається з моменту зіткнення стрічки. Гумова накладка не дозволяє заповнити отвори зерном до відходу стрічки від лопатевого барабана.

Пропонований пристрій дозволяє підвищити продуктивність та якість сортування зерна, а також спростити конструкцію зернопульта. Лопатевий барабан з наскрізними отворами дає можливість:

- кидати зерно порційно, що покращує якість сортування зерна і виключає травмування його;
- немає потреби використовувати такий складний механізм, як лопатевий дозатор, необхідний для отримання порціонної подачі зерна;
- підвищується продуктивність металника за рахунок чотирирядного розташування отворів по всьому колу барабана і збільшення швидкості стрічки [23, 24].

Проведені дослідження даного зернокидача показали, що при великій частоті обертання лопатевого барабана частина зерна не встигає дійти до стрічки і викидається назовні прямо з поверхні лопаток, розташованих перпендикулярно до

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стрічки, через що утворюється широке віяло матеріалу який викидається, що є істотним недоліком такого зернокидача.

Аналогічну конструкцію має зернокидач з лопатевим барабаном (рис. 1.3),

Його конструкція складається з ведучого і веденого (2) барабанів, натискного лопатевого барабана (3), охоплених нескінченною стрічкою (4), бункера (5) з

Рисунок 1.3 - Зернокидач з регульованою заслінкою.

лопатевим барабаном

Стрічка рухається за допомогою електродвигуна через клинопасову передачу. Зернокидач також має рухомі колеса, які служать для його переміщення і гвинтовий механізм, що складається з опорного гвинта з напольгливої гайки, призначеної для регулювання нахилу машини до горизонту. Барабан змонтований на консольному валу, встановленому на двох підшипникових опорах, закріплених на рамі. Він складається з двох торцевих дисків, між якими розташовані клиноподібні лопатки, закріплені на дисках за допомогою гвинтів. Ці лопатки своєю передньою стінкою нахилені до поверхні стрічки під кутом $30 - 60^\circ$ та сприяють попередньому поділу зернового матеріалу в самому барабані до викиду [23, 24].

Зернокидач працює наступним чином. Зернистий матеріал, що підлягає очищенню, подається самопливом з бункера в барабан, де він захоплюється лопатками і укладається на стрічці в міру її руху. Кількість зернового матеріалу, яке надходить в барабан регулюється заслінкою. Потім при обгинанні стрічкою ведучого барабана порції матеріалу викидаються до горизонту під кутом, рівним куту нахилу стрічки. У польоті ці порції поділяються на окремі фракції за аеродинамічними властивостями. Насіння, як найважчі частинки, летять далі всіх, а легкі домішки падають ближче від металника. У порції зернового матеріалу, відібраною лопаткою, при обертанні лопатевого барабана відбувається попередній поділ її на фракції за рахунок відцентрової сили. Важкі частки (насіння) розташовуються в нижній частині порції, а легкі укладаються у верхній.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, попередню розділені порції матеріалу в лопатевому барабані металника краще діляться на фракції вже в польоті. Похилі лопатки сприяють швидкому осіданню порції зерна на стрічку. Тому вся порція встигає вкласти на стрічку.

Метальник з верхнім викидом (рис. 1.4) складається з провідного барабана (1), двох ведених барабанів (2) і (3), лопатевого барабана (4), нескінченної стрічки (5), бункера (6).

Рисунок 1.4 - Зернокидач з верхнім викидом

Обертання лопатевого барабана здійснюється за допомогою клинопасової передачі та електродвигуна.

Подача матеріалу регулюється заслінкою. Рама має пересувні колеса і гвинтовий механізм. Лопатевий барабан складається з двох бічних торцевих дисків та розташованих між ними лопатей, що мають серпоподібну форму в поперечному розрізі. Ці лопаті попереду загострені для розсічення потоку зерна, а позаду відігнуті назовні для утворення кишеньок при зіткненні зі стрічкою [23, 24].

Працює він у такий спосіб. Зерно, яке підлягає очищенню подається з бункера самопливом в центральний отвір лопатевого барабана. Подачу зерна можна регулювати заслінкою. Безперервний потік зерна розтинають лопатями і розділяють на окремі порції в лопатевому барабані. Ці порції зерна рухаються по каналах, утворених лопатями, від центру барабана до периферії під дією відцентрованих сил. Зерно подається саме в ті канали, які в цей момент закриваються знизу транспортерною стрічкою, в іншому випадку воно буде висипатися. За мірою обертання барабана на його периферії збирається зерно в кишеньках, утворених лопатями і стрічкою. При відході останньої від лопатевого барабана, тобто при відкритті цих комірок, зерно, що міститься в них, викидається під певним кутом до горизонту зі швидкістю, що дорівнює швидкості стрічки. На відміну від вищевказаних лопатевих зернокидачів машин зерно в даному випадку викидається

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з верхньої поверхні лопатевого барабана. При такому способі метання зерна швидкість і траєкторія польоту не змінюється в порівнянні з нижнім викидом зерна з лопатевого зернокидача. Зміна кута метання зерна регулюється нахилом конструкції до горизонту, а це здійснюється гвинтовим механізмом. Для переміщення зернокидача з нижньої сторони рами є пересувні колеса. Використання даного зернокидача дозволить підвищити продуктивність і якість сортування зерна, а також спростити конструкцію в порівнянні з попередніми лопатевими та ремінними металіками. Лопатевий барабан з внутрішніми відвідними каналами, утвореними серпоподібними лопатями, дозволяє, по-перше, кидати зерно порціями, що покращує якість його очищення, по-друге, виключає травмування оброблюваного матеріалу, тому що ніде він не притискується та вільно розташовується в комірках до відкриття каналів.

Окремо летять порції зерна в польоті, добре розділяються на різні фракції і в них набагато менше зіткнень частин, ніж в безперервному струмені. Однак зернокидач включає три барабана і збільшений по довжині нескінченний ремінь. Крім того, не обґрунтована кількість комірок і маса порції зерна.

Порційні зернокидачі конструктивно не відрізняються від вищеописаних лопатевих зернокидачів і в першому випадку передбачає зменшення вібрації після лопатевого барабана, а в другому – найбільш повне заповнення міжлопатевого простору лопатного барабана матеріалом, який надходить і тим самим підвищення продуктивності порційного металіка. Однак в першому випадку частина зерна може залишитися на циліндричній поверхні, і не потрапить на стрічку тоді порушується процес спрямованого порційного метання, а в другому – вирішується процес заповнення міжлопатевого простору без урахування умов западання в цей простір, вивантаження з нього в обмеженій зоні викиду з поверхні нескінченної стрічки: якщо порція не встигне вивантажитися з 19 «комірок» на швидкокорухомий нескінченний ремінь, то процес порційного метання може порушитися і не буде нормальної роботи металіка. Тому, необхідно розглядати процес порційного

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метання в зв'язку з умовами заповнення «комірки» лопатевого барабана, утворюючи кількості комірок барабана, форми і маси порції в них.

Недоліком порційних ремінних зернокидачів є нерівномірність швидкості метання через прослизання частини зерна на ділянці підйому стрічки після натискного барабана, що не забезпечує умови для ефективного розділення і очищення зерна.

Безременні порційні зернокидачі з лопатевим барабаном усувають недоліки ремінних лопатевих зернокидачів – можливі поперечні вібрації ремня у вертикальній площині і ковзання зерна на його похилій ділянці після лопатевого барабана. Він має один робочий лопатевий барабан з кожухом замість трьох, у ремінного відпадає необхідність нескінченного ремня.

Порційний зернокидач з горизонтальною віссю обертання лопатевого барабана представлений на рисунку 1.5 [23, 24].

Рисунок 1.5 - Порційний
кидач з горизонтальною віссю
обертання лопатевого
барабана

Кидач містить раму (1), кожух (2) з завантажувальним і випускним пристроями, розташованого усередині кожуха барабана з лопатями, які вироблені з двох з'єднаних між собою частин, що мають в поперечному перерізі відповідно клиноподібну і прямокутну форми, розташованих під різними кутами до радіусу барабана, бункер (4).

До основи лопатей закріплені гнучкі клапани, виконані з легкого і міцного матеріалу (наприклад, з капронової тканини). Барабан має кільцевий та ведучий диски, між якими закріплені лопаті. Ведучий диск закріплений на привідному валу, який через клинопасову передачу з'єднаний з валом електродвигуна. Барабан встановлений в равликоподібному корпусі, що має випускний патрубок. Між барабаном і циліндричною частиною корпусу є зазор не більше 1 мм для проходження кінця клапанів, які закривають міжлопатевий простір. Корпус має оглядовий люк і бункер із заслінкою встановлений на рамі.

Зернокидач працює наступним чином. Зерно з бункера надходить в лопатевий барабан, де він захоплюється лопатями та потрапляє в комірки. При відході барабана від циліндричної частини корпусу клапана розкриваються під дією відцентрової сили порції зерна, забезпечуючи вихід матеріалу з комірки. У нижній частині патрубку клапан розправляється і кінець його зтягується в зазор між корпусом та торцем подальшої лопаті.

Порційний безремінний зернометальник з похилою віссю обертання складається з рами (1), закріпленого на ній кожуха (2) з завантажувальним і випускним пристроями, розташованого усередині кожуха лопатевого барабана (3), з рухомими і нерухомими безремінний зернометальник лопатями, бункера (4) (рисунки 1.6).

Зернокидач працює наступним чином, зерно з бункера надходить всередину барабана на нерухому лопать і, ковзаючи по ній, переходить на рухому лопать. У зоні вивантаження порція зерна сходить з рухомої лопаті ковзанням по її поверхні і надходить на направляючу поверхню випускного патрубка, з якої відбувається метання в повітря

1.3. Вплив міцності зернового матеріалу на його якість у післяприбиральній обробці

Внаслідок механічного впливу ушкодження зерна можна умовно розділити на три групи: бите зерно, зерно з мікротравмами, зерно з макротравмами [25, 26].

Бите зерно легко відділяється при сортуванні і при аналізі на чистоту насіння.

Макротравмами називають пошкодження, при яких від зернівки відокремлюється якась частина, що видно неозброєним оком. До макротравм відносяться такі типи пошкоджень: зародок відбитий повністю або частково ендосперм, сім'ядолі, перисперм – пошкодження, повністю видалені оболонки

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насіння. Від макротравм зародка насіння гине, а решта травм цієї групи викликають глибокі зміни в насінні, які значно знижують посівні і врожайні якості насіння.

Мікротравми візуально не спостерігаються, але завдають великої шкоди. До них належить: омертвіння частини тканини насінини, яка не відокремлюється від насінини і не бере участі в її життєдіяльності і отруює зародок продуктами розпаду. До мікротравм також відносяться мікропошкодження зародка, сім'ядолей, ендосперму, перисперму з внутрішніми тріщинами, мікропошкодження оболонок насіння, мікротріщини, які утворились при відчуженні насінини від материнської рослини, а також різні вм'ятини, що виникають від ударів при підвищеній вологості.

Під час роботи зернокидачів у виробничих умовах основний тип деформації зерна виникає в наслідок статичного стиснення, динамічних ударів і тертя. Під таким впливом, зерно може змінювати форму, розмір, механічні властивості та фізичний стан, що суттєво впливає на посівні та продуктивні якості зерна. Тому на стадії проектування параметрів і режимів роботи зернокидачів необхідно вивчення фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів.

Структура насіння зернових культур, за даними багатьох досліджень, має неоднорідність, або анізотропію. Зовнішній вигляд зернівки можна описати як ліпсоїд. Залежно від багатьох факторів: сорту, території вирощування і умов проростання, зернівка може мати овальну, яйцевидну або бочкоподібну форму. Спинкою прийнято назвати випуклу сторону зернівки, а черевцем - протилежну їй. Уздовж черевця проходить борозна різної глибини. Зародок розташовується на нижньому кінці зернівки (рис 1.7.).

Будова зернівки дозволяє говорити про неоднорідність його будови, внаслідок чого можна зробити висновок, що міцність зерна залежить не тільки від ступеня механічного впливу, а й від властивостей самого насіння.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вивченням механічних властивостей насіння пшениці та ячменю займалося багато вчених [24-30].

Так, за даними Купермана Ф. М. дуже негативно впливає на розвиток проростка видалення шматочка ендосперму у насіння пшениці, який прилягає до зародка з спинної сторони.

Рисунок 1.7. - Структура насіння зернівки

Це ж відмічають Скрипчинський і В. В. і Руденко Є. В. Савченко М. П. вважає, що передзародкова частина спинки зерна є найбільш чутливою до механічних пошкоджень. Єрмілов Г. Б. установив, що у кукурудзи дуже небезпечне пошкодження на спинній стороні, в верхній частині зерна. Холодний Н. Г. вважав, що порушення цілісності алеїронового шару приводить до негативних наслідків, так як він є провідним шаром фізіологічно активних речовин із ендосперму у зародок.

Результати досліджень [25, 31, 32, 33] підтверджують, що властивості зерна, а саме опірність руйнуванню (величина прикладеної сили, що призводить до руйнування), при різному положенні додатку навантаження неоднакова. Величина руйнівного навантаження визначалася в трьох основних положеннях зернівки («спинка-борозенка», «бічок-бічок», «стоячи») (рис 1.8).

Рисунок 1.8 – Напрямок навантаження на зерно при стисканні

За даними [14], зусилля, що призводить до руйнування зерна ячменю, становить у положенні: "спинка-борозенка" - 20,9 кгс, "бічок-бічок" - 13,7 кгс, "стоячи" - 14,5 кгс.

Залежність міцності властивостей зерна від вологості, як від одного з основних факторів, докладно описані [25-31]. Встановлено, що збільшення вологості зерна пшениці призводить до зменшення руйнівного навантаження (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Руйнівна сила при статичному стисканні, кгс

Сорт пшениці	Вологість, %			
	11	12	13	14
Досконала	14,6	13,5	13,0	12,4
Дорідна	13,3	13,2	12,7	12,7
Дорідна	12	11,8	11,7	10,8
Статна	10,8	10,3	10,2	10,0
Українка	10	9,4	9,1	9,1
Запашна	9,9	8,7	8,1	8,1

За результатами досліджень [25], величина руйнівного навантаження коливається в широких межах як залежно від сорту пшениці, так і в межах сорту залежно від розмірів одиничної зернівки. У межах одного сорту найбільші зерна мають більшу опірність. Ця закономірність підтверджується дослідженнями

багатьох учених, зокрема [34]. Він встановив, що при зерно твердої пшениці з вологістю 9-11 % руйнується при додатку зусилля 15-17 кгс, а зерно м'якої пшениці при відповідній вологості - 7-9 кгс. Дослідження міцних властивостей в залежності від розмірів зерен показали, що крупні зерна твердої пшениці руйнуються при 17-21 кгс, зеленого жита - при 16-18 кгс і ячменю - 17-19 кгс. Руйнування дрібних зерен відбувалося при додатку навантаження в 8-11 кгс для пшениці, 6-8 кгс для жита та 12-14 кгс для ячменю.

Міцність зерна залежить як і від зони вирощування культури, що детально викладено у робота [29]. Встановлено, що середні зусилля, що призводять до руйнування зерна м'якої пшениці, що вирощується у східних районах, коливаються від 3,5 до 7,4 кгс, з інших районів - від 1,5 до 5,4 кгс, а для твердої пшениці - від 6,8 до 8 кгс.

Деформацію зерна можна розділити на 2 типи: пружна та залишкова. Пружна деформація переважає при зниженій вологості, при тому практично непомітна залишкова, що зростає зі збільшенням вологості.

У роботі [35] доведено, що при дослідженні ударної дії на зерно з підвищенням вологості зерна його міцність збільшується до певних значень, потім різко знижується. Дослідження проводилося при падінні на зерно з різною висоти вантажу масою в 200 гр. (рис 1.9). Також С.Д. Птицн виявив закономірність зниження посівних якостей насіння при багаторазовому впливі ударного навантаження. У цьому опті використовувався маятник довжиною 2 м., на кінці якого закріплювався буюкс із зерном. Маятник відводився на кут 900, потім падав до зіткнення з нерухомою перешкодою зі швидкістю 6 м/с. Величина сил удару приблизно в 10 разів менша за ударне навантаження, що руйнує зерно.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.9 – Залежність міцності зерна різної вологості від ударного навантаження

Вплив циклічних динамічних навантажень на зерно досліджено в [36]. Для оцінки ступеня динамічних впливів використовувалась розрахункова величина ударного навантаження, що визначається за формулою:

$$q = 0,5m \cdot V^2 \quad (1.1)$$

де q - ударна робота;

m - маса вантажу, кг;

V^2 - швидкість вантажу в момент удару, м/с.

Дослідження міцності фуражного зерна під дією ударних навантажень у [32] встановлено, що характерні для більшості матеріалів властивості підвищувати свою міцність із збільшенням швидкості навантаження застосовують так само і до зерна (рис. 1.10).

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.10 – Вплив циклів навантаження на польову схожість P_B

Багаторазові дослідження показують, що швидкість зіткнення 26,1 м/с призводить до руйнування 18% зерен ячменю, 65,5 м/с - 65%, а при збільшенні швидкості удару до 100-114 м/с гарантовано відбувається руйнування всіх зерен. З огляду на практичну неможливість визначення динамічних характеристик зерна у [32] запропоновано ввести в розрахункову формулу міцності поправку, або коефіцієнт динамічності. Дослідні дані для фуражного зерна дозволяють отримати величину $k_d = 1,6-2,0$.

Застосування розробленого методу щодо впливу динамічних навантажень на посівні якості пшениць сорту «Харківська 46» підтвердило, що зі збільшенням числа циклів навантаження польова схожість насіння істотно знижується (рис. 1.11).

Рисунок 1.11 – Залежність схожості насіння від ушкодження

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зниження схожості пояснюється зниженою енергією проростання. Висновок, стосовно більшої схожості зерна в лабораторних умовах, ніж в польових умовах, підтверджена багатьма дослідженнями.

У роботах [33-36] досліджували міцність пошкодженої частини зернового матеріалу у вихідній масі, надалі визначали посівні якості зерна, а також мінімальну силу, що веде до появи мікротравм. Було зроблено висновок про зниження посівних якостей при отриманні мікротравм. Збільшення швидкості робочих органів машин для обробки зерна елементів до 40 м/с призводить до зростання дроблення та мікротравмування до 65 і 73% відповідно. При цьому лабораторна схожість знижується до 64%. Підвищення вологості насіння призводить до зниження ступеня їх дроблення, тоді як мікротравмування залишається практично не змінюється. Лабораторна схожість зі збільшенням вологості збільшується, досягаючи максимуму при 17%, потім знижується. Збільшенням розміру зерновок з 2,3 до 3,1 мм тягне у себе зростання як дроблення, і мікротравмування насіння до 14-16%, тоді як лабораторна схожість падає лише з 4%.

Аналіз дослідження дії навантажень на зерновий матеріал дозволяє зробити висновок про залежність міцності зерна від багатьох факторів. Найбільш значиме з них - величина прикладеної сили, вологість, вид і сорт культур, розміри, зона вирощування. Отже, на етапі проектування робочого органу зернокидача потрібні характеристики міцності зерна, що обробляється, і його пружних властивостей.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Кінематика пневмотранспортера

При роботі вертикального пневмотранспортера, на частинки, що рухаються по повітропроводу, в загальному випадку діють три сили (рисунок 2.1): тяжкості – G_c Н, відцентрова – C_c Н, аеродинамічна – Q_a Н [37-39].

Проекції цих сил на осі координат

$$X: C_c \cdot \sin \alpha'' = 0,$$

$$Y: Q_a - G_c + C_c \cdot \cos \alpha'' = 0.$$

де α'' – кут відхилення відцентрової сили від аеродинамічної, град.

З отриманих виразів висловимо рушійну (аеродинамічну) силу частки

Рисунок 2.1 – Сили що діють на частинку у вертикальному пневмотранспортері

$$Y: Q_a = G_c + C_c \cdot \cos \alpha''. \quad (2.1)$$

Швидкість частинки v м/с у вертикальному транспортері дорівнює [38, 39]

$$v_p = v - v_{кр}, \quad (\text{м/с}), \quad (2.2)$$

де v – швидкість повітря, м/с;

$v_{кр}$ – критична швидкість (витання), м/с.

Повний натиск p_n Па вертикального пневмотранспортера складається з динамічного або швидкісного напору p_d Па, необхідного для подолання інерції повітря та вантажу, і статичного p_c Па [39, 40]

$$p_n = p_o + p_c. \quad (2.3)$$

Методом перетворень із рівняння кінетичної енергії та роботи повітряного потоку: $E = \frac{m_z \cdot v_p^2}{2} + \frac{m_e \cdot v}{2}$ Дж і $W = p_o \cdot A \cdot v$ Дж за умови, що $E = W$ отримуємо рівняння динамічного напору

$$p_o = 0,5 \cdot \rho_e \cdot v^2 \cdot (1 + 0,72 \cdot \kappa_m), \quad (2.4)$$

де m_z, m_e – маса вантажу та повітря, кг;

v_p, v – швидкість вантажу та повітря, м/с;

ρ_e – щільність повітря, кг/м³;

κ_m – коефіцієнт масової концентрації суміші;

A – площа перерізу трубопроводу, м².

Статичний напір визначається підсумовуванням тисків на тертя p_γ Па у трубопроводі, місцевих опорів p_m Па і підйому вантажу p_n Па, що транспортується

$$p_c = p_\gamma + p_m + p_n. \quad (2.5)$$

1. Втрати тиску на тертя під час руху по трубах суміші повітря та вантажу

$$p_m = p'_\gamma \cdot (1 + \kappa_c \cdot \kappa_m), \quad (2.6)$$

де p'_γ – втрати тиску на тертя при русі повітря по трубах, Па,

κ_c – коефіцієнт, що залежить від концентрації суміші, швидкості та фізико-механічних властивостей вантажу.

2. Втрати тиску на місцеві опори

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_m = 0,5 \cdot \kappa_\xi \cdot \rho_6 \cdot v^2, \quad (2.7)$$

де κ_ξ – коефіцієнт місцевого опору.

3. Втрати тиску при підйомі на висоту $h_{m\partial}$

$$p_m = 0,5 \cdot \kappa_\xi \cdot \rho_6 \cdot v^2, \quad (2.8)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с.

Повний натиск, з урахуванням всіх втрат тиску

$$p_n = p_\partial + p_m + p_m + p_n. \quad (2.9)$$

Визначивши повний напір p_n потужність двигуна N_n для приводу вентилятора визначається

$$N_n = \frac{Q_{\text{овн}} \cdot p_n}{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}, \quad (2.10)$$

де η_1 – к.к.д. вентилятора;

η_2 – к.к.д. підшипників;

η_3 – к.к.д. передачі;

$Q_{\text{овн}}$ – об'ємна витрата повітря, м³/с.

Аналіз наведених формул показує неможливість їх застосування для пневмогвинтового транспортера у зв'язку з тим, що не враховуються сили, що впливають на частину від гвинта, а також складність траси при роботі шнека в кожусі.

2.2. Теорія процесу транспортування зерна в потоці повітря

Відомі теоретичні дослідження щодо вивчення процесу транспортування сипучого матеріалу в потоці повітря. Експерименти Вільгельма і Валентина [41] показали, що, регулюючи потоки твердих частинок і повітря, можна спостерігати всі явища, характерні для псевдозрідження – починаючи від шару в щільній фазі і далі через розведену фазу, аж до пневмотранспортної.

При зростанні швидкості газу, що пропускається через пористий матеріал, збільшується перепад тиску Δp (Па), величина якого визначається швидкістю газу і характеристиками шару:

$$\Delta p = L(1 - \varepsilon) \cdot (Q_S - Q_F) \quad (2.9)$$

де L ~ товщина псевдозрідженого шару, м;

ε – середня пористість шару;

Q_S, Q_F - питома вага твердих частинок і газу, кг/м³.

При певній швидкості повітря v шар розширюється. У цей час обсяг порожнини ε зростає. Цей стан, характерний для початку псевдоочікування; шар знаходиться в стані псевдорідини, що підтверджується вібрацією, [79] яка викликає рух зважених у повітрі твердих частинок, подібно до в'язкої рідини.

Оскільки це ще нерухомий шар, то перепад тиску Δp (Па) також можна виразити з коефіцієнта модифікованого опору f_m , (Теорія течії повітря через нерухомий шар):

$$\Delta p = \frac{2f_m \cdot G^2 \cdot L \cdot (1-\varepsilon)^{3-n_d}}{D_p \cdot \Phi_S^{3-n_d} \cdot g \cdot \varepsilon^3 \cdot Q_F} \quad (2.10)$$

де G - вагова швидкість газу, кг/см ,

n_d - показник режиму руху,

D_p - діаметр частинки, м,

Φ_s - фактор форми частки,

g - прискорення вільного падіння, м/с.

Вагову швидкість газу для початку псевдозрідження:

$$G_0^2 = \frac{D_p \cdot g_s \cdot G_F \cdot (G_s - G_F) \cdot \varepsilon_0^3 \cdot \Phi_s^{3-n_d}}{2f_m \cdot (1 - \varepsilon_{s0})^{2-n_d}}$$

де n_d - показник режиму руху, (для ламінарного потоку $n_d=1$, тоді як при переході до турбулентного режиму, що встановився $n_d \rightarrow 2$).

Так як більшість систем «повітря-тверді частинки» переходять у стан кипіння при $Re < 10$, то при $f_m = \frac{100}{Re}$ і $n=1$, то G_0 отримаємо:

$$G_0 = \frac{0,005 D_p^2 \cdot g \cdot Q_F \cdot (Q_s - Q_F) \cdot \varepsilon_0 \cdot \Phi_s^2}{\mu \cdot (1 - \varepsilon_0)}, \quad (2.11)$$

де μ – в'язкість газу, кг/м·с.

Далі методом перетворень виводиться узагальнене рівняння, що виключає параметри Φ_s і ε_0 :

$$G_0 = \frac{C_D \cdot D_p^2 \cdot g \cdot Q_F \cdot (Q_s - Q_F)}{\mu}, \quad (2.12)$$

де C_D - функція від $\frac{D_p \cdot G}{\mu}$,

Подальше вивчення вагової швидкості повітря для початку псевдозрідження призводили до подібних у своїй основі рівнянь, і відмінністю цих рівнянь були коефіцієнти, і ступеня, які залежать від числа Рейнольдса Re .

Постійна швидкість витання буде досягнута, коли сила ваги

$$F_g = \frac{\pi}{6} \cdot D_p^3 \cdot (\rho_s - \rho_f), \quad (2.13)$$

компенсується протилежно спрямованою (вгору) силою тертя

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \frac{\rho_f}{g} \cdot \frac{\pi \cdot D_p^3}{4} \cdot v_t^2, \quad (2.14)$$

де v_t - швидкість вільного падіння частинок у газі, м/с.

Однак наведені вирази не можуть бути повною мірою використані для роботи пневмогвинтової установки, так як в даному випадку не буде вільного витання частинок, а так само не враховані сили, що впливають на частинку від поверхні гвинта.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета і завдання та загальна програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є вдосконалення режимів роботи стрічкового зернокидача, які впливають на якість оброблюваного зернового матеріалу.

Фактори, які впливають на якість зерна, що обробляється і зокрема його травмування робочим органом експериментального зернокидача умовно можна розділити на наступні групи (рис. 3.1.):

Рисунок 3.1 - Фактори, які впливають на якість зерна, що обробляється

Програма експериментальних досліджень передбачає (рис. 3.2):

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.2 - Програма експериментальних досліджень

3.2 Обладнання та методика дослідження зерен на стиск

Дослідження механічних властивостей поодиноких зерен пшениці проводилися під дією навантажень, що імітують роботи, які виникають у реальних умовах, що дозволяло визначити наступні параметри:

- допускання зусилля і напруги, при яких у структурі зернівки починають з'являтися мікротріщини;
- руйнівні зусилля та деформації;
- деформацію зернівки на різних етапах навантаження;
- модуль Юнга зерна пшениці.

Обладнання. Для проведення експериментальних досліджень використане лабораторне обладнання (рис. 3.3), що складається з гвинтового преса з

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприводом 1, датчиків навантаження 2 і переміщення 3, підсилювача і фільтрів сигналу 4, сукня спотворення 5Ц платі аналого-комп'ютера з встановленим необхідним програмним забезпеченням 7.

Рисунок 3.3 - Установа для визначення міцності зерна

а) блок-схема установки

1 - гвинтовий прес; 2 – датчик навантаження; 3 – датчик переміщення;
4 – фільтр-підсилювач; 5 – плата сполучення; 6 – плата АЦП; 7 – ПК.

б) зовнішній вигляд установки

1 - електродвигун; 2 - гвинтовий прес; 3 – плата АЦП;
4 - блок живлення; 5 - ПК

Складовою частиною установки є прес для статичного випробовування одиничних зерновок.

Випробовуванням піддавали одиничні зерна м'якої пшениці сорту «Гром», знятої з колосу, а також зерна з бункера комбайна, після обробки машинами ЗАВ-40 та ЗМ-60.

При вимірюванні зусилля та деформації похибка становила 0,4о. Довірчу ймовірність приймали рівною 0,95. Виходячи з цього, кількість повторностей для кожного дослідження становила 27 [42]. Для нашого випадку брали 30 повторностей. При проведенні кожного дослідження з наважок зерна відбирали 30 повноцінних зерен, які не мають зовнішніх пошкоджень.

Дослідження проходили у такій послідовності. Зерно встановлювали у рамку. Від ковзання зернівка фіксується і утримується у певному положенні

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

власною вагою штока. Зерна досліджували в різних положеннях, як показано на рис. 3.4.

а) - стоячи; б) - спинка-бороздка; в) бочок-бочок

Рисунок 3.4 - Положення зерен при сжатті

Далі за рахунок обертання ходового гвинта, встановленого в нерухомій напрямляючій, створювали зусилля стиснення. Величина навантаження і деформації зернівки під час проведення досліду фіксувалася датчиками. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення результати дослідження представляли у вигляді діаграми деформації зернівки залежно від навантаження.

На завершення кожної серії дослідів датчики тензобалки тарувалися різновагами загальною масою до 25 кг з кроком 0,5 кг. Для проведення тарування датчика переміщення, заснованого на рухомому реохорді, використовувався набір плоскопаралельних мір. Тарування датчика переміщення також проводилося після кожної серії дослідів в діапазоні від 0 до 5 мм з точністю 0,05 мм.

Одержані в результаті досліджень робочі діаграми стиснення в переважній більшості випадків подібні між собою, що дає можливість опису процесу руйнування зерен при стисканні. Кожна з отриманих діаграм розбивалася на характерні ділянки, аналіз яких дозволяє докладно розглянути процес опору зерен зовнішньому навантаженню.

Виходячи з даних обробки 30 діаграм стиснення зерна по кожній серії дослідів, визначали середні величини зусиль і деформації, що відповідають кожній фазі руйнування. Значення зусилля та деформації визначалися як середнє арифметичне окремих вимірів за відомою формулою (3.1) [43]:

$$a_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m a_i}{m}, \quad (3.1)$$

де $\sum_{i=1}^m a_i$ - сума всіх спостережень величин; $i=1$
 m – число повторностей (вимірювань).

Для оцінки величин випадкової помилки визначили середнє квадратичне відхилення від середнього значення випадкової величини за формулою (3.2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (a_i - a_{cp})^2}{m - 1}}, \quad (3.2)$$

$\sum_{i=1}^m (a_i - a_{cp})^2$ – сума квадратів відхилень випадкової величини від її середнього значення

Для оцінки відносної мінливості застосовували коефіцієнт варіації (3.3):

$$\nu = \frac{\sigma}{a_{cp}} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

a_{cp} – середнє значення випадкової величини;

σ – середньоквадратичне відхилення.

3.3 Методика визначення якості обробленого зернового матеріалу

3.3.1 Методика визначення пошкоджень обробленого зерна.

Визначення ступеня пошкодження зерна зернокидачем визначали за допомогою однофакторного експерименту залежно від величини подачі матеріалу на нескінченну стрічку і від швидкості її руху.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікротравмування зерна визначали методом фарбування. Аналізували проби по сто насінин у чотириразовій повторності. Аналізу піддавалися зерна з різними типами ушкоджень:

- з ушкодженням зародком;
- з ушкодженою оболонкою зародка;
- з ушкодженням ендоспермом.

Щоб уникнути фарбування повноцінних зерен, відповідно методики [17], кожену пробу зерна попередньо витримували 15 хв. у концентрованому розчині кухонної солі. Фарбування також проводили у 0,5% розчині конгороту протягом 5 хв. Після закінчення зазначеного часу розчин барвника зливали, зерно кілька разів промили проточною водою, після чого розподіляли на марлевій тканині для підсушування. Підсушене зерно розглядали під лупою з 15-кратним збільшенням.

Макроушкодженого зерна визначали зробивши чотири наважування масою 50 г. відсотковому відношенні до загальної маси наважка. Зерна, що мають макроушкодження, відділили від основного матеріалу, і зважували на терезах ВЛТК-500 з точністю до 0,01 г. Після визначення маси макроушкодженого зерна обчислювали його вміст відсотковому відношенні до загальної маси наважка.

3.3.2. Методика визначення посівних якостей обробленого зерна.

Основними посівними якостями насіння є схожість зерна та енергія проростання. Ці показники визначали шляхом пророщування.

Схожість є найбільш важливим показником посівних якостей насіння та означає його здатність до нормального проростання в польових умовах. Схожість насіння – це показник, який вказує на кількість схожого насіння у % від загальної маси.

Енергія проростання насіння характеризує дружність появи нормальних проростків за термін, встановлений для кожної культури, а також життєздатність насіння, від якої залежить швидкість його проростання. Насіння з високою енергією проростання дає ранні й рівномірні сходи. Для проведення досліду із масиву зерна, який пройшов обробку експериментальним зернокидачем, здійснили відбір наважок

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зерна, а з кожної наважки виділили чотири проби по 100 насінин .

Схожість и енергія проростання визначаються шляхом пророщування в рулонах. На двох шарах зволоженого фільтрувального паперу розміром 10х100 см розклали проби насіння зародками вниз по лінії, яка проведена на відстані 2-3 см от верхнього краю листа. Потім смуги нещільно згортували і у вертикальному положенні помістили в вертикальному положенні у піддони термостата, в яких підтримували рівень дистильованої води 1-2 см. Нормальними умовами для пророщування є постійний рівень води у піддонах з рулонами, температура + 20°C та темрява в термостаті під час проведення досліду.

Енергію проростання насіння визначали через чотири дні після закладання проб. Рулони з пробами витягували, розвертали, знімали верхню смугу фільтрувального паперу та оцінювали проби. До нормально пророслих відносили насіння, що має не менше 3 добре розвинених корінців і паросток довжиною не менше половини довжини насіння. Так само враховували непроросле насіння, насіння з цвіллю та загнивші.

Потім рулон нещільно згорнули та повертали в термостат. Потім контролювали схожість на сьомий день. Враховували паростки з непошкодженим колеоптилем, де зелені листочки в колеоптилі займали не менше половини його довжини. До непророслого, несхожого насіння відносили набряклі, тверді, загнили і ненормально проросли [18].

3.3.3. Методика определения влажности обработанного зерна.

Для визначення зниження вологості зернової маси була застосована експрес-методика. Досліджували вологість вихідної зернової маси та зернову масу після пропуску через експериментальний зернокидач, після кожної стадії обробки (після кожного пропуску маси через зернокидач). Використовувався портативний вологомір SuperTech, що дозволяє поза лабораторними умовами та з високою точністю (до 0,2 %) визначити вологість зерна.

Вимірювання вологості проводили наступним чином: відміряну вбудованою мірною чашкою наважку зерна подрібнювали обертанням кришки подрібнювача,

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

далі натискали кнопки TEST і на дисплеї приладу виводилося значення вологості зернового матеріалу.

3.4 Методика оцінки адекватності результатів експериментальних досліджень

Для визначення необхідної кількості повторюваностей дослідів при проведенні експериментальних досліджень використовували рекомендації Мельникова С.В. та інших [32, 44, 75].

З метою підвищення точності вимірювань звертали увагу на відповідність вимірювально-реєструючої апаратури характеристикам вимірюваних процесів. Усі вимірювальні прилади перевіряли на початку та наприкінці досліджень за їхніми робочими характеристиками. Налаштування вимірювальної апаратури виконували ті самі обличчя.

Необхідну кількість повторюваностей дослідів при проведенні експериментальних досліджень визначали з урахуванням вбраної надійності опти, що дорівнює 0,95.

При масових вимірах однієї величини оцінку її проводять за середнім арифметичним, а помилку опти визначали середнім квадратичним відхиленням. Граничним значенням помилки окремих вимірювань приймали величину $\pm 3\sigma$ при триразовій повторності $\pm 2\sigma$ при чотириразовій.

Знаючи надійність опти та відносну помилку, визначали необхідну кількість повторюваностей дослідів за відомою залежністю.

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили з використанням методів математичної статистики та теорії помилок [32, 44, 75]. При цьому визначали середню арифметичну сукупність декількох вимірювань і оцінювали розсіювання показника, що вивчається, за відомими формулами.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Граничним значенням відхилення окремих вимірювань приймали величину найбільшої статистичної помилки. Вимірювання, що мають значення помилки, що перевищують граничну величину, вважали промахами і вибрано

Істотність відмінностей між дисперсіями оцінювали за критерієм Фішера F . Якщо фактичне значення критерію Фішера перевищувало табличне, то відмінність між порівнюваними дисперсіями вважали суттєвим.

F - критерій (критерій Фішера) визначається за залежністю:

$$F = \frac{D_a}{D_y} \leq F_{табл} \quad (3.4)$$

де D_a – дисперсія адекватності, або залишкова дисперсія;

D_y - дисперсія помилки дослідів.

Дисперсія адекватності визначається за такою формулою:

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} (\bar{y}_i - y_i)^2}{N - d} \quad (3.5)$$

де d – число ступенів вільності у рівнянні регресії

Дисперсія помилки дослідів обчислюється за такою формулою:

$$D_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^m (\bar{y}_{ij} - y_i)^2}{(m - 1)N} \quad (3.6)$$

Де j - номер повторності;

m – число повторностей;

$(m-1) N$ - число ступенів свободи при обчисленні дисперсії помилки дослідів.

Якщо розраховане значення F - критерію не перевищує табличного, то з відповідною довірчою ймовірністю модель можна вважати адекватною.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Визначення механічних характеристик зерна пшениці

4.1.1. Результати дослідження зерен на стискання

Відповідно до програми експериментальних досліджень (п.3.1.1) були проведені випробування на міцність зернового матеріалу, яке піддавалося при обробці різній кількості технологічних операцій. За ступенем травмування пошкодження зерна класифікують на 2 великі групи: макро та мікротравми [24, 25]. Перша група включає ушкодження, пов'язані з відчленуванням від насіння якоїсь частини її органічної речовини, по другій - пошкодження тканин насіння (уколю, вм'ятинь, садна тощо), що не супроводжуються втратою речовини насіння. Випробування проводили для наступних категорій одиничних зернівок: знятих з колоса вручну, проб з бункера комбайна, після обробки машинами ЗАВ-40, ЗМ-60.

У процесі дослідження властивостей зерна пшениць на стиск за допомогою установки для статичного випробування були отримані діаграми залежності зусилля стиснення одиничних зерен від деформації.

Відома характерна особливість структури зерна - анізотропія, тобто неоднаковість його властивостей у різних напрямках. Анізотропія яскраво виражена в оцінці механічних властивостей [31]. Причиною прояву анізотропії зернівки є нерівномірність будови структур зерна, до складу якого входять кілька шарів оболонок, білковий каркас, крохмальний наповнювач (у вигляді зерен), зародок [33].

Закономірність анізотропних властивостей зерна пшениці була підтверджена у процесі дослідів. Аналіз цих опитувань показує, що на величину опору впливає положення зерна у момент застосування навантаження. Навантаження одиничних зерен здійснювали в трьох положеннях.

За результатами дослідів можна зробити висновок: зерно пшениці (в досліді була використана пшениця м'яких сортів) має найбільшу опір у бічному

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

положенні та найменшу опірність у стоячому. Чим більша вологість зерна, тим менша величина руйнівного зусилля (рис. 4.1).

Проаналізуємо робочу діаграму стиснення зусилля та абсолютної деформації м'якої пшениці вологістю 11,5 % у бічному положенні (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 – Робоча діаграма стиснення

Виділимо характерні ділянки *A-B* (умовної плинності), *B-C*, *C-O* (плинності) та точку *E*, яка відповідає моменту руйнування зернівки (рисунок 4.2).

Рисунок 4.2 – Діаграма залежності деформації від зусилля

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкова ділянка діаграми, відрізок “0-А”, є прямою лінією з невеликим кутом нахилу. На цій ділянці відбувається прямо пропорційне збільшення деформації щодо навантаження. На даному етапі навантаження зернівки зберігає свої пружні властивості.

Ділянка “А-В” діаграми відповідає умовній плинності, тобто збільшення деформації при постійному навантаженні. Величина абсолютної деформації в той момент становить приблизно сотні частки. Це пояснюється тим, що на поверхні зернівки відбувається розподіл стискаючої сили по площі, що бере заповнення порожнин у структурі між шарами оболонок. Візуально відрізнити зернівку при знятому на цій ділянці навантаженні від вихідного зернового матеріалу не представляється можливим. Склоподібність не порушена. При 15-кратному збільшенні на поверхні зерна проглядається пляма контакту. За розмірами не перевищує 0,3 x 0,2 мм.

При подальшому збільшенні навантаження яскраво виражена ділянка “В-С”, що характеризується більшим кутом нахилу, ніж ділянка “А-В”. Збільшення деформації прямо пропорційно до збільшення навантаження. Зернівка зберігає свої пружні властивості, але з утворенням незначної пластичної деформації. При знятті навантаження на цій ділянці ближче до точки “С” виявлялася внутрішня тріщинуватість з появою на поверхні зернівки у точці контакту місцевого ущільнення. Збільшення навантаження надалі призводить до яскраво вираженої появи внутрішніх тріщин.

Характерною особливістю ділянки “С-Д” діаграми є збільшення деформації при майже постійному навантаженні. Це явище відбувається за рахунок внутрішнього зсуву елементарних частинок, і як наслідок, наявність значної пластичної деформації.

Значне збільшення пластичної деформації виникає дільниці діаграма “Д-Е”. Ордината точки "Е" діаграм відповідає максимальному навантаженню, при якому зернівка починає руйнуватися, як правило з утворенням поперечної тріщини.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз діаграм дозволив визначити значення допускаємих зусиль, які не викликають змін у структурі зернівки (візуальної появи мікротріщин):

- у бічному положенні можливе зусилля становить 86 Н,
- у положенні «спинка-борозенка» - 69 Н,
- у стоячому положенні - 55 Н.

Однією з величин, які характеризують здатність матеріалу чинити опір стиску в межах пружної деформації є коефіцієнт поздовжньої пружності 1 роду (модуль Юнга). Чим більший модуль Юнга, тим більше матеріал опирається зовнішнім навантаженням у межах пружної деформації. За результатами виконаних випробувань за формулою закону Гука визначали модуль Юнга. Для м'якої пшениці з вологістю 11,5% модуль Юнга склав:

- у положенні «спинка-борозенка» $E=50,6$ МПа,
- у бічному положенні $E=62,4$ МПа,
- в стоячому положенні $E=47,6$ МПа.

Проаналізувавши діаграми напруг і оцінивши стан структури зерна на кожній з ділянок відповідної діаграми, можна визначити значення напруги, при якому в структурі зернівки починають з'являтися мікротріщини. Величина напруги, що допускається (не викликає значних змін, і як наслідок негативного впливу на якість зерна. як насіннєвого матеріалу) у структурі зерна м'якої пшениці становить:

- у бічному положенні – $10,5 \text{ Н/мм}^2$;
- у положенні «спинка-борозенка» – $8,5 \text{ Н/мм}^2$;
- у стоячому положенні – $7,9 \text{ Н/мм}^2$.

4.1.2 Дослідження впливу кількості операцій післяжнивної обробки на механічні характеристики зерна

Розроблена методика визначення механічних характеристик зерна (див. п. 3.1) дозволяє визначати ступінь пошкодження зернового матеріалу в процесі післязбиральної обробки після кожної технологічної операції. Зокрема, були визначені властивості зернового матеріалу після кожного з ключових етапів

збирання зернових культур: зняття з колосу, метання та очищення (після комбайна, після зернокидача ЗМ-60 та після очищення агрегатом ЗАВ-40).

Відомо, що характеристикою міцності будь-якого матеріалу є напруга. Для перевірки властивостей зерна пшениці, ґрунтуючись на даних дослідженнях, на основі діаграм зусиль були побудовані діаграми залежності напруги від відносної деформації для різних положень навантаження одиничного зернівки (рис. 4.3).

Рисунок 4.3 - Діаграми напруг у зернівці залежно від положення навантаження

Аналіз одержаних результатів міцності зерна після кожної з операцій його обробки дозволив побудувати графічну залежність межі міцності зерна від кількості перепусток через машину (рис 4.4). Міцність зерен зі збільшенням кількості перепусток через машини знижується, особливо це характерно для положення «стоячи».

Рисунок 4.4 - Залежність напруги у зернівці від кількості перепусток через машини

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз результатів проведених досліджень показує, що в технологічному процесі післязбиральної обробки зернової маси зі збільшенням кількості операцій післязбиральної обробки знижується якість та збільшується ступінь пошкодження зерна. Дані з досліджень міцності зернової маси, що пройшла обробку різними сільськогосподарськими машинами, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження міцності зернової маси

Положення	Етап обробки	Параметр	Середнє значення	Середнє квадратичне	Коефіцієнт варіації, %
Спинка-бороздка	сніп	РТср.	62	2,43	14,3
		fТср.	0,156	0,019	18,4
		Рразр.	111	22,69	18,35
		fразр.	0,424	0,094	28,1
	ДОН - 1500Б	РТср.	78	23,06	14,56
		fТср.	0,525	0,122	17,22
		Рразр.	109,7	2,64	13,8
		fразр.	0,746	0,025	21,84
	ЗМ-60	РТср.	80,33	20,22	18,22
		fТср.	0,372	0,072	23,07
		Рразр.	97,67	32,26	19,54
		fразр.	0,629	0,129	18,74
	ЗАВ-40	РТср.	60	2,54	16,74
		fТср.	0,278	0,027	19,61
		Рразр.	79	15,79	13,74
		fразр.	0,635	0,118	14,49
Бічне положення	сніп	РТср.	106	3,24	16,5
		fТср.	0,292	0,018	16,01
		Рразр.	157	32,15	13,89
		fразр.	0,628	0,089	15,44
	ДОН - 1500Б	РТср.	97	3,28	15,52
		iТср.	0,238	0,01	10,72
		Рразр.	155,7	32,87	18,88
		iразр.	0,597	0,128	40,56
	ЗМ-60	РТср.	105,3	38,55	15,94
		fТср.	0,238	0,134	14,75
		Рразр.	143,3	13,09	19,13
		fразр.	0,411	23,84	11,5
	ЗАВ-40	РТср.	84	3,34	19,14
		iТср.	0,267	5,49	8,75
		Рразр.	129,3	20,3	15,9
		fразр.	0,683	0,22	13,19
Стояче положення	сніп	РТср.	67	2,46	23,74
		fТср.	0,316	0,01	14,93
		Рразр.	200	24,69	19,44
		fразр.	0,913	0,085	22,93

Продовження табл. 4.1.

Положення	Етап	Парамет	Середнє	Середнє	Коефіцієнт варіації,
	ДОН - 1500Б	РТср.	75	27,54	15,89
		fТср.	0,139	0,116	19,36
		Рразр.	170	1,07	11,29
		fразр.	0,815	0,01	18,59
	ЗМ-60	РТср.	80	22,64	15,48
		fТср.	0,11	0,068	12,52
		Рразр.	127	2,78	22,74
		fразр.	0,728	0,013	11,59
	ЗАВ-40	РТср.	75	13,67	13
		fТср.	0,348	0,1	13,77
		Рразр.	115	3,42	28,1
		fразр.	1,7	0,02	17,4

4.2 Агротехнічна оцінка роботи комбінованого стрічкового зернометателя

4.2.1 Результат визначення пошкодження обробленого зерна

Визначення мікроушкодження зерна проводили відповідно до методики, викладеної в п. 3.3.1 [17]. Травмування оцінювалося за наступних параметрів: швидкість стрічки - 16 м/с, видалення точки забору проб - 8 метрів, число перепусток - 4.

Макро- та мікротравмування вихідного зернової маси збільшується з кількістю перепусток через машину. Також можна зробити висновок про те, що залежність ступеня ушкодження кількості операцій не є лінійною. Пояснити це можна накопиченням мікроушкоджень у структурі зернівки і зниженням граничних напруг, що витримуються цією зернівкою, що підтверджується даними літературного аналізу [44, 45]. Залежність пошкодження кількості пропусків представлена рис. 4.5

Рисунок 4.5 - Залежність пошкодження насіння від кількості перепусток через експериментальний зернокидач

Так само були визначені параметри макротравмування обробленого зернового матеріалу за довжиною метання. Графік залежності представлений на малюнку 4.6.

Рисунок 4.6 - Макропошкодження насіння по довжині кидання

Аналіз залежності дозволяє зробити висновок, що зі зростанням видалення від зернокидача ступінь макропошкодження обробленої зернової маси знижується. Пояснюється такий характер залежності різницею в масі та аеродинамічними властивостей окремих зернівок – травмовані, сколоті, неповноцінні і щуплі зерна, схильні до появи макротравм, мають відносно невисоку масу і осаджуються поблизу

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зернокидача. У свою чергу, повноцінні зерна, мають високу масу і мають гарні аеродинамічні властивості, що обумовлює їх вісь на більшій відстані.

Для оцінки впливу швидкості руху стрічка вдосконаленого зернокидача на ступінь пошкодження матеріалу, що обробляється, були відібрані проби зернового матеріалу при різних швидкостях руху. Результат визначення ступеня травмування залежно від швидкості наведено на рис. 4.7.

Рисунок 4.7 - Залежність пошкодження насіння від швидкості руху стрічки

4.3.2. Результати визначення енергії проростання та схожості обробленого зерна

До основних посівних якостей насіння відносять схожість і енергію проростання. Показники визначали відповідно з ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості [46]. Також визначали вологість вихідного зернової маси та матеріалу, що пройшла обробку експериментальним зернокидачем, а також міцність обробленого зернового матеріалу відповідно до розробленої методики.

Результат схожості та енергії проростання виражений у відсотках і визначений як середнє арифметичне з трьох аналізованих проб насіння по 100 штук (таблиця 4.2).

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати визначення посівних властивостей насіння

Показники	Віддалення від зернокидача, м.			
	Вихідний матеріал	3,5	5	7,5
Енергія проростання, %	61	68	76	82
Схожість, %	95	96	97	99

За вихідний матеріал приймали зерна, виділені з купи зерна, прибраного комбайном. Аналіз даних таблиці 4.2 дозволяє зробити висновок, що якісні характеристики зернового матеріалу різняться залежно від видалення його від зернокидача в силу поділу вихідної зернової маси на фракції. Крім того, видно, що енергія проростання та схожість збільшуються зі зростанням віддаленості від зернокидача, що пояснюється поділом вихідного зернового матеріалу за класами. Фракція, яка займає саме віддалені від експериментальної установки уловлювачі, має, як уже було зазначено раніше, максимальний показник маси 1000 насіння і повністю звільнена від дроблення, розплющеного і пошкодженого насіння. Таким чином, можна зробити висновок, що зернокидач може бути використаний як первинний дільник зерна за класами - відходи, фураж і посівний матеріал.

Також очевидно, що схожість змінювалася незначно, проте слід зазначити, що визначення цього показника проводилося в лабораторних умовах. У польових умовах, тобто при посіві, відсоток схожості варіюватиметься залежно від точки забору пробий значно.

Крім того, для оцінки ступеня впливу експериментального зернокидача на оброблюваний матеріал, один і той же зерновий матеріал після вилучення його з уловлювачів, пропускався через кидач у чотириразовій повторності. Для оцінки відбиралися проби при різних (1,2,3, і 4) кількості пропусків зернової маси через експериментальну установку.

Графічна залежність енергії проростання та схожості залежності від кількості перепусток через експериментальний зернокидач наведена на рис. 4.8.

Рисунок 4.8 - Результати визначення енергії проростання та схожості в залежності від кількості пропусків

Аналіз даних дозволяє зробити висновок, що у насіння, яке пропущене через зернокидач один раз, енергією проростання вище вихідної, що пояснюється виведенням їх зі стану спокою при механічному впливі, що не призводить, однак, до травмування самого насіння і появи в його структурі мікротріщин. При 2-кратному пропуску через зернокидач посівні властивості насіння практично не змінюються і починають незначно знижуватися при 3-х і 4-кратному пропуску через металник. Аналіз джерел [25, 34, 35, 44] вказує на те, серійні зернокидачі вже при одноразовому пропуску значною мірою негативно впливають на посівні якості насіння зернових культур. Пояснити це можна більш сильним, ніж з боку експериментального металника, механічним впливом на оброблюваний зерновий матеріал і накопиченням мікроушкоджень у зернівці.

4.3.3. Результати визначення вологості обробленого зерна

У ході експериментальних досліджень було визначено вплив швидкості руху стрічки зернокидача на зниження вологості оброблюваного зерна. Експериментальні дослідження проводилися в сонячну погоду, при температурі навколишнього повітря 25-27 °С і швидкості вітру 2,5-3 м/с.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При швидкості руху стрічка, аналогічна серійному зернокидачу, зниження вологості зернової маси досягає 1,45-1,78 %, що на 0,54-0,8 % відповідно більше, ніж при використанні серійного зернокидача.

Вологість вихідної зернової маси становила 15,8 %, а після обробки експериментальним зернокидачем (при швидкості руху нескінченної стрічка 14 м/с) знизилася до 14,02 %. При швидкості руху стрічка вище 14 м/с динаміка зниження вологості зернового матеріалу, що обробляється, знижується. Так, якщо зі збільшенням швидкості руху стрічки, з 8 до 10 м/с вологість зернової маси знижувалася на величину близько 0,56 % за одну перепустку, то зі збільшенням швидкості з 14 до 16 м/с зниження вологості становило лише 0,07 %.

Таким чином, можна зробити висновок, що в діапазоні швидкостей руху нескінченної стрічка, що найбільше задовольняє умовам технологічного процесу, експериментальний зернокидач показує істотно більше зниження вологості оброблюваної зернової маси при одноразовому пропуску через машину - 1,78 %. У той же час, вологість зерна після обробки зернокидачем ЗМ-60 знижується на 0,98 %, що приблизно підтверджується і даними інших досліджень.

Таким чином, можна зробити висновок, що істотною перевагою використання експериментального металника є можливість виділення вологи із зерна при обробці свіжозбираного вологої зернової маси, що найчастіше є ключовим завданням післязбиральної обробки, наприклад при впадінні опадів у період збирання і необхідності термінового приведення маси стан для запобігання його псуванню.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ

5.1 Вимоги безпеки під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт із зерном

Під час проведення робіт зі зберігання та переробки зерна керівникам сільськогосподарських підприємств, фермерських господарств необхідно особливу увагу звертати на дотримання вимог безпеки [50-52].

Керівникам зернозаготівельних і зернопереробних підприємств, з метою забезпечення стану охорони праці на належному рівні та запобігання травмування працівників, необхідно перевірити:

- наявність захисних огорожень на рухомих частинах виробничого обладнання, устаткування, натяжних пристроїв, конвеєрів;
- наявність і справність засобів дистанційного контролю температури зерна в силосах і бункерах;
- наявність і справність на конвеєрах в головній та хвостовій частинах, аварійних кнопок для зупинки;
- наявність і справність на ланцюгових конвеєрах датчиків підпору, які мають відключати конвеєр при переповненні короба зерном,
- наявність графіків прибирання пилу, відповідно до яких мають проводитися прибирання виробничих приміщень

Для забезпечення дотримання вимог під час виконання робіт (технологічних процесів) зі зберігання та переробки зерна згідно Наказу Міністерства соціальної політики України «Про затвердження Правил охорони праці для працівників зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна» від 20.09.2017 № 1504 детально розглянемо:

- 1) вимоги до здійснення технологічних процесів;

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) вимоги щодо експлуатації виробничого устаткування. Вимоги безпеки до здійснення технологічних процесів.

Технологічні процеси під час виконання робіт зі зберігання та переробки зерна необхідно здійснювати відповідно до затвердженої керівником підприємства схеми переробки й обробки зерна.

Вимоги до здійснення технологічних процесів визначено у розділі I Правил охорони праці, відповідно до яких нижче у підпунктах наведено:

- загальні вимоги;
- вимоги до виконання робіт у силосах і бункерах;
- вимоги до виконання робіт у складах.

Загальні вимоги до здійснення технологічних процесів під час зберігання та переробки зерна передбачено пунктом 1 розділу I Правил охорони праці.

Загальні вимоги до здійснення технологічних процесів:

1. Щоб уникнути загоряння зерно перед сушкою потрібно очищувати на зерноочисних машинах:

- в прямоточних і рециркуляційних шахтних сушарках (без додаткових пристроїв для нагрівання зерна) - від грубих і легких домішок.
- у рециркуляційних сушарках з нагрівом зерна у камерах з падаючим потоком - від грубих домішок .

Температуру сушіння та максимальну температуру нагрівання зерна необхідно регулярно контролювати на вході до зони сушіння прямоточних сушарок, камери нагрівання і до шахти рециркулярних сушарок.

2. Під час дистанційного автоматизованого керування обладнанням необхідно подавати попереджувальний сигнал за 15-20 с. до його пуску Не допускається дистанційне автоматизоване керування машинами та механізмами у разі відмови в роботі попереджувальної сигналізації

3. На підприємствах, що експлуатують залізобетонні силоси, крім загальної сигналізації, усі поверхи підприємства та приміщення диспетчера забезпечуються гучномовним зв'язком, виготовленим з вибухопожежобезпечного матеріалу.

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допускається не встановлювати гучномовний зв'язок, якщо працівники забезпечені засобами бездротового зв'язку (раціями, мобільними телефонами).

4. Вогневі роботи здійснюються із дотриманням вимог

- Інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухопожежонебезпечних та вибухонебезпечних об'єктів, затвердженої наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 № 255:

- Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417.

Під час організації проведення вантажно-розвантажувальних робіт, порядок дій повинен бути таким:

1. Підготувати місце складування вантажу, перевірити наявність підкладок, відповідність стелажів вантажу, що підлягає складуванню, наявність вільних проходів до місця укладання.

2. Огородити небезпечну зону і виставити знаки, що позначають її.

3. Підігнати автомобіль на вантажно-розвантажувальний майданчик.

4. Провести підготовку до розвантаження в наступному порядку:

- водієві загальмувати автомобіль стоянковим гальмом, включити коробку передач на 1 або задню передачу і вийти з кабіни за межі небезпечної зони;
- оглянути кріплення вантажу і переконатися в його надійності, а також в безпечності організації стропування;
- відкинути борту.

5. Кранівнику виходячи з вимог проведення робіт встановити кран в робоче (похідне) становище. Одночасна установка (зняття) крана на виносні опори та робота стрілою — заборонена.

6. Вибрати такелажне оснащення і застропити вантаж відповідно до характером і масою вантажу.

7. Після стропування вантажу закріпити на ньому відтягнення довжиною, що дозволяє стропальнику вийти за межі небезпечної зони, переконатися в повному

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звільненні вантажу від транспортних кріплень, зачепів, відсутності на ньому незакріплених предметів.

8. Після відходу стропальників за межі небезпечної зони, вантаж підняти на 200–300 мм і переконатися в надійності гальм крана і відсутності перекосів, зачепів вантажу.

9. Підняти вантаж на висоту, що перевищує перешкоду не менше ніж на 500 мм, і, утримуючи від розворотів відтягненнями, укласти на підготовлене місце.

10. Підготувати автомобіль до подальшого слідування.

Загальні вимоги до вантажопідйомних механізмів (кранів), до вантажно-розвантажувального майданчику, рухомого складу та обслуговуючого його персоналу повинні виконуватися згідно з діючими правилами та інструкціями.

5.2 Економічна ефективність

Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованого зернокидача проводиться на підставі діючих методик, стандартів і нормативних документів [47, 48] з урахуванням середньорічного рівня інфляції.

При розрахунку економічної ефективності в якості бази порівняння був прийнятий серійно зернокидач ЗМ-60. При розрахунках умови експлуатації приймалися ідентичними.

Основними показниками економічної оцінки застосування робочого органу стало поліпшення якості обробленого зерна (посівні та товарні якості) в порівнянні з серійною установкою, а також одержуваний на підприємстві річний ефект у вигляді чистого дисконтованого доходу (ЧДД).

Чистий дисконтований дохід визначається як сума поточних ефектів за весь розрахунковий період, наведена до початкового кроку (року, кварталу, місяцю), або як перетворення інтегральних результатів над інтегральними витратами.

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=0}^T (P_t - I_{et}) \frac{1}{(1+E_p)^t} - K \quad (5.1)$$

або

$$\text{ЧДД} = -K + (P - I_{et}) - K_{cd} \quad (5.2)$$

де: P_t - результати, що досягаються на етапі розрахунку t , грн;

I_{et} - експлуатаційні витрати на кроці розрахунку i без урахування капіталовкладень, грн.;

T - обрій розрахунку (термін служби), років;

K - сума дисконтованих капіталовкладень, руб.;

K_{cd} - коефіцієнт суми дисконтування.

Коефіцієнт суми дисконтування K_{cd} розраховується за формулою:

$$K_{cd} = \sum_{i=0}^T \frac{1}{(1+E_p)^t} \quad (5.3)$$

де E_p – норма дисконту капіталу з поправкою на інфляцію; є реальною процентною ставкою, яка враховує інфляцію:

$$E_p = \frac{1+E}{1+r} - 1 \quad (5.4)$$

де: r – рівень інфляції, 14 %;

E – ставка відсотка банку, 23%.

Сума дисконтованих капіталовкладень розраховується за формулою:

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{сд}} = \sum_{i=0}^T K_t \frac{1}{(1+E)^t} \quad (5.5)$$

де K_t - капіталовкладення на етапі розрахунку t , руб.

У цій роботі передбачають одноразовість капіталовкладення та отримують однакову річну економію по всьому горизонту дисконтування, за якою приймається термін служби машин, то чистий дисконтований дохід розраховується з використанням коефіцієнта сум дисконтування.

5.1.1 Розрахунок капітальних вкладень

Балансова вартість сільськогосподарських машин, що випускаються промисловістю, визначається за формулою:

$$B = Ц \cdot K, \quad (5.6)$$

де B - балансова вартість машини-еталону,

$Ц$ - ціна придбання машини, грн.;

K - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на транспортування, монтаж і постачальницько-торгівельну витрату.

Капіталовкладення в експериментальний робочий орган включають витрати на придбання матеріалів, доставку і монтаж, які розраховуються за формулою:

$$K = (C_d + TЗ + C_z + ВП + ОХ) N, \quad (5.7)$$

де: C_d – вартість деталей та покупних виробів, грн.;

$TЗ$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

C_z – витрата на оплату праці під час виготовлення робочого органу, грн.;

$ОП$ – загальновиробничі витрати, грн.;

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

OX – загальногосподарська витрата, грн.;

N – кількість проєктованих машин.

Транспортно-заготівельні витрати визначаються у відсотках від вартості покупних матеріалів та виробів:

$$TЗ = \frac{C_d \cdot \mu}{100} \quad (5.8)$$

де $TЗ$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

μ – відсоток транспортно-заготівельних витрат (за фактичними даними підприємства, становить 25%).

Витрати на оплату праці при виготовленні робочого органу зернокидача визначаються за формулою:

$$Cз = OT_{тар} \alpha_n \alpha_{доп} \alpha_{від}, \quad (5.9)$$

де $OT_{тар}$ - тарифна оплата праці, грн.;

α_n - коефіцієнт, який враховує премії за фондом оплати праці, приймається у розмірі 1,2-1,4;

$\alpha_{доп}$ - коефіцієнт, який враховує розміри додаткової оплати праці, приймається у розмірі 1,12-1,16;

$\alpha_{від}$ - коефіцієнт, який враховує відрахування на всі інші страхування, приймається 1,261.

Тарифна оплата праці залежить від трудомісткості робіт та годинної тарифної ставки відповідних розрядів персоналу:

$$OT_{тар} = T_{ет} \tau_{год} \quad (5.10)$$

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: T_{em} – трудомісткість робіт, необхідних виготовлення робочого органу зернокидача, чол.- год.;

$\tau_{год}$ – годинна тарифна ставка за розрядом робітника, руб.

Загальновиробничі та загальногосподарські витрати визначаються у відсотках від основної зарплати на виготовлення установки:

$$ОП = \frac{ОТ_{тар} \cdot \mu_{зв}}{100} \quad (5.11)$$

де $\mu_{зв}$ – відсоток загальновиробничих витрат (за даними підприємства становить 15 ... 20%).

$$ОХ = \frac{ОТ_{тар} \cdot \mu_{зг}}{100} \quad (5.12)$$

де $\mu_{зг}$ – відсоток загальногосподарських витрат (за даними підприємства становить 15.25%).

5.2.2 Розрахунок техніко-економічних показників

Річний виробіток:

$$W_{річн} = W \cdot T_m, \quad (5.13)$$

де: $W_{річн}$ – годинна продуктивність змінного часу, т;

T_m – річне (сезонне) завантаження машини, год.

Зниження продуктивності машини:

$$W_p = \frac{W_u - W_n}{W_u}, \quad (5.14)$$

де: W_p – зниження продуктивності машини; т

$W_u; W_n$ – продуктивність протягом години змінного часу проекрованої машини і машини-еталону відповідно.

Витрати праці на 1 тонну визначаються за такою формулою:

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_0 = \frac{Л}{W}, \quad (5.15)$$

де: T_0 – трудомісткість операції, люд-год/т

$Л$ – кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Ступінь зниження трудомісткості:

$$C_T = \frac{T_{0u} - T_{0n}}{T_{0u}} \cdot 100\%, \quad (5.16)$$

де C_T - ступінь зниження трудомісткості, % Річна економія праці:

Річна економія праці:

$$E_{\text{пр}} = (T_{0n} - T_{0u}) \cdot W_{\text{год}}, \quad (5.17)$$

де $E_{\text{пр}}$ – річна економія праці, люд·год.

5.2.3 Визначення експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати у розрахунку на одиницю роботи визначаються за формулою:

$$B = (O_{\text{пр}} + A + P_T + E) \cdot B_{\text{п}}, \quad (5.18)$$

де: I – прямі експлуатаційні витрати, грн /т;

O_T – оплата праці з відрахуванням на соціальні потреби, грн/т;

A – амортизаційні відрахування, грн /т;

P_T – витрати на ремонти та техобслуговування, грн/т;

E – витрати на електроенергію, грн /т;

$B_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує інші прямі витрати, $B_{\text{п}} = 1,05$.

Оплата праці з відрахуваннями на соціальні потреби визначається за такою формулою:

					KPM.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$O_{\text{пр}} = (T_0 \cdot \tau_{\text{год}}) \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{\text{доп}} \cdot \alpha_{\text{зв}} \quad (5.18)$$

де T_0 - трудомісткість операції, люд·год/т

Амортизаційні відрахування визначаються за такою формулою:

$$A = \frac{B \cdot a_{\%}}{W_{\text{год}} \cdot 100} \quad (5.20)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн/т;

B - балансова вартість машини, грн

$a_{\%}$ – норма щорічних амортизаційних відрахувань, 12,5%.

Витрати на ремонт та техобслуговування визначаються за формулою:

$$P_T = \frac{B \cdot p_{\%}}{W_{\text{год}} \cdot 100}, \quad (5.21)$$

де: P_T - витрати на ремонт та техобслуговування, грн / т;

$p_{\%}$ – норми щорічних відрахувань ремонту, 14%.

Витрати на електроенергію визначаються за такою формулою:

$$E = \frac{N \cdot \Pi}{W}, \quad (5.22)$$

де E – витрати на електроенергію, грн/т;

N – потужність двигуна, що встановлюється, кВт;

Π - відпускний тариф 1 кВт·год, грн

Річна економія експлуатаційних витрат визначається з виразу:

$$E_e = I_u - I_n, \quad (5.23)$$

де E_e - Питома економія експлуатаційних витрат, грн/т;

I_u ; I_n – прямі експлуатаційні витрати у вихідному та проектованому варіантах відповідно, грн/т.

Ступінь зниження експлуатаційних витрат:

$$C_z = \frac{I_u - I_n}{I_u} \cdot 100, \quad (5.24)$$

де C_z – ступінь зниження експлуатаційних витрат, %.

Питома матеріаломісткість операції визначається за формулою:

$$M_y = \frac{\sigma}{W_{\text{год}}}, \quad (5.25)$$

де M_y – питома матеріаломісткість операції, кг/т;

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

σ – маса машини, кг.

Ступінь зниження матеріаломісткості:

$$C_M = \frac{M_{yu} - M_{yn}}{M_{yu}}, \quad (5.26)$$

де C_M – ступінь зниження матеріаломісткості, %;

M_{yu} ; M_{yn} – питома матеріаломісткість операцій у вихідному та проектованому варіантах відповідно, кг/т.

Питома енергоємність операції визначається за такою формулою:

$$F_y = \frac{F_r}{W_{год}}, \quad (5.27)$$

де F_y – питома енергоємність операції, кг/т;

F_r – річне споживання енергії, кВт·год.

Ступінь зниження енергоємності:

$$C_F = \frac{M_{Fu} - M_{Fn}}{M_{Fu}}, \quad (5.28)$$

де: C_F – ступінь зниження енергоємності, %;

M_{Fu} ; M_{Fn} – питома енергоємність операцій у вихідному та проектованому варіантах відповідно, кг/т.

5.2.4. Оцінка ефективності капіталовкладень

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності використання робочого органу зернокидача

№ п/п	Показники	Значення	
		базовий варіант	новий варіант
1.	Витрати на матеріали та покупні вироби, грн.	-	18750
2.	Трудомісткість робіт, чол.-ч.: - токарних 6-го розряду - зварювальних 5 розряду	- - -	8 4 12
3.	Годинна тарифна ставка, грн.: - токаря 6-го розряду - зварювальника 5 розряду	- - -	62,08 52,14 36,06
4.	Маса зернокидача, кг	1339	1201
5.	Часова продуктивність, т/ч:	60	50*
6.	Річне завантаження машини, ч.	50	50
7.	Кількість обслуговуючого персоналу на одну машину, чол.	2	2
8.	Річний об'єм робіт, т.	3000	3000
9.	Норматив річних амортизаційних відрахувань, %	12,5	12,5
10.	Норматив річних відрахувань на ремонт та ТО, %	14	14
11.	Сумарна потужність електродвигунів, кВт:	11,5	9,5*
12.	Вартість 1 кВт електроенергії, руб.	2,07	2,07
13.	Норма дохідності (банківська кредитна ставка), %	23	23
14.	Річний рівень інфляції, %	14	14

Таблиця 5.2 - Результати розрахунку економічної ефективності застосування результатів дослідження

№ п/п	Показники	Од. вимірювання	Значення	
			базовий варіант	базовий варіант
1.	Балансова вартість однієї машини	грн.	219480	201750
2.	Годинна продуктивність 1 машини	т/ч	60	50
3.	Річний виробіток	т	3000	2500
4.	Кількість машин	шт.	1	1
5.	Витрати модернізацію	грн	-	10655
6.	Балансова вартість 1 машини	грн.	219480	201750
7.	Трудомісткість операції	чол-ч/т	0,03	0,04
8.	Зниження продуктивності 1 машини	раз	-	0,17
9.	Ступінь підвищення трудомісткості	%	-	20
10.	Річний перевищення витрат праці	грн -ч.	-	200
10.	Питомі витрати у тому числі:	грн./т	25,06	32,68
	оплата праці з нарахуваннями	грн./т	4,08	12,25
	амортизаційні відрахування	грн./т	9,14	8,4
	витрати на ремонт та технічне обслуговування	грн./т	10,24	9,4
	витрати на електроенергію	грн./т	0,39	1,05
	інші витрати	грн./т	1,67	1,55
11.	Ступінь підвищення експлуатаційних витрат	%	-	30,42
12.	Річне підвищення експлуатаційних витрат	грн./т	-	20,1
13.	Питома матеріаломісткість	кг./т	0,44	0,4
14.	Ступінь зниження матеріаломісткості	%	-	10,28
15.	Чистий дисконтований дохід (за термін служби)	грн.	-	864361
16.	Коефіцієнт (індекс) прибутковості капіталовкладень	-	-	16,82
17.	Термін окупності	год	-	2

Аналіз даних таблиць дозволяє зробити висновок про раціональність використання пропонованого комбінованого стрічкового металника зерна. Термін

окупності проекту складає 2 роки. Графічне визначення терміну окупності проекту представлено рис. 5.1.

Рисунок 5.1 - Графічне визначення терміну окупності проекту

5.3 Екологічна експертиза

Використання обладнання для зберігання зерна може мати значущий вплив на екологію, різні аспекти мистецтва, які повинні завдати шкоди забезпеченню екологічності цього процесу. Ось деякі ключові екологічні аспекти використання обладнання для зберігання зерна:

Енергоефективність : Одним із основних аспектів екологічності є споживана енергія. Важливо вибирати та використовувати обладнання, яке є енергоефективним. Енергозберігаючі технології можуть зменшити викиди парникових газів та вплив на довкілля.

Використання екологічно чистих матеріалів : При виготовленні обладнання слід використовувати матеріали, які не тільки мають високу міцність і довговічність, але й мають низький вплив на довкілля під час свого життєвого циклу.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімізація витрат продукції : Використання сучасного обладнання для зберігання може допомогти у мінімізації витрат продукції через зберігання зернових культур. Це також може зменшити наявність додаткового виробництва, що може призвести до більшого використання ресурсів і енергії.

Контроль інфраструктури: Ефективне керування інфраструктурою зберігання може зменшити можливість виникнення аварій, витоків чи інших негативних впливів, які можуть загрожувати навколишньому середовищу.

Переробка та вторинне використання : після завершення терміну служби обладнання може бути перероблено або використано для виробництва інших товарів, зменшуючи тим самим кількість відходів.

Використання відновлюваних джерел енергії : якщо це можливо, слід розглянути можливість використання відновлюваних джерел енергії для живлення обладнання для зберігання зерна. Це може включати сонячні батареї або інші енергетичні технології.

Моніторинг і управління впливом : Застосування сучасних систем моніторингу та управління може допомогти в реальному часі відслідковувати та зменшувати вплив обладнання на довкілля.

Ретельне планування та вибір обладнання з урахуванням цих екологічних аспектів може допомогти забезпечити ефективне та екологічно безпечне зберігання зерна.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. В результаті дослідження властивостей зерна пшениці сорту Грім, вологістю 11,5%, були визначені механічні характеристики: величина пружної деформації, абсолютної залишкової деформації зернівки на кожному етапі навантаження і після руйнування. Величина навантаження, що не допускається, значних змін у структурі зерна пшениць. Відповідно до певних допустимих напруг у зернівці для різних положень навантаження: у положенні «бічок-бічок» - 10,5 Н/мм²; у положенні «спинка-борозенка» - 8,5 Н/мм²; у стоячому положенні - 7,9 Н/мм². Визначено значення модуль Юнга м'якої пшениці вологістю 11,5%: у положенні «спинка-борозенка» $E=50,6$ МПа, в положенні «бічок-бічок» $E=62,4$ МПа, і в стоячому положенні $E=47,6$ МПа.

2. На підставі експериментальних досліджень у виробничих умовах встановлено, що експериментальний робочий орган стрічкового зернокидача зерна при швидкостях стрічки до 16 м/с не спричиняє значного ушкодження оброблюваного матеріалу (мікротравмування не більше 2% та дроблення менше 0,1%), що набагато нижче за серійні зернокидачі. Крім того, при одноразовому пропуску оброблюваного матеріалу не знижуються його посівні якості - схожість і енергія проростання.

3. Використання експериментального зернокидача (при швидкостях стрічки - 16 м/с) дозволяє також знизити вологість оброблюваного зерна при одноразовому пропуску на 1,78 % з вихідною вологістю - 15,8%.

4. Застосування розробленого робочого органу - комбінованого стрічкового зернокидача дозволяє отримати чистий дисконтований дохід 864361 гривень при терміні окупності 2 роки.

					КРМ.133ГМмз_22.02.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		