

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« ____ » _____ 2025 р.
Т.в.о. зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
Андрій ВОЙТІК
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технічних засобів для обмолоту зерна
насіннєвої кукурудзи шляхом поетапного обмолоту»

Виконав: студент 4 курсу, групи 413-ім
освітньої програми бакалавра
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Ящишин Дмитро Сергійович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1 Аналіз сучасних технологій обробки качанів кукурудзи.....	4
1.2 Аналіз досліджень перспективних конструкцій молотильно-сепаруючих пристроїв.....	6
Висновки по розділу.....	12
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
2.1. Обґрунтування параметрів технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи.....	13
2.2. Конструктивно-аналітичне обґрунтування схеми технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи.....	19
2.3. Результати досліджень роботи удосконаленого технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи за основними показниками.....	23
Висновки по розділу.....	25
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	26
3.1. Організація охорони праці в господарстві.....	26
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з комбайнами.....	27
Висновки по розділу.....	28
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	29
Висновки по розділу.....	30
Загальні висновки.....	31
Список використаних джерел.....	32

ВСТУП

У вирощуванні сільськогосподарських культур однією із важливих є кукурудза. На сьогодні в Україні площі посіву кукурудзи є досить великими, що потребують ефективних сільськогосподарських технологій, технічних засобів і практичних агротехнічних прийомів. Для повноцінного освоєння даного потенціалу сільськогосподарським виробникам необхідні нові наукові знання, виражені в ефективних технологіях, заснованих на ресурсозберігаючих процесах та використанні високоефективної техніки.

Проблема ресурсозбереження під час виробництва зерна кукурудзи щільно пов'язана з урожайністю цієї культури. В свою чергу урожайність кукурудзи залежить від властивостей та стану ґрунту, достатньої наявності вологи в ґрунті, а також якості насіннєвого зерна (біологічний та технологічний напрямок ресурсозбереження).

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

Удосконалення обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи вимагає наукового обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комплексних технічних засобів, що використовуються для даного виду роботи. Тому, тема дослідження є актуальним завданням.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1 Аналіз сучасних технологій обробки качанів кукурудзи

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

Укрупнена принципова конструктивно-технологічна схема обробки качанів кукурудзи в потоці при пересувній механізації представлена на Рис. 1.1 [4].

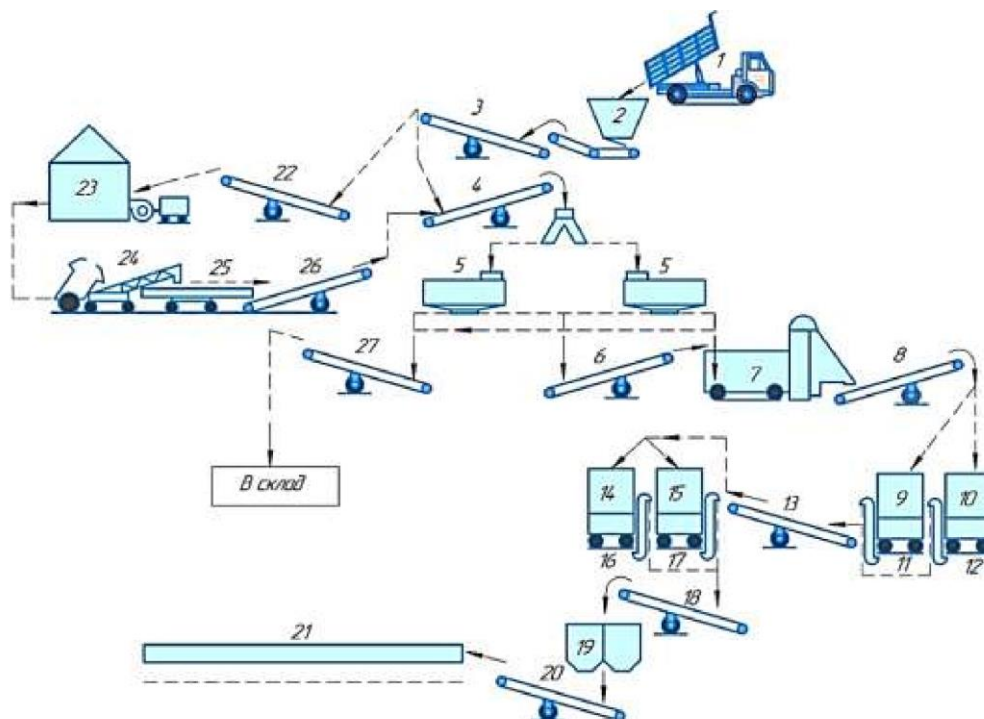


Рисунок 1.1 – Укрупнена принципова конструктивно-технологічна схема обробки качанів кукурудзи в потоці при пересувній механізації

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 – конвеєр.

бункерні ваги; 21 – секційно-розбиральний 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 наступним обмолотом пересувними машинами, що не вимагають застосування капітальних будівель та споруд. Після обмолоту здійснюється сушіння, очищення і калібрування зерна також мобільними засобами механізації. Основне завдання даної технології полягає у зниженні стартових капітальних вкладень.

Технологія обробки качанів кукурудзи при стаціонарній механізації не має опорної схеми, передбачає використання капітальних будівель і споруд та виражається в 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 обгорток 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 по довжині; сортування за питомою вагою; переробка відходів (зернових та незернових); протруювання; затарювання; зберігання; доставка торговим організаціям або споживачам. Тут також є перспективним переміщення качанів у контейнерах.

Пересувна механізація характерна для умов сухого клімату та переробки продовольчої та фуражної кукурудзи. Стаціонарна механізація застосовується для всіх цільових призначень качанів (насіннєве, продовольче та фуражне зерно). Ефективність об'єднаного в потоково-технологічні лінії обладнання для здійснення вище описаних технологій оцінюється узагальненими показниками: енергоємності процесу, матеріаломісткості обладнання, експлуатаційної собівартості, а також кількості втрат та якості отриманого зерна.

Схема показує, що за підсумком переробки качанів кількість пошкодженого зерна може становити до 71% у партії, причому до 10% зерна може бути втрачено з відходами. При посіві насіння з великою кількістю макро- та мікропошкоджень,

згідно дослідів науковців недобір урожаю може перевищувати 23% [11]. З позиції біологічного та технологічного спрямування ресурсозбереження це неприпустимо.

Найбільш екстремальні умови взаємодії із робочими органами машин, зерно кукурудзи зустрічає у молотильній камері МСП, тут пошкодження досягають 30% у партії. Тому, удосконалення етапу обмолоту з позиції якості зерна призведе до суттєвого підвищення ефективності технології загалом.

З вище викладеного впливає необхідність встановлення причин такого значного пошкодження зерна в МСП. Аналіз існуючої наукової інформації вказує на доцільність пошуку шляхів мінімізації макро та мікропошкоджень зерна кукурудзи кукурудзозбиральною та кукурудзопереробною технікою.

1.2 Аналіз досліджень перспективних конструкцій молотильно-сепаруючих пристроїв

Для вибору найбільш перспективної конструкції орієнтовно дозуючого завантажувального апарату (ОДЗА) для качанів кукурудзи проведено аналіз.

Для оцінки конструктивних особливостей аналізованих апаратів було запропоновано два логічні критерії, першим з яких є показник ступеня свободи Δ_{CC} качана [11]:

$$\Delta_{CC} = \sum_{i=1}^4 \frac{\theta_i}{100}, \quad (1.1)$$

де θ_i – i -й ступінь свободи.

Другим критерієм є функціональність ОДЗА, виражена у відсотках Δ_{Φ} [11]. Ефективні ОДЗА повинні виконувати чотири необхідні функції ($n=4$):

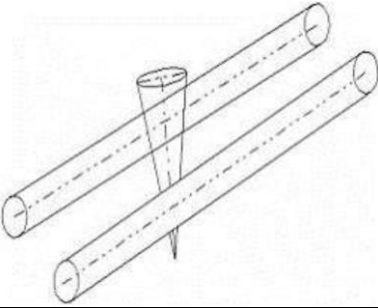
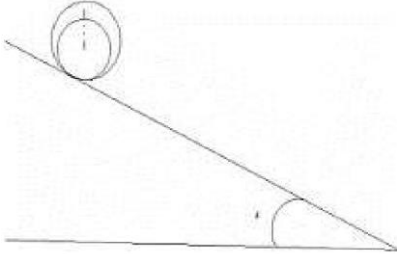
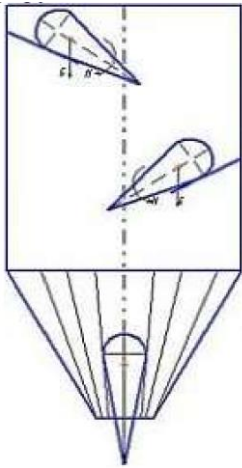
- накопичення маси хаотично покладених качанів у приймальному бункері;
- поштучне захоплення качанів робочим органом із загальної маси в приймальному бункері;
- орієнтування качанів у просторі;
- створення запасу зорієнтованих качанів.

За аналогією з першим логічним критерієм вважаємо, що виконання кожної із чотирьох функцій рівнозначно і становить 25% функціональності, звідки:

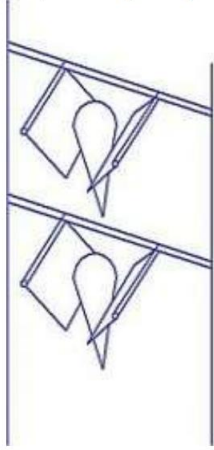
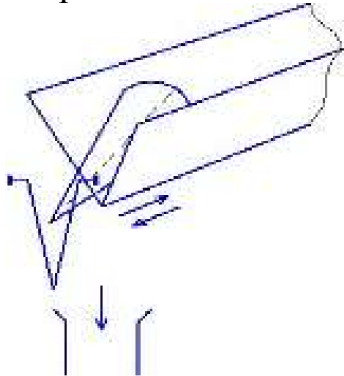
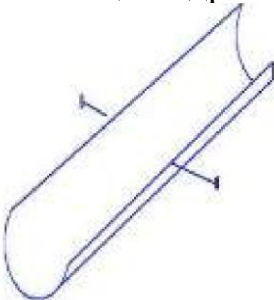
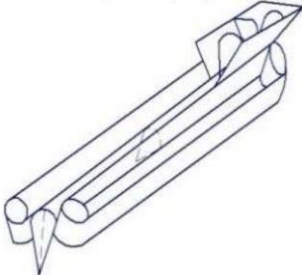
$$\Delta_{\phi} = \sum_{i=1}^4 \frac{n_i}{100}. \quad (1.2)$$

Аналіз конструкцій ОДЗА, здатних орієнтувати конусоподібні тіла у просторі представлений у таблиці 1.1 [9].

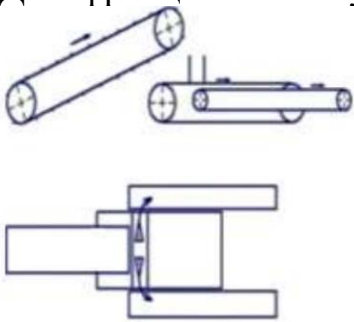
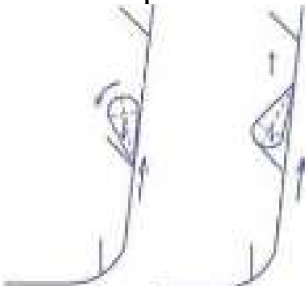
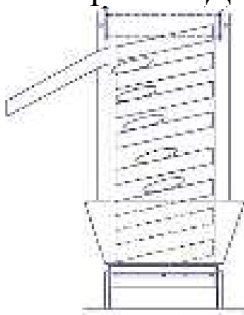
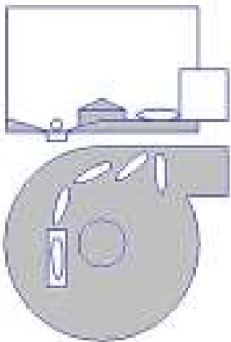
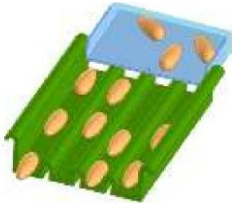
Таблиця 1.1 – Аналіз конструкцій ОДЗА, здатних орієнтувати конусоподібні тіла у просторі

Тип та схематичне зображення конструкції	Принцип дії	Δ_{cc}	Δ_{ϕ}
<p>Щілинний ОДЗА</p> 	Для орієнтації конусоподібних тіл використовується щілина, утворена вальцями або різницею в частоті обертання вальців	0,50	0,50
<p>Орієнтовна похила площина</p> 	Конусоподібні тіла скочуються вниз і в бік по дузі, описаної навколо вершини конуса	0,25	0,50
<p>ОДЗА з гнучкими пружними елементами</p> 	Складається з корпусу, на протилежних сторонах якого закріплено два упори, зміщені один відносно одного по висоті, і стабілізуючої воронки	0,75	0,75

Продовження таблиці 1.1

<p>ОДЗА з упорами</p> 	<p>Упори встановлюються на одному рівні над поверхнею переміщення таким чином, щоб хвостова частина затримувалася одним із упорів, а носова частина вільно проходила під іншим, протилежним упором</p>	1,00	0,75
<p>ОДЗА з шарнірно закріпленою вилкою</p> 	<p>На сході коливального похилого лотка шарнірно закріплена вилка, яка служить для орієнтації конусоподібних тіл</p>	0,25	0,50
<p>Орієнтуючий коливальний напівциліндр</p> 	<p>Конусоподібні тіла орієнтуються за рахунок зміщення центру тяжіння в бік хвостової частини</p>	0,25	0,50
<p>Орієнтуючий клинопасовий багаторучний транспортер</p> 	<p>Конусоподібні тіла орієнтуються вздовж напрямку руху транспортера хвостовою частиною вперед за рахунок різниці лінійних швидкостей стрічок транспортера</p>	0,75	1,00

Продовження таблиці 1.1

<p>ОДЗА фрикційного типу</p> 	<p>Використовується властивість конуса зміщуватися в бік вершини при розкручуванні та наданні точкам утворення конуса однакової лінійної швидкості стрічкою транспортера</p>	0,50	1,00
<p>Орієнтовна люлькова Норія</p> 	<p>Конусоподібні тіла орієнтуються за рахунок зміщення центру тяжіння відносно скребка</p>	0,75	1,00
<p>Елеваторний ОДЗА</p> 	<p>Конусоподібні тіла орієнтуються за рахунок нахилу пластин</p>	1,00	1,00
<p>Вихровий ОДЗА</p> 	<p>Використовується властивість конуса зміщуватися в бік вершини при розкручуванні та наданні точкам утворення конуса однакової лінійної швидкості тангенціальним повітряним потоком</p>	1,00	0,75
<p>Орієнтуючий коливальний багатоканальний лоток</p> 	<p>Конусоподібні тіла орієнтуються за рахунок зміщення центру тяжіння в бік хвостової частини</p>	1,00	1,00

Орієнтовно дозуючі завантажувальні апарати елеваторного типу та орієнтуючого коливального багатоканального лотка легко інтегруються в конструкцію аксіально роторних МСП, які є найбільш поширеними через високу ефективність обумовлену безперервністю процесу обмолоту та простотою управління силовим впливом на качани кукурудзи [9, 5].

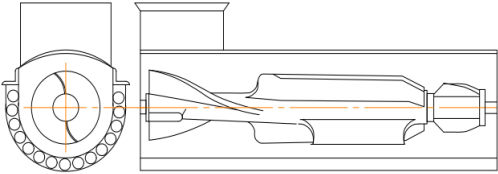
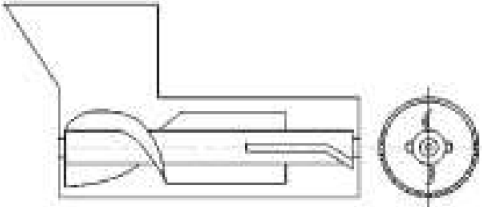
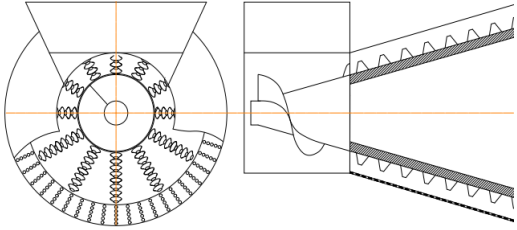
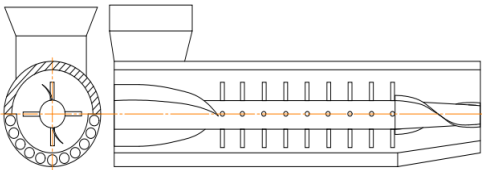
Мінімізація кількості макро- та мікропошкоджень при обмолоті качанів кукурудзи можлива тільки при адаптивному диференціюванні механічної силової дії на зерно в молотильній камері.

На сучасному етапі розвитку МСП для качанів кукурудзи найбільш ефективними є аксіально-роторні обмолочувальні системи. Ефективність аксіально-роторних МСП, у порівнянні з іншими конструкціями, забезпечується безперервністю процесу обмолоту, високою продуктивністю, простотою та надійністю конструкції системи ротор-дека, а також низькою енергоємністю процесу обмолоту, мінімальною матеріалоємністю МСП, найменшою кількістю макро- та мікропошкоджень зерна при недомолоті та сході вільним зерном менше ніж 2%. В аксіально-роторних МСП найповніше реалізовано принцип диференціювання силового впливу робочих органів на кожний обмолочуваний качан, кожен ділянку суміжних зерен у качані та кожне окреме зерно відповідно.

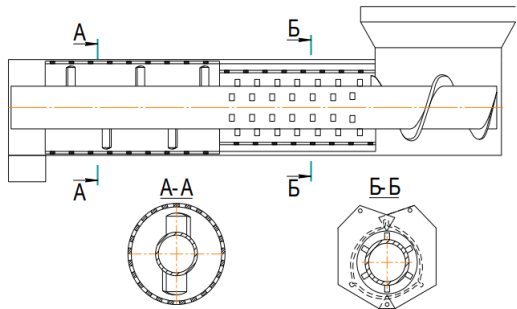
Диференціювання силового впливу на качани кукурудзи в молотильній камері значною мірою залежить від конструкції системи ротор-дека, що використовується аксіально-роторного МСП. На етапі розвитку сільськогосподарської техніки розроблено велику кількість аксіально-роторних МСП для качанів кукурудзи, які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

Аналіз конструктивно-технологічних схем аксіально-роторних МСП наведений у таблиці 1.2 [9, 4].

Таблиця 1.2 – Аналіз систем ротор-дека, що використовуються в існуючих конструкціях МСП для кукурудзи

Схема системи ротор-дека	Конструкція ротора	Конструкція деки	Спосіб Диференціювання сил обмолочування
<p>МКП-30 (аналоги: МКП-12, МКПУ, MSH-25 «Serbia Product»)</p> 	<p>Лопастевий ротор завдовжки 1128 мм і трьома ділянками лопастей</p>	<p>Нижня пруткова частина деки охоплює ротор на 270°. Верхня – сталева без отворів</p>	<p>Лопасті змінної геометрії наносять удари з різною силою</p>
<p>МКП-10 (Україна)</p> 	<p>Лопастевий ротор завдовжки 1150 мм і трьома ділянками лопастей</p>	<p>Нижня частина деки - решітчаста, охоплює ротор на 270°. Верхня – сталева без отворів</p>	<p>Автоматична зміна частоти обертання ротора</p>
<p>Конусна молотилка качанів кукурудзи</p> 	<p>Ротор завдовжки 1280 мм по формі конусний, із шнековою прийомною та штифтовою основною частиною</p>	<p>Нижня частина деки сталева з пробивними отворами та охоплює ротор на 180°. Верхня – без отворів</p>	<p>Плавна зміна кутової швидкості качанів</p>
<p>Молотильний апарат Rivera Casalis (Євросоюз)</p> 	<p>Довжина ротора 1700 мм. Циліндрична частина ротора з лопастями та штифтами. Конічна – з лопастями</p>	<p>Нижня частина деки охоплює ротор на 220°. Верхня – сталева без отворів</p>	<p>-</p>

Продовження таблиці 1.2

<p>Corn Sheller (USA)</p> 	<p>Довжина ротора 1750 мм. Прийомна частина шнекова, середня – штифтова, кінцева – з лопастями встановленими під кутом до осі ротора</p>	<p>Два незалежних циліндра з пробивними отворами охоплюють ротор на 360°. Діаметр 1-го циліндра регулюється</p>	<p>Молотильна камера розбита на дві ділянки, робочі органи яких діють на качани з різною інтенсивністю</p>
--	--	---	--

З аналізу випливає, що диференціювання сил обмолочування досягається автоматично змінною інтенсивністю дії робочих органів системи ротор-дека.

Розробка конструкції МСП, в якій реалізовані перелічені вище шляхи диференціювання силового впливу на зерно – перспективне науково-технічне завдання, вирішення якого дозволить мінімізувати кількість макро- та мікропошкоджень зерна при обмолоті.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі проведений огляд технологій обробки качанів кукурудзи та конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв для їх обмолоту. Визначено, що для мінімізування кількості макро- та мікропошкоджень зерна кукурудзи при обмолоті, перспективними науково-технічними завданнями є удосконалення молотильно-сепарувальних пристроїв.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обґрунтування параметрів технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи

Варіативна форма та розміри качанів кукурудзи різних підвидів вказують на те, що теорія їх орієнтування в просторі може базуватися на ймовірнісних моделях.

Для надання качанам кукурудзи строго певного положення в просторі для цього необхідно здійснити два етапи:

- створити раціональні умови для орієнтування при виході із захисного контейнера на його відкидний лоток (подія A_1) та переміщенні по робочій поверхні відкидного лотка (подія A_2);

- здійснити орієнтування качанів робочою поверхнею орієнтовно-дозуючого завантажувального апарату (подія A_3) та подачі їх у приймальний лоток молотильно-сепарувального пристрою (МСП).

Кожна подія має ймовірнісний характер і позначається $p(A_1)$, $p(A_2)$ та $p(A_3)$. Тоді, ймовірність орієнтування качана виражається рівнянням:

$$p(A) = \begin{cases} p(A_1) \cdot p(A_2) \rightarrow & \text{створення раціональних умов орієнтування} \\ p(A_3) \rightarrow & \text{орієнтування маси качанів} \end{cases} \quad (2.1)$$

де $p(A_1)$ і $p(A_2)$ – ймовірність створення раціональних умов для орієнтування качанів при виході з захисного контейнера і при переміщенні робочої поверхні відкидного лотка; $p(A_3)$ – ймовірність орієнтування качанів робочою поверхнею орієнтовно-дозуючого завантажувального апарату (ОДЗА).

Качани кукурудзи становлять тіло великого кускового сипучого матеріалу, що рухається самопливом із захисного контейнера (Рис. 2.1) в ОДЗА, і можна розглядати як стохастично складені двоопорні стрижні (Рис. 2.2).

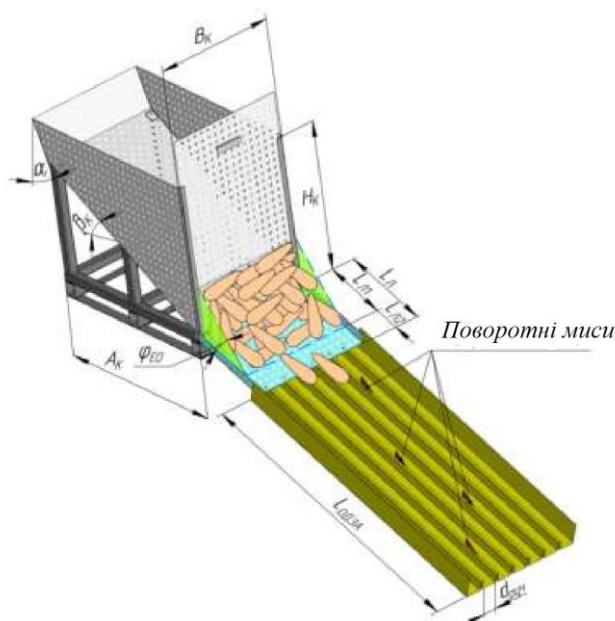


Рисунок 2.1 – Система орієнтовного завантаження (СОЗ) качанів у МСП

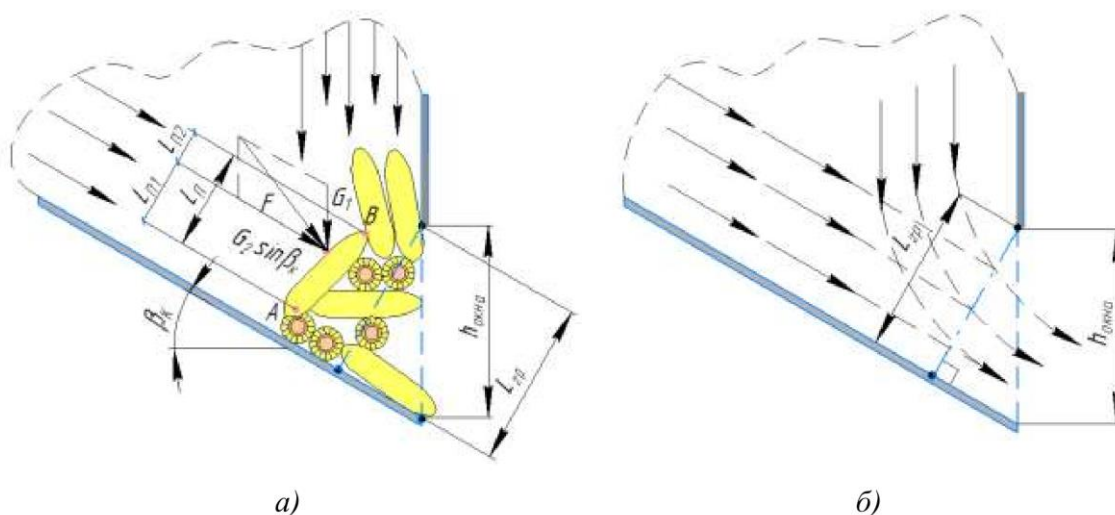


Рисунок 2.2 – До визначення ймовірності розподілу навантаження по опорах качана, що знаходиться в насипі

Якщо уявити силовий вплив на качани у вигляді зосередженої сили F (рівнодіюча зовнішніх сил на одиничний качан), ймовірність прикладення якої дорівнює 1, і задатися значенням відстані між опорами $l_{\Pi} = l_{\Pi1} + l_{\Pi2}$, можна визначити ймовірність розподілу навантаження по опорах [10]. Слід розуміти, що всі точки початку на довжині l_{Π} мають рівні можливості щодо прикладання навантаження.

Оскільки у переважній більшості випадків зосереджена сила F буде прикладена на відстані від центру симетрії качана (сила буде розподілена по

опорах нерівномірно), то ймовірність розподілу навантаження в опорах дорівнює [10]:

$$p_A = \int_{l_{\Pi 1}}^{l_{\Pi}} f_{(x)} dx = \int_{l_{\Pi 1}}^{l_{\Pi}} \frac{1}{l_{\Pi}} dx = 1 - \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}}. \quad (2.2)$$

Якщо дві події складають безліч подій, то сума їх ймовірностей дорівнює 1 [10]:

$$p_A + p_B = 1, \quad (2.3)$$

$$p_B = \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}}, \quad (2.4)$$

де p_A – ймовірність розподілу навантаження на опору А; p_B – ймовірність розподілу навантаження на опору В.

Тоді математичне очікування реакції опори А і опори В складе [10]:

$$F_A = 1 - \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \cdot F; \quad F_B = \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \cdot F. \quad (2.5)$$

Зроблено припущення, що раціональний інтервал кута нахилу днища контейнера дорівнює інтервалу значень кута природного відкосу для качанів кукурудзи різних підвидів $\beta_K = \varphi_{EO} = 27 \dots 35^\circ$.

Вивантажувальне вікно контейнера по висоті $h_{\text{вікна}}$ має бути більшим за середньої (ефективної) довжини качанів у насипі, у цьому випадку виключається явище вільного утворення, при цьому вихід маси з контейнера відбувається безперервним потоком [10]:

$$l_{\Pi K} = \frac{l_{CP1} \cdot a_1 + l_{CP2} \cdot a_2 + \dots + l_{CPn} \cdot a_n}{a_{11} + a_{12} + \dots + a_{1n}}, \quad (2.6)$$

де $l_{\Pi K}$ – середня (ефективна) довжина качана в насипу, мм; $l_{CP1}, l_{CP2}, \dots, l_{CPn}$ – середня довжина качанів кожної фракції, мм; $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}$ – склад кожної фракції у відсотках, %.

Визначено, що $l_{\Pi K} = 230 \dots 250$ мм. У зв'язку з цим вивантажувальне вікно контейнера повинне відкриватися до $h_{\text{вікна}} = 270 \dots 300$ мм.

Закономірність отримання події A_1 обумовлена біосиметрією качана. Природна форма качана кукурудзи будь-якого розміру, а також будь-якого його підвиду така, що є просторова асиметрія розподілу зернової маси щодо геометричного центру качана. Зерно в нижній частині качана більше і важче, а в області носка менше і легше. Крім того, центр мас качана зміщений у просторі щодо його геометричної осі симетрії. Біосиметрія та геометрична симетрія качанів кукурудзи не збігаються. На похилій поверхні важча частина качана прагне розвернутися вниз так, щоб стабілізувати реакцію поверхні на дію сили ваги. При цьому можливе кочення качана, що негативно впливає на його орієнтування.

При виході із захисного контейнера на відкидний лоток качан може займати 5 ймовірних положень: нижньою частиною вперед та поздовжньою віссю паралельно бортам відкидного лотка (Π_1), нижньою частиною назад і поздовжньою віссю паралельно бортам відкидного лотка (Π_2), поздовжньою віссю перпендикулярно до бортів відкидного лотка (Π_3), поздовжньою віссю під кутом до бортів, коли нижня частина нижче носка (Π_4), поздовжньою віссю під кутом до бортів, коли нижня частина вище носка (Π_5). У положенні Π_3 найбільш ймовірне кочення, що вимагає застосування нераціонально довгого відкидного лотка захисного контейнера 3 вище викладеного впливає, що з п'яти можливих наслідків $\Pi_1 \dots \Pi_5$, один, Π_3 можна рахувати негативним. Тоді загалом визначення ймовірності буде дорівнювати [11]:

$$p(\Pi) = \frac{n_{cn}}{n_{zag}}, \quad (2.7)$$

де $p(\Pi)$ – ймовірність виходу качанів з контейнера на відкидний лоток в сприятливому для орієнтування положенні; n_{cn} – кількість сприятливих виходів; n_{zag} – загальна кількість виходів.

Ймовірність розвороту качанів без кочення при виході з вивантажувального вікна контейнера характеризується виразом (2.4), оскільки необхідно створити такі умови, щоб рівнодіюча зовнішніх сил F була прикладена якомога ближче до однієї з опор качана.

При цьому отримаємо:

$$p(A_1) = p(\Pi) \cdot \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \quad (2.8)$$

Закономірність отримання події A_2 обумовлена довжиною та кутом нахилу відкидного лотка контейнера (Рис. 2.1). Основне завдання відкидного лотка подати масу на ОДЗА шаром в один качан, в цьому випадку впадини ОДЗА ефективно виконують свою функцію. Одношаровий схід з похилого лотка контейнера обумовлений взаємним зсувом шарів, що виходить із вікна контейнера маси качанів.

За аналогією з розподілом зусилля по опорах качана, ймовірність отримання події A_2 визначається виразом:

$$p(A_2) = \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \text{ при } \begin{cases} \frac{h_{\text{вікна}}}{\text{tg} \varphi_{EO} \cdot \cos \varphi_{EO}} \leq l_{\Pi 1} \leq l_{\Pi}; \\ l_{\Pi} = (1,8 \dots 2,5) \cdot h_{\text{вікна}} \end{cases} \quad (2.9)$$

Попередньо вистроєні в раціональне для орієнтування положення та покладені в один шар качани, події A_1 і A_2 , зійшовши з кінця відкидного лотка контейнера, повинні бути повністю зорієнтовані робочим органом ОДЗА так, щоб поздовжня вісь качанів була розташована паралельно впадинам активного робочого органу ОДЗА з довжиною $L_{\text{ОДЗА}}$.

Очевидно, що за умови безперервного руху ймовірність орієнтування качанів у єдине положення залежить від ймовірностей $p(A_1) \cdot p(A_2)$, довжини впадин $L_{\text{ОДЗА}}$, ширини однієї впадини $d_{\text{впад}}$ та загальної кількості впадин n . Отже, за логікою формування вище наведених моделей, ймовірність отримання події A_3 можна визначити виразом:

$$p(A_3) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_{\text{впад}} \cdot k}{L_{\text{ОДЗА}}}, \quad (2.10)$$

де k – поправочний коефіцієнт, що враховує відсоток качанів, що подаються в ОДЗА у несприятливому для орієнтування положенні, $k = 1 - p(A_1) \cdot p(A_2)$.

Збереження необхідного просторового положення під час переходу качанів з ОДЗА в МСП обумовлено формою завантажувального лотка МСП, який

повинен сприяти подачі качанів кукурудзи в молотильну камеру, мінімізуючи негативний вплив зустрічного удару зовнішньою кромкою навивки ротора по поверхні качана. Навивка ротора має зустрічати качан своєю бічною поверхнею, забезпечуючи максимально можливу площу контакту. В аксіально-роторному МСП це можливо за умови входу качанів в молотильну камеру в нижній частині дека (Рис. 2.3).

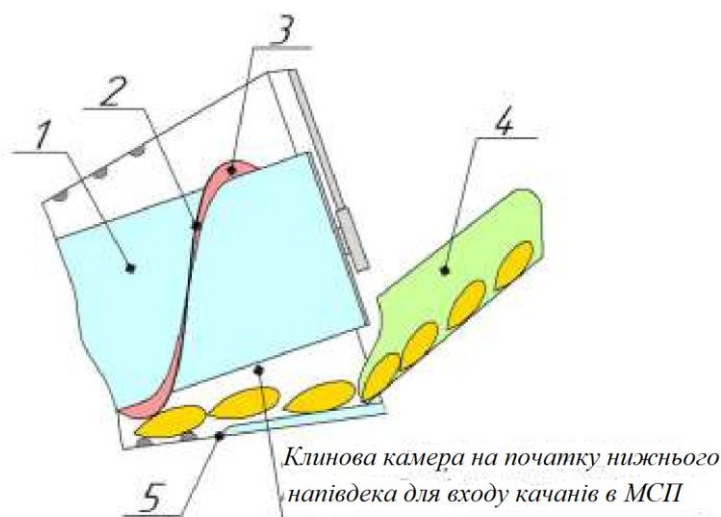


Рисунок 2.3 – До обґрунтування способу завантаження аксіально-роторного МСП

1 – ротор; 2 – зовнішня кромка навивки ротора (лопасті); 3 – бічна поверхня навивки ротора (лопасті); 4 – приймальний лоток МСП; 5 – дека.

Завантажувальний лоток МСП криволінійної форми наповнюється багатоканальним робочим органом ОДЗА. У зв'язку з цим виникає необхідність завантажити качани до центру лотка МСП без зміни просторового положення. Це забезпечується за допомогою геометрії лотка МСП.

Конструкція системи орієнтовного завантаження забезпечує переміщення качанів самопливом, при цьому пересипання качанів з лотка контейнера в ОДЗА, а потім у приймальний лоток МСП здійснюється по похилій поверхні, виключаючи прямий центральний удар.

В результаті буде витримано умову формування малих локальних ділянок руйнування цілісності структури у рядках зерна, звільнення від зерна 2...5% зовнішньої поверхні качанів, а саме зерно не отримає макро- і мікро пошкодження.

Крім того, качани з високим відсотком ймовірності, увійдуть в область захоплення ротором МСП в умовах мінімальної дії прямого центрального удару лопастями і в просторовому положенні максимально ефективно взаємодіяти з робочими органами.

З позиції макро- та мікро пошкоджень зерна найбільш важливими є ті робочі органи, які безпосередньо контактують з кожним зерном та своїм силовим впливом розривають зв'язок зерна зі стрижнем. Ці робочі органи вимагають обґрунтування конструкторських параметрів, оскільки саме вони визначають конструкцію МСП в цілому, та задають обмеження за швидкістю руху ротора, обмолочувальної маси і т.д.

2.2 Конструктивно-аналітичне обґрунтування схеми технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи

Нами запропонований процес обмолоту качанів кукурудзи чотирьох етапним способом. У цьому випадку обладнання для виконання ресурсозберігаючого процесу поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи можна розглядати як комплект обладнання, підпорядкований принципам потоковості, безперервності, спеціалізації та ритмічності процесу (Рис. 2.4 та 2.5).

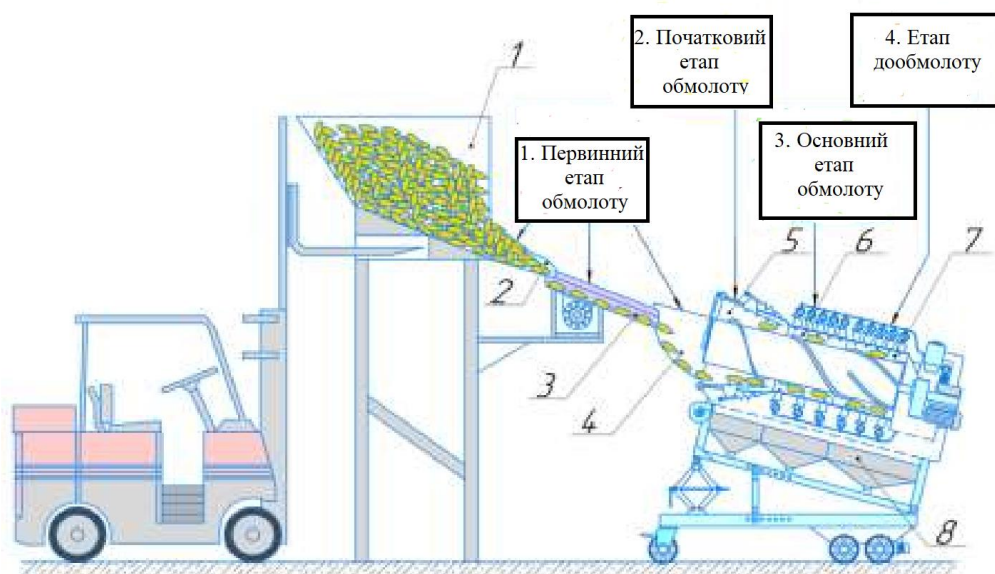


Рисунок 2.4 – Комплект обладнання для поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи

1 – захисний контейнер; 2 – відкидний лоток контейнера; 3 – багатоканальний робочий орган ОДЗА; 4 – завантажувальний лоток МСП; 5 – камера МСП для виконання початкового етапу обмолоту; 6 – камера МСП для виконання основного етапу обмолоту; 7 – камера МСП для виконання етапу дообмолоту; 8 – секційний зерновий бункер МСП.

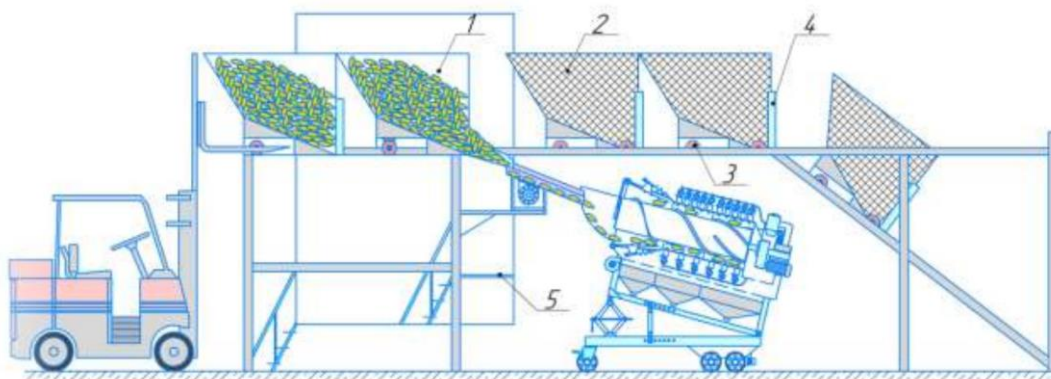


Рисунок 2.5 – Схема переміщення захисних вентильованих контейнерів при поетапному обмолоті качанів насіннєвої кукурудзи

1 – захисний контейнер із качанами; 2 – випорожнений захисний контейнер; 3 – знімні колеса контейнера; 4 – відкидний лоток контейнера у закритому положенні; 5 – робоче місце оператора.

Після того, як система орієнтовного завантаження аксіально-роторного МСП здійснить первинний етап обмолоту за допомогою тертя качанів один об одного при розвантаженні захисного контейнера, переміщенням качанів самопливом, їх пересипання з відкидного лотка контейнера в ОДЗА, рух в каналах ОДЗА, а потім пересипання в приймальний лоток МСП розпочнеться виконання початкового етапу обмолоту. Тут виконується збільшення кількості та розміру малих локальних ділянок руйнування цілісності структури у рядах зерен. Аналіз існуючих конструкцій та сучасних наукових досліджень дає основу для припущення, що завдання початкового етапу обмолоту якісно вирішується за допомогою застосування дека, конструктивно виконаного з кількох рухомих підпружинених ділянок з шипами, що створюють конічну вирву зі змінним діаметром меншої основи [11]. Кожна ділянка такого дека є незалежною, що дозволяє диференціювати силу притискання качанів різного діаметра до робочих органів МСП. Рациональна кількість підпружинених ділянок $Z_{ПД}=2...4$ (Рис. 2.6).

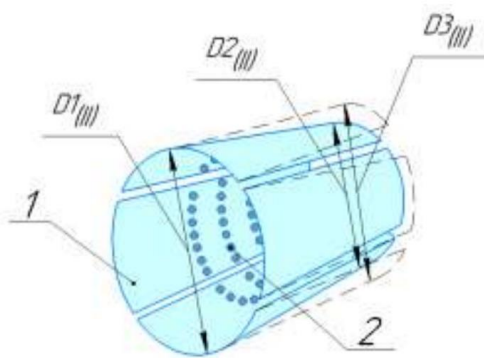


Рисунок 2.6 – Схема розташування підпружинених ділянок з шипами на частині дека, яка за допомогою взаємодії з ротором здійснює первинний етап обмолоту

1 – підпружинена ділянка дека з шипами; 2 – шипи; $D_1(III)$ – незмінний діаметр більшої основи конусної вирви; $D_2(III)$ – діаметр меншої основи конусної вирви до взаємодії з качанами кукурудзи; $D_3(III)$ – діаметр меншої основи конусної вирви після взаємодії з качанами кукурудзи

При основному етапі обмолоту та при дообмолоті необхідно забезпечити максимально можливий діапазон диференціювання силового впливу на зерно. Це можливо за умови, що кожен шип матиме можливість незалежно від інших взаємодіяти із зерном пропорційно опору, що створюється кріпленням зерна до стрижня. Ця умова виконується шляхом застосування дека з незалежними плаваючими шипами притиснутими до свого посадкового місця пневматичними подушками з гнучким дном [11]. Раціональна схема розташування шипів досягається чергуванням поздовжнього та радіального розташування їх рядів, що також вимагає застосування радіальних та поздовжніх пневмоподушок (Рис. 2.7). Таке деко можна вважати пневмоадаптивним.



Рисунок 2.7 – Конструктивні особливості частини дека, який за допомогою взаємодії з ротором здійснює основний етап обмолоту та дообмолот

а – деко з незалежними фасонними шипами та радіальними пневмоподушками;

б – дека з незалежними фасонними шипами та поздовжніми пневмоподушками.

На підставі поняття золотого перерізу у біоніці зроблено припущення, що раціональне співвідношення довжин частин дека в зонах початкового та основного етапу обмолоту може становити 1,618. В такому випадку довжина частини дека в зоні дообмолоту визначається по подвійному відношенню лінійних розмірів W .

Для зерна кукурудзи всіх підвидів, W складає 1,29. Взявши це значення за основу симетрії, отримаємо:

$$\frac{(L_{d(III)} + L_{d(II)}) \cdot (L_{d(II)} + L_{d(IV)})}{L_{d(II)} \cdot (L_{d(II)} + L_{d(III)} + L_{d(IV)})} = 1,29, \quad (2.11)$$

де $L_{d(II)}$, $L_{d(III)}$ та $L_{d(IV)}$ – довжина частини дека у зонах початкового, основного етапу обмолоту та дообмолоту, відповідно (Рис. 2.8).

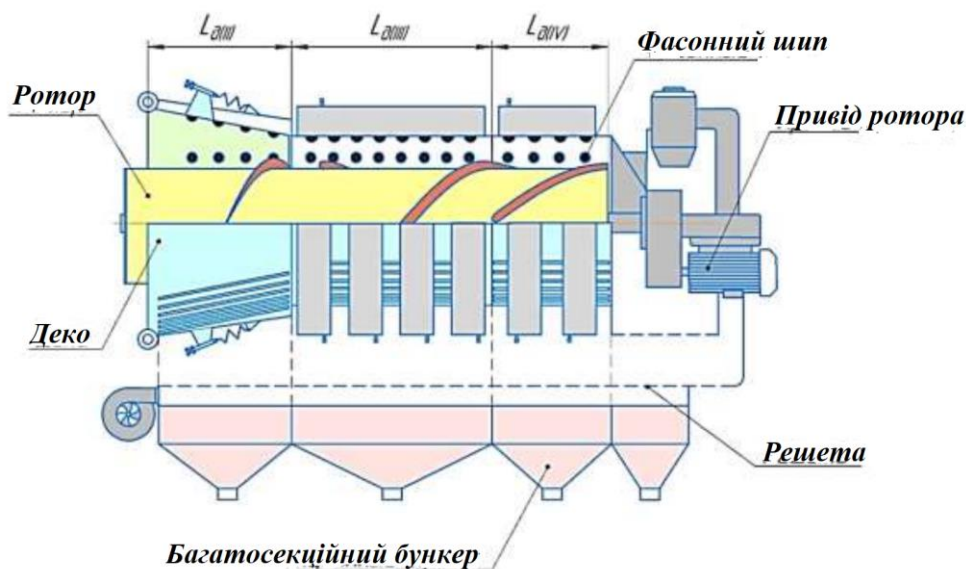


Рисунок 2.8 – До обґрунтування довжин частин дека аксіально-роторного МСП

В зоні початкового етапу обмолоту необхідно забезпечити якісне захоплення та повний оборот качанів на обмеженій довжині ротора, охопленої деком, виконаної у вигляді шипованої конічної вирви змінного діаметра. Це

можливо за допомогою застосування на роторі шнекової навивки змінної висоти, виконаної з плоскої стрічки (зона $L_{p(II)}$) [11].

У зоні основного етапу обмолоту необхідно знизити вплив ударних навантажень лопастями та збільшити кількість контактів з незалежними фасонними шипами дека, притиснутими до посадкових місць за допомогою пневмоподушок з гнучким дном (забезпечити ефективну роботу пневмоадаптивного дека). Це можливо за допомогою застосування на роторі однієї або двозахідної гвинтової лопасті збільшеного кроку, виконаної з прутка фасонного поперечного перерізу (зона $L_{p(III)}$) [11].

У зоні етапу дообмолоту необхідно збільшити кількість пульсуючих впливів на значно обмолочену зерно стрижневу масу, але при цьому не завдаючи зерну макро- та мікро пошкоджень. Це можливо за допомогою застосування на роторі багатозахідної гвинтової лопасті (більше двох заходів), виконаної з прутка фасонного поперечного перерізу (зона $L_{p(IV)}$) [11].

Відповідно до принципів побудови біологічних прототипів співвідношення довжин секцій дека в зонах початкового, основного етапу обмолоту та дообмолоту відповідає $W = 1,29$, з урахуванням розміру качана, що складає $470 \times 650 \times 300$ мм, при максимальному діаметрі ротора з навивкою не більше 400 мм. Зміну діаметру ротора необхідно здійснювати пропорційно із зміною довжин ділянок дека.

2.3 Результати досліджень роботи удосконаленого технічного засобу для поетапного обмолоту зерна насіннєвої кукурудзи за основними показниками

Експериментальний пошук діапазонів раціональних значень факторів подачі качана q_n на обмолот і частоти обертання ротора проводився за граничним значенням маси q_ϕ , яку розроблювальний аксіально-роторний МСП здатний обробляти за встановлений час без короткочасних зупинок ротора.

Отримані результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей (Рис. 2.9).

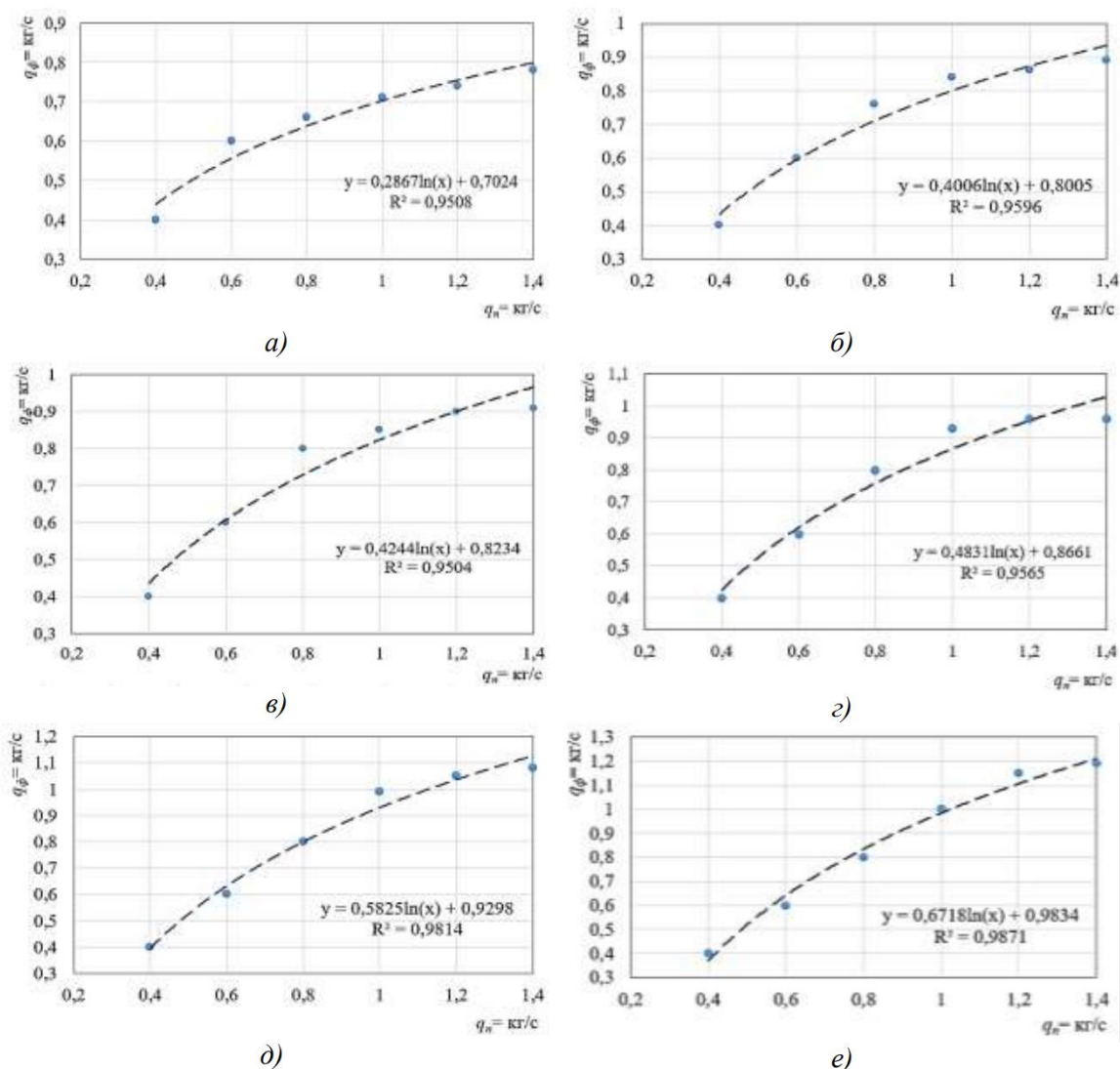


Рисунок 2.9 – Результати експериментів щодо визначення області раціональних значень факторів подачі качанів на обмолот та частоти обертання ротора

а – 90 хв^{-1} ; б – 110 хв^{-1} ; в – 130 хв^{-1} ; г – 150 хв^{-1} ; д – 170 хв^{-1} ; е – 190 хв^{-1} .

Графічні залежності (Рис. 2.9) показують, що зміна продуктивності молотильного пристрою при збільшенні маси качанів, що подається на обмолот відбувається відповідно логарифмічного закону з достовірністю апроксимації понад 95%.

При частоті обертання ротора 170 і 190 хв^{-1} та подачі більше 1,2 кг/с спостерігалися короткочасні зупинки ротора (підклинювання ротора з ковзанням ремня). Це вказує на досягнення межі пропускної здатності досліджуваного

МСП. При частоті обертання ротора 150, 170 і 190 хв⁻¹ і 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 заповнювався качанами кукурудзи, що обмолочувалися, шипи працювали по всій поверхні пневмоадаптивного дека, вплив на зерно з раціональним зусиллям не перевищував 62 Н, качани не формували ущільнених ділянок, зерно максимально швидко виводилося з камери обмолоту в накопичувальний бункер, а обмолочені качани ефективно вивантажувалися через вивантажувальне вікно.

Крім того, основна маса обмолочених стрижнів не руйнувалася поздовжньо і не засмічувала прорізи рельєфного дека.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують доцільність використання та працездатність експериментального аксіально-роторного МСП з пневмоадаптивним деком.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі наведено конструктивно-аналітичну схему технічного засобу для поетапного обмолоту качанів насінневої кукурудзи та обґрунтовано параметри його роботи, при яких досягається якісний обмолот зерна.

В результаті досліджень отримані раціональні значення діючих факторів на обмолот:

- частота обертання ротора – 150...170 хв⁻¹;
- подача качанів на обмолот – 0,8...1,1 кг/с;
- товщина гуми пневмоподушки – 3...4 мм.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Організація охорони праці в господарстві

Одним із основних нормативно-правових актів, що безпосередньо регулюють організацію техніки безпеки та охорону праці в аграрних господарствах, є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 р. № 1240 [1].

Відповідно до цих Правил систему організації охорони праці аграріїв розділяють на декілька складових:

- вимоги безпеки до виробничого обладнання та організації робочих місць;
- безпека праці під час експлуатації сільськогосподарської техніки;
- поводження з мінеральними добривами та пестицидами, їх зберігання та використання;
- вимоги безпеки під час обробітку ґрунту, сівби й догляду за посівами під час збирання та зберігання продукції рослинництва;
- вимоги безпеки під час одержання продукції тваринництва, правила поводження з тваринами;
- пожежна безпека та робота з електроприладами.

Документи з охорони праці, які мають бути в сільськогосподарському підприємстві чи фермерському господарстві:

- накази, положення, переліки та інші акти з охорони праці, що діють у межах господарства та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці;
- посадові інструкції, інструкції з охорони праці за професіями та видами робіт, правила внутрішнього трудового розпорядку;
- порядок і графік проведення навчань та перевірки знань з питань охорони праці працівників та спеціалістів.

Незалежно від обсягу виробництва та кількості працюючих, керівник повинен усвідомлювати необхідність створення безпечних та здорових умов праці для попередження виробничого травматизму й професійних захворювань у порядку, встановленому чинним законодавством.

3.2 Заходи з охорони праці під час роботи з комбайнами

До роботи на кукурудзозбиральних комбайнах допускаються особи, які досягли 18 років, закінчили спеціальні курси, отримали посвідчення тракториста-машиніста на право керування машинами відповідних категорій, пройшли медичний огляд і не мають медичних протипоказань для виконання даної роботи, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, інструктажі – вступний, первинний на робочому місці, стажування від 2-х до 15-ти змін від наглядом досвідченого механізатора, добре знають будову машини, Правила дорожнього руху [1].

Заходи з охорони праці, які необхідно дотримуватись під час роботи з комбайнами:

- перевірити наявність та справність запобіжних огорожень над деталями, що обертаються: карданными валами, ремінними передачами та справність сигналізації;
- переконатись у справності й надійності кріплення подрібнювального апарата;
- під час роботи комбайна не перевіряти і не ремонтувати робочі органи та механізми, не надівати та не натягувати паси, ланцюги, не ліквідовувати несправності, не змащувати комбайни, не очищати різальні апарати, молотильний барабан;
- всі ремонтні роботи виконувати тільки при зупиненому двигуні;
- під час виконання ремонтних робіт на рульовому колесі потрібно залишити табличку «Не вмикати! Працюють люди»;
- не відкривати кришки та оглядові люки.

Керівникам підприємств потрібно з усією відповідальністю поставитися до безпеки працівників під час збирання врожаю. Адже головною метою збирання врожаю є не тільки своєчасність та якість його збирання, а й збереження життя та здоров'я людей, які працюють.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі охорони праці наведені заходи, які потрібно дотримуватися працівникам під час роботи з кукурудзозбиральними комбайнами. Дані заходи убезпечують робітників від можливих аварій та відповідно травм при виконанні робіт, а саме збирання врожаю.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Для техніко-економічної оцінки комплекту технічних засобів для поетапного обмолоту качанів насіннєвої кукурудзи використовувалися загальновідомі методики, описані у джерелі [8].

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

Запропонований комплект оцінювався 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 в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічної оцінки
запропонованого технічного рішення

№ п/п	Найменування показників	Значення по варіантах	
		Serbia Product	МСП (3-канали)
1.	Загальна вартість комплекту, млн. грн.	5,3	3,6
2.	Продуктивність, т/год.	25	11
3.	Потужність, кВт	50	16
4.	Обслуговуючий персонал, чол.	2	3
5.	Маса оброблюваних качанів, т	5500	5500
6.	Річне фактичне завантаження техніки, год.	220	500
7.	Норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування, %	12	12
8.	Норма відрахувань на амортизацію, %	14,2	14,2
9.	Норма відрахувань на страхування техніки, %	10	10
10.	Норма відрахувань на переобладнання техніки для підвищення якості продукції, %	10	10
11.	Коефіцієнт переводу оптової ціни в балансову	1,1	1,1
12.	Втрати зерна, %	5	3

Економічна ефективність від впровадження нового комплексу технічних засобів оцінювався за допомогою річного економічного ефекту та терміну окупності капіталовкладень за методикою наведеною в [8].

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 527,1 до 481,1 грн., а також за рахунок отримання додаткового економічного ефекту від зниження втрат повновагового зерна. Термін окупності проекту становить 1 рік.

Висновки по розділу

Таким чином, розрахунки техніко-економічної оцінки запропонованих технічних рішень показують доцільність їх використання. Оскільки, відбувається зниження сукупних питомих витрат коштів на 1 тону обмолоченого зерна з 527,1 до 481,1 грн., а термін окупності проекту становить 1 рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених нами досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз технологій обробки качанів кукурудзи та конструкцій технічних засобів для їх обмолоту. При цьому були визначені наукові завдання щодо удосконалення молотильно-сепарувальних пристроїв, що забезпечують обмолот качанів насіннєвої кукурудзи з найменшими мікро- та макропошкодженнями.

2. Мінімізація макро- та мікро пошкоджень зерна при обмолоті забезпечується переміщенням качанів у захисних вентильованих контейнерах, розвантаження контейнерів без перекидання, орієнтування качанів та їх дозована подача багатоканальним орієнтовно дозувальним завантажувальними апаратом, адаптивним силовим впливом аксіально-роторним МСП із багатосекційним деком. Дані технологічні рішення дозволяють знизити кількість пошкодженого зерна при обмолоті в 2-3 рази.

3. В результаті досліджень отримані раціональні значення удосконаленого МСП й діючих факторів на обмолот: частота обертання ротора – $150...170 \text{ хв}^{-1}$; подача качанів на обмолот – $0,8...1,1 \text{ кг/с}$; товщина гуми пневмоподушки – $3...4 \text{ мм}$.

4. Проведені розрахунки техніко-економічної оцінки нового проекту, які показують доцільність його використання. Так, як відбувається зниження сукупних питомих витрат коштів на 1 тону обмолоченого зерна з 527,1 до 481,1 грн., а термін окупності проекту становить 1 рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 02.02.2025).
2. Кукурудзозбиральні комбайни. URL: <https://agronetto.com.ua/-/kukurudzozbiralni-kombayni--с2394>. (Дата звернення: 12.03.2025).
3. Курасов В.С., Кравченко В.С. Молотилка для насіннєвої кукурудзи. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1997. №11. С. 10.
4. Машини для збирання кукурудзи на зерно. URL: <https://www.ltklntu.org.ua/wp-content/uploads/>. (Дата звернення: 02.02.2025).
5. Окремі моделі машин для збирання кукурудзи в качанах. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9031-okremi-modeli-mashyn-dlia-zbyrannia-kukurudzy-v-kachanakh.html>. (Дата звернення: 10.03.2025).
6. Пат. 37186 Україна, МПК А01F11/00. Установка для обмолоту качанів кукурудзи: Пат. 37186 Україна, МПК А01F11/00; Шимелюк В.В., Лаврук В.П., Єрмаков С.В; №u200804968; Заявл. 17.04.2008; Опубл. 25.11.2008, Бюл.№22. 4 с.
7. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
8. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.
9. Шимелюк В.В. Огляд і аналіз конструкцій молотарок качанів кукурудзи. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. №11. т.2 (66). 2012. С. 296-301.
10. Шрамко Ю.А. Технічні засоби для обмолоту качанів кукурудзи. NovaInfo. 2016. № 45. С. 28-35.
11. Dainius Steponavičius. Analysis of corn ears movement within the threshing crescent using high-speed recording method. *Journal of Measurements in Engineering*. 2017. 5(4). P. 240-248.