

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Охорона праці та біотехнічних систем у
тваринництві
(назва кафедри)

_____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення технології післязбиральної обробки качанів
насіннєвої кукурудзи»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

_____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ Ачкевич О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ Неграш Роман Русланович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Охорона праці та біотехнічних систем у
тваринництві

д.т.н., проф. _____ Хмельовський В.С.
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Неграш Роман Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Удосконалення технології післязбиральної
обробки качанів насінневої кукурудзи»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: _____ 04.05.2026

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: Технічна документація МСП
Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ;

Аналіз існуючих конструкцій МСП;

Механіко-технологічних властивості ;

Розробка молотарки;

Техніко-економічна оцінка

Висновки;

Список використаних джерел;

(перелік питань, які потрібно розробити)

Перелік графічного матеріалу: Вступ; мета та завдання дослідження; об'єкт дослідження;
класифікація агрегатів; молотарки; деталювання. Висновки

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Ачкевич О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Неграш Р.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, таблиць, 20 посилань, та 29 рисунка.

Ключові слова: кукурудза, молотарка, обмолот, зерно, післязбиральна обробка, ступінчастий обмолот, ротор, механічні пошкодження, дроблення зерна, енергоефективність.

У даній дипломній роботі розглядається питання удосконалення конструкції молотарки для обмолоту кукурудзяних качанів з метою зниження механічних пошкоджень зерна та підвищення ефективності процесу післязбиральної обробки. Кукурудза є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, яка використовується як продовольча, кормова та сировинна база для виробництва великої кількості продуктів. Висока енергетична цінність зерна робить її незамінною у тваринництві, де значна частка кормових сумішей формується саме на основі кукурудзи. У зв'язку зі зростанням обсягів виробництва даної культури підвищуються вимоги до ефективності її збирання та післязбиральної обробки.

У роботі розроблено та проаналізовано конструкцію молотарки, яка забезпечує більш дбайливий ступінчастий обмолот кукурудзяних качанів. Запропоновані конструктивні зміни спрямовані на раціоналізацію взаємодії робочих органів із зерном, зменшення сили удару та рівномірний розподіл навантаження в зоні обмолоту

Мета дослідження: мінімізація мікро-пошкоджень насіннєвого зерна кукурудзи при поетапному обмолоті в технології післязбиральної обробки качанів.

Об'єкт дослідження: процес поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи з дозованою та впорядкованою подачею качанів із захисних контейнерів.

Предмет дослідження: дробарка та захисний контейнер для обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи

Задачі

1. Вивчити механіко-технологічні властивості качанів і зерна кукурудзи різних підвидів.

2. Обґрунтувати технологічні рішення мінімізації мікро-пошкоджень зерна при обмолоті качанів насіннєвої кукурудзи в процесі їх післязбиральної обробки.

3. Зробити проєкт дробарки та захисного контейнеру, теоретично обґрунтувати конструктивні параметри комплексу технічних засобів, що включає захисний контейнер, орієнтовно-дозуючий завантажувальний апарат та аксіально-роторне МСП.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	9
1.1 Структура валового збирання зерна кукурудзи	9
1.2. Функціонування машин для збирання рослинної маси кукурудзи чи зерна прямим комбайнуванням	11
1.3. Аналіз диференціювання аксіально-роторних молотильно-сепаруючих пристроїв для кукурудзи	16
2. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТІ ПОЧАТКУ І ЗЕРНА	24
2.1. Зерно кукурудзи як біологічна система	24
2.2. Дослідження кута природного укусу зерна кукурудзи, обмолочених стрижнів качанів, необмолочених качанів	28
2.3. Матеріал захисної плодової оболонки зерна кукурудзи	33
2.4. Дослідження міцності кріплення зерна зі стрижнем, середини качанів різних підвидів кукурудзи	34
3. ОПИС ОБЛАДНАННЯ	36
3.1. Проектування обладнання	36
3.2. Подача качанів на обмолот та частоти обертання ротора, а також їх коригування за якісними показниками обмолоту	41
3.3. Кількість обмолоченого зерна, що прокидається, через прорізи деки в кожній зоні обмолоту	43
4.РЕЗУЛЬТАТ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
4.1. Обґрунтування товщини гумової підшви пневмо-подушок аксіально-роторного МСП	45
4.2. Кількість подачі та коефіцієнт швидкості обертання качанів кукурудзи для обмолоту	46
4.3. Раціональна кількості колосків у основній зоні обмолоту	49
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	52
5.1 Охорона праці	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

Кукурудза по праву називається царицею полів, оскільки є унікальною зерновою культурою, з якої виготовляють понад 500 різних продуктів. Зерно кукурудзи використовується для борошна, крупи, крохмалю, патоки, цукру, олії, спирту, біоетанолу і т.д. Зерно кукурудзи - високоенергетичний корм для всіх видів тварин та птахів: 1 кг містить 1,34 кормових одиниць, тоді як гороху - 1,14; ячменю - 1,13; вівса - 1,0; пшениця - 1,06. [1]

Щоб підвищити продуктивність тварин необхідно, щоб у структурі зернової частини комбікормів було щонайменше 40% зерна кукурудзи. Саме у збільшенні обсягів виробництва кукурудзи, поряд із пшеницею та рисом Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (FAO) бачить вирішення проблеми забезпечення продовольчої безпеки у світі. [2]

У цьому контексті кукурудза має найбільший потенціал урожайності. Наприклад, максимальна врожайність пшениці знаходиться в межах 98 ц/га, рису - 150 ц/га, а за кукурудзою в 2020 році в США Національна асоціація виробників кукурудзи (NCGA) опублікувала дані про те, що фермер Девід Хула з Чарльз-Сіті, штат Вірджинія встановив новий світовий рекорд урожайності – 386,6 ц/га. В Україні розвиток системи виробництва кукурудзи здійснюється відповідно до науково-технічної програми розвитку сільського господарства на 2020-2025 рр., яка визначає перелік заходів, спрямованих на створення та застосування ефективних сільськогосподарських технологій, технічних засобів та практичних агротехнічних прийомів. [3]

Стрижень качани кукурудзи є дуже важливим супутнім продуктом. На кожен тону качанів кукурудзи припадає від 180 до 200 кг стрижня, очищеного від зерна. Традиційно стрижні качанів кукурудзи в сільському господарстві використовують як паливо або грубий целюлозний корм для тварин. Також подрібнені стрижні качанів кукурудзи є кращим матеріалом для підстилки на птахофабриках з вмістом птахів. За даними Експертно-аналітичного центру агробізнесу здійснюється постійне збільшення площ обробітку кукурудзи. За підсумками 2023 року вони склали 2872 тис. га, що на 10,5% (на 273 тис. га) більше, ніж у 2020 році, за 10 років зросли на 90,5% (на 1232,3 тис. га), по відношенню до 2025 року зросли. га. Зростають і валові збори зерна кукурудзи. У 2022 році, за даними, валові збори кукурудзи становили 13475 тис. тон. За 5 років валові збори кукурудзи зросли на 252,3% (на 9975,3 тис. тон), стосовно 2019 року на 1623,1% (на 13120,3 тис. тон). [4]

Виробництво зерна кукурудзи потребує використання значної кількості трудових ресурсів; високі витрати енергії (енергетичних ресурсів); використання великих площ сільгоспугідь (земельних ресурсів); комплексу складних сільськогосподарських та переробних машин (матеріальних ресурсів). Економія ресурсів може йти за такими напрямками:

- біологічному, застосування генної та клітинної інженерії, а також удосконалення сортів рослин;

- організаційному, ефективна організація праці за дотримання раціональної та гнучкої технології виробництва;
- технологічному, використання ресурсозберігаючих технологій виробництва, переробки та зберігання кукурудзи, зниження кількості мікро-пошкоджень оболонки, ендосперму та зародка зерна тощо;
- енергетичному, оптимізація витрат енергії за допомогою автоматизації виробничих процесів, удосконалення системи контролю та управління виробництвом, використання нетрадиційних джерел енергії тощо.

Проблема ресурсозбереження при виробництві зерна кукурудзи пов'язана з урожайністю даної культури. [5]

У технологічному аспекті якість насіннєвого зерна високопродуктивних гібридів кукурудзи визначається кількістю мікро-пошкоджень у обмолоченій партії. Своєчасно проведений обмолот з мінімальною кількістю мікро-пошкоджень зерна не тільки зберігає потенціал врожайності, а й підвищує стійкість зерна до шкідливих факторів, що виникають під час його транспортування та зберігання. У свою чергу, мінімізація мікро-пошкоджень зерна безпосередньо пов'язана зі значними трудовитратами, високою енергоємністю основних процесів і великою матеріаломісткістю технічних систем, що застосовуються, особливо молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП).

Зерно кукурудзи отримує мікро-пошкодження не тільки при обмолоті, але і в результаті вантажно-перевантажувальних робіт, сушіння, зберігання, сепарації і т. д. трудові та матеріальні ресурси. Зниження врожайності кукурудзи через мікро-пошкодження зерна пов'язане з порушенням природного процесу розвитку рослини. Від життєвої сили рослини загалом залежить врожайність кукурудзи. [6]

Очевидно, що формування рослини із зерна йде за певним природним алгоритмом і цей алгоритм виконується без відхилень у разі забезпечення цілісності як окремих органів зерна, так і зерна в цілому. Весь цикл виробництва зерна кукурудзи починається з передпосівної обробки насіннєвого матеріалу та закінчується зберіганням отриманого врожаю. Отже, перш ніж зерно потрапить у ґрунт і почне проростати, воно багаторазово контактуватиме з різними машинами та пристроями, які здатні своїми робочими органами завдати зерну різних пошкоджень, і алгоритм розвитку рослини з такого зерна природно буде порушений. Кількість та характер пошкоджень зерна істотно впливає на врожайність кукурудзи, це загальновідомий факт. [7]

Виробничий процес отримання врожаю зерна кукурудзи включає технологічний процес, виконання операцій якого пов'язане з екстремальним механічним впливом на зерно. Цей технологічний процес називається збирання врожаю. У процесі збирання врожаю здійснюється обмолот качанів. Саме при обмолоті зерно кукурудзи отримує максимальну кількість пошкоджень. Ушкодження зерна негативно позначаються не тільки на репродуктивних якостях насіннєвої кукурудзи, вони також знижують тривалість його зберігання, оскільки

через пошкодження до його внутрішніх тканин проникають різні мікроорганізми, що активно руйнують ендосперм та зародок. Отже, мінімізація кількості та мікро-пошкоджень зерна при післязбиральній обробці врожаю насіннєвої кукурудзи, це складна багаторівнева наукова проблема, в якій найбільш значуще місце займає обмолот. Удосконалення обмолоту качан насіннєвої кукурудзи вимагає наукового обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів застосовуваних комплектів технічних засобів, теоретико-експериментального визначення раціональних режимів роботи адаптивних робочих органів, розробки цифрових систем управління інтенсивністю силового впливу на зерно, системного обґрунтування технологічних рішень з мінімізації кількостей мікро-пошкоджень.

Мета дослідження: мінімізація мікро-пошкоджень насіннєвого зерна кукурудзи при поетапному обмолоті в технології післязбиральної обробки качанів.

Об'єкт дослідження: процес поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи з дозованою та впорядкованою подачею качанів із захисних контейнерів.

Предмет дослідження: дробарка та захисний контейнер для обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи

Задачі

1. Вивчити механіко-технологічні властивості качанів і зерна кукурудзи різних підвидів.

2. Обґрунтувати технологічні рішення мінімізації мікро-пошкоджень зерна при обмолоті качанів насіннєвої кукурудзи в процесі їх післязбиральної обробки.

3. Зробити проєкт дробарки та захисного контейнеру, теоретично обґрунтувати конструктивні параметри комплексу технічних засобів, що включає захисний контейнер, орієнтовно-дозуючий завантажувальний апарат та аксіально-роторне МСП.

При виконанні аналітичних досліджень використовувалися загальноприйняті системні методи теоретичні дослідження проводилися із застосуванням базових методологій та методів вищої математики. Технічні вимірювання виконувались відповідно до стандартних методик.

ГЛАВА 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

1.1 Структура валового збирання зерна кукурудзи

Поточна обробка є першим етапом обробки врожаю кукурудзи, зібраного з поля в качанах. Кінцевою метою потокової обробки качанів кукурудзи є закладка якісно висушеного та обмолоченого без мікро-пошкоджень зерна на тривале зберігання. У технології потокової обробки кукурудзи в качанах використовують засоби пересувної та стаціонарної механізації.

Принципова конструктивно-технологічна схема обробки качанів кукурудзи в потоці при пересувній механізації.

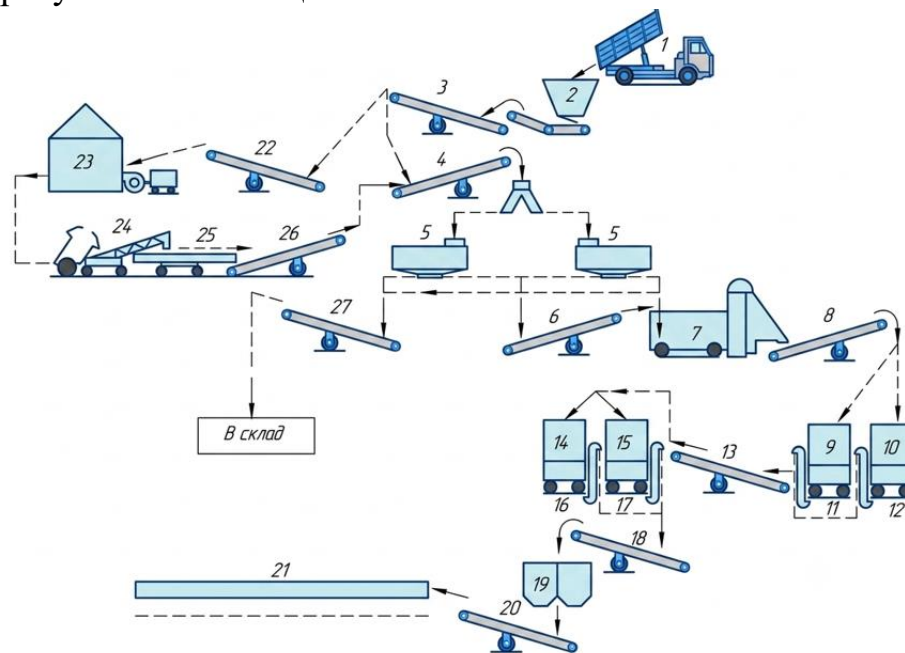


Рисунок 1.1 - Укрупнена важлива КТС обробки качанів кукурудзи в потоці при пересувній механізації:

1 - транспортний засіб; 2 - механізований бункер; 3, 4, 6, 8, 13, 18, 20, 22, 25, 26, 27 - стрічкові транспортери; 5 - пересувні молотарки кукурудзи; 7 - пересувна зерноочисна машина; 9, 10 - пересувні зерносушарки; 11, 12, 16, 17 - норії; 14, 15 - пересувні зерносушарки для остаточного сушіння зерна; 19 - бункерні ваги; 21 - секційно-розбірний транспортер; 23 - мобільний склад качанів з активною вентиляцією та тепловентиляційним агрегатом; 24 - самохідний ковшовий навантажувач.

Суть технології полягає в прийманні, очищенні та сортуванні качанів з їх подальшим обмолотом пересувними машинами, що не вимагають застосування капітальних будівель та споруд. Після обмолоту здійснюється сушіння, очищення та калібрування зерна, а також мобільними засобами механізації. Основне завдання даної технології полягає у зниженні стартових капітальних вкладень. [8]



а)

б)

Рисунок 1.2 - До аналізу технології пересувної механізації:

а - проєкт інституту сільського господарства степової зони НААН України; б - елемент проєкту NHAUX Concept

Технологія обробки качанів кукурудзи при стаціонарній механізації не має опорної схеми, передбачає застосування капітальних будівель і споруд і виявляється у конструктивному різноманітті.

Однак можна виділити узагальнені етапи обробки качанів прибирання качанів у полі; перевезення качанів у стаціонарний пункт потокової обробки; накопичення та тимчасове зберігання качанів; очищення від обгортки та сортування; сушіння до вологості 12-15%; обмолот качанів; очищення обмолоченого зерна; тимчасове зберігання очищеного зерна (при необхідності досушування зерна); калібрування зерна по ширині та товщині; калібрування зерна за довжиною; сортування за питомою вагою; переробка відходів (зернових та незернових); протруювання (інкрустація); затарювання; зберігання; доставка торговим організаціям чи споживачам. Тут також перспективним є переміщення качанів у контейнерах. [9]

Пересувна механізація характерна для умов сухого клімату та переробки продовольчої та фуражної кукурудзи. Стаціонарна механізація застосовна для качанів всіх цільових призначень (насіннєве, продовольче і фуражне зерно).

Ефективність об'єднаного в потоково-технологічні лінії (ПТЛ) обладнання для здійснення вищеописаних технологій оцінюється узагальненими показниками: енергоємності процесу, матеріаломісткості обладнання, експлуатаційної собівартості, а також кількості втрат та якості одержаного зерна.

Якісні показники роботи технічних засобів, задіяних у аналізованих технологіях, наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Якісні показники роботи технічних засобів, задіяних у аналізованих технологіях.

Показники	Значення %
Машина для збирання качанів у полі	
Щільність збору качанів	98,2
Домішки у купі качанів	Не більше 1
Ушкодження качанів у вигляді поламаних стрижнів	Не більше 1
Ушкодження зерна в качанах	Не більше 2,5

Машини для стаціонарного очищення качанів від листової обгортки	
Вилуплення зерна на очищувачі качанів	Не більше 3
Початки в обгортках після очищення	Не більше 2
Машини для сушіння качанів в стаціонарі	
Вологість качанів при зберіганні	Не більше 18
Вологість зерна при обмолоті	Не більше 15
Ушкодження зерна при сушінні	Не більше 10
Машини для обмолоту качанів в стаціонарі	
Масова частка втрат зерна (вільного та недомолоченого) у незерновій частині врожаю	2,0...2,5
Дроблення зерна	1,5 (насіннєва) 2,5 (фуражна та продовольча)
Мікротравми в області зародка	Для насіннєвої до 20 (продовольча та фуражна не регламентується)

Велика кількість якісних показників визначає необхідність в аналізі їх зміни за етапами пересувної або стаціонарної механізації. [10]

За підсумками переробки качанів кількість пошкодженого зерна може становити до 71% у партії, при цьому до 10% зерна може бути втрачено з відходами.

При посіві насіння з великою кількістю мікро-пошкоджень недобір урожаю може перевищувати 23%. З позиції біологічного та технологічного спрямування ресурсозбереження це неприпустимо. [11]

Найбільш екстремальні умови взаємодії з робочими органами машин зерно кукурудзи зустрічає у молотильній камері МСП, тут ушкодження сягають 30% у партії. Отже, удосконалення етапу обмолоту з позиції якості зерна призведе до значного підвищення ефективності технології загалом. З вищевикладеного випливає необхідність встановлення причин настільки значного пошкодження зерна в МСП. Аналіз існуючої наукової інформації вказує на доцільність пошуку шляхів мінімізації макро та мікроушкоджень зерна кукурудзи в галузі загальних принципів функціонування кукурудзозбиральної та кукурудзопереробної техніки.

1.2 Функціонування машин для збирання рослинної маси кукурудзи чи зерна прямим комбайнуванням

Збирання кукурудзи на силос передбачає подрібнення рослинної маси. Отже, застосовується конструкція, що максимально ушкоджує. Це дозволяє розпочати дослідження за принципом пошуку доказів протилежного.

Для заготівлі силосної маси із кукурудзи застосовують:

- Причіпний комбайн: Scorpion; Vicon MH; Challenger (II Plus); Case IH FHX 300; JF-Stoll FCT 1355; John Deere 3955.

- Самохідні комбайни: CLAAS Jaguar 960; Krone Big X700; John Deere 7000; New Holland Cursor 13.

За технологічним процесом збирання силосної маси та збирання зерна кукурудзи відрізняються значно, проте є кілька загальних принципів, що підлягають аналізу та осмисленню з метою їх застосування при побудові узагальненої теорії обмолоту кукурудзи, а саме:

- процес здійснюється поетапно;
- незалежно від конструкції силосозбирального комбайна, стебла з качаном подаються на подрібнення в строго зорієнтованому положенні;
- подача маси на подрібнення здійснюється дозовано;
- орієнтування здійснюється у два етапи: первинне орієнтування жниваркою та вторинне орієнтування системою транспортерів та вальців, що подають масу на подрібнення;
- найбільш ефективне подрібнення (максимально можливе пошкодження стебла разом з качаном) досягається за рахунок застосування барабанного або дискового пристрою для подрібнення з поперечною подачею маси. [12]

Отже, застосування систем, в яких реалізована барабанна або дискова схема робочого органу з поперечною подачею маси, що переробляється забезпечує максимальний руйнівний ефект для стебел, качанів і зерна кукурудзи. З вищевикладеного випливає, що відповідно до принципу доказу протилежного можна припустити, що мінімізація пошкоджень виключає барабанну і дискову компоновку робочих органів. Орієнтування та дозування оброблюваної маси перед подачею до робочої камери підвищує ефективність роботи будь-якої кукурудзо-переробної техніки. [13]

Для повноти аналізу необхідно простежити загальні принципи конструювання машин у технологіях збирання кукурудзи на зерно. Пряме комбайнування зерна виконують при збиранні качанів кукурудзи фуражного цільового призначення, при цьому вологість зерна на початку знаходиться в межах 25-35%.

В даному випадку застосовують зернозбиральні комбайни, укомплектовані кукурудзозбиральними жниварками, що допускають до 6% дроблення зерна при відриві качанів від стебла.

Загальні принципи роботи машин прямого комбайнування зерна кукурудзи ілюструються на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Схема опису загальних принципів роботи машин для прямого комбайнування зерна кукурудзи: +/- - науково обґрунтована/не обґрунтована та практично реалізована/не реалізована технічна система орієнтування качанів щодо виконавчих робочих органів

Тут підлягають аналізу та осмисленню такі загальні принципи функціонування, процес здійснюється поетапно:

- у процесі збирання комбайн жнивваркою орієнтує рядки рослин щодо начальнотделеляющего апарату з наступним відривом качанів у строго зорієнтованому положенні;
- після відриву качанів їх орієнтоване положення порушується, і всі процеси протікають в умовах хаотичного руху обмолочуванні маси;
- обмолот качанів здійснюється переважно аксіально-роторними або тангенціально-роторними комбайнами, які не вимагають застосування травмуючого зерно соломотрясу, дозволяють використовувати збільшені зазори в молотильній камері та диференційовано впливають на качани;
- в молотильній камері качани контактують з обмолочуючими елементами (білами, шипами, штифтами, планками, прутками і т. д.) в нераціональному для відділення зерна положенні, в результаті обмолочуючи сили руйнують цілісність зерна, оскільки в даному просторовому положенні плодової оболонки зерна;
- обмолот здійснюється при підвищеній вологості качанів (до 35%), що збільшує еластичність кріплення зерна до стрижня і як наслідок потрібно збільшення ударних навантажень з багаторазовим їх повторенням;
- обмолочене зерно переміщується шнековими механізмами, що травмують.

У окрему групу можна назвати селекційні комбайни, у яких робиться спроба знизити ударні навантаження. В даний час використовуються наступні комбайни: WINTERSTEIGER Split NH, WINTERSTEIGER-BIM Delta, TERRION-SAMPO SR2010, HALDRUP C-60, BAURAL SP 2100.

Однак при обмолоті качан селекційним комбайном мінімізувати пошкодження зерна не вдається і в первинному насінництві застосовується ручне збирання качанів. [14]

Для вирішення цієї проблеми використовується така технологія. Качани прибирають комбайном, замість молотильної камери якого встановлений апарат для зняття листової обгортки. Потім очищені качани перевантажують у транспортний засіб і перевозять на сушку, і тільки після доведення їх вологості до 12-15% обмолочують у стаціонарі.

Істотним недоліком такої технології є багаторазове перевантаження насипу, при якому качани, маса яких у середньому 200-250 г, падають з великої висоти, ушкоджуючи зерно.

Для усунення цього негативного явища качани необхідно прибирати в листовій обгортці, потім транспортувати в пункт їх переробки, де знімуть обгортку відразу перед закладкою качанів на сушіння. [15]

Транспортування качанів у листовій обгортці мінімізує пошкодження зерна при вантажно-перевантажувальних роботах. Даний підхід найбільш прийнятний при виробництві продовольчої та насінневої кукурудзи і вимагає системного аналізу.

Збирання кукурудзи в качанах з наступним обмолотом у стаціонарних умовах виконується спеціальними кукурудзозбиральними комбайнами.

За конструкцією дані самохідні комбайни являють собою силовий агрегат з кукурудзозбиральною жниваркою, очисником, бункером і системою транспортерів.

Загальні принципи роботи машин для збирання кукурудзи на початку ілюструються рисунком 1.4.

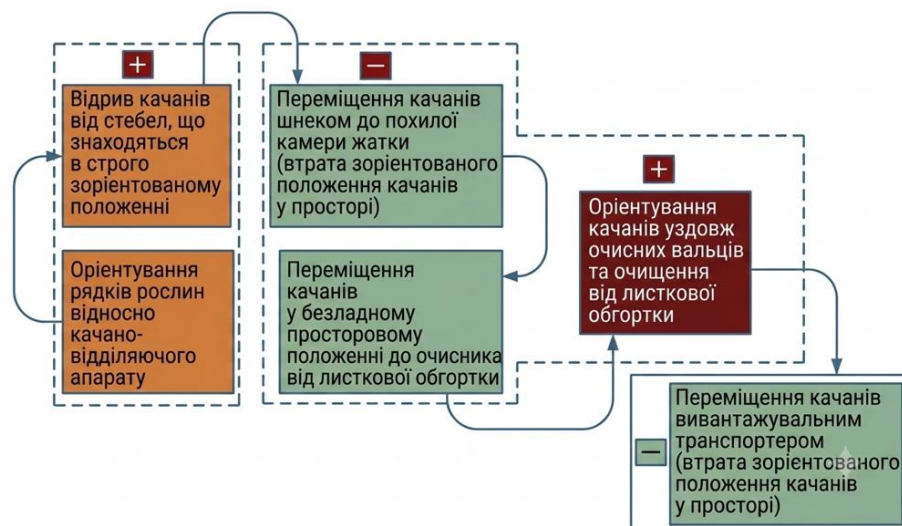


Рисунок 1.4 - Схема опису загальних принципів роботи машин для збирання кукурудзи в качанах: +/- - науково обґрунтована/не обґрунтована та практично реалізована/не реалізована технічна система орієнтування качанів щодо виконавчих робочих органів

Тут загальні принципи, що підлягають аналізу та осмисленню такі, процес здійснюється поетапно:

- у процесі роботи кукурудзозбирального комбайна мінімум двічі здійснюється процес орієнтування качанів у просторі та після кожного орієнтування наступна операція технологічного процесу наводить масу качанів у хаотичний стан;

- очищення качанів від листової обгортки здійснюється переважно вальцевими механізмами в строго зорієнтованому просторовому положенні;

- вальці, що обертаються, очищувачів качанів встановлюються стаціонарно або рухомо (планетарне виконання), робоча поверхня вальців профільована;

- накопичувальний бункер з очищеними качанами розвантажується перекиданням або за допомогою травмуючих зерноскребоквих транспортерів.

Періодичне руйнування упорядкованості просторового становища качанів у комбайні з позиції енергозбереження нераціонально. З вищевикладеного випливає класифікаційна модель загальних принципів функціонування та конструктивних особливостей машин для збирання врожаю кукурудзи (рисунок 1.5).

З класифікаційної моделі видно, що ефективність процесів взаємопов'язана з орієнтуванням оброблюваної кукурудзяної маси у раціональне просторове становище щодо робочих органів машин. Це питання не вирішене для процесу обмолоту качанів кукурудзи і може являти собою одну з основних причин значного пошкодження зерна в МСП. Пошук причини появи даної невирішеної наукової задачі доцільно розпочати у полі сучасної теорії створення найбільш перспективних аксіально-роторних МСП для кукурудзи.

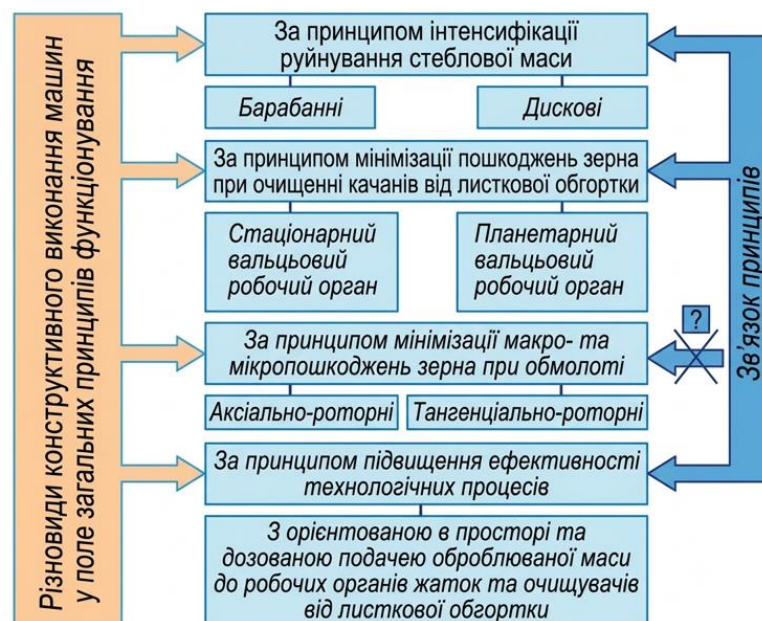


Рисунок 1.5 - Класифікаційна модель загальних принципів функціонування та конструктивних особливостей машин для збирання врожаю

кукурудзи: +/- - зв'язок науково обґрунтований/не обґрунтований та практично реалізований/не реалізований; ? - невирішене наукове завдання

Повнота аналізу вимагає систематизації та узагальнення теорій обмолоту качанів кукурудзи з позиції розв'язання задачі мінімізації мікро-пошкоджень зерна, з одночасним простеженням еволюції теорії обмолоту качанів у строго зорієнтованому просторовому положенні.

1.3 Аналіз аксіально-роторних молотильно-сепаруючих пристроїв для кукурудзи.

Мінімізація кількості мікро-пошкоджень при обмолоті качанів кукурудзи можлива лише при адаптивному диференціювання механічного силового впливу на зерно в молотильній камері. На етапі розвитку МСП для качанів кукурудзи найефективнішими є аксіально-роторні обмолочиваючі системи. Ефективність аксіально-роторних МСП, у порівнянні з іншими конструкціями, забезпечується безперервністю процесу обмолоту, високою продуктивністю, простотою і надійністю конструкції системи ротор-дека, а також низькою енергоємністю процесу обмолоту, мінімальною матеріаломісткістю МСП, найменшою кількістю макро- і мікронавантажень. 2%. В аксіально-роторних МСП найбільш повно реалізований принцип диференціювання силового впливу робочих органів на кожний обмолочуваний качан, кожен ділянку суміжних зерен у качані та кожне окреме зерно, відповідно. [16]

Диференціювання силового впливу на качани кукурудзи в молотильній камері значною мірою залежить від конструкції системи ротор-дека, використовуваного аксіально-роторного МСП. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарської техніки розроблено велику кількість аксіально-роторних МСП для качанів кукурудзи, що відрізняються конструкцією ротора та деки, кількістю незалежних систем у молотильній камері, частотою обертання робочих органів, зазорами у молотильній камері та діаметром ротора.

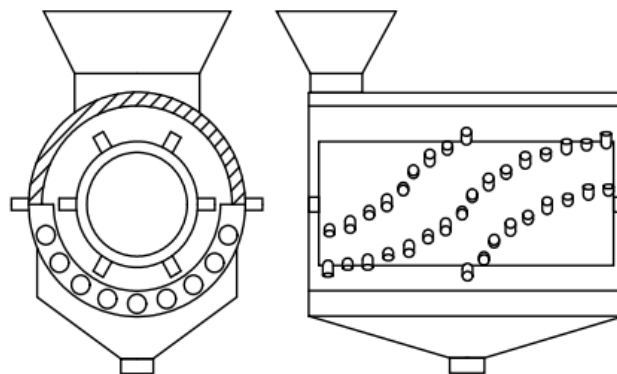


Рисунок 1.6 - БКМ

Ротор довжиною 560мм з гвинтовим розташуванням штифтом, гранична кількість мікро-пошкоджень зерна $> 20\%$, продуктивність 3.0-10,0 т/год, потужність двигуна 10 кВт, частота обертання ротора 1000...1100 хв^{-1} , зазор у молотильній камері 55-60 мм

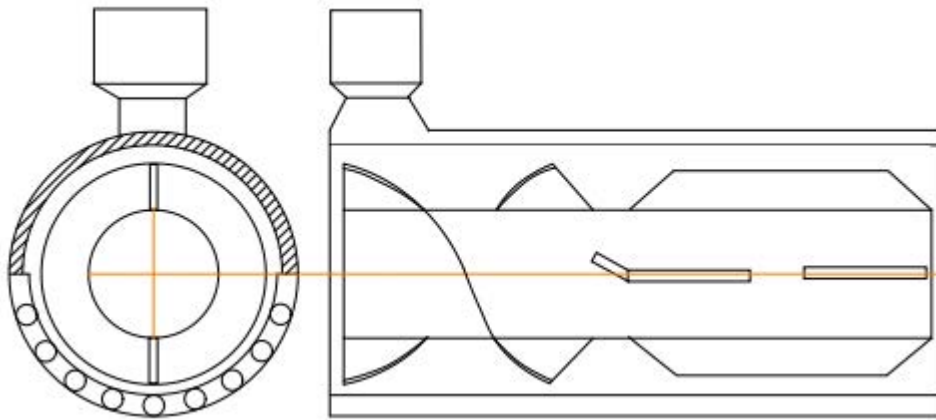


Рисунок 1.7 - ШКГ4

Ротор довжиною 850мм з гвинтовим і прямими лопатями, гранична кількість мікроушкоджень зерна $> 20\%$, продуктивність 7.0-11,5 т/год, потужність двигуна 14 кВт, частота обертання ротора 595-680 хв^{-1} , зазор у молотильній камері 25мм.

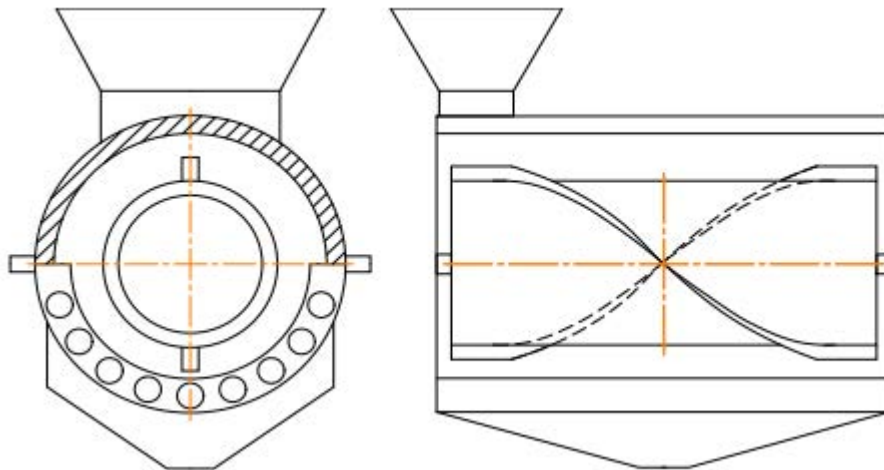


Рисунок 1.8 - НКМ

Двозахідний лопатевий ротор довжиною 1110мм, гранична кількість мікроушкоджень зерна $> 20\%$, продуктивність 7.0-9,0 т/год, потужність двигуна 14 кВт, частота обертання ротора 790-850 хв^{-1} , зазор в молотильній камері 5мм.

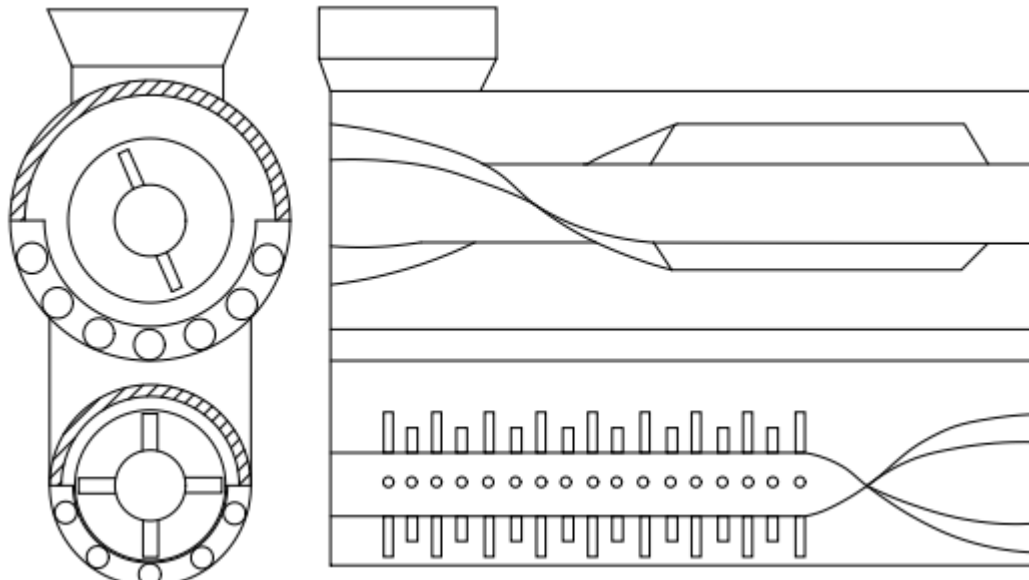


Рисунок 1.9 - United States Patent № 6,435,962

Довжина верхнього лопатевого і нижнього штифтового ротора 1120 мм, різна частота обертання роторів у ступенях, гранична кількість мікроушкоджень зерна $> 20\%$, продуктивність 20-25 т/год, потужність двигуна 32.8 кВт, частота обертання ротора В - 10 молотильній камері В-45 Н-27 мм, діаметр ротора 268В

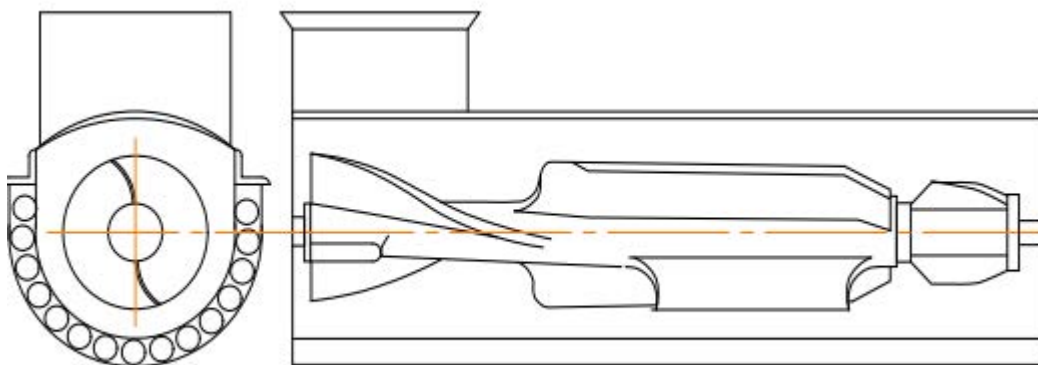


Рисунок 1.10 - MSH-25 «Serbia Product»)

Лопатевий ротор довжиною 1128 мм і трьома ділянками лопат, Нижня пруткова частина деки охоплює ротор на 270 градусів. Верхня сталева без отворів, Лопаті змінної геометрії наносять удари з різною силою, гранична кількість мікроушкоджень зерна менше 20%, продуктивність 15.4-22 т/год, потужність двигуна 28 кВт, частота обертання ротора $350-835 \text{ хв}^{-1}$, зазор в 254 мм.

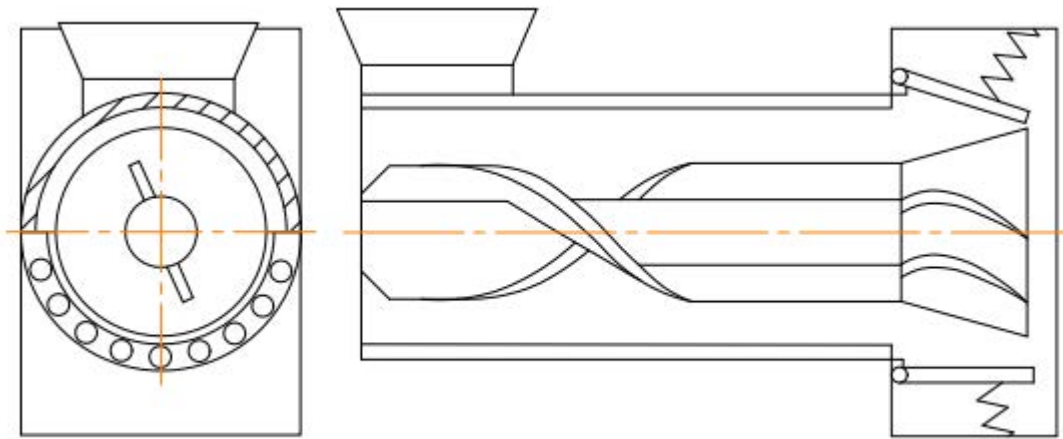


Рисунок 1.11 - МК30

Лопатевий ротор довжиною 1128 мм та конічною хвостовою частиною. У лопатевій частині ротора дека аналогічна НКМ. У конусній частині складається з чотирьох пружних секторів, Дека з пасивним та активними ділянками. Автоматичне зміна частоти обертання ротора, гранична кількість мікроушкоджень зерна менше 20%, продуктивність 30 т/год, потужність двигуна 30 кВт, частота обертання ротора 600-850 мин^{-1} , зазор у молотильній камері 60 мм, діаметр ротора 290-350 мм.

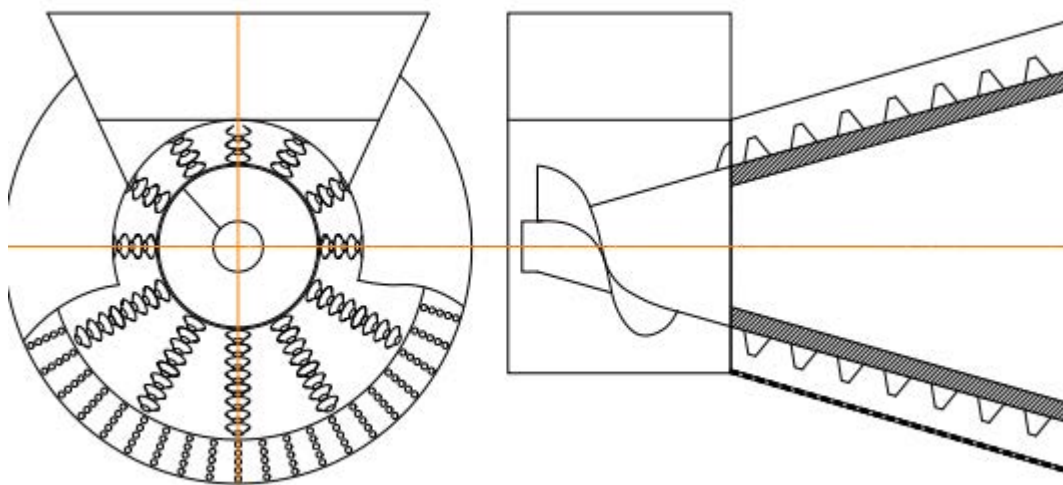


Рисунок 1.12 - Конусна молотилка качанів кукурудзи (КМКК)

Ротор довжиною 1280 мм за формою конусний, зі шнековою приймальною та штифтовою основною частиною. Нижня частина деки сталеві з пробивними отворами та охоплює ротор на 180 градусів. Верхня без отворів, плавна зміна кутової швидкості качанів, гранична кількість мікро-пошкоджень зерна менше 20%, продуктивність 15.5-25.0 т/год, потужність двигуна 55 кВт, частота обертання ротора 300-650 хв^{-1} , зазор в молотильній камері 60 мм.

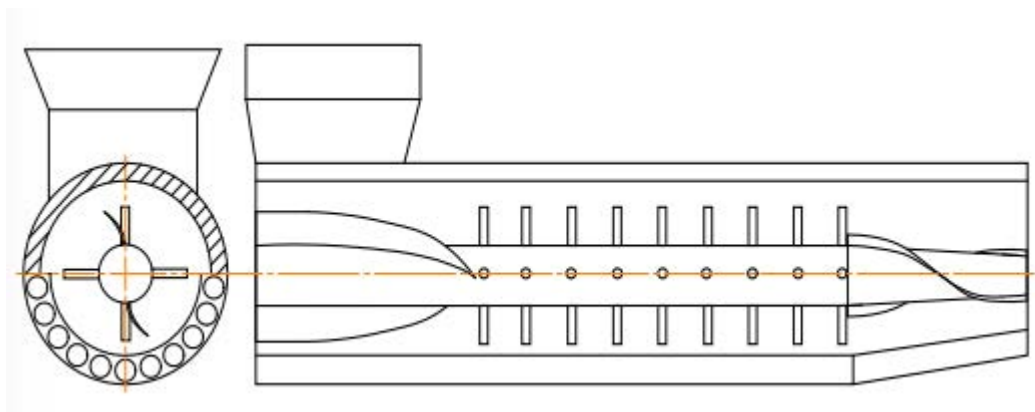


Рисунок 1.13 - Молотильний апарат Rivera Casalis (Європа)

Довжина ротора 1700 мм. Циліндрична частина ротора з лопатями та штифтами кінцева з лопатями. Нижня частина деки охоплює ротор на 220 градусів. Верхня сталева без отворів, гранична кількість мікроушкоджень зерна більше 20%, продуктивність 15-18 т/год, потужність двигуна 32 кВт, частота обертання ротора 750-1000 мін^{-1} , зазор у молотильній камері 60 мм, діаметр ротора 370 мм.

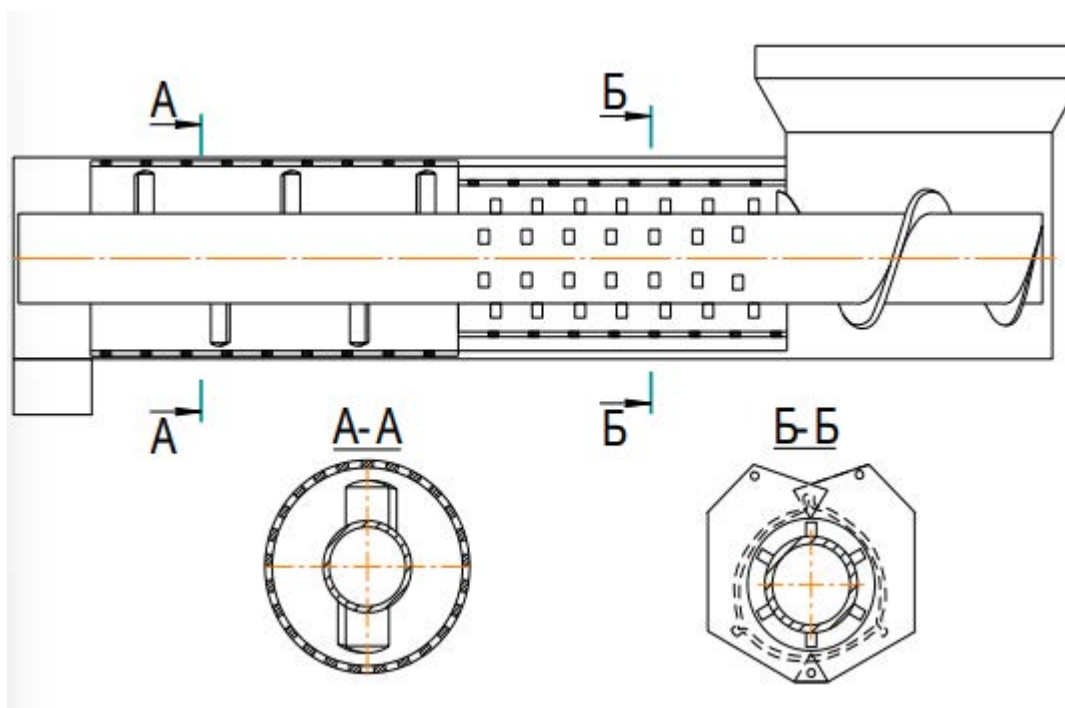


Рисунок 1.14 - Corn Sheller (USA)

Довжина ротора 1750 мм. Прийомна частина шнекова, середня штифтова, кінцева з лопатками встановленими під кутом до осі ротора. Два незалежні циліндри з пробивними отворами охоплюють ротор на 360 градусів. Діаметр одного циліндра регулюється. Молотильна камера розбита на дві ділянки, робочі органи яких діють на качани з різною інтенсивністю. гранична кількість мікроушкоджень зерна більше 20%, продуктивність 8-10 т/год, потужність двигуна 16 кВт, частота обертання ротора 650-780 мін^{-1} , зазор у молотильній камері 60 мм, діаметр ротора 300 мм.

З позиції диференціювання сил, що обмолочують, вдосконалення системи ротор-дека доцільно вести в напрямку створення багатоступінчастої молотильної камери, що дозволяє поетапно регулювати силовий вплив на качани в кожному незалежному ступені. При цьому ця багатоступінчаста молотильна камера повинна бути забезпечена системою зміни її кута нахилу щодо горизонту. Це дозволить мінімізувати кількість пошкоджень зерна при обмолоті качанів різних підвидів кукурудзи в умовах широкого діапазону варіювання їх механіко-технологічних характеристик.

Необхідність реалізації багатоступінчастого принципу обмолоту обумовлена нерівномірністю фізико-механічних властивостей як окремих партій насіннєвого матеріалу, так і анатомічних зон самого качана. Традиційні однозонні молотильні апарати мають суттєвий недолік: робочий зазор між ротором і декою встановлюється фіксованим по всій довжині або регулюється лише на вході та виході. Через це качани різного розміру зазнають або надмірного перетискання, що веде до мікро-пошкоджень, або недостатнього силового впливу, наслідком чого є недомолот. Розподіл процесу на автономні ступені дозволяє адаптувати інтенсивність силового впливу відповідно до просування технологічної маси в камері.

На першому ступені здійснюється попереднє руйнування зв'язків між зерном і стрижнем качана в зоні найменшої міцності при помірних механічних напруженнях. На наступних ступенях, де обмолочуються більш стійкі або дрібні качани, сила удару та тертя може бути вибірково збільшена. Таке гнучке покрокове регулювання запобігає перевантаженню зернової маси та знижує сумарну енергоємність процесу.

Додатковим важливим фактором керування процесом сепарації та обмолоту є регулювання динаміки руху матеріалу. Інтеграція системи зміни кута нахилу молотильної камери відносно горизонту забезпечує можливість штучно змінювати швидкість поздовжнього переміщення качанів вздовж ротора. При обмолоті кукурудзи з підвищеною вологістю або важковідокремлюваним зерном кут нахилу зменшують, що збільшує час перебування матеріалу в зоні обмолоту та гарантує повноту виділення насіння. Навпаки, для сухого матеріалу, схильного до травмування, кут нахилу доцільно збільшувати, прискорюючи його евакуацію з робочої зони та зменшуючи тривалість шкідливого механічного контакту.

Розробка конструкції МСП (молотильно-сепаруючого пристрою), в якій реалізовані перераховані вище шляхи диференціювання силового впливу на зерно перспективне завдання, вирішення якої дозволить мінімізувати кількість мікро-пошкоджень зерна при обмолоті. Впровадження такої технології у виробництво дозволить суттєво підвищити якісні показники насіннєвого матеріалу, зокрема зберегти високу польову схожість та енергію проростання насіння кукурудзи, що є головним критерієм ефективності післязбиральної обробки.

Середнє зниження врожаю кукурудзи не менше, ніж на 23% через мікро-пошкодження насіннєвого зерна, отриманих в результаті механізованої обробки качанів за травмуючою технологією.

Травмування насіннєвого зерна значно знижує польову схожість і ускладнює вегетацію рослин (рисунок 1.15). Все це згодом призводить до суттєвого недобору врожаю.

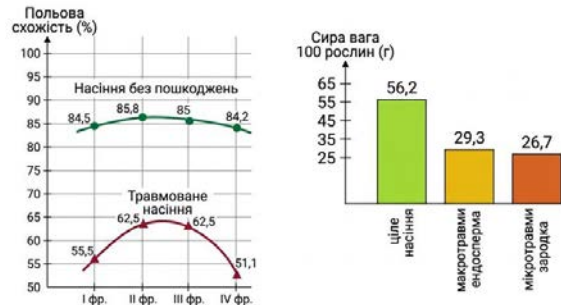


Рисунок 1.15 - Вплив та мікро-пошкодження зерна на розвиток рослин: а - польова схожість цілого і травмованого насіння кукурудзи (гібрид); б - інтенсивність початкового зростання травмованого насіння кукурудзи та насіння без ушкоджень.

Показники Полтавщини за 2025 рік 852,2 тис. тонн зерна з 150 тис. га демонструють стабільну врожайність, проте вони не відображають потенційного максимуму. Основний стримуючий фактор сьогодні полягає не у родючості ґрунтів чи агротехніці посіву, а у якості посівного матеріалу. Насіння, що має високий відсоток мікропошкоджень (тріщини ендосперму, пошкодження зародка), втрачає енергію проростання ще на етапі зберігання.

Застосування щадної технології обробки це перехід від кількісного розширення площ до якісної інтенсифікації. Зниження травмування зерна на 5-10% здатне забезпечити приріст врожайності на 12-15% у наступному сезоні. Це означає, що Полтавська область, не засіваючи жодного додаткового гектара, може отримати додатково понад 100 тис. тонн валового збору лише за рахунок збереження генетичного потенціалу насіння.

Сьогодні значна частина прибутку агрохолдингів «вимивається» з країни через закупівлю дорогого іноземного насіння та техніки для його обробки. Розвиток власної механізованої технології дозволить:

- замкнути цикл доданої вартості: Прибуток від продажу посівного матеріалу залишатиметься в межах регіонального АПК.
- створити науково-технічний кластер: Розробка власних МСП (молотильно-сепарувальних пристроїв) стимулює роботу інженерних бюро та машинобудівних заводів Полтавщини та України в цілому.
- адаптувати техніку до локальних гібридів: Вітчизняні машини можуть бути краще налаштовані під морфологічні особливості гібридів кукурудзи, районованих саме для лісостепової зони.

Ключовим технічним рішенням є впровадження багатосекційної молотильної камери з диференційованим силовим впливом. Традиційний

обмолот часто є надто агресивним на початковому етапі, коли качан ще повний і вологий.

Принцип поетапного обмолоту

Реалізація аксіально-роторного МСП нового покоління передбачає розподіл камери на функціональні зони:

- зона делікатного обрушення: Низька частота обертів ротора для зняття найбільш зрілого зерна.
- зона інтенсивного домолу: Підвищений силовий вплив для відокремлення залишків зерна.
- зона остаточної сепарації: Оптимізація виведення зерна через ґратчасту деку.

Така система, укомплектована ОДЗА (Обладнанням Дистанційного Зондування та Автоматизації), дозволяє в реальному часі коригувати зазор між ротором і декою залежно від вологості та розміру качанів, що подаються. Особливо важливою є можливість обробки матеріалу як з транспортерних стрічок, так і безпосередньо з контейнерів, що мінімізує логістичне травмування качанів.

Обмолот неможливий без швидкого відведення зерна з активної зони. Якщо зерно залишається в камері довше необхідного, воно піддається повторним ударам бічів ротора, що веде до появи мікротріщин. Рельєфна ґратчаста дека вирішує цю проблему за рахунок, просторової орієнтації, форма отворів змушує зерно «повертатися» найбільш вузькою частиною до просвіту, прискорюючи його проходження. Вібро-активації, геометрія деки створює додаткову турбулентність повітряно-зернової маси, що запобігає забиванню сит.

Розробка самохідного аксіально-роторного селекційного комбайна є вершиною науково-технічного завдання. Селекційна техніка має бути на порядок точнішою за промислову, оскільки навіть змішування декількох зерен з різних ділянок або пошкодження зародка унікального гібрида може звести нанівець роки роботи селекціонерів.

Масштабувати технологію від малих селекційних машин до потужних зернозбиральних комбайнів.

Удосконалення системи наукового обґрунтування засобів обмолоту це не просто інженерне завдання, а стратегічний крок до економічної незалежності. Полтавська область має всі передумови, щоб стати піонером у впровадженні інноваційних МСП, що забезпечить трансформацію сировинного агровиробництва у високотехнологічну індустрію насінництва. Це шлях до конкурентоспроможності українського зерна на світовому ринку, де якість насіння цінується дорожче за обсяг валового збору.

Впровадження описаних систем дозволить знизити рівень мікро-пошкодження зерна до показника менше 1,5%, а мікро-пошкодження до 5-8% (проти нинішніх 15-25% на застарілому обладнанні).

2. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТІ ПОЧАТКУ І ЗЕРНА

Встановлено низку важливих закономірностей у механіко-технологічних властивостях качанів та зерна кукурудзи. Аналіз результатів існуючих досліджень показав, що в даний час відсутній чіткий поділ усіх механіко-технологічних властивостей кукурудзи за ботанічними підвидами. Отже, подальший розвиток цього напрямку досліджень доцільно вести для різних підвидів кукурудзи окремо. Залежно від морфології та анатомічних особливостей ендосперму зерна, кукурудзу прийнято ділити на ботанічні підвиди або групи різновидів (convarietas):

- 1) *Zea mays L. tunicata* Sturt - плівчаста;
- 2) *Zea mays L. amylacea* Sturt - крохмалиста;
- 3) *Zea mays L. everta* Sturt - що лопається;
- 4) *Zea mays L. indurata* Sturt - кремниста;
- 5) *Zea mays L. semidentata* Kulesh - напівзубоподібна;
- 6) *Zea mays L. indentata* Sturt - зубоподібна;
- 7) *Zea mays L. saccharata* Sturt - цукрова;
- 8) *Zea mays L. amyleosaccharata* Sturt - крохмалисто-цукрова;
- 9) *Zea mays L. ceratina* Kulesh - воскоподібна.

Крім того, необхідно подати зерно як біологічну систему функціонально пов'язаних органів, що складаються з різних матеріалів, та вивчати механіко-технологічні властивості даних матеріалів окремо.

2.1 Зерно кукурудзи як біологічна система

Ефективність механізованого обмолоту та подальшої життєздатності насіннєвого матеріалу безпосередньо залежить від розуміння внутрішньої структури зернівки. Кожен елемент будови зерна кукурудзи виконує свою функцію, а їхні геометричні та міцнісні параметри визначають допустимі межі силового впливу в молотильних апаратах.

1. Захисні бар'єри та оболонки.

Зовнішній шар зернівки представлений плодовою оболонкою (перикарпієм). Її товщина становить до 0,3 мм, що складає від 5,5% до 7% загальної маси зерна. Попри незначну частку, саме перикарпій приймає на себе перші удари робочих органів аксіально-роторного пристрою. Порушення цілісності плодової оболонки (макропошкодження) відкриває шлях патогенним мікроорганізмам під час зберігання.

Під плодовою оболонкою знаходиться напівнепроникна нуцелярна мембрана товщиною до 1 мкм. Незважаючи на свою мікроскопічну товщину, вона відіграє критичну роль у регуляції вологообміну. Третім шаром є насіннева

оболонка (теста), яка становить до 2% маси зерна. Разом ці три шари утворюють складний захисний комплекс, еластичність якого залежить від вологості зерна: при вологості нижче 14% оболонки стають крихкими, що різко підвищує ризик виникнення мікротріщин.

2. Ендосперм: енергетичне депо та структурна опора

Основну масу зернівки (до 70%) становить ендосперм. Його будова неоднорідна. Алейроновий (периферичний) шар: шар клітин без крохмалю (6-8% маси), багатий на білки та ферменти. Він є межею між оболонкою та основним ендоспермом. Складистий та борошнистий ендосперм: Співвідношення цих частин визначає твердість зерна. Складистий ендосперм забезпечує стійкість до роздавлювання, але за умови надлишкового удару схильний до внутрішнього розтріскування («внутрішній травматизм»), який неможливо виявити візуально без спеціального фарбування.

3. Зародок: найбільш вразливий елемент

Зародок займає від 8% до 15% маси зерна і є найбільш важливою частиною для насінництва. На відміну від ендосперму, зародок містить велику кількість жирів та цукрів, що робить його пластичним, але вразливим до механічного здавлювання. Розташування зародка біля поверхні зернівки робить його «мішенню» під час агресивного обмолоту. Навіть мікроскопічне зміщення зародка або пошкодження його щитка призводить до втрати схожості або формування деформованих проростків.

Технологічне значення структури при обмолоті

Аналіз будови зерна кукурудзи дозволяє сформулювати вимоги до щадної технології обробки, диференціація впливу, сила удару робочого органу не повинна перевищувати межу міцності плодової оболонки (перикарпію). Врахування вологості, оскільки оболонки та зародок мають різну гігроскопічність, при зміні вологості змінюється і внутрішня напруга в зерні. Це потребує оперативного регулювання зазорів у молотильній камері. Оскільки більшість пошкоджень зародка стається при бокових ударах, впорядкована подача качанів та застосування рельєфних дек дозволяє мінімізувати прямі контакти робочих органів із зоною зародка.

Таким чином, морфологічні особливості зерна кукурудзи диктують необхідність відмови від жорстких режимів обмолоту на користь багатосекційних систем, де силовий вплив розподіляється рівномірно, зберігаючи цілісність кожної структурної одиниці зернівки.

Сукупність оболонок забезпечує захист внутрішніх органів зерна від шкідливих чинників довкілля та виконує низку специфічних функцій. Основна захисна функція лежить на плодовій оболонці.

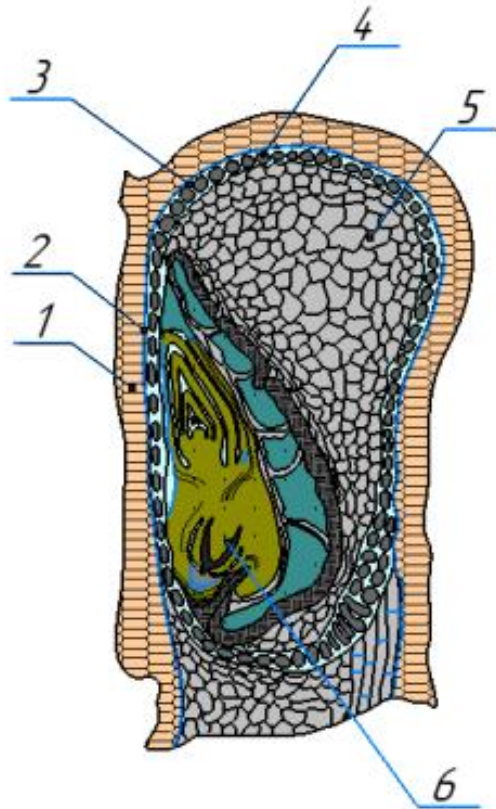


Рисунок 2.1. - Будова зернівки кукурудзи:

1 - плодова оболонка; 2 - суцільна напівпроникна оболонка (нуцелярна мембрана); 3 - насіннева оболонка; 4 - алейроновий шар; 5 - ендосперм; 6 - зародок.

Насіннева оболонка слідує відразу за плодовий і через алейроновий шар, без різкого поділу, сполучається з ендоспермом. Значимість насінневої оболонки для життя зерна та його проростання винятково висока. Тонкий гіаліновий шар, який знаходиться між плодовою оболонкою та алейроновим шаром, регулює надходження води в зернівку, захищаючи її від перезволоження і, водночас, від пересихання. Саме гіаліновий шар «не пускає воду до зернівки в момент післязбирального дозрівання, забезпечуючи при цьому стан спокою, під час якого зернівка виходить на максимальний потенціал для проростання. З вищевикладеного слід, що ушкодження оболонок зерна кукурудзи неприпустимо. Зерно кожного підвиду, як і початок в цілому, має характерну форму. Різноманітність форм зерна та качанів кукурудзи різних підвидів вимагає аналітичного та експериментального аналізу та систематизації біометричних характеристик з метою практичного застосування даної інформації при проектуванні ефективних робочих органів машин. Схема будови зерен різних підвидів кукурудзи (подовжній розріз) наведено малюнку 2.2.

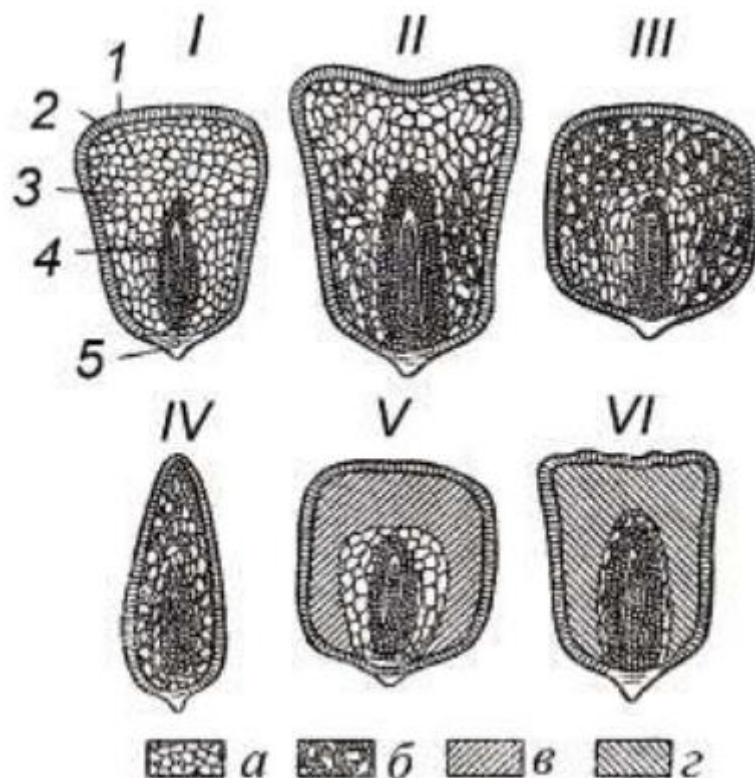


Рисунок 2.2. - Схема будови зерен різних підвидів кукурудзи

б - рогоподібний ендосперм; в - воскоподібний ендосперм; г - цукровий ендосперм; I - крохмалиста; II - зубоподібна; III - кремниста; IV - що лопається; V - воскоподібна; VI - цукрова; 1 - перикарпій; 2 - алеїроновий шар; 3 - ендосперм; 4 - зародок; 5 - чохлик.

Серед розмірів зерна кукурудзи можна виділити: товщину h (найменшу величину), ширину b (середню величину) та довжину l (найбільшу величину). Таким чином, розміри h , b та l відповідають максимальним розмірам проекції зерна на три взаємно-перпендикулярні площині.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку подвійного відношення лінійних розмірів зерна основних підвидів кукурудзи.

Підвиди кукурудзи	Найбільший розмір зерна	Середній розмір зерна	Найменший розмір зерна	Подвійне відношення W
Цукрова	9,50	7,80	4,80	1,26
Воскоподібна	10,30	7,80	5,10	1,29
Зубоподібна	11,40	8,50	4,50	1,25
Кремниста	9,00	8,60	7,30	1,31
Лопаюча	7,40	6,30	4,80	1,30
Плівчаста	6,70	6,10	5,00	1,31
Статистична обробка				
Середнє значення	9,05	7,52	5,25	1,287
Середнє квадратичне відхилення, %				0,026
Абсолютна помилка				0,059
Відносна помилка середнього значення, %				4,620

Отже, існує загальна закономірність у пропорціях та формах зерна кукурудзи всіх ботанічних підвидів. Це необхідно враховувати під час створення машин, робочі органи яких дозволяють однаково ефективно взаємодіяти із зерном кукурудзи всіх підвидів.

Крім того, при розробці та створенні ефективних машин, що забезпечують оптимальні умови механізованої обробки качанів і зерна насіннєвої кукурудзи різних ботанічних підвидів без макро- та мікроушкоджень оболонки та внутрішніх органів зерна, необхідна повнота знань про фрикційні властивості, розмірні параметри та характеристики міцності. Для цього необхідно провести низку експериментальних досліджень.

Енергетичні характеристики процесів, що здійснюються при післязбиральній механічній обробці кукурудзи, значною мірою залежать від фрикційних властивостей качанів кукурудзи та їх окремих частин (зерно, стрижень). Різноманітність підвидів кукурудзи викликає необхідність у доповненні існуючої бази даних результатами експериментального дослідження фрикційних властивостей кукурудзи різних підвидів і продуктів їх обмолоту. Отже, дослідження проводиться з метою доповнення існуючої системи знань про фрикційні властивості качанів кукурудзи та продуктів їх обмолоту відзнаками за підвидами.

2.2 Дослідження кута природного укусу зерна кукурудзи, обмолочених стрижнів качанів, необмолочених качанів

Для визначення кута природного укусу конкретного сипучого матеріалу необхідно провести експериментальні дослідження, у яких потрібно утворити насипний конус, у якому частинки утримуються лише під впливом сил взаємного тертя.

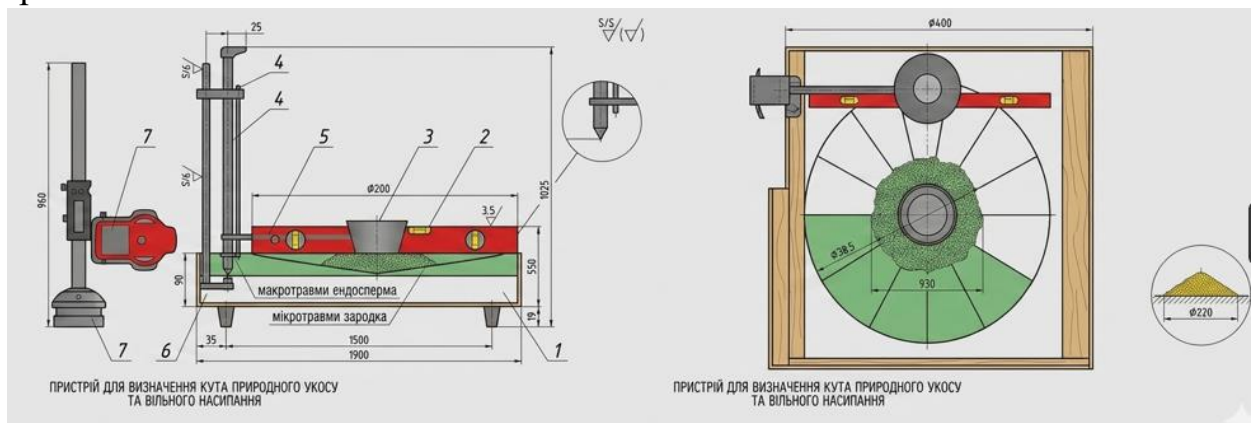


Рисунок 2.3 - Установка визначення кута природного укусу зерна кукурудзи: а - у вихідному положенні; б - насипний конус; 1 - платформа; 2 - пристрій для встановлення платформи в горизонтальне положення (рівень); 3 - конусна вирва; 4 - гвинтовий механізм; 5 - мірна шкала; 6 - лазерний рівень;

За допомогою рівня 2 платформа 1 встановлювалася горизонтальне положення, потім воронка 3 переміщалася в крайнє нижнє положення (рисунок 2.2, а). У цьому положенні вирва заповнювалася зерном кукурудзи конкретного підвиду, причому вологість зерна встановлена заздалегідь. У зв'язку з тим, що обмолот кукурудзи доцільно проводити за вологості зерна 12-15%, те й дослідження механіко-технологічних властивостей необхідно вести за цієї вологості.

Вологість зерна кукурудзи контролювалася сертифікованим портативним електронним вологоміром WILE 55 (компанія Farmcomp agroelectronics Фінляндія). Після того, як вирва була заповнена гвинтовим механізмом 4 її піднімали вгору, в результаті чого зерно висипалося на платформу з закріпленою на ній мірною шкалою 5 і утворювало насипний конус (рисунок 2.3), висота якого вимірювалася за допомогою лазерного рівня 6, встановленого на штанген.

Кут природного укосу φ_{EO} визначався за формулою:

$$\varphi_{EO} = \arctg f, \quad (2.1)$$

де f - коефіцієнт внутрішнього тертя, визначається за формулою:

$$f = \frac{2 \cdot h}{(D - d)}, \quad (2.2)$$

де h - висота насипного конуса, м;

D - діаметр основи насипного конуса, м;

d - діаметр отвору вирви, м.

Діаметр основи насипного конуса визначався як середнє значення діаметра, отримане за 12-ти основними напрямками, розташованими по колу через кожні 30° (рисунок 2.3).

Проводились на наступних підвидах кукурудзи: лопається, зубоподібна, крем'яниста та цукрова. Дані підвиди кукурудзи вирощують на території України та дозволяють отримати високий урожай. Повторність дослідів десятикратна, що забезпечує високу достовірність результатів.

Визначалося середньоарифметичне значення X_{cp} результатів:

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_2 + X_1 + X_n}{n}, \quad (2.4)$$

де X_i - i -е значення результатів виміру;

n - кількість вимірів.

Розраховувалося середнє квадратичне відхилення σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

Визначалася абсолютна помилка вимірів A :

$$A = \sigma \cdot t. \quad (2.6)$$

де t - коефіцієнт Стюдента.

Розраховувалася відносна похибка вимірів m :

$$m = \frac{A}{X_{cp}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Для визначення кута природного укосу качанів і стрижнів кукурудзи розроблена оригінальна експериментальна установка, що складається з платформи 1, бункера конусного об'ємом $0,05 \text{ м}^3$, у якого діаметр нижньої основи становить 300 мм і підйомного механізму 3.

Дослідження гранулометричних та фрикційних характеристик насипу. Для визначення параметрів плинності та самопливу зернового матеріалу застосовувалася спеціалізована лабораторна установка. Методика проведення досліду полягала в наступному: на горизонтальну платформу, на поверхню якої було нанесено кругову мірну шкалу, розділену на 12 рівних секторів (через кожні 30°), встановлювався порожнистий циліндричний бункер. Після заповнення ємності качанами кукурудзи активувався механізм підйому (поз. 3), який забезпечував вертикальне переміщення бункера з постійною швидкістю.

В результаті виходу матеріалу з бункера на платформі формувалася конус природного укосу. Для отримання достовірних статистичних даних виконувалися наступні вимірювання:

- визначення геометрії конуса: Висота насипу вимірювалася за допомогою штангенрейсмуса (поз. 4) та прецизійного рівня (поз. 5), що дозволяло нівелювати похибку від нерівностей вершини конуса.
- розрахунок кута природного укосу: На основі радіуса розтікання за мірною шкалою та вимірної висоти обчислювався кут спокою.

Знання кута природного укосу є критично важливим для інженерного розрахунку показників ефективності спорожнення захисного контейнера та бункерів-накопичувачів. Ці дані дозволяють визначити раціональні кути нахилу стінок робочих органів та самопливних лотків, що виключає застійні зони та забивання техніки під час роботи з вологим насіннєвим матеріалом.

Оскільки вологість безпосередньо впливає на коефіцієнт внутрішнього тертя та цілісність зерна, контроль цього параметра проводився для всіх фракцій:

обмолочених стрижнів, обгортки та безпосередньо насіння. Дослідження проводилося в акредитованих лабораторних умовах методом термогравіметричного аналізу (зневоднення).

Процес включав використання сушильної шафи КШ-65, де подрібнені наважки матеріалу піддавалися інтенсивному тепловому впливу. Визначення вологості здійснювалося шляхом прецизійного зважування до і після експозиції з подальшим обчисленням відносної зміни маси. Такий підхід дозволив встановити кореляційну залежність між рівнем вологості стрижня та зусиллям, необхідним для його відділення від зерна в аксіально-роторному МСП.

Окремим етапом було вивчення взаємодії зерна з робочими поверхнями машин. Найбільшу складність представляло виключення впливу структури самого стрижня на результати тертя, оскільки його шорсткість та деформаційні властивості могли викривити дані про тертя саме зернової маси.

Для чистоти експерименту було розроблено 4 унікальні імітаційні зразки. Кожен зразок представляв собою плоску розгортку, геометрично ідентичну поверхні качана, але з жорсткою фіксацією на ній зерна кукурудзи. Це дозволило:

- імітувати реальну фактуру «зерно по зерну» при контакті качанів у потоці.
- визначити чистий статичний коефіцієнт тертя без врахування амортизаційних властивостей м'якуша стрижня.
- використати отримані коефіцієнти для математичного моделювання руху качанів по рельєфній ґратчастій деці, що є ключовим для інтенсифікації процесу сепарації.

Отриманий масив даних став фундаментальною базою для проектування геометрії багатосекційної молотильної камери, де кожен градус нахилу та кожна одиниця тертя впливає на кінцевий показник мікро-пошкоджень насіннєвого зерна.

Примітка: Використання штангенрейсмуса дозволяє досягти точності вимірювання висоти конуса до 0,05 мм, що є стандартом для наукових досліджень у галузі сільськогосподарського машинобудування.

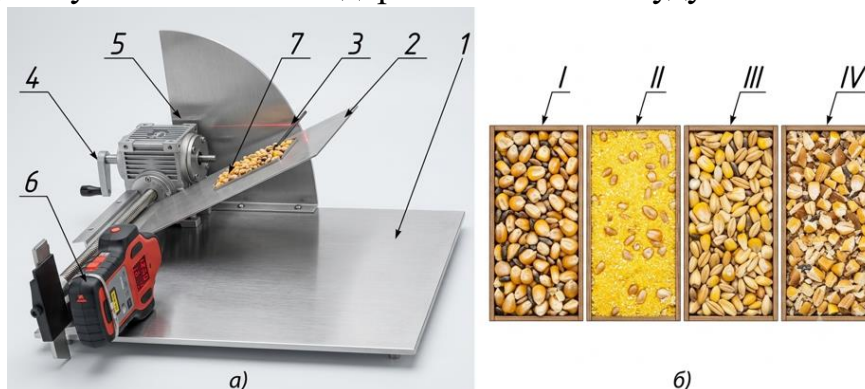


Рисунок 2.4 - Установа для визначення коефіцієнтів статичного та динамічного тертя зерна кукурудзи основних підвидів:

- а - установка у вихідному положенні; 1 - платформа; 2 - похила поверхня; 3 - стрілка; 4 - рукоятка; 5 - транспортер; 6 - лазерний рівень, закріплений на штангенрейсмас; 7 - випробуваний зразок; б - зразки, що імітують розгортку

покритої зерном поверхні качани кукурудзи; I - цукрова кукурудза; II - кукурудза, що лопається; III - кремниста кукурудза; IV - зубоподібна кукурудза.

Статичний коефіцієнт тертя показує пропорційну залежність між максимальним значенням сили тертя $F_{mp\max}$ та силою нормального тиску N .

$$F_{mp\max} = f_c \cdot N, \quad (2.8)$$

де f_c - статичний коефіцієнт тертя;

Статичний коефіцієнт тертя визначається за методикою, яка враховує, що тіло переходить зі стану спокою в стан руху, якщо рушійна сила досягає максимального значення сили тертя $F_{mp\max}$. Таке значення рушійна сила досягне при деякому куті нахилу β поверхні 2. Обертанням рукояті 4 приводилася в рух зубчаста пара редуктора, жорстко пов'язана з пластиною, на зовнішній поверхні якої лежав зразок. Як тільки зразок починав рух, обертання рукояті припинялося і за стрілкою 3 на транспортері 5, що підсвічується лазерним рівнем 6, фіксувався кут шуканий β , далі визначався статичний коефіцієнт тертя з виразу:

$$f_c = \operatorname{tg} \beta, \quad (2.9)$$

Дослідження коефіцієнта тертя зерна кукурудзи основних підвидів проводилися на поверхнях, виготовлених з таких матеріалів: конструкційна сталь, фанера, текстоліт, гума гладка, гума рифлена. Дослідження статичного коефіцієнта тертя качанів кукурудзи в обгортці та обмолочених стрижнів проводилися за вищенаведеною методикою.

Отримані дані реєструвалися у журналі спостережень та статистично оброблялися.

У даному випадку під поняттям динамічного коефіцієнта тертя розуміється коефіцієнт тертя ковзання у процесі руху. В дослідженнях використовувалася установка для визначення статичного коефіцієнта тертя (рисунок 2.4), додатково укомплектована фіксатором досліджуваних зразків та пристроєм контролю часу руху, оснащеним мірною лінійкою та цифровою відеокамерою, що здійснює відеозйомку процесу з частотою 50 кадрів в секунду.

При дослідженнях похилу площину 2 встановлювали горизонтальне положення і фіксували на ній один з випробовуваних зразків. Потім за допомогою рукояті 4 похилу площину встановлювали під кутом рівним куту природного укусу, збільшеного на 10° , після чого фіксатор відпускали.

В результаті зразок зісковзував по похилій площині. Весь процес фіксувався на цифрову камеру. Розкладання відеозйомки по кадрах дозволяло досить точно визначати час руху зразка заданою ділянкою шляху, позначеному мірною лінійкою зі шкалою 1 мм. Досвід виконується з десятикратною повторністю для кожного матеріалу поверхні та підвиду кукурудзи. На підставі

експериментальних досліджень динамічний коефіцієнт тертя f_d визначався з виразу:

$$f_{\sigma} = \operatorname{tg} \beta - \frac{2 \cdot S}{g \cdot t^2 \cdot \cos \beta_1}, \quad (2.10)$$

де S - шлях зразка, пройдений похилою площиною, $S = 0,36$ м;

t - час руху зразка по похилій площині, с;

β_1 - кут нахилу площини, для досліджень прийнятий $\beta_1 = \beta + 10^\circ$.

Динамічні коефіцієнти тертя досліджуваних продуктів обмолоту качанів кукурудзи визначалися при швидкості руху, що не перевищує 183 м/с. Отримані дані реєструвалися у журналі спостережень та статистично оброблялися. Результати досліджень оформлялися як таблиці експериментальних даних.

2.3 Матеріал захисної плодової оболонки зерна кукурудзи

Зерно кукурудзи - багатоплодове тіло, в якому захисна оболонка найбільш міцна і саме вона, контактуючи з фасонними шипами МСП в процесі обмолоту, захищає внутрішні органи (ендосперм, зародок).

Виходячи з цього дослідження проводилося з метою уточнення значення коефіцієнта Пуассона для матеріалу захисної плодової оболонки зерна кукурудзи. .

$$\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}, \quad (2.11)$$

де ν - коефіцієнт Пуассона.

Відносне звуження визначається виразом:

$$\varepsilon' = \frac{\Delta a}{a_0}, \quad (2.12)$$

де Δa - абсолютне звуження;

a_0 - початкова товщина.

Відносне подовження визначається виразом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2.13)$$

де Δl - абсолютное удлинение;

l_0 - початкова довжина.

Дослідження проводилися за такою методикою. Зі зерна зубоподібної кукурудзи, що дозріла до воскової стиглості за допомогою пінцету, видалявся

зародок і ендосперм, так, щоб захисна плодова та насіннева оболонка зберегла свою цілісність. Потім звільнена від внутрішніх тканин плодова оболонка одягалася на сталеве захоплення 3, за допомогою якого здійснювалося її розширення без надмірного натягу з наступним виміром початкової довжини l_0 оболонки за допомогою мікрометра 4 та початкової товщини a_0 за допомогою магнітного товщиноміра 1.

Після того, як була зафіксована початкова довжина та товщина захисної плодової оболонки шток мікрометра переміщався на 2,25 мм у бік збільшення. Цю величину здійснювалося розтягування оболонки. Дана величина розтягування оболонки встановлена в результаті пошукового досвіду і дозволяла виключити повний або частковий розрив. Потім, за допомогою зворотного пінцету 6 здійснювалося розтягування оболонки на величину Δl , що обмежувалося упором п'яти мікрометра і магнітним товщиноміром 1, фіксувалася товщина розтягнутого зразка, а потім визначалася величина абсолютного звуження Δa .

Для досягнення допустимого значення відносної помилки середнього значення дослідження проводились з двадцятикратною повторністю, отримані дані реєструвалися в журналі спостережень та статистично оброблялися. Результати досліджень оформлялися як таблиці експериментальних даних.

2.4 Дослідження міцності кріплення зерна зі стрижнем, середини качанів різних підвидів кукурудзи

Величина механічного впливу робочих органів на зерно кукурудзи на початку обмежується не тільки властивостями міцності захисної плодової оболонки, а також силою зв'язку зерна зі стрижнем в області носка, середини і комля. Знання даної механіко-технологічної характеристики дозволяє підвищити рівень диференціювання силового на початку кукурудзи з боку робочих органів застосовуваних машин. Це дозволяє транспортувати качани кукурудзи без листової обгортки, орієнтувати їх у просторі та дозовано подавати на відповідну обробку, а також обмолочувати без нанесення зерна мікро-пошкоджень. З метою подальшого розвитку даного напрямку досліджень здійснювалося уточнення даних щодо зусилля висмикування одиночного зерна зі шкарпетки, середини та комлю качани кукурудзи різних підвидів. Для цього було створено та застосовано спеціальну експериментальну установку.

Відбиралися навішування по 50 качанів зубоподібної, кремнистої та цукрової кукурудзи. Початки вибиралися із міцною та цілісною зерновою структурою. У носінні, середині і комлі в одиничному зерні здійснювався пропал отвору, забезпечуючи цілісність кріплення зерна до стрижня. У цей отвір входив гак динамометра, закріпленого на струбціні 3. При цьому початок міцно кріпився в ложі двох опор стійки-штатива 7. Переміщенням рукояті струбцини створювалося поступово збільшується розривне зусилля, яке фіксувалося на

екрані динамометра 4. Для встановлення достовірного результату 6. кремнистої та цукрової кукурудзи в ділянці шкарпетки, середини та комлю качана, відповідно.

Вимірювальне обладнання, що застосовується, і підвищена кратність повторення дослідів дозволили отримати результати, довірна ймовірність яких перевищує $p=0,95$.

Отримані дані реєструвалися у журналі спостережень та статистично оброблялися. Результати досліджень оформлялися як таблиці експериментальних даних. Всі вищеперелічені дослідження дозволили отримати уточнені дані щодо ряду механіко-технологічних властивостей кукурудзи як продукту обмолоту, що в результаті дозволило уточнити конструкцію робочих органів нової системи поетапного обмолоту качанів кукурудзи та перейти до етапу пошукових експериментальних досліджень.

3. ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Дослідження об'єднано в технологічну лінію комплексу, розроблених технічних засобів для здійснення поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи, спрямовані на практичне підтвердження теоретичних результатів, їх адекватності та оптимізацію конструктивно-технологічних параметрів аксіально-роторного МСП, що забезпечує мінімум мікро-пошкоджень.

Розробка комплексу технічних засобів для орієнтування у просторі та поетапного обмолоту качан насіннєвої кукурудзи. У комплект входить захисний бункер з відкидним лотком і вивантажним вікном, що змінюється по висоті, ОДЗА та аксіально-роторне МСП з декількома варіантами ділянок пневмоадаптивної деки, дека з підпружиненими шипованими ділянками, дека з поздовжніми пневмоподушками, дека з поперечними пневмоподушками.

Підбір та розстановка комплексу контрольно-вимірювального та реєструючого обладнання.

Проведення лабораторних пошукових однофакторних експериментів з подальшим аналізом та статистичною обробкою результатів, визначення раціональної товщини гумової підошви пневмоподушок аксіально-роторного МСП з пневмоадаптивною декою. Визначення раціональних значень факторів подачі качанів на обмолот та частоти обертання ротора, а також їх коригування за якісними показниками обмолоту, вивчення кількості обмолоченого зерна, що прокидається, через прорізи деки на кожному етапі обмолоту, визначення раціональної кількості шипів СРД.

З подальшим аналізом та статистичною обробкою результатів, визначення оптимального з позиції мінімізації енергоємності процесу поетапного обмолоту поєднання найбільш значущих факторів: подачі качанів на обмолот, частоти обертання ротора та кількості шипів у секції основного обмолота. Визначення оптимального з позиції мінімізації мікро-пошкоджень обмолоченого зерна поєднання найбільш значущих факторів: попереднього натягу пружин в ділянках деки на початковому етапі обмолоту, надлишкового тиску в пневмоподушках деки на етапах основного обмолоту і домолоту, а також кута нахилу СРД щодо.

Перевірка в умовах сертифікованої насіннєвої лабораторії показника схожості зерна, обмолоченого в експериментальному комплекті технічних засобів поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи на оптимальних режимах роботи.

3.1 Проектування обладнання

Для проведення досліджень було розроблено та виготовлено комплект технічних засобів, призначений для орієнтування у просторі та поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи (рисунки 3.1–3.3). Застосування

розробленого комплексу забезпечувало виконання технологічних операцій відповідно до поставлених завдань та дозволяло оцінювати особливості процесу обмолоту насіннєвого матеріалу. Конструктивні особливості машин, механізмів та допоміжного обладнання, що входять до складу комплексу, наведені у відповідних літературних джерелах та технічній документації.

Планування досліджень, їх проведення та подальша обробка отриманих результатів здійснювалися відповідно до загальноприйнятих методик наукових досліджень. Для аналізу отриманих даних використовувалися методи математичної та статистичної обробки, що забезпечували об'єктивність оцінювання досліджуваних показників і достовірність отриманих результатів.

Дослідження лабораторної схожості зерна кукурудзи після обмолоту проводилися відповідно до чинних нормативних документів щодо визначення посівних якостей насіння сільськогосподарських культур. Під час проведення досліджень визначали показники лабораторної схожості та енергії проростання насіння, які характеризують його якість та придатність до подальшого використання. Отримані результати були використані для оцінювання впливу процесу обмолоту на посівні властивості насіннєвого матеріалу та визначення ефективності застосування розробленого комплексу технічних засобів.

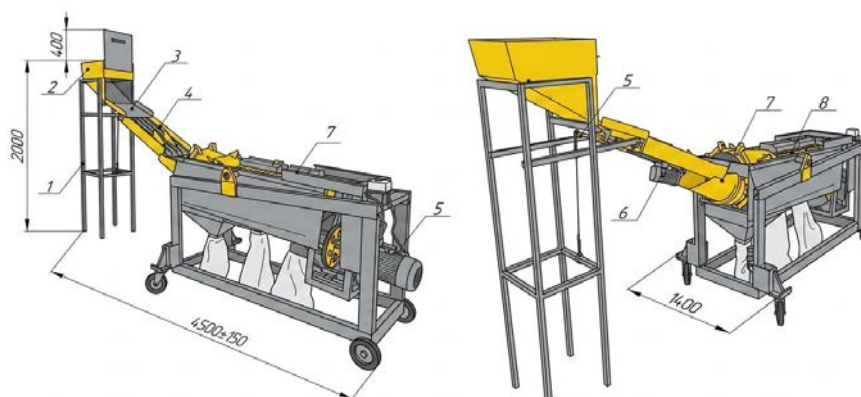


Рисунок 3.1 - Комплект технічних засобів для поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи

- вид збоку(зліва) - вид спереду (з права); 1 - платформа; 2 - захисний бункер з вивантажним вікном, що перекривається заслінкою; 3 - відкидний лоток захисного бункера; 4 - ОДЗА; 5 - механізм зміни нахилу ОДЗА; 6 - вібраційний привід ОДЗА; 7 - завантажувальна горловина МСП; 8 - аксіально-роторне МСП з пневмоадаптивною декою

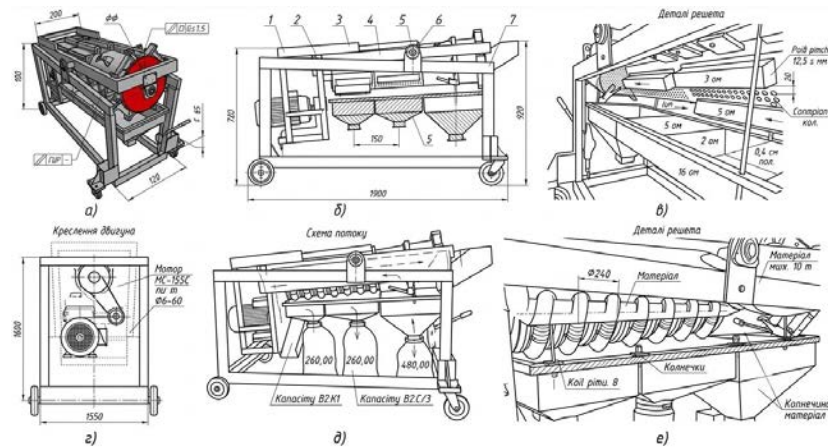


Рисунок 3.2 - Аксиально-роторне МСП із пневмоадаптивною декою:
а - вид спереду без завантажувальної горловини; б - вид збоку в комплектації
поздовжніми пневматичними подушками; - вид знизу в комплектації
поздовжніми пневматичними подушками; г - вид ззаду; д - вид збоку в
комплектації поздовжніми та поперечними пневматичними подушками; е - вид
знизу в комплектації поперечними пневматичними подушками

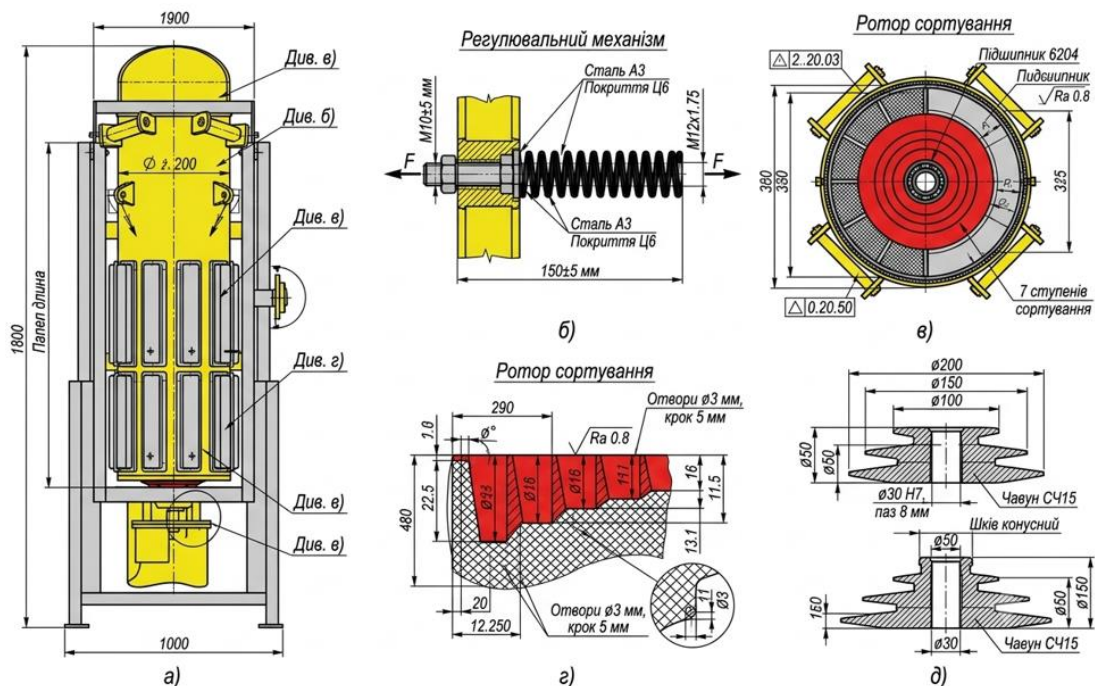


Рисунок 3.3 - Елементи конструкції експериментального аксіально-роторного
МСП з пневмо-адаптивною декою:
а - розташування зон обмолоту; б - пристрій попереднього натягу пружин
елементів деки в зоні початкового обмолоту; - розташування пружних елементів
деки в зоні початкового обмолоту; г - шипи притиснуті поперечною
пневмоподушкою; д - додатковий комплект змінних шківів, які застосовуються
зміни частоти обертання ротора.

Варіанти нижньої деки з поздовжніми та поперечними пневматичними подушками представлені на рисунку 3.4.

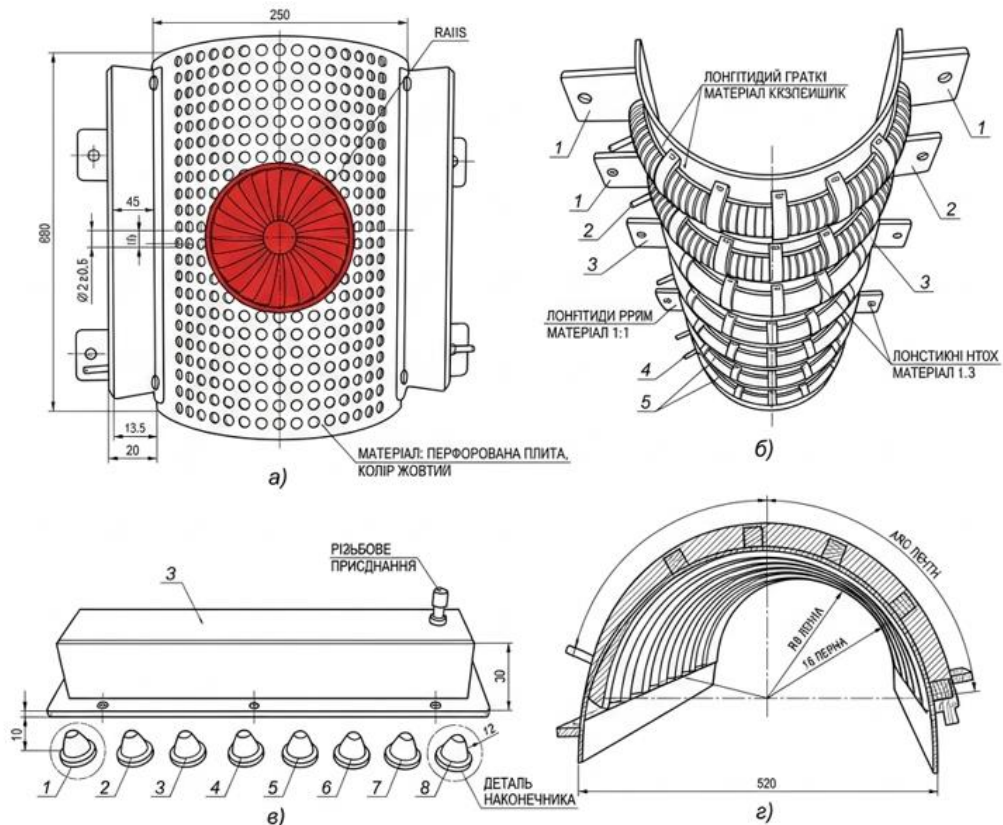


Рисунок 3.4 - Досліджувані варіанти конструкції пневмо-адаптивної деки МСП:
а - ділянка деки з поздовжніми пневмо-подушками; б - ділянка деки з поперечними пневмо-подушками; в - поздовжня пневмоподушка з шипами в розібраному стані; г - шипована поверхня ділянки деки з поперечними пневмо-подушками; д - дека з поперечними пневмо-подушками



Рисунок 3.5 - Конструктивні особливості запропонованого ОДЗА
а – вид зверху; б - схід качанів з ОДЗА паралельно осі ротора МСП; в - розташування вібраційного приводу ОДЗА

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики експериментального комплексу обладнання для виконання процесу поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи

Показники	Значення
Первинний етап обмолоту	
Об'єм захисного контейнера для початків кукурудзи, м ³	0,22
Розмір відкидного лотка захисного контейнера Д × Ш, м	0,60 × 0,45
Розмір п'ятиканального робочого органу ОДЗА, Д × Ш, м	1,0 × 0,45
Ширина одного каналу ОДЗА, м	0,08
Висота бортів одного каналу ОДЗА, м	0,06
Висота бічних бортів ОДЗА, м	0,15
Кількість розворотних виступів (мисів), штук	2...4
Амплітуда коливань робочого органу ОДЗА, мм	не більше 10
Частота коливань робочого органу ОДЗА, Гц	25
Початковий, основний етап обмолоту та домолот	
Конструктивна довжина частини деки в зоні початкового етапу обмолоту $Ld(II)$, мм	470
Конструктивна довжина частини деки в зоні основного етапу обмолоту $Ld(III)$, мм	650
Конструктивна довжина частини деки в спеку домолота $Ld(III)$, мм	300
Загальна конструктивна довжина деки з урахуванням кріплень $Ld(kp)$, мм	1420
Довжина частини основного циліндра ротора, укомплектованого плоскою (стрічковою) шнековою навивкою, розташованої в зоні початкового етапу обмолоту $Lp(II)$, мм	700
Довжина частини основного циліндра ротора, укомплектованого багатозахідною гвинтовою лопаттю фасонного поперечного перерізу, розташованої в зоні домолоту	300
Загальна довжина основного циліндра ротора	1420
Кількість встановлюваних поздовжніх пневмоподушок у верхній частині деки	8
Кількість встановлюваних поперечних пневмоподушок у нижній частині деки	7
Кількість шипів під однією поздовжньою пневмоподушкою	8-16
Кількість шпильок під однією поперечною пневмоподушкою, шт.	12-23
Кількість шипів на одному підпружиненому ділянці деки в зоні початкового етапу обмолоту, шт.	10-20
Зазор між основним циліндром ротора і шипами деки в зоні початкового етапу обмолоту,	80-45
Діаметр основного циліндра ротора, мм	320
Зазор між основним циліндром ротора та шипами деки в зоні основного етапу обмолоту	45-30
Зазор між основним циліндром ротора та шипами деки в зоні домолоту	30-17
Варіанти дискретної установки частоти обертання ротора	90, 110, 130, 150, 170, 190
Найменша та найбільша ширина прорізів у деці для відведення обмолоченого зерна, мм	низ 17, верх 22
Кількість пружних ділянок деки NV , прим.	4

Дослідження проводилося з метою встановлення раціональних знань товщини гумової підшви пневмоподушок аксіально-роторного МСП з пневмо-

адаптивною декою та надлишкового тиску в пневмо-подушці, що забезпечують хід фасонних шипів деки не менше 10 мм, і силу притискання шипа до зерна не більше 6 навантаженні запропонованим фасонним шипом.

Для цього було створено та застосовано спеціальну установку (рисунок 3.6).

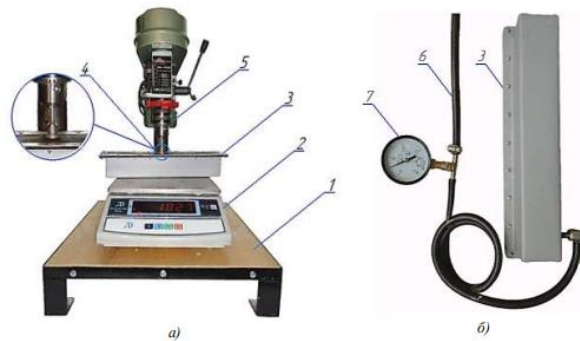


Рисунок 3.6 - Установка для визначення інтервалу раціональних значень гумової підошви у пневмо-подушках запропонованого МСП:

а - загальний вид установки; б - зміна тиску в пневмо-подушці; 1 - стіл; 2 - ваги; 3 – пневмо-подушка; 4 - шип; 5 - штатив свердлильного верстата; 6 - шланг; компресора; 7 - манометр.

Виготовлялися пневмо-подушки з товщиною гумової підошви 2, 3 та 4 мм. Гумові підошви були заготовлені з бутилкаучуку. У цих пневмо-подушках створювалося надлишковий тиск 0,4, 0,5 та 0,6 атмосфер, яке контролювалося манометром ДМ 05063.

При різній товщині гумової підошви та тиску всередині пневмо-подушки відстежити, як змінюється сила, необхідна для вдавлювання опорної п'яти шипа та встановити раціональні значення товщини підошви та тиску в пневмо-подушці. Для цього пневмо-подушки укладалися на ваги гумовою підошвою нагору. У патрон свердлильного верстата затискався фасонний шип і за допомогою механізму подачі верстата вдавлювався опірною п'ятою підошву подушки на глибину до 10 мм. Штатив свердлильного верстата має механізм, що дозволяє здійснювати вертикальні переміщення патрона з їх вимірюванням через кожні 0,5 мм. Зміна сили, необхідної для вдавлювання опорної поверхні шипа гумову підошву пневмо-подушки, фіксувалося вагами дискретно через кожен міліметр вдавлювання.

3.2 Подача качанів на обмолот та частоти обертання ротора, а також їх коригування за якісними показниками обмолоту

Дослідження проводилося з метою визначення діапазонів раціональних значень факторів подачі качанів на обмолот та частоти обертання ротора, що забезпечують регламентовані значення показників недомолота, сходу вільним зерном та його дроблення. Для цього було застосовано методику експериментів,

яка передбачає фіксацію низки факторів на базовому раціональному рівні, встановленому в результаті аналізу існуючої інформації та теоретичних даних:

- молотильна камера за допомогою сертифікованого лазерного кутоміра Leica DISTO встановлювалася під кутом до горизонту 12° , вивантажним вікном донизу (перше пошукове положення молотильної камери МСП);

- на шиповані ділянки деки в зоні первинного етапу обмолоту встановлювалися пружини жорсткістю $3,67 \text{ Н/мм}$ із попереднім натягом 10 мм , на кожен ділянку було встановлено по 15 шипів.;

- на верхню частину деки в зонах основного обмолота та домолота встановлювалося 8 поздовжніх пневмоподушок, кожна з яких своєю гумовою підошвою притискала по 11 шипів.;

- на нижню частину деки в зонах основного обмолота та домолота встановлювалося 7 поперечних пневмоподушок, кожна з яких своєю гумовою підошвою притискала по 23 шипи.;

- у пневмо-подушки компресором накачувалося надлишковий тиск $0,4$ атмосфери, при цьому товщина гумової підошви була 3 мм .;

- за допомогою шківів клинопасової передачі встановлювалася частота обертання ротора в інтервалі $90\text{-}190 \text{ хв}^{-1}$, з кроком $\Delta 1 = 20 \text{ хв}^{-1}$, контрольні вимірювання частоти обертання ротора проводилися за допомогою сертифікованого тахометра;

- за допомогою ваг формувалися групи наважок качанів, що по черзі укладаються в захисний контейнер, з якого за допомогою ОДЗА навішування подавалися в МСП;

- здійснювалася подача качанів на обмолот з інтенсивністю $0,4\text{-}1,4 \text{ кг/с}$ при кроці $\Delta 2 = 0,2 \text{ кг/с}$ до появи перших короткочасних зупинок ротора (досягнення межі пропускної спроможності);

- здійснювався замір маси обмолоченого матеріалу, що пройшов через молотильне пристрій;

- проводилася статистична обробка отриманих результатів та здійснювалася побудова відповідних графічних залежностей (діаграм);

- за допомогою графоаналітичного аналізу отриманих залежностей встановлювалися області знаходження інтервалів раціональних значень факторів, що діють. Отримані області коригувалися у два етапи.

Етап перший полягав в експериментальному пошуку режимів роботи МСП, що забезпечують мінімальну кількість зерна, що залишилося на качанах після обмолоту (показник недомолота) і вільно зійде з обмолоченими стрижнями качанів у вивантажувальне вікно (схід вільним зерном). Етап другий полягав у експериментальному пошуку режимів роботи МСП, за яких забезпечувалося мінімальне дроблення зерна при обмолоті.

3.3 Кількість обмолоченого зерна, що прокидається, через прорізи деки в кожній зоні обмолоту

Дослідження проводилося з метою підтвердження концептуально-теоретичного припущення про те, що в раціональних умовах роботи запропонованої технічної системи після проходження первинного етапу обмолоту від качанів буде відокремлено 2-5% зерна, початкового етапу обмолоту до 15% зерна, основного етапу обмолоту до 90% недомолот складе трохи більше 1,5%, а сход вільним зерном трохи більше 1%.

Отже, за умови, що зерно з первинного та початкового етапу обмолоту збиратиметься в першій секції бункера МСП прогноз розподілу зерна за секціями бункера набуде вигляду:

- 1-а секція - до 20% зерна;
- 2-а секція - до 70% зерна;
- 3-тя секція - до 7,5% зерна;
- втрати - до 2,5 % зерна.

Дослідження проводилося за такою методикою.

- кут установки молотильної камери щодо горизонту, кількість пневмоподушок та шипів у кожному етапі обмолоту було встановлено аналогічно попереднім пошуковим дослідом;
- встановлювалася частота обертання ротора 170 хв^{-1} ;
- налаштовувалась СОЗ на подачу $1,1 \text{ кг/с}$;
- у захисний контейнер завантажувалися навішування качанів, які за допомогою СОЗ подавалися до МСП;
- після обмолоту з секцій бункера вилучалося зерно, зважувалося за допомогою ваг, а потім розраховувався відсотковий розподіл зерна по секціях бункера.

При цьому загальна маса зерна у всіх секціях бункера приймалася за 100% (втрати до уваги не бралися). Отримані дані реєструвалися у журналі спостережень та статистично оброблялися. Результати досліджень оформлялися як таблиці експериментальних даних, якими будувалися відповідні графічні залежності і здійснювалася їх апроксимація.

Пошукове дослідження проводилося з метою звуження області пошуку раціональної кількості фасонних шипів у зоні основного етапу обмолоту за енергетичними показниками процесу з подальшим коригуванням результатів за показником недомолота. Для цього застосовувався ватметр сертифікованого вимірювального комплексу К-505 та відповідне вагове обладнання.

Дослідження проводилося за наступною методикою привід ротора запропонованого МСП здійснювався від асинхронного електродвигуна з потужністю 4кВт за допомогою приводної станції, що складається з двоступінчастого циліндричного редуктора та клинопасової передачі зі змінними

шківами. Шківи приводної станції були підібрані так, щоб забезпечувалася частота обертання ротора 170 хв^{-1} ;

- в електричний ланцюг електродвигуна було підключено ватметр сертифікованого вимірювального комплексу К-505;

- за допомогою ватметра вимірювалася потужність електродвигуна, потрібна на холостий хід ротора;

- для кожного досвіду завантажувався захисний контейнер об'ємом $0,22 \text{ м}^3$, з якого маса качанів з подачею $1,1 \text{ кг/с}$ подавалася на обмолот за допомогою СОЗ, що забезпечувало тривалість процесу обмолоту, при якій формувався енергоспоживання, що встановився.

- в процесі обмолоту за допомогою ватметра вимірювалася повна потужність електродвигуна, потрібна на привід ротора при максимально можливому завантаженні МСП;

- розраховувалася різниця між показаннями ватметра при повному завантаженні МСП та при роботі на холостому ході;

- визначення раціонального кількості шипів у зоні основного обмолоту забезпечувалися такі варіанти їх кількісної установки.

1) максимальна комплектація шипами (4 поздовжніх пневмо-подушки у верхній частині деки по 16 шипів кожна і 4 поперечні пневмо-подушки нижньої частини деки по 23 шипи кожна), всього 156 шипів;

2) середня комплектація шипами (4 поздовжніх пневмо-подушки у верхній частині деки по 11 шипів кожна і 4 поперечні пневмо-подушки в нижній частині деки по 18 шипів кожна), всього 116 шипів;

3) мінімальна комплектація шипами (4 поздовжніх пневмо-подушки у верхній частині деки по 8 шипів кожна і 4 поперечні пневмо-подушки в нижній частині деки по 16 шипів кожна), всього 96 шипів;

4) верхня частина деки мінімальна комплектація (4 поздовжніх пневмо-подушки по 8 шипів кожна), нижня частина деки максимальна комплектація (4 поперечні пневмо-подушки по 23 шипи кожна), всього 124 шипи;

5) верхня частина деки максимальна комплектація (4 поздовжніх пневмо-подушки по 16 шипів кожна), нижня частина деки мінімальна комплектація (4 поперечні пневмо-подушки по 16 шипів кожна) всього 128 шипів;

6) верхня частина деки середня комплектація (4 поздовжніх пневмо-подушки по 11 шипів кожна), нижня частина деки максимальна 230 комплектація (4 поперечні пневмо-подушки по 23 шипи кожна), всього 136 шипів. Результати досліджень оформлялися як таблиці експериментальних даних, якими будувалися відповідні графічні залежності і здійснювалася їх апроксимація. Отримані результати досліджень коригувалися за показником недомолота, що вивчається за описаною раніше методикою. Усі невраховані в описі даного дослідження конструктивно-технологічні параметри МСП залишалися незмінними та відповідали раніше певним значенням.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Обґрунтування товщини гумової підшви пневмо-подушок аксіально-ротаторного МСП

Раніше проведені дослідження показали, що вдавлювання циліндричного індентора площею 1 мм² із усередненим для досліджуваних підвидів кукурудзи зусиллям 12 Н призводить до межі властивостей міцності захисної плодової оболонки зерна. Об'ємне та математичне моделювання області контакту запропонованого фасонного шипа МСП та захисної плодової оболонки зерна кукурудзи у процесі обмолоту показали розмір майданчика контакту в межах 5,17 мм².

Виходячи з вищесказаного слід, що максимальне зусилля вдавлювання шипа в підшву пневмо-подушки має бути не більше 62 Н. Дане значення є пошуковим обмеженням, оскільки можна вважати, що саме це зусилля у вигляді реакції діятиме на зерно при обмолоті.

З точки зору виконання заданих обмежень та забезпечення максимального ресурсу доцільним є застосування пневмо-подушок з товщиною підшви 3 мм та надлишковим тиском 0,4 атмосфери. Для цих параметрів доцільно побудувати графічну залежність і отримати рівняння апроксимації, що описує закономірність зміни опору вдавлювання шипа підшву пневмо-подушки від глибини вдавлювання (рисунок 4.1).

Дана закономірність, виражена як зміни реакції, справедлива для контакту зерна і робочої поверхні фасонного шипа. З малюнка 4.1 видно, що залежність опору вдавлюванню шипа гумову підшву пневмо-подушки від глибини його вдавлювання несе лінійний характер, що свідчить рівняння апроксимації.



Рисунок 4.1 - Графічна залежність опору вдавлюванню шипа гумову підшву пневмо-подушки товщиною 3 мм від глибини його вдавлювання, за умови внутрішнього надлишкового тиску 0,4 атмосфери

Пневматична подушка з внутрішнім надлишковим тиском 0,4 атмосфери (40 кПа) та товщиною підшви 3 мм повністю відповідає висунутим конструктивним і технологічним вимогам. Зазначені параметри забезпечують

необхідні пружно-деформаційні властивості робочого органа та створюють умови для ефективної взаємодії шипа з поверхнею качана під час обмолоту. Завдяки оптимальному поєднанню внутрішнього тиску та геометричних характеристик подушки досягається стабільна робота механізму без перевищення допустимих навантажень на зернівку.

Застосування такої пневматичної подушки дозволяє забезпечити переміщення шипа на величину до 10 мм, що є достатнім для якісного виконання процесу відокремлення зерна від качана. При цьому силовий вплив на зерно залишається в межах допустимих значень, що сприяє зменшенню ймовірності його механічного пошкодження. Таким чином, обрані параметри пневматичної подушки забезпечують ефективне виконання технологічного процесу обмолоту та сприяють збереженню високих якісних показників насіннєвого матеріалу.

4.2 Кількість подачі та коефіцієнт швидкості обертання качанів кукурудзи для обмолоту

Відповідно до розробленої методики експериментальний пошук діапазонів раціональних значень факторів подачі качан q_n на обмолот і частоти обертання ротора проводився за граничним значенням маси q_ϕ , яку розроблюване аксіально-роторне МСП здатне обробити за встановлений час без короткочасних зупинок ротора.

При частоті обертання ротора 170 і 190 хв⁻¹ і подачі більше 1,2 кг/с спостерігалися короткочасні зупинки ротора (підклинювання ротора з ремня, що прослизав). Це свідчить про досягнення межі пропускної спроможності досліджуваного МСП. При частоті обертання 150, 170 і 190 хв⁻¹ та подачі менше 1,2 кг/с такий ефект не спостерігався.

Аналіз графічних залежностей показав, що область знаходження раціональних значень частоти обертання ротора обмежена інтервалом 150-190 хв⁻¹ при цьому значення раціональної пропускної здатності може перебувати в межах 0,8-1,1 кг/с.

На даних режимах простір молотильної камери рівномірно заповнювалося обмолочуваними качанами кукурудзи, шипи працювали по всій поверхні пневмо-адаптивної деки, впливаючи на зерно з раціональним зусиллям не перевищує 62 Н, качани не формували ущільнених ділянок, зерно максимально швидко виводилося з камер ефективно вивантажувалися через вивантажуване вікно. Крім того, основна маса обмолочених стрижнів не руйнувалася поздовжньо і не засмічувала прорізи рельєфної деки. Перший етап коригування отриманих інтервалів варіювання факторів експерименту здійснювався за двома якісними показниками: перший - кількість зерна, що залишилося на качанах після обмолоту (недомолот), другий кількість вільного зерна в обмолочених стрижнях (схід вільним зерном).

Пошукові дослідження якісних показників обмолоту проводилися за середнього значення раціональної подачі 1,0 кг/с. При цьому встановлювалася частота обертання ротора 150, 170 та 190 хв⁻¹.

У кожному досвіді вологість зерна обмолочуваних качанів контролювалася портативним електронним вологоміром WILE 55 і знаходилася в межах 12-15%. На всіх частотах обертання ротора, що вивчаються, кількість зерна, що залишилося на качанах після обмолоту, не перевищує допустимого значення 1,5%. Це пов'язано з тим, що з даних частот обертання в молотильній камері забезпечується раціональний режим удару і тертя, у якому ефективно руйнується зв'язок зерна зі стрижнем качана.

Кількість вільного зерна у вивантажених із МСП обмолочених стрижнях качанів має бути не більше 1,0%. Цей показник характеризує сепараційну здатність деки МСП і показує, наскільки раціонально підбрано довжину ротора.

При частоті обертання ротора 190 хв⁻¹ кількість вільного зерна в обмолочених качанах значно перевищує допустиме значення. Причина цього полягає в тому, що при цій частоті обертання ротора зерно не встигає проходити в бункер молотильного пристрою під дією власної ваги. В результаті маса обмолочених стрижнів і повітряний потік, що створюється лопатями ротора МСП, виштовхують вільне зерно у вікно вивантаження.

При частоті обертання ротора 150 і 170 хв⁻¹ такий ефект не простежується і кількість вільного зерна в обмолочених качанах становить 1,05-1,17%. Отже, раціональний інтервал частот обертання ротора звужується до цих меж.

При частоті обертання ротора 190 хв⁻¹ була забезпечена повна працездатність молотарки, проте показник дроблення збільшився практично вдвічі. Це тим, що сила удару робочого органу по зерну початку перевищувати гранично допустиме значення. В результаті долається система природного захисту зерна на початку від механічних впливів, і в зоні контакту з робочим органом (шипом) відбувається відділення частини ендосперму від зерна.

дослідження показника недомолота зерна у запропонованому МСП

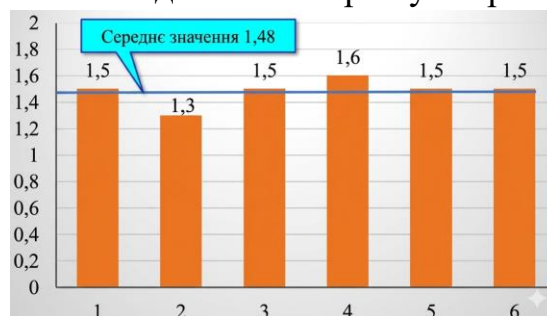


Рисунок 4.2 - Показника недомолота зерна у запропонованому МСП 190хв⁻¹

Базові значення діючих факторів були визначені та прийняті за основу під час планування і проведення подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію технологічних та конструктивних параметрів досліджуваного молотильно-сепарувального пристрою (МСП). Встановлення раціональних

значень досліджуваних факторів є необхідною умовою для забезпечення ефективного функціонування машини в процесі обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи. Особлива увага приділялася вибору таких параметрів роботи МСП, які б сприяли досягненню високої продуктивності технологічного процесу та забезпечували якісне відокремлення зерна від стрижня качана.

Поряд із забезпеченням високих показників продуктивності важливим завданням досліджень була мінімізація механічного впливу робочих органів на зерно. Це обумовлено тим, що навіть незначні мікро-пошкодження насіннєвого матеріалу можуть негативно впливати на його посівні та біологічні властивості. Тому під час визначення оптимальних параметрів роботи МСП враховувалася необхідність збереження цілісності зернівок та підтримання високого рівня їх якості після обмолоту.

Результати проведених пошукових досліджень підтвердили висунуту гіпотезу щодо працездатності експериментального аксіально-роторного молотильно-сепарувального пристрою з пневмо-адаптивною декою. Отримані дані свідчать про здатність запропонованої конструкції ефективно виконувати процес обмолоту качанів та забезпечувати стабільну роботу за різних режимів функціонування. Крім того, встановлено перспективність використання пневмо-адаптивної деки для зниження рівня травмування зерна та підвищення якості кінцевого продукту.

Аналіз результатів досліджень також вказує на доцільність проведення подальших багатофакторних досліджень, спрямованих на більш глибоке вивчення впливу окремих конструктивних і технологічних параметрів на показники роботи МСП. Проведення таких досліджень дозволить визначити оптимальні режими роботи пристрою, підвищити ефективність процесу обмолоту та забезпечити максимальне збереження посівних властивостей насіннєвого матеріалу.

Результати експериментального визначення кількості обмолоченого зерна, що прокидається, через прорізи деки в кожній зоні обмолоту представлені в таблиці 4.1

№	Маса зерна у секції I, кг	Маса зерна у секції II, кг	Маса зерна у секції III, кг	Загальна маса зерна у бункері, кг	% від загальної маси у секції I	% від загальної маси у секції II	% від загальної маси у секції III
1	6,56	23,48	2,75	32,79	20,01	71,61	8,39

Для визначення кількості зерна, відокремленого на первинному етапі, до входу в МСП, в нижню частину приймальної горловини встановлювалася вставка з прорізами для відведення зерна, що відокремлювалося від качанів при виході з захисного бункера, переміщенні по відкидному лотку бункера, пересипанні на ОДЗА, пересуванні в ОДЗА, в русі в струмка. У проведеному досвіді

середньостатистичне значення кількості зерна, що прокидалося, крізь прорізи в горловині МСП знаходилося в інтервалі 2,6-3,8%. Середнє значення маси зерна в бункері склало 33,6 кг, решта маси навішування ($\approx 33\%$) пішла з незерною частиною, недомолотом, сходом вільним зерном, а також зерном, що залишилося всередині СРД МСП, що розробляється.

4.3 Раціональна кількість колосків у основній зоні обмолоту

Аналіз представлених малюнку 4.3 графічних залежностей дозволяє зробити такі висновки. Кількість шипів 92-124 є недостатнім для ефективного обмолоту, 124 - 136 раціональним, а 136 і вище енергетично недоцільним. При раціональній кількості фасонних шипів у зоні основного етапу обмолоту, що знаходиться в межах 124-136 шт., при цьому на обмолот витрачається 2550-2790 Вт, а показник недомолота не перевищує допустимі 1,5%.

Результати визначення раціональної кількості шипів у зоні основного обмолоту за компромісом енергетичних показників процесу та недомолота зерна представлені на рисунку 4.3.

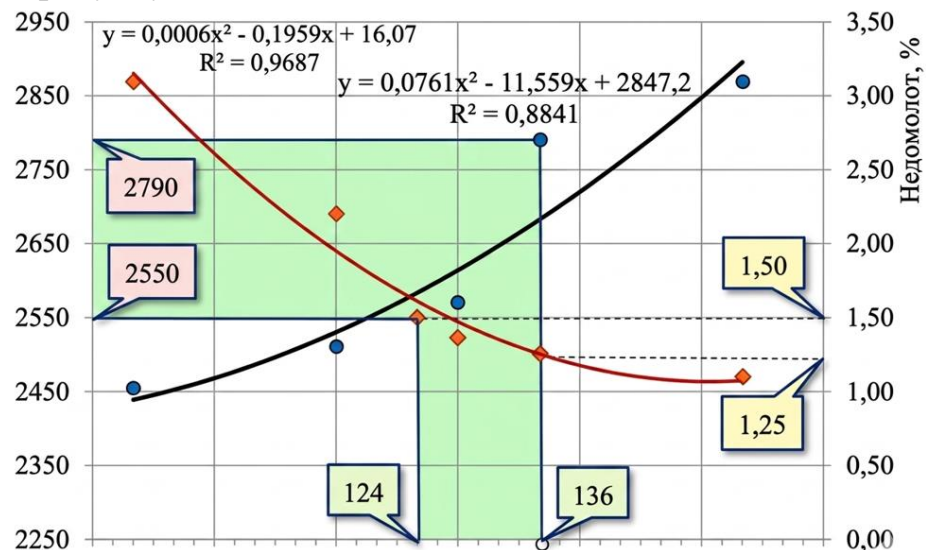


Рисунок 4.3 - Результати визначення раціональної кількості шипів у зоні основного обмолоту при частоті обертання ротора 170 хв^{-1}

Нижня та верхня межа інтервалу раціональних значень кількості фасонних шипів у зоні основного етапу конструктивно забезпечується таким чином:

- верхня частина деки мінімальна комплектація (4 поздовжніх пневмо-подушки по 8 шипів кожна), нижня частина деки максимальна комплектація (4 поперечні пневмо-подушки по 23 шипи кожна), всього 124 шипи;
- верхня частина деки середня комплектація (4 поздовжніх пневмо-подушки по 11 шипів кожна), нижня частина деки максимальна комплектація (4 поперечні пневмо-подушки по 23 шипи кожна), всього 136 шипів.

У даному інтервалі раціональних значень кількості шипів у зоні основного обмолоту забезпечуються умови, за яких переважна більшість шипів контактує з

озерненою поверхнею качанів кукурудзи, фактори тертя та удару максимально якісно сприяють відокремленню зерна. Явище зламу обмолочених стрижнів при взаємодії із зайвими шипами (що не контактують із зерном) мінімізується. Процес протікає за раціональних витрат енергії. Отриманий інтервал раціональних значень кількості фасонних шипів у зоні основного етапу обмолоту доцільно використовувати при багатофакторному експерименті, що базується на результатах теоретичних досліджень та пошукових експериментів. Отже, необхідне здійснення багатофакторного експериментального дослідження, фактори якого та їх базові значення доцільно вибрати на підставі таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведена таблиця умов та результатів пошукових дослідів.

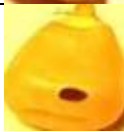
Показник	Значення
Фіксовані значення факторів (встановлені на підставі аналізу існуючої інформації, теоретичних досліджень та інженерної інтуїції)	
Кут нахилу СРД щодо горизонту,	12
Жорсткість пружин шипованих ділянок деки в зоні початкового етапу обмолоту, Н/мм	3,67
Попереднє натяг пружин, мм	10
Кількість шипів кожної з чотирьох ділянок деки в зоні початкового етапу обмолоту, штук	15
Кількість поздовжніх пневмоподушок на верхній частині деки в зонах основного етапу обмолоту та домолоту	8
Кількість поперечних пневмоподушок на нижній частині деки в зонах основного етапу обмолоту та домолоту	7
Кількість шипів, притиснутих підошвою однієї поздовжньої пневмоподушки, штук	8...11
Кількість шипів, притиснутих підошвою однієї поперечної пневмоподушки, штук	16...23
Ширина прорізів у деку для відведення обмолоченого зерна, мм	низ 17, верх 22
Діаметр основного циліндра ротора, мм	320
Зміна зазору від входу в зону початкового етапу обмолоту до виходу з неї, мм	80-45
Зміна зазору від входу в зону основного етапу обмолоту до виходу з неї, мм	45-30
Зміна зазору від входу в зону етапу домолоту до виходу з неї, мм	30-17
Раціональний інтервал подачі качанів на обмолот, кг/с	1,0-1,1
Раціональний інтервал частоти обертання ротора, мін-1	150-170
Раціональна кількість фасонних шипів у зоні основного етапу обмолоту, штук	124-136
Надлишковий тиск у пневмоподушках деки, атмосфер	0,4...0,5
Товщина гумової підошви пневмоподушок, мм	3
Недомолот, %	≤ 1,5
Сход вільним зерном, %	≤ 1,0
Показник дроблення зерна, %	≤ 1,5
Продуктивність, т/год	3,60-3,96
Витрати енергії на процес обмолоту, Вт	2550-2790

Витрати енергії на холостий хід ротора, Вт	до 390
Загальні витрати, Вт.	2940-3180

Аналіз таблиці 4.2 вказує на доцільність багатофакторного експерименту, де як фактори слід прийняти: подачу качанів на обмолот, частоту обертання ротора і кількість шипів деки в зоні основного етапу обмолоту. Отримавши оптимальне поєднання даних факторів, їх доцільно зафіксувати і при цьому досліджувати кількість мікро-пошкоджень зерна за умов зміни кута нахилу МСП щодо горизонту.

Найбільш характерні мікро-пошкодження зерна, отримані у запропонованому комплекті технічних засобів для поетапного обмолоту, представлені у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Найбільш характерні мікро-пошкодження зерна, отримані у запропонованому комплекті технічних засобів для поетапного обмолоту на базових рівнях факторів.

Найменування мікроушкодження зерна	Відсоток від маси обмолоченого зерна	Візуалізація
Відкриті мікро-тріщини, що йдуть у глиб ендосперму.	0,3	
Мікро-пошкодження ділянки захисної плодової оболонки зерна	7,8	
Мікро-пошкодження ділянки захисної плодової оболонки зерна	0,6	
Мікро-пошкодження тканин зерна в області зародка	0,2	
Макро-ушкодження тканин зерна в області зародка	0,1	

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Для техніко-економічного аналізу комплекту технічних засобів для поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи використовувалися загальновідомі методики, описані в джерелах.

Як об'єкт порівняння прийнято перспективну лінію компанії Serbia Product, яка для роботи з одним модулем сушарки укомплектована живильником-дозатором DK-4.000 і двома конвеєрами TG.1.000, що подають качани в накопичувальний бункер МСП марки MSH-25.

Запропонований комплект аналізувався у триканальному варіанті з урахуванням вартості 60 захисних контейнерів для завантаження одного модуля сушарки та самохідного навантажувача малого класу.

Вихідні дані для техніко-економічної оцінки представлені у таблиці 5.1.
Таблиця 5.1 - Вихідні дані для техніко-економічного аналізу запропонованих технічних рішень

Показники по системі обмолоту та сепарації	Символ	Одиниця виміру	Serbia Product	МТСО
Загальна вартість комплекту	B	млн.грн.	5,2	3,6
Продуктивність	W_{cm}	т/год	25	11
Потужність	N	кВт	50,0	16,0
Обслуговуючий персонал	-	Чол	2	3
Маса оброблюваних качанів	M_{II}	т	5500	5500
Річне фактичне завантаження техніки	T_z	год	220	500
Норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування	r_p	%	12	12
Норма відрахувань на амортизацію	a	%	14,2	14,2
Норма відрахувань на страхування техніки	$H_{стр}$	%	10	10
Норма відрахувань на переобладнання техніки підвищення якості продукції	$H_{пер}$	%	10	10
Втрати зерна		%	5	3

Економічна ефективність від впровадження нового комплексу технічних засобів оцінюється за допомогою річного економічного ефекту та терміну окупності капіталовкладень.

Сукупні витрати коштів на одиницю напрацювання, грн./т

$$N_{C.B} = N + N_{K.II} \quad (5.1)$$

де N - прямі експлуатаційні витрати коштів на одиницю напрацювання;

$N_{K.II}$ - витрати, що враховують зміну кількості та якості продукції.

Прямі експлуатаційні витрати коштів на одиницю напрацювання, грн./т.

$$N = Z + \Gamma + E + P + A + \Phi + Z_{cnp} \quad (5.2)$$

де Z - витрати на оплату праці, грн./т;

Γ - витрати коштів на мастильні матеріали, грн./т;

E - витрати на електроенергію, грн./т;

P - витрати коштів на ремонт та технічне обслуговування, грн./т;

A - витрати на амортизацію, грн./т;

Φ - витрати коштів на основні та допоміжні матеріали, грн./т;

Z_{cnp} - витрати на страхування техніки, грн./т.

Витрати коштів на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./т:

$$Z = \frac{1}{W_{cm}} \cdot L_Z \cdot \tau_o \cdot K_3, \quad (5.3)$$

де L_Z - число обслуговуючого персоналу, чол.;

W_{cm} - продуктивність в одиницях напрацювання, т/год;

τ_o - оплата праці обслуговуючого персоналу, $\tau_o = 400$ грн./чол;

K_3 - коефіцієнт нарахувань на зарплату за різних форм оподаткування $K_3 = 1,2$.

Витрати коштів на мастильні матеріали, грн./т:

$$\Gamma = q_T \cdot \Pi_T \cdot K_{KB}, \quad (5.4)$$

де q_T - питома витрата, кг/т;

Π_T - ціна 1 кг, грн./кг;

K_{KB} - коефіцієнт вартості KB.

Витрати коштів на електроенергію, грн./т:

$$E = \frac{N \cdot \Pi_E}{W_{cm}} \quad (5.5)$$

где N - споживана потужність, кВт;

Π_E - вартість 1 кВт електроенергії, $\Pi_E = 5,8$ грн/кВт.

Витрати коштів на ремонт та технічне обслуговування, грн./т:

$$P = \frac{B \cdot r_p}{W_{CM} \cdot T_3} \quad (5.6)$$

де B - ціна техніки, грн.;

r_p - норма відрахувань на ТО;

T_3 - річне завантаження техніки, год.

Витрати коштів на амортизацію, грн/т:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{CM} \cdot T_3} \quad (5.7)$$

де a - норма відрахувань на амортизацію.

Таблиця 5.2 - Результати техніко-економічного аналізу запропонованих технічних рішень.

Показники	Serbia Product	MTCO
Сукупні витрати коштів на одиницю напрацювання, грн./т	516,8	471,7
Прямі експлуатаційні витрати коштів на одиницю напрацювання, грн./т	422,3	362,6
Витрати коштів на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./т	38,4	130,9
Витрати коштів на мастильні матеріали (СМ), грн./т	20,0	20,0
Витрати коштів на електроенергію, грн/т	11,6	8,4
Витрати коштів на ремонт та технічне обслуговування, грн./т	113,5	78,5
Витрати коштів на амортизацію, грн./т	134,3	92,9

Результати техніко-економічної оцінки запропонованих технічних рішень показують суттєвий економічний ефект, що досягається за рахунок зниження сукупних питомих витрат коштів на 1 тону обмолоченого зерна з 516,8 до 471,7

грн. Виробництво зразків комплектів обладнання для поетапного обмолоту насіннєвої кукурудзи вирішує питання імпортозаміщення у цьому напрямку.

5.1 Охорона праці

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації комплекту технічних засобів для поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Вони пов'язані з роботою механічних, електричних та транспортуючих систем обладнання, а також із технологічними особливостями процесу обмолоту.

Основними небезпечними факторами є рухомі та обертові частини машин, такі як ротори, шнеки, привідні механізми, транспортери та інші елементи молотильно-сепарувального пристрою. Контакт працівника з такими деталями може призвести до травм різного ступеня тяжкості. Особливу небезпеку становлять зони завантаження качанів та вивантаження продукції, де можливе захоплення одягу або частин тіла рухомими механізмами.

До шкідливих факторів належать підвищена запиленість повітря робочої зони, шум, вібрація, а також можливе психофізіологічне навантаження на оператора під час тривалої роботи. Рослинний пил, який утворюється в процесі обмолоту, може викликати подразнення органів дихання та алергічні реакції. Підвищений рівень шуму негативно впливає на слуховий апарат працівників і спричиняє швидку втому.

Для зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці.

Вимоги безпеки під час експлуатації обладнання

До роботи з комплектом технічних засобів допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання з питань охорони праці та інструктаж з безпечної експлуатації обладнання.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний перевірити технічний стан машини, наявність і справність захисних кожухів, огорожень, блокувальних пристроїв та систем аварійної зупинки. Особлива увага приділяється справності електропроводки, пускової апаратури та заземлення.

Під час роботи забороняється:

- перебувати поблизу відкритих рухомих механізмів;
- виконувати очищення або ремонт обладнання при ввімкненому приводі;
- знімати захисні кожухи та огороження;
- допускати сторонніх осіб до робочої зони;
- перевищувати встановлені режими роботи обладнання.

Усі регульовальні та ремонтні роботи повинні виконуватися лише після повної зупинки обладнання та його відключення від електромережі.

Для запобігання нещасним випадкам робочі місця необхідно утримувати в чистоті, не допускаючи накопичення качанів, зерна та рослинних залишків у проходах і біля обладнання.

Комплект технічних засобів для поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи оснащується електричними приводами та системами керування, що потребує дотримання вимог електробезпеки.

Усі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені. Опір заземлювального пристрою має відповідати чинним нормативним вимогам.

Електричні кабелі повинні бути захищені від механічних пошкоджень, впливу вологи та пилу. Забороняється експлуатація обладнання з пошкодженою ізоляцією проводів або несправною пусковою апаратурою.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом рекомендується застосовувати:

- автоматичні вимикачі;
- пристрої захисного відключення;
- захисне заземлення;
- ізоляційні матеріали та інструменти.

У разі виникнення аварійної ситуації електроживлення повинно бути негайно відключене за допомогою аварійного вимикача.

Санітарно-гігієнічні умови праці.

Під час роботи молотильно-сепарувального обладнання утворюється значна кількість пилу, що погіршує умови праці та може негативно впливати на здоров'я персоналу.

Для забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов необхідно використовувати вентиляційні та аспіраційні системи. Ефективне видалення пилу дозволяє знизити його концентрацію в повітрі робочої зони та покращити умови праці.

Температура, вологість та швидкість руху повітря повинні відповідати вимогам санітарних норм для виробничих приміщень. Робоче місце оператора повинно бути достатньо освітленим як природним, так і штучним освітленням.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, респіраторами, захисними окулярами, протишумовими навушниками.

Застосування засобів індивідуального захисту значно знижує ризик професійних захворювань та виробничого травматизму.

Пожежна безпека

Процес обмолоту кукурудзи супроводжується утворенням пилу та накопиченням сухих рослинних залишків, які є легкозаймистими матеріалами. Тому особливу увагу необхідно приділяти пожежній безпеці.

Основними причинами виникнення пожеж можуть бути: коротке замикання електромережі, перегрівання електродвигунів, несправність електрообладнання, використання відкритого вогню, самозаймання рослинних залишків.

Для попередження пожеж необхідно:

- регулярно очищати обладнання від пилу та рослинних решток;
- контролювати технічний стан електрообладнання;
- не допускати перевантаження електромереж;
- забезпечити приміщення засобами пожежогасіння.

У виробничому приміщенні повинні бути встановлені порошкові або вуглекислотні вогнегасники, а також розміщені плани евакуації персоналу на випадок пожежі.

Куріння на території виробничих приміщень та поблизу обладнання категорично забороняється.

Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Експлуатація комплексу технічних засобів повинна здійснюватися з дотриманням вимог екологічної безпеки. Основними джерелами впливу на навколишнє середовище є пил, шум та відходи рослинного походження.

Для зменшення негативного впливу необхідно:

- застосовувати системи пиловловлювання;
- забезпечувати своєчасне прибирання території;
- використовувати відходи обмолоту як органічну сировину або кормові добавки;
- підтримувати технічний стан обладнання на належному рівні.

Реалізація зазначених заходів сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища та підвищенню екологічної безпеки виробництва.

Висновки щодо охорони праці

Аналіз умов праці під час експлуатації комплексу технічних засобів для поетапного обмолоту качанів насінневої кукурудзи показав наявність низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів, серед яких найбільш значущими є рухомі частини обладнання, підвищена запиленість, шум та можливість ураження електричним струмом.

Запропоновані організаційні та технічні заходи з охорони праці забезпечують зниження ризику виробничого травматизму, підвищують безпеку персоналу та створюють належні умови для ефективної експлуатації обладнання. Дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та використання засобів індивідуального захисту є необхідною умовою безпечної роботи комплексу технічних засобів.

ВИСНОВКИ

1. Технологія переробки качанів кукурудзи на насіннєве зерно складається з обробки качанів та обробки обмолоченого зерна. Обмолот точка переходу від однієї фази переробки до іншої, у якому пошкоджується до 30% зерна. Мінімізація мікро-пошкоджень зерна при обмолоті забезпечується переміщенням качанів у захисних вентиляльованих контейнерах, розвантаженням контейнерів без перекидання, орієнтуванням качанів та їх дозованою подачею багатострумовим ОДЗА, адаптивним 309 силовим впливом аксіально-роторного МСП з багатосекційним.

2. Теоретично обґрунтовано основні конструктивні параметри технічних засобів комплекту. Для захисного контейнера, що вентиляється: довжина, ширина і висота знаходиться в межах $AK = 800-1600$, $BK = 400-800$, $NK = 600-1000$ мм; кут нахилу днища $27-35^\circ$; висота вивантажувального вікна 250-300 мм; довжина відкидного лотка щонайменше 600 мм; максимальний кут установки 35° ; діаметр перфорацій у стінках контейнера 4,0-5,0 мм. Для багатострумового ОДЗА, призначеного для роботи з контейнером вищеописаних розмірів: кількість струмків 5-9; ширина струмка 80-100 мм та її глибина 60 мм; довжина струмка щонайменше 1600 мм; кількість поворотних мисів – не менше 4; кут нахилу $20-35^\circ$. Для аксіально-роторного МСП: довжина секції деки в зонах початкового, основного етапу обмолоту та домолоту 470-650-300 мм, при максимальному діаметрі навивки ротора не більше 400 мм.; 310 ширина прорізів деки для відведення обмолоченого зерна 17-22 мм; зміна зазору між ротором та декою від входу до виходу 80-17 мм; висота робочої поверхні шипів 8-12 мм; базовий діаметр профілю шипів 14-17 мм.

3. Визначено оптимальні конструктивно-технологічні параметри МСП з адаптивними робочими органами: частота обертання ротора 159 хв^{-1} , подача $0,95 \pm 0,01 \text{ кг/с}$, кількість фасонних шипів у зоні основного етапу обмолоту 130 шт., попереднє натягування; 7 ± 1 мм, надлишковий тиск у пневмоподушках деки на етапах основного обмолоту та домолота 0,4 атм., кут нахилу СРД щодо горизонту 14° , що забезпечують мінімальні значення енергоємності процесу обмолоту та кількості мікро-пошкоджень зерна. . Встановлено, що енергоємність процесу обмолоту становить $0,765 \text{ кВтг/т}$, а показник мікро-пошкоджень трохи більше 9% від маси обмолоченого зерна, у своїй показник дроблення зерна до 1,5%, недомолот до 1,5%, а сход вільним зерном до 1%.

4. Техніко-економічний аналіз запропонованих технічних рішень поетапного обмолоту початків насіннєвої кукурудзи в обсязі 5500 тонн порівняно з перспективним комплектом MSH-25 «Serbia Product» дозволяє отримати річний економічний ефект 1,77 млн. грн., за терміну окупності капітальних вкладень 2 роки. Розрахункове значення економічного ефекту від застосування запропонованих технологічних рішень щодо мінімізації мікро-пошкоджень зерна при післязбиральній обробці даного обсягу качанів насіннєвої кукурудзи становить не менше 256 млн. грн на рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 5223:2009. Сита дротяні ткани та пластини перфоровані для контрольного сортування зерна. Технічні вимоги та випробування (ISO 5223:1995, IDT). [Чинний від 2011-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
2. ДСТУ EN ISO 6540:2017 (EN ISO 6540:2010, IDT; ISO 6540:1980, IDT). Кукурудза. Визначення вмісту вологи (у змелених і цілих зернах). [Чинний від 2018-01-01]. Київ, 2018. 18 с.
3. ДСТУ 4117:2007. Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом спектроскопії у ближній інфрачервоній ділянці. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.
4. Бурлака С. А., Вовк М. В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи молотильно-сепарувальних пристроїв роторного типу. *Техніка і технології АПК*. 2021. № 2 (119). С. 24-28.
5. Вовченко В. А., Пилипенко О. І. Фізико-механічні властивості качанів кукурудзи як об'єктів механізованого обмолоту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 1. С. 145-151.
6. Гапонова Л. М., Кравченко А. М. Дослідження внутрішнього травмування насіннєвого зерна кукурудзи під час механічної обробки. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2023. Вип. 98, ч. 2. С. 89-97.
7. Голуб Г. А., Кепко О. І. Визначення фрикційних характеристик та кута природного укусу вороху кукурудзи. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2020. Вип. 284. С. 112-120.
8. Гусар В. В. Удосконалення процесу сепарації зерна кукурудзи рельєфними деками аксіально-роторних ліній. *Аграрна інженерія*. 2024. Т. 15, № 3. С. 45-53.
9. Дмитренко П. М. Обґрунтування робочих органів самохідних селекційних зернозбиральних комбайнів. *Наукові праці ЛНАУ. Серія: Технічні науки*. 2021. № 31. С. 67-74.
10. Іщенко Ю. Б., Кононенко В. В. Перспективи розвитку вітчизняного насінництва кукурудзи та завдання імпортозаміщення в АПК. *Економіка АПК*. 2023. № 5. С. 18–26.
11. Клименко О. В., Захаров О. М. Лабораторний стенд для визначення статичного коефіцієнта тертя зерна кукурудзи. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2022. Вип. 52. С. 101-108.
12. Лебедев С. О. Дослідження морфологічної будови зернівки кукурудзи та її міцнісних характеристик при статичному навантаженні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2021. Вип. 212. С. 34-41.
13. Мельник В. І., Сидоренко М. П. Моделювання процесу обмолоту качанів кукурудзи в багатосекційній молотильній камері. *Техніко-технологічні*

аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для АПК України. 2023. Вип. 32 (46). С. 155-164.

14. Олексієнко В. М. Використання оптико-електронних систем та ОДЗА для автоматизації контролю технологічних процесів у збиральних машинах. *Сучасні напрями розвитку агроінженерної науки.* 2024. № 4. С. 78-85.

15. Пащенко В. Ф., Ткаченко С. В. Щадна технологія первинної обробки насінневої кукурудзи. *Сучасні технології вирощування та переробки зернових культур.* Полтава : ПДАУ, 2022. С. 122-130.

16. Рожков С. М. Вплив вологості стрижня та обгортки кукурудзи на енергоємність процесу домолу качанів. *Механізація та електрифікація сільського господарства.* 2023. Вип. 17 (116). С. 201-209.

17. Сидорчук О. В. Наукове обґрунтування засобів стаціонарного обмолоту для насінництва кукурудзи. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету.* 2022. № 2 (89). С. 54-62.

18. Тарасенко О. Г., Швед В. А. Теоретико-експериментальні дослідження аксіально-роторних молотильно-сепарувальних пристроїв. *Зернові культури.* 2021. Т. 5, № 1. С. 176-183.

Федоренко Д. І. Аналіз пошкоджень зародка та ендосперму кукурудзи під дією динамічних навантажень. *Агроінженерні системи.* 2023. № 2. С. 12-19.

19 Чернов М. К., Борисюк О. В. Розрахунок кутів нахилу бункерів та захисних контейнерів для транспортування качанів кукурудзи. *Наукові нотатки Луцького НТУ.* 2022. Вип. 74. С. 233-239.

20 Шевченко А. М. Інтенсифікація сепарації зернового вороху у кукурудзозбиральних машинах. *Сучасна інженерія та інноваційні технології.* 2024. Вип. 31, ч. 1. С. 94-102.

ДОДАТКИ