

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

_____ Володимир ДІДУР
“ ” _____ 2025

ДИПЛОМНА РОБОТА
магістр
(освітній ступінь)

на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ КОМБАЙНУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім,
спеціальність Н7 «Агроінженерія»

_____ Олександр ЧУМАК

Керівник: _____ Олександр ПУШКА

м. Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень магістр
 Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Володимир ДІДУР
“ ” _____ 2025

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чумак Олександр Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Пушка Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » _____ 2025 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин для збирання кукурудзи. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд конструктивних рішень качановідокремлювальних пристроїв. Теоретичне обґрунтування параметрів качановідокремлювального апарату. Програма і методика експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату. Результати експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату. Оцінка економічної ефективності впровадження кукурудзозбирального комбайна. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1,2. Мета і задачі досліджень. 3. Класифікація качановідокремлювальних апаратів. 4,5. Класифікація качановідокремлювальних апаратів. 6. Результати досліджень розмірно-масових параметрів качана і плодоніжки 7,8,9. Результати експериментальних досліджень 10. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розд іл	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
2	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
3	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
4	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
5	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
6	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	<i>Примітка</i>
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 25.08.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 12.09.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 17.10.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 07.11.2025 р.	Виконав

Студент

(підпис)

Чумак Олександр

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пушка Олександр

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Анотація.....	9
Вступ.....	10
1. Аналітичний огляд конструктивних рішень качановідокремлювальних пристроїв.....	11
1.1. Огляд стан і тенденції розвитку технологій і машин для збирання кукурудзи на зерно.....	11
1.2. Аналіз технологічних схем, параметрів і режимів роботи качановідокремлювальних пристроїв.....	13
1.2.1. Класифікація качановідокремлювальних пристроїв	13
1.2.2. Апарати з горизонтальними вальцями.....	14
1.2.3. Апарати з вертикальними вальцями.....	15
1.2.4. Апарати з позовжніми вальцями.....	17
1.2.5 Апарати з суміщеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів.....	20
1.2.6. Апарати з розділеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів.....	23
1.3. Висновки до розділу.....	32
2. Теоретичне обґрунтування параметрів качановідокремлювального апарату	33
2.1. Аналіз характерних зон качановідокремлювального пристрою при протягуванні стебел і відокремленні качанів.....	33
2.2. Процес захвату стебла відокремлення качанів пікерно-стриперним пристроєм.....	35
2.3. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів вальців качановідокремлювального пристрою.....	40
2.4. Умови руху качана на ділянці «вільне протягування - відокремлення качанів.....	44
2.5. Висновки до розділу.....	48
3. Програма і методика експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату.....	50
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	50
3.2. Методика експериментальних досліджень.....	50
3.2.1. Загальна методика досліджень.....	50

3.2.2. Методика досліджень коефіцієнта відновлення качана.....	54
3.2.3 Методика досліджень опору качанів дії ударних навантажень.....	55
3.2.4. Методика визначення опору качанів статичному стискуванню.....	56
3.3. Прилади й обладнання.....	56
4. Результати експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату.....	60
4.1. Результати дослідження властивостей рослин кукурудзи.....	60
4.1.1. Розмірно-масові характеристики.....	60
4.1.2. Фізико-механічні характеристики качанів і листостеблової маси	63
4.2. Експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів від стебел.....	68
4.2.1. Лабораторна установка.....	68
4.2.2. Результати експериментальних досліджень.....	70
4.3. Висновки до розділу.....	75
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	76
5.1 Аналіз процесів виникнення травм під час збирання кукурудзи.....	76
5.2. Моделювання процесів виникнення травм.....	77
5.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання кукурудзи.....	81
6. Оцінка економічної ефективності впровадження кукурудзозбирального комбайна.....	83
6.1. Техніко-економічна ефективність кукурудзозбирального комбайна.....	83
6.2. Висновки до розділу.....	89
Загальні висновки.....	90
Список використаної літератури.....	92

РЕФЕРАТ

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів кукурудзо-збирального комбайна. Магістерська кваліфікаційна робота включає вступ, шість розділів, загальні висновки та список використаних джерел, що налічує 29 найменувань. Основний зміст викладено на 97 сторінках друкованого тексту і доповнений 42 ілюстраціями та 12 таблицями.

Головною метою дослідження є наукове обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів качановідокремлювального апарата кукурудзо-збирального комбайна, спрямоване на вдосконалення процесу відділення качанів від стебел, мінімізацію технологічних втрат продукції та зниження рівня засміченості вороху.

Для реалізації поставленої мети виконано комплекс дослідницьких завдань, а саме:

- здійснено системний аналіз літературних та патентних джерел щодо сучасних конструкцій апаратів для відокремлення качанів;
- встановлено ключові чинники, що визначають технологічну та експлуатаційну результативність таких апаратів;
- проведено теоретичне обґрунтування процесу відділення качанів, у ході якого визначено основні конструктивні та кінематичні параметри качановідокремлювального вузла;
- виконано експериментальні дослідження механіко-технологічних властивостей системи «стебло – качан» та окремих морфологічних елементів рослини;
- визначено параметри, що мають найбільший вплив на якість виконання технологічної операції;
- проведено оцінку економічної доцільності впровадження розробленої конструкції у виробничі умови.

Ключові слова: конструкція, параметри, качан, кукурудза, апарат, комбайн.

ВСТУП

Кукурудза належить до найцінніших продовольчих і кормових культур. У її зерні міститься близько 10–12 % білка, 65–68 % крохмалю та 4–6 % жиру. Калорійність 100 г зерна становить у середньому 334 ккал, що на 20–25 ккал більше, ніж у пшениці. Завдяки високій поживній цінності та універсальному хімічному складу кукурудзяне зерно широко застосовується як сировина у харчовій, переробній, медичній, мікробіологічній, хімічній промисловості та в багатьох інших галузях народного господарства.

На сучасному етапі понад 90 % кукурудзозбиральних машин, що експлуатуються у господарствах країни, є морально й фізично застарілими. Рівень втрат під час збирання урожаю часто перевищує 15 %. Більшість машин не відповідають сучасним вимогам щодо якості роботи, надійності, ергономіки та екологічної безпеки.

Створення високопродуктивних сучасних кукурудзозбиральних агрегатів неможливе без ґрунтовних теоретичних досліджень робочих органів, їх експериментальної перевірки, господарських випробувань і детального техніко-економічного аналізу.

Саме тому дослідження, спрямовані на підвищення якості виконання технологічної операції відокремлення качанів – однієї з ключових і найбільш складних у процесі збирання кукурудзи – є надзвичайно актуальними. Від ефективності цього етапу значною мірою залежать як загальний рівень втрат, так і кінцеві показники виробництва.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1. Огляд стан і тенденції розвитку технологій і машин для збирання кукурудзи на зерно

Механізація процесу збирання традиційних сортів кукурудзи на зерно ускладнюється специфічними фізико-механічними та біологічними особливостями рослини: низькою стійкістю до вилягання, міцністю кріплення качанів до стебла, значною різницею у висоті їх розташування та орієнтації.

Кукурудзу на зерно збирають пізніше, ніж інші зернові культури. До збирання приступають у фазі повної стиглості, коли листки та обгортки качанів втрачають вологу, а зерно стає твердим. Вологість качанів у цей період становить 20–30 % [2]. Проте надмірне затягування строків збирання призводить до біологічних втрат урожаю.

За даними Науково-дослідного інституту тваринництва України, один кілограм ранньо зібраних стебел стиглої кукурудзи містить близько 0,21 кормової одиниці, до 10 г перетравного протеїну та 5–7 мг каротину. У перестояних стеблах більша частина поживних речовин втрачається, і така маса значно гірше засвоюється тваринами.

Для забезпечення належного зберігання зібраних качанів їх вологість не повинна перевищувати 23 %. Зниження вологості до цього рівня здійснюють природним або штучним способом, що потребує значних енергетичних витрат – до 30 % загальних витрат на збирання зерна.

Залежно від зони вирощування та напряму використання продукції застосовують чотири основні технологічні схеми збирання стиглої кукурудзи:

1. збирання качанів з подальшою обробкою на стаціонарі;
2. збирання качанів із очищенням їх у полі;
3. збирання з одночасним обмолотом;
4. збирання качанів для отримання зерно-стержневої суміші.

У світовій практиці переважають два способи збирання кукурудзи на

зерно. Перший передбачає вилучення лише зернової частини врожаю – у качанах або після обмолоту – із залишенням стеблової маси на полі. Другий спосіб полягає у збиранні всього біологічного врожаю з одночасним подрібненням стебел, очищенням качанів або їх обмолотом [28, 26, 65].

У більшості регіонів України стеблова маса використовується як корм, тому перевага надається другій технологічній схемі, яка включає шість основних операцій: зрізування стебел, відокремлення качанів, очищення качанів від обгорток, збирання качанів або обмолот, подрібнення листостеблової маси, її транспортування та збирання.

Головною тенденцією розвитку технологій збирання кукурудзи на зерно є створення машин, які забезпечують мінімальні втрати та низький рівень травмування качанів.

Технічний рівень кукурудзозбиральної техніки, як і всіх сільськогосподарських машин, визначається досконалістю робочих органів і якістю виконання технологічного процесу – надійністю, енергоємністю, матеріаломісткістю та відповідністю агротехнічним регламентам [2]. Ці вимоги повинні відповідати сучасному рівню розвитку машинобудування, однак більшість зарубіжних та вітчизняних машин усе ще не забезпечують повної відповідності агротехнічним стандартам [34, 39, 68].

В Україні найбільш поширені кукурудзозбиральні комбайни, оснащені качановідокремлювальними апаратами пікерно-стриперного типу. Ця тенденція залишається стабільною протягом останніх років.

Оскільки саме качановідокремлювальний апарат є головним робочим органом кукурудзозбирального комбайна, у подальшому проведемо аналіз існуючих конструкцій цього механізму.

1.2. Аналіз технологічних схем, параметрів і режимів роботи качановідокремлювальних пристроїв

1.2.1. Класифікація качановідокремлювальних пристроїв

На підставі Аналіз існуючих технологій збирання кукурудзи на зерно

свідчить, що найскладнішою й найвідповідальнішою з точки зору технологічного забезпечення, енергоємності та експлуатаційної надійності є операція відокремлення качанів від стебел. Саме цей етап визначає більшу частину втрат урожаю та рівень травмування качанів.

Залежно від особливостей роботи та технологічного призначення вузлів протягування стебел і відокремлення качанів застосовують різні типи конструкцій качановідокремлювальних апаратів. Відомі апарати класифікують за конструктивними рішеннями та способом виконання технологічних операцій на групи й підгрупи.

У межах дослідження була розроблена класифікація конструкцій качановідокремлювальних апаратів (рис. 1.1), яка дає змогу розкрити особливості технологічного процесу кожної групи, встановити закономірності руху стебла під час протягування та визначити механізм відокремлення качанів. Це дозволяє виявити ключові недоліки та переваги кожного конструктивного варіанта.

Оскільки в основі технологічного процесу відокремлення качанів лежить протягування стебел між вальцями, що обертаються, усі сучасні конструкції качановідокремлювальних апаратів можна поділити на три основні групи залежно від орієнтації вальців:

- Апарат з горизонтальними вальцями;
- Апарат з вертикальними вальцями;
- Апарат із поздовжніми вальцями, розташованими під певним кутом до горизонту.

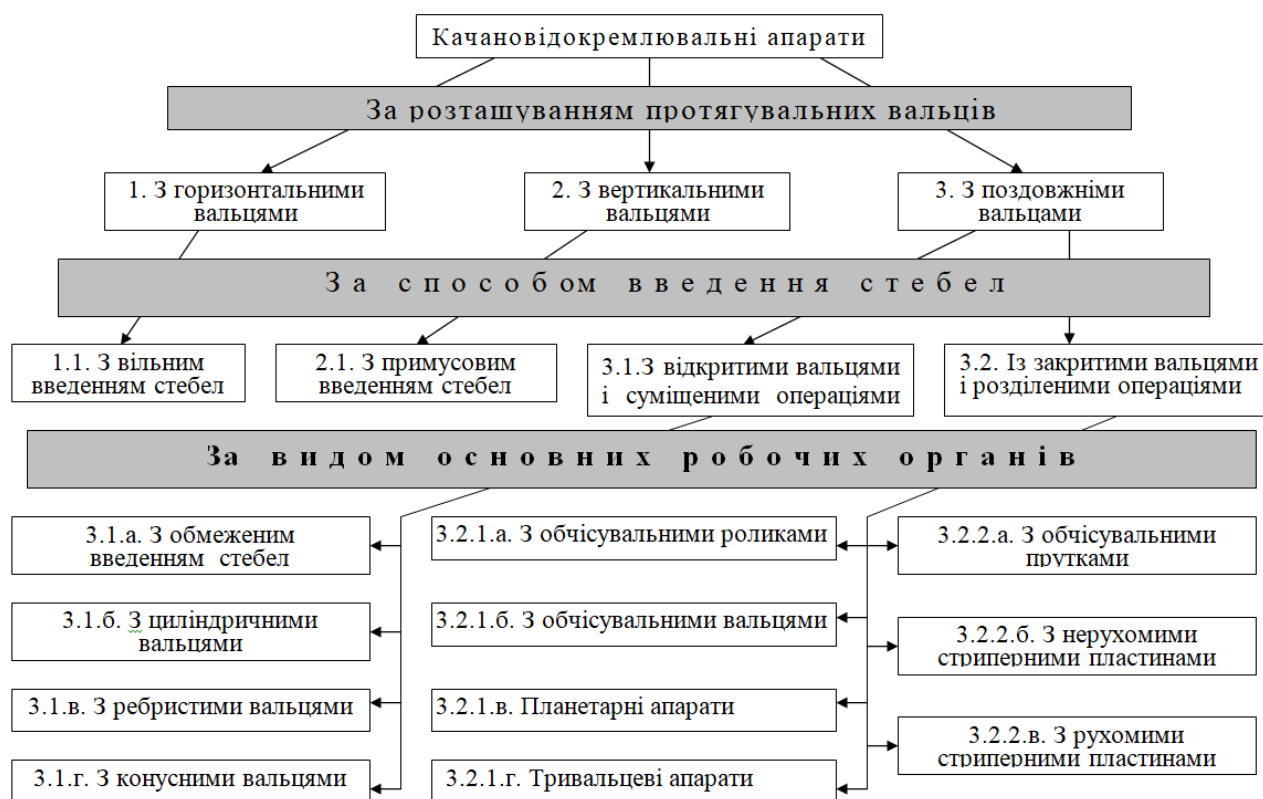


Рисунок 1.1 – Структурна схема класифікації апаратів для відокремлення качанів.

1.2.2. Апарати з горизонтальними вальцями

До цієї групи належать качановідокремлювальні апарати з вільним введенням стебел у зазор протягувальних вальців (рис. 1.2). Такий тип апарата застосовувався на кукурудзозбиральному комбайні УКСК-2,6. Конструкція цього апарата, розроблена й детально досліджена І.І. Різниченком [46], використовувалася у жниварках суцільного зрізу.

Подача стебел у зону протягування здійснювалася за допомогою звичайних планчастих транспортерів, оснащених притискними валиками або бітерами. Протягувальні вальці, розташовані горизонтально, мали довжину 2650 мм і діаметр 88 мм по виступах. Для забезпечення стабільності технологічного процесу конструкція передбачала зазор, у якому верхня частина стебел залишалася вільною. Висока захоплювальна здатність вальців досягалася завдяки їхнім конструктивним параметрам: частота обертання – 631 об/хв, міжосьова відстань – 90–120 мм.

Основними перевагами апаратів цієї групи є універсальність, простота

конструкції, порівняно низька енергоємність, а також можливість ефективного збирання кукурудзи з міжряддями будь-якої ширини.

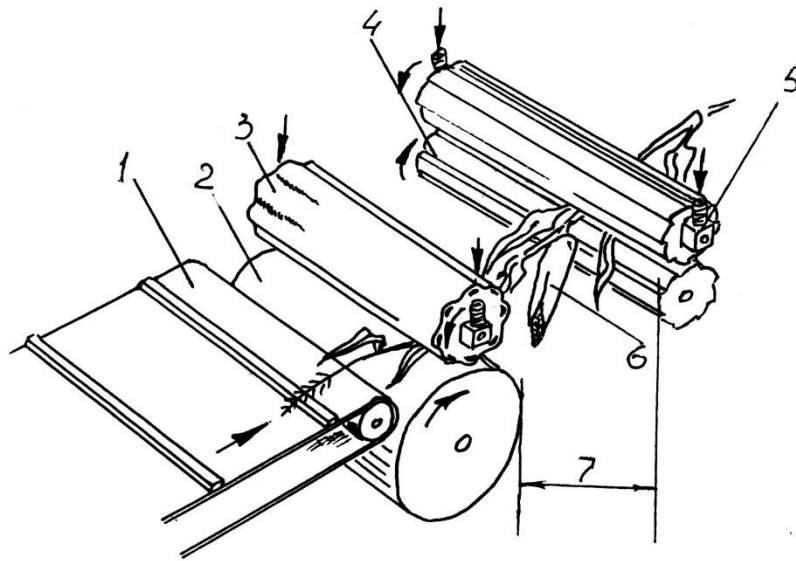


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема качановідокремлювального апарата з вільним введенням стебел у горизонтальні протягувальні вальці:

1 – живильний транспортер; 2 – опорний валик; 3 – притискний бітер; 4 – протягувальні вальці; 5 – рухомі елементи притискання; 6 – качан; 7 – робочий проміжок для проходу відірваного качана.

До недоліків апаратів із горизонтальними вальцями слід віднести підвищений рівень пошкодження качанів, що зумовлено їх надмірною захоплювальною здатністю. Крім того, технологічний процес у таких апаратах є нестабільним під час збирання кукурудзи з вологими або ще зеленими стеблами. За результатами досліджень [4], втрати та травмованість качанів у цих конструкціях становлять відповідно 18,5 % і 12,2 %, що перевищує аналогічні показники апаратів інших типів.

1.2.3. Апарати з вертикальними вальцями

До цієї групи належить качановідокремлювальний апарат, встановлений на вітчизняному кукурудзозбиральному комбайні ККХ-3 (рис. 1.3). Його конструкція передбачає примусове введення стебел кукурудзи у зазор між

вертикально розташованими протягувальними вальцями. Довжина вальців становить 446 мм, а діаметр по виступах – 78 мм. Кут їх нахилу до горизонту дорівнює 65° , частота обертання – 1165 об/хв, міжосьова відстань – 80 мм.

Подача стебел у робочу щілину здійснюється за допомогою ярусу подавальних ланцюгів, що забезпечує стабільне та контрольоване введення рослинної маси між вальцями. Такий конструктивний підхід дав змогу суттєво зменшити пошкодження качанів порівняно з апаратами попередньої групи, де введення стебел у зазор було вільним.

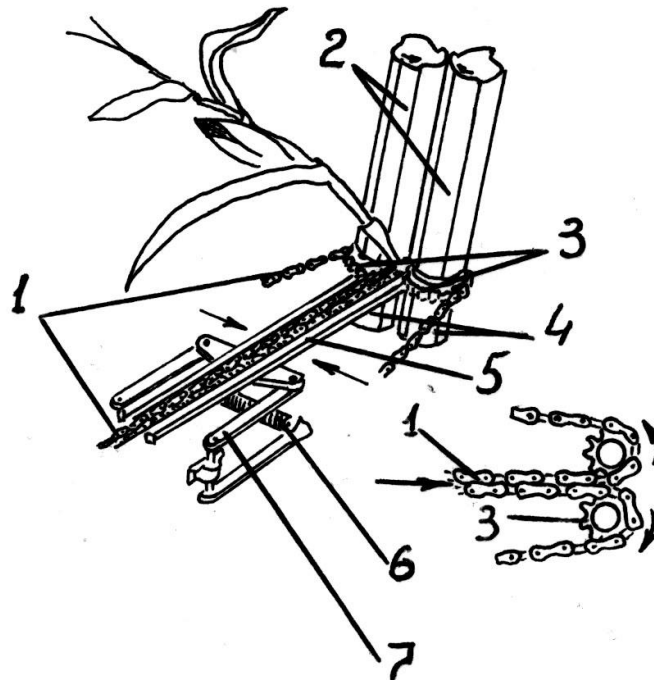


Рисунок 1.3 – Конструктивна схема качановідокремлювального апарата з примусовим подаванням стебел у вертикально розташовані протягувальні вальці: 1 – подавальні затискні ланцюги; 2 – вертикальні уривчасті (розривні) вальці; 3 – приводні зірочки подавальних ланцюгів; 4 – нижні секції уривчастих вальців; 5 – притискні планки; 6 – пружини механізму важелів; 7 – важелі, що забезпечують притискання планок.

Однак, попри зазначені переваги, качановідокремлювальні апарати з вертикальним розташуванням протягувальних вальців мають суттєвий недолік – підвищене вилущування зерна. Це явище особливо посилюється в момент,

коли вже відокремлені качани повторно притискаються до робочої поверхні вальців під дією чергової порції стебел, що надходять по руслах. Згідно з даними експериментальних досліджень [38], рівень вилушування у таких апаратах сягає 6...15%, що значно перевищує показники окремих інших конструкцій.

1.2.4. Апарати з поздовжніми вальцями

Апаратури з поздовжнім розташуванням протягувальних вальців становлять найбільш чисельну та поширену групу качановідокремлювальних механізмів. Саме такі системи встановлюються на більшості сучасних та раніше випущених кукурудзозбиральних машин. Усередині цієї групи існує значна кількість конструктивних підгруп, що відрізняються компоновкою, режимами роботи та технологічними особливостями процесу відокремлення качанів.

Однією з перших класичних реалізацій цієї схеми вважається пікерний тип качановідокремлювального апарата (рис. 1.4). Такий механізм уперше застосували в американських пікер-хескерах моделей *2ME* компанії McCormick та 227 виробництва John Deere, що стало початком широкого поширення цієї технології.(рис. 1.4, 1.6).

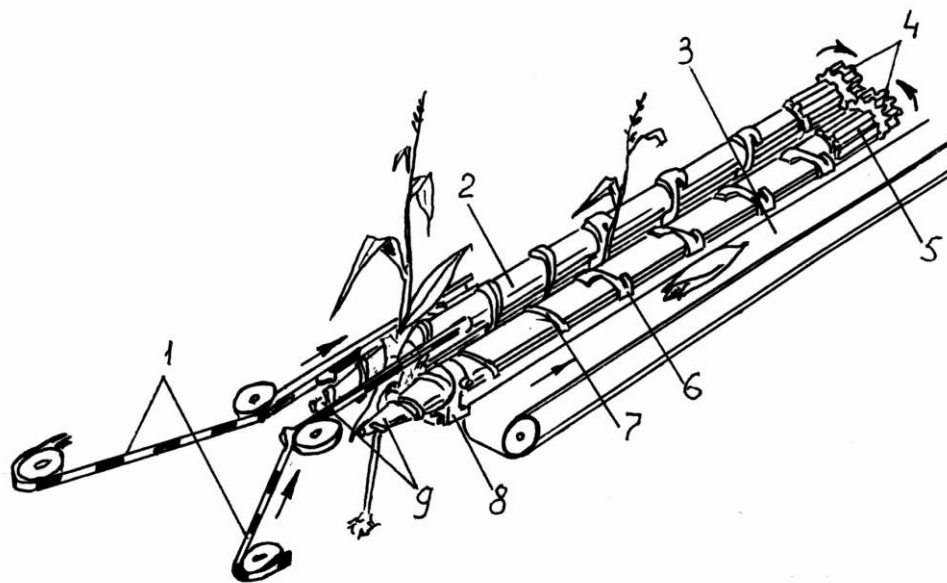


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема пікерного качановідокремлювального апарата, оснащеного кулачковими протягувальними вальцями: 1 – подавальні

ланцюги з лапками; 2 – пікерні кулачкові протягувальні вальці; 3 – транспортер для відведення відірваних качанів; 4 – шестерні приводу протягувальних вальців; 5 – активна робоча поверхня протягувальних вальців; 6 – кулачкові елементи робочої секції вальців; 7 – гвинтова реборда; 8 – рухома опора; 9 – напрямні конуси для заходу стебел.

Принцип роботи таких апаратів ґрунтується на протягуванні стебел кукурудзи, що залишаються на корені, крізь зазор між двома вальцями, які обертаються назустріч один одному. У згаданих моделях пікер-хескерів конструктивна схема качановідокремлювального механізму та сам технологічний процес відокремлення качана майже ідентичні. Відмінності стосуються лише окремих параметрів вальців – їхньої довжини (1050 мм та 965 мм), діаметра по виступах (93,3 мм і 76 мм), кута нахилу до горизонту (38° та 31°) та частоти обертання (700 і 735 об/хв відповідно).

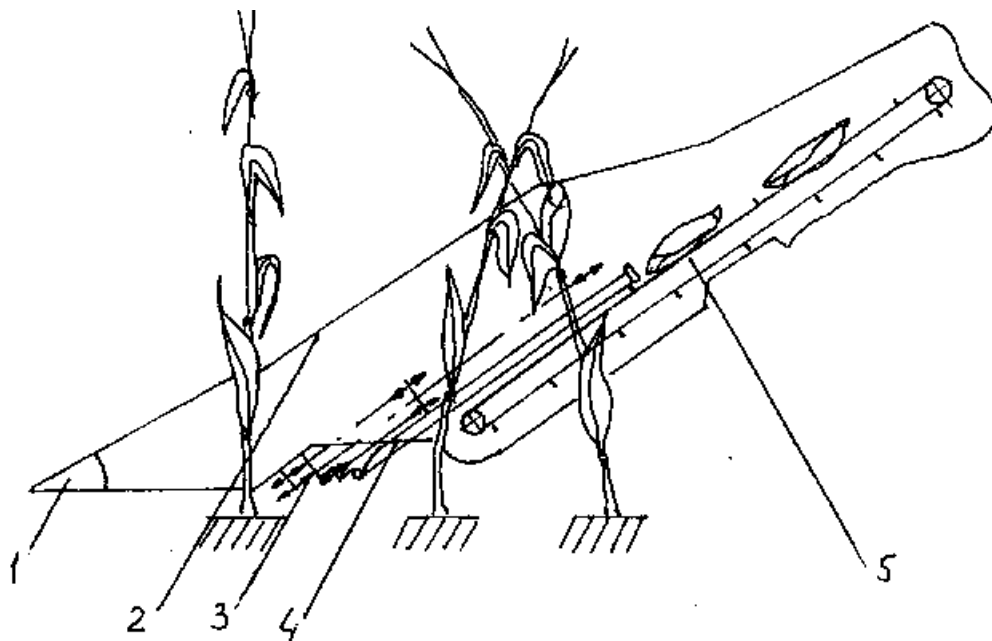


Рисунок 1.5 – Конструктивна схема робочого русла пікер-хескера моделі 2МЕ компанії «McCormick»: 1 – шарнірні напрямні миси; 2 – дільники для орієнтації стебел; 3 – захоплювальні ланцюги; 4 – уривчасті (розривні) вальці; 5 – транспортер для відведення відібраних качанів.

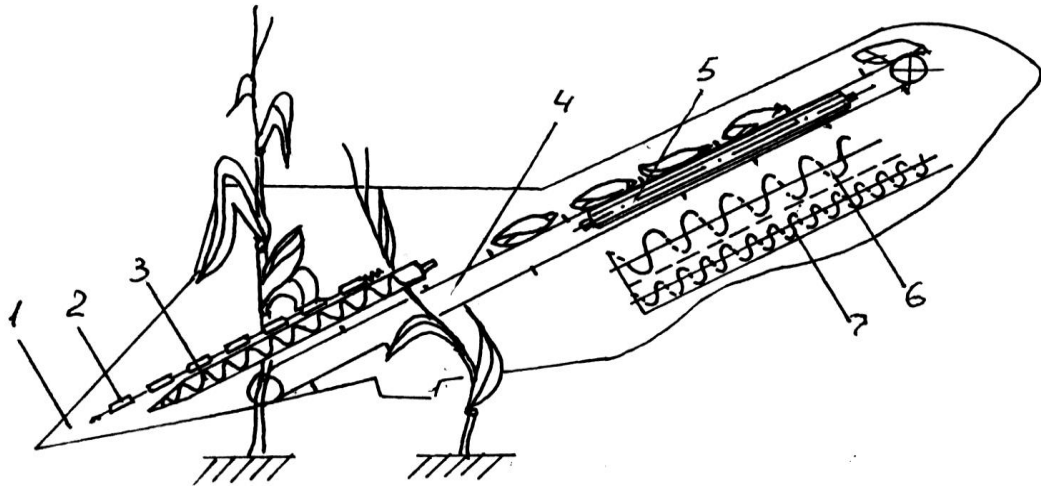


Рисунок 1.6 – Конструктивна схема робочого русла пікер-хескера моделі 227 виробництва компанії «John Deere»: 1 – миси для спрямування стебел; 2 – захоплюючі ланцюги; 3 – протягувальні вальці; 4 – транспортер для подавання відірваних качанів; 5 – вальці системи очищення; 6 – шнековий транспортер для переміщення обгортки; 7 – шнековий транспортер подавання зерна.

До перших вітчизняних представників цієї групи можна віднести качановідокремлювальний апарат з обмеженою свободою подавання стебел у зазор між поздовжніми вальцями, встановлений на кукурудзозбиральному комбайні КУ-2А (рис. 1.7). У даній конструкції було здійснено спробу поєднати та використати переваги пікерних протягувальних вальців, адаптувавши їх до вітчизняних умов експлуатації.

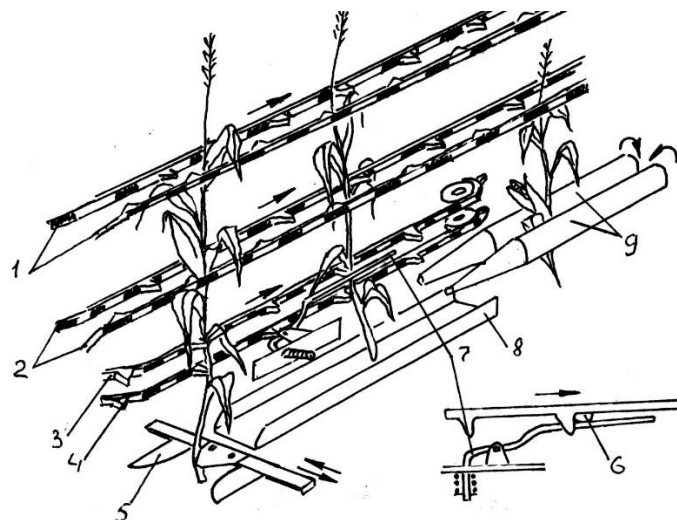


Рисунок 1.7 – Конструктивна схема качановідокремлювального апарата з

частково обмеженим введенням стебел у поздовжні похилі протягувальні вальці: 1 – верхній ярус подавальних ланцюгів; 2 – середній ярус подавальних ланцюгів; 3 і 4 – нижні яруси подавальних ланцюгів; 5 – ріжучий апарат; 6 – стебло кукурудзи; 7 – прутковий притискач стебел; 8 – лоток для підтримання стебел; 9 – поздовжні протягувальні вальці.

З цією метою протягувальні вальці довжиною 750 мм і діаметром 83 мм по виступах були встановлені вздовж рядка під кутом 20° до горизонту, із зміщенням у задню частину жниварки. Частота їх обертання становила 603 об/хв. Подача стебел забезпечувалася ярусами подавальних ланцюгів, оснащених лапками та стеблозатискачами. Більш упорядкований режим переміщення стебел створив можливість застосовувати протягувальні вальці зі зниженою агресивністю робочої поверхні порівняно з апаратами попередніх конструкцій, що позитивно вплинуло на рівень пошкодження качанів.

Усі розглянуті вище качановідокремлювальні апарати належать до першого покоління. Саме на їх основі сформувалася сучасна класифікація механізмів цього типу, яку за принципом виконання технологічних операцій можна поділити на два ключові типи:

апарати зі сполученим процесом протягування стебел і відокремлення качанів;

апарати з розділеним виконанням операцій протягування та відокремлення.

1.3. Висновки до розділу

1. Аналіз існуючих конструкцій качановідокремлювальних пристроїв показав, що більшість із них морально застаріли та не відповідають сучасним агротехнічним вимогам до машин для збирання кукурудзи на зерно.

2. Серійні пікerno-стриперні апарати, які протягом понад тридцяти років застосовуються без істотних змін як у вітчизняному, так і в зарубіжному машинобудуванні, не забезпечують необхідного рівня якості та продуктивності через:

- високий ступінь обчісування стебел;
- низьку ефективність відокремлення, що спричинена нестабільним перебігом процесу та хаотичними змінами робочих умов;
- травмування качанів стриперними пластинами та лапками подавальних ланцюгів;
- обмежену пропускну здатність і недостатню транспортуючу ефективність подавальних ланцюгів;
- часті зупинки через забивання листостебловою масою, зависання рослин на обшивці жатки та заклинювання качанів.

Низький технічний рівень раніше запропонованих та досліджених конструкцій пояснюється недостатнім теоретичним обґрунтуванням особливостей процесу відокремлення качанів стриперними пластинами під час протягування стебел пікерними вальцями.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ

2.1. Аналіз характерних зон качановідокремлювального пристрою при протягуванні стебел і відокремленні качанів

Під час функціонування пікerno-стриперного качановідокремлювального апарата умовно розрізняють п'ять послідовних технологічних зон (рис. 2.1) [15].

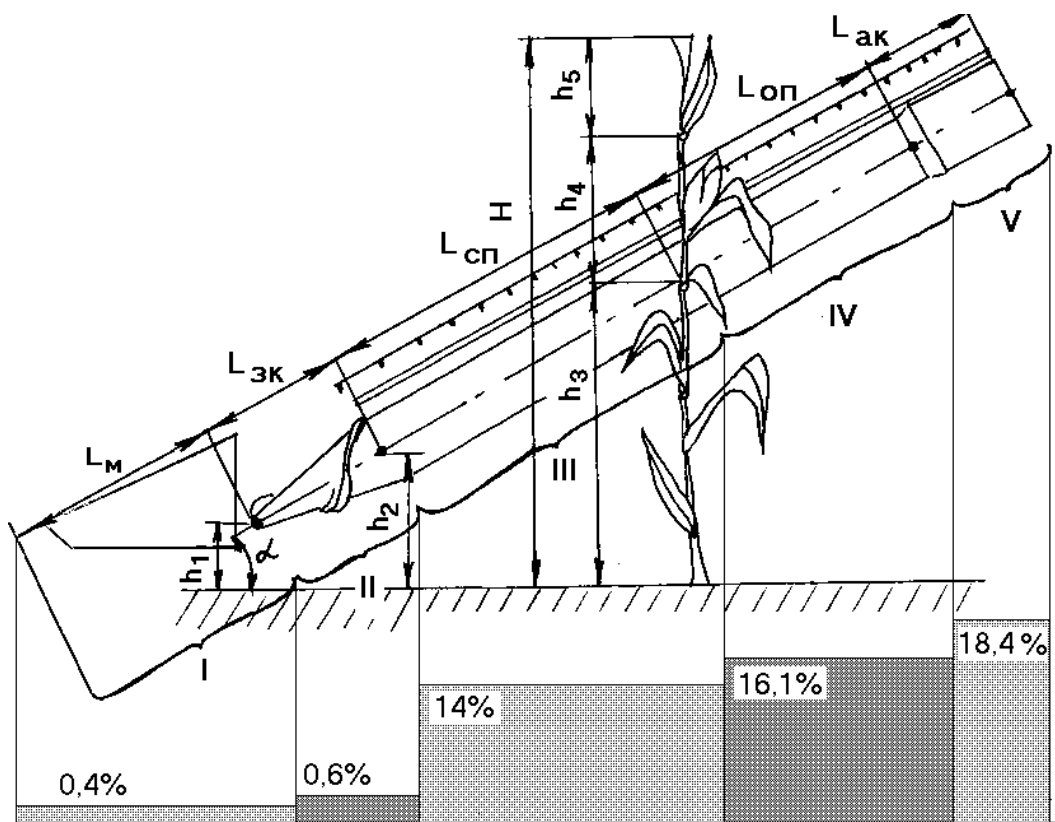


Рисунок 2.1 – Структурний аналіз ключових робочих зон качановідокремлювального апарата пікerno-стриперного типу.

Перша зона L_M – зона орієнтації стебла кукурудзи за допомогою мисів робочого русла кукурудзозбирального комбайна. Теоретичний аналіз цієї ділянки ґрунтується на дослідженнях П.П. Карпуші [33], який довів, що стабільність перебігу технологічного процесу у цій зоні визначається фізико-механічними характеристиками стебла – насамперед його вологістю та

пружними властивостями, а також кінематичними параметрами роботи протягувальних вальців і швидкістю руху комбайна. Під дією конструкційних елементів корпусу комбайна стебло зазнає незначного відхилення у напрямку руху машини, що впливає на висоту зрізу та ступінь природного відгинання стебла. Робота приймальної частини русла нині досліджена достатньо глибоко.

Друга зона $L_{ЗК}$ – зона взаємодії лапок подавальних ланцюгів і заходових конусів протягувальних вальців зі стеблом, а також початок переміщення стебла по криволінійній поверхні стріперних пластин. Питання надійного захоплення стебел лапками та їх подальшого спрямування у робочий проміжок висвітлено у працях П.П. Карпуші [21] і Л.І. Анісімової [3, 4].

Третя зона $L_{СП}$ – ділянка вільного протягування стебла протягувальними вальцями без додаткового впливу інших робочих органів. У цій зоні процес визначається винятково геометрією, конструктивними параметрами та кінематичними режимами роботи вальців. На основі теорії захвату та протягування стебел вальцями [19, 39] можуть бути встановлені їх оптимальні конструктивно-кінематичні показники.

Четверта зона $L_{ОП}$ – зона безпосереднього відокремлення качанів. Саме ця ділянка має найбільший вплив на якість виконання технологічного процесу. Ефективність і надійність роботи залежать від взаємного розташування стріперних пластин і протягувальних вальців, фізико-механічних властивостей стебла з качаном, а також від динамічних навантажень, що виникають під час роботи. Усі перелічені фактори потребують подальшого теоретичного обґрунтування.

П'ята зона $L_{АК}$ – зона транспортування відірваних качанів. Тут качани переміщуються транспортними органами, а якість цього процесу визначається фізико-механічними властивостями качанів, показниками тертя, а також кінематичними параметрами транспортерів та режимами їх роботи [1, 4, 33, 38].

Поділ процесу відокремлення качана на технологічні зони виконаний з урахуванням структури стебла кукурудзи:

- h_1 – висота стебла від поверхні ґрунту до нижньої точки розташування

вальців;

- h_2 – відстань від ґрунту до точки, де стебло захоплюється вальцями;
- h_3 – мінімальна висота розміщення качана над поверхнею поля;
- h_4 – максимальна висота розміщення качана;
- h_5 – повна довжина стебла.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що під час подальших теоретичних досліджень необхідно обґрунтувати ключові параметри качановідокремлювального апарата, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу, а саме:

- діаметр твірного кола по вершинах рифів вальців;
- частота обертання протягувальних вальців;
- зазор між їх рифленими поверхнями;
- кут нахилу похилої стріперної пластини.

Подальший етап досліджень передбачає визначення силових (динамічних) параметрів дії протягувальних вальців на стебло кукурудзи та оцінку енергоємності процесу роботи качановідокремлювального апарата.

2.2. Процес захвату стебла качанів пікерно-стріперним пристроєм

Як зазначалося вище, наявні качановідокремлювальні апарати пікерно-стріперного типу не забезпечують необхідної якості та стабільності процесу відділення качанів. У більшості випадків зусилля, що виникають у момент відриву качана від стебла, перевищують допустимі значення, що значно підвищує рівень травмування продукції.

Щоб зменшити величину цих зусиль і забезпечити більш делікатне відокремлення качанів, нами запропоновано формувати раціональну орієнтацію качана під час його проходження через зону відриву. Після того як стебло потрапляє у протягувальні вальці, положення качана може бути довільним – кут його нахилу відносно вертикалі варіює в діапазоні від 0° до 90° (рис. 2.2).

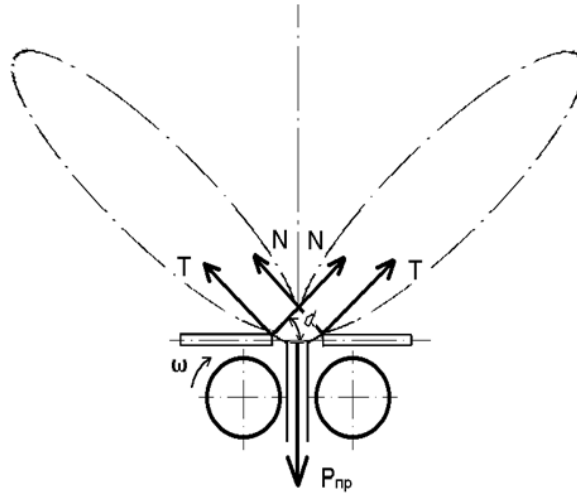


Рисунок 2.2 – Схематична ілюстрація для визначення просторового кута орієнтації качана.

У режимі усталеного протягування на качан діє протягувальне зусилля P_{np} , спрямоване в напрямку обертання вальців. Одночасно в точках контакту качана зі стриперними пластинами виникають сили нормального тиску N та сили тертя T , що орієнтовані протилежно до дії протягувального зусилля. Враховуючи ці сили, рівняння рівноваги для проєкцій на осі декартової координатної системи можуть бути записані у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \sum x &= 0, \\ \sum y &= 2N \cdot \sin\alpha + 2T \cdot \cos\alpha - P_{np} = 0, \end{aligned} \quad (2.1)$$

тоді

$$P_{np} = 2N \cdot \sin\alpha + 2T \cdot \cos\alpha. \quad (2.2)$$

Після врахування залежності $T = fN$ та відповідної підстановки вираз дозволяє отримати величину сили, з якою стриперні пластины впливають на качан:

$$N = \frac{P_{np}}{2(\sin\alpha + f \cdot \cos\alpha)}, \quad (2.3)$$

де f – коефіцієнт тертя поверхні качана об стриперні пластины;

α – кут між вектором реакції нормального тиску та віссю розташування стриперних пластин.

Аналіз виразу (2.3) свідчить, що величина нормального тиску N не є сталою. Сила, необхідна для відриву плодоніжки, змінюється відповідно до кута просторової орієнтації качана. Значення кута α може коливатись у межах від 0° до π . Якщо вважати коефіцієнт тертя f та силу протягування P_{np} сталими величинами, то на основі формули (2.3) можливо побудувати залежність нормального тиску від кута орієнтації качана – графічну функцію виду $\alpha - N = f(\alpha)$ (рис. 2.3).

З отриманого виразу (2.3) випливає, що найбільше значення нормального тиску N спостерігається при $\alpha = 0^\circ$, тоді як мінімум припадає на $\alpha = \pi/2 - \varphi$.

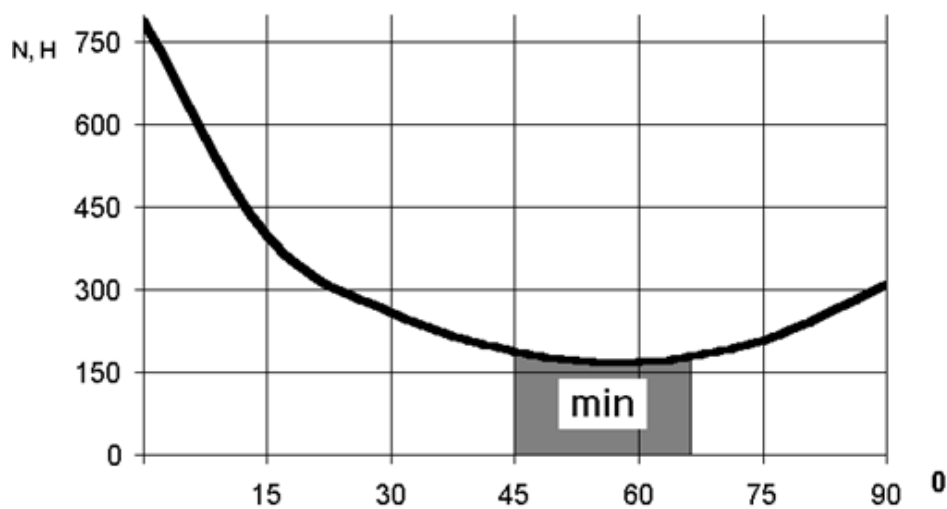


Рисунок 2.3 – Графічна залежність сили відокремлення качана від його просторового кута орієнтації.

Аналіз графічної залежності $N = f(\alpha)$ (рис. 2.3) показує, що оптимальний діапазон кутової орієнтації качана становить приблизно 45° – 65° . Саме в цих межах величина нормального тиску є мінімальною, що сприяє зниженню навантажень на качан та зменшує їх пошкоджувальність. Отже, орієнтування качана в зазначеному інтервалі кутів є доцільним для підвищення якості та стабільності технологічного процесу відокремлення.

Надійність роботи качановідокремлювального механізму визначається комплексом факторів. У той же час у наявних дослідженнях [4, 19, 33]

практично не розглянуті такі негативні явища, як:

- забивання робочої зони вальців або стриперних пластин листостебловою масою і качанами;
- намотування рослинних решток на вальці;
- підвищена травмованість качанів, зокрема вибивання зерна.

Ці фактори не були враховані при визначенні одного з ключових параметрів качановідокремлювального апарата – радіуса вальців RRR у зоні захвату (рис. 2.4), а також кута орієнтації качана та кута протягування. Подані в джерелах залежності не дають змоги встановити параметри протягувальних вальців із забезпеченням надійного захвату стебла, оскільки вони не дозволяють однозначно перейти до конструктивних характеристик робочих органів.

З огляду на наведене, шляхом прирівнювання та заміни кута тертя на кут захоплення нами запропоновано уточнену умову (2.4), яка дозволяє визначити раціональний радіус протягувальних вальців:

$$\frac{2r_{осн} \cdot \cos \alpha_{зах} - \delta_p^{\max}}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{защ})} \geq R \geq \frac{\delta_p^{\max} - \delta_n}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{зах})}, \quad (2.4)$$

де $r_{осн}$ – радіус основи качана, м;

$\delta_p^{\max}$ – максимальний зазор між протягувальними вальцями, м;

δ_n – початковий (мінімальний) зазор між вальцями, м;

$\delta_{ст}^{\max}$ – максимальний діаметр стебла, м;

$\alpha_{защ}$ – кут защемлення качана, град.;

$\alpha_{зах}$ – кут, за якого вальці надійно захоплюють стебло, град.

У наведеному виразі (2.4) ліва його частина визначає гранично допустиме значення параметра R за якого відокремлення качана може відбуватися без його пошкодження; права частина задає мінімальне значення, необхідне для гарантованого захвату стебла протягувальними вальцями.

Отриманий вираз є коректним лише за умови врахування товщини лише самого стебла $d_{ст}$, але не усього рослинного шару, який у реальних умовах має

товщину $h_{зах} > d_{ст.}$. Саме тому під час випробувань серійного качановідокремлювального апарата з діаметром вальців $D_6 = 95 \text{ мм}$ у польових умовах фіксувалися часті порушення технологічного процесу, зокрема явища заклинювання качанів.

Щоб уникнути таких відмов, права частина формули (2.4) повинна задовольняти наступну умову:

$$R = \frac{h_{зах} - \delta_n}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{зах})}, \quad (2.5)$$

де $h_{зах}$ - товщина рослинного шару перед захопленням, м;

$\alpha_{зах}$ - кутрослинного шару, град.

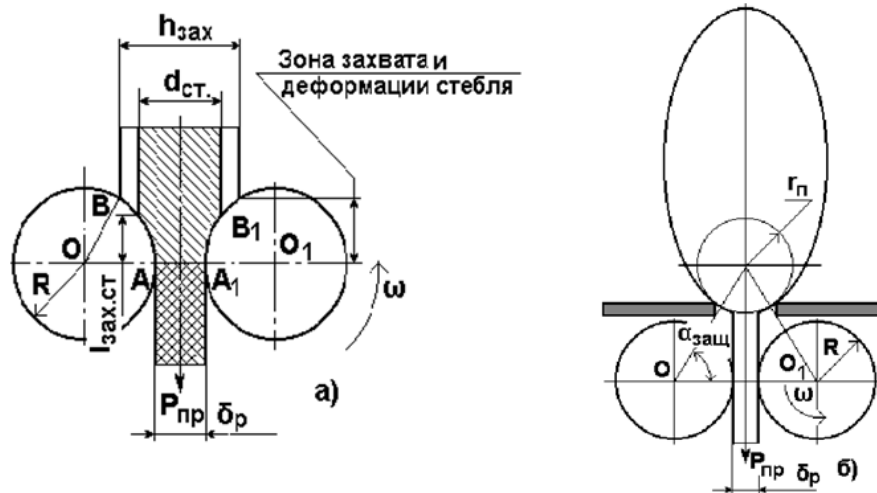


Рисунок 2.4 – Схематичні залежності, що використовуються для обґрунтування діаметра протягувальних вальців D_v качановідокремлювального апарата: а – процес протягування стебла; б – процес відокремлення качана.

Очевидно, що розраховане за формулою (2.4) значення радіуса R буде більшим, ніж отримане з формули (2.5). Зі збільшенням радіуса вальців змінюються два ключові параметри роботи качановідокремлювального апарата:

– довжина зони захоплення, яка безпосередньо впливає на стабільність входження стебла в зазор між вальцями;

$$l_{зах} \geq \sqrt{R \cdot (h_{зах} - \delta_p)}, \quad (2.6)$$

а також оптимальне для відокремлення качана значення кута защемлення

$\alpha_{\text{защ}}$, яке можна визначити за залежністю:

$$\cos \alpha_{\text{зах}} = \frac{R + \frac{\delta_p}{2}}{R + r_{\text{осн}}}. \quad (2.7)$$

Затягування та пошкодження дрібних качанів у зоні захоплення виникають саме тоді, коли не дотримуються наведені вище умови роботи апарата. Для покращення якості технологічного процесу була запропонована схема протягувальних вальців із рифами, вершини яких при обертанні частково перекриваються. Однак така конструкція має істотний недолік – можливість перерізання стебла ще до моменту відокремлення качана, що призводить до надмірної кількості листостеблових решток у вороху качанів.

Щоб уникнути затягування дрібних качанів і звести до мінімуму обчісування листостеблової маси, ми висунули гіпотезу про необхідність створення нової конструкції вальців із торцевою рифленою поверхнею та гарантованим зазором S . При цьому величина зазору має бути меншою за діаметр стебла $d_{\text{ст}}$, що забезпечує його надійний захват, але виключає можливість перерізання.

2.3. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів вальців качановідокремлювального пристрою

Аналіз існуючих конструкцій качановідокремлювальних апаратів дає підстави виділити дві характерні схеми ріжучого типу, для яких властиве накладання траєкторій крайніх точок ножів протягувальних вальців. У процесі роботи леза обох вальців входять у матеріал із певним перекриттям, що призводить до небажаного перерізання стебла та його відхилення від оптимальної траєкторії руху. У результаті суттєво знижується якість протягування та стабільність технологічного процесу.

На відміну від таких рішень, запропонована нами конструкція передбачає використання рифлених робочих поверхонь із гарантованим зазором S між

вершинами рифів (рис. 2.5), що унеможливило перерізання стебла і забезпечує його надійне та контрольоване протягування.

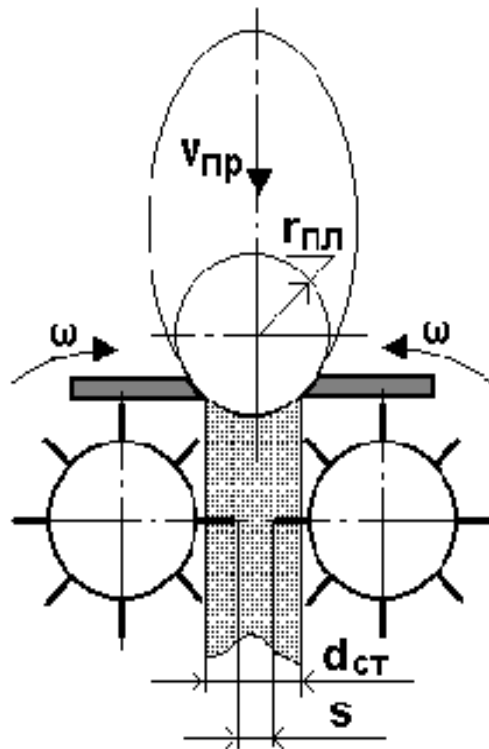


Рисунок 2.5 – Принципова схема вальцевого робочого вузла запропонованої конструкції.

У такій конструкції протягувальні вальці виконують виключно транспортну функцію, забезпечуючи стабільне й рівномірне переміщення стебла без його бічних коливань. Відокремлення качанів відбувається вже під час їх ударної або статичної взаємодії зі стріперними пластинами. Завдяки відсутності коливань верхньої частини стебла значно зменшується обчісування листостеблової маси та, відповідно, знижується засміченість вороху качанів.

Застосування вальців із торцевими рифами дає змогу підтримувати сталий кут орієнтації стебла, усуваючи його відхилення у площині, перпендикулярній осям обертання. Це додатково знижує інтенсивність обчісування рослинних решток та сприяє підвищенню якості роботи апарата.

Для визначення траєкторії та швидкості руху вершин рифів у товщі протягуваного матеріалу приймається, що рифлена поверхня забезпечує

однаковий характер деформації стебла [38, 56]. За таких умов траєкторія руху вершин рифів описується подовженою циклоїдою (трохоїдою), що показано на рис. 2.6.

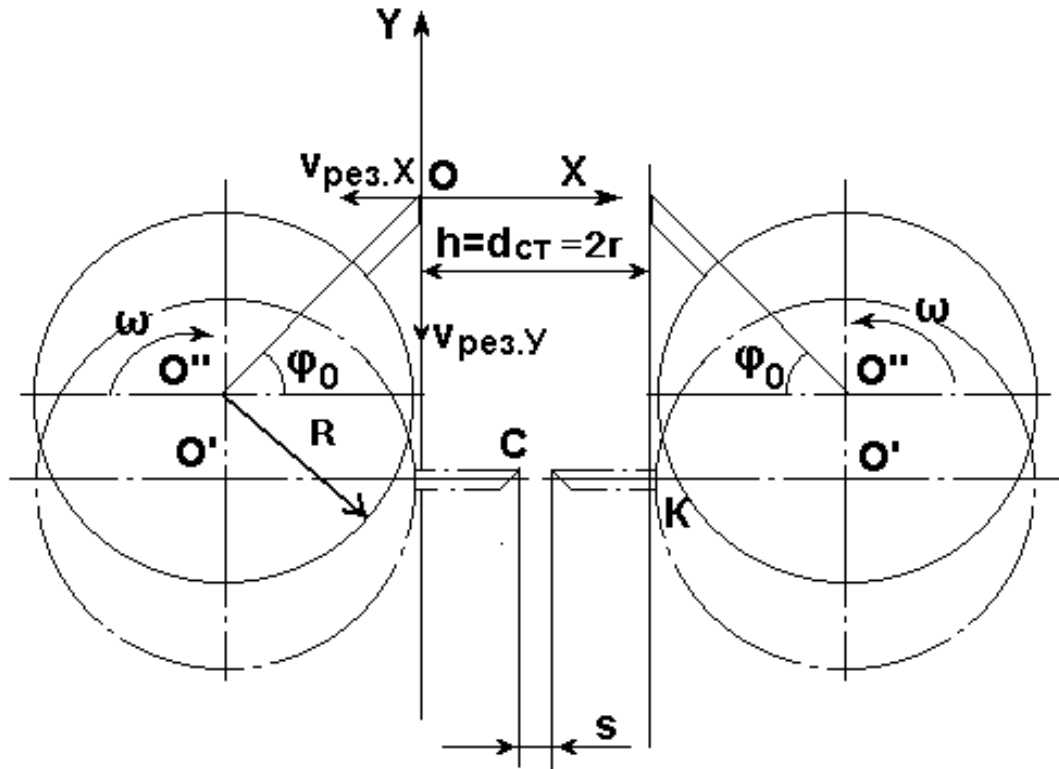


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення, що використовується для визначення траєкторії руху вершин рифів у вальцювальному робочому пристрої.

Як показує запропонована схема (рис. 2.6), стебло впевнено захоплюється вальцями та рівномірно протягується, а інтенсивність обчислення листостеблових решток суттєво зменшується завдяки сталому куту протягування. За таких умов рух стебла стає стабільним, без небажаних коливань, що позитивно впливає на якість відокремлення качанів.

Траєкторію переміщення крайньої точки рифа лівого вальця в нерухомій системі координат ox та oy можна подати у параметричній формі таким чином:

$$\left. \begin{aligned} y &= R \cdot \sin(\varphi_0 - \omega \cdot t) - r \cdot \omega \cdot t \\ x &= r - R \cdot \cos(\varphi_0 - \omega \cdot t) \end{aligned} \right\}, \quad (2.8)$$

де φ_0 - кут повороту вальця від моменту зіткнення леза з шаром до

поєднання ножів з віссю x ;

t - час, за який валець повернеться на кут $\omega \cdot t$;

З розрахункової схеми (рис. 2.6.) отримаємо

$$r = R - \frac{h_{cm} - S}{2}, \quad (2.9)$$

де h_{cm} - товщина стебла;

S - зазор між вершинами рифів.

Зазор S визначається конструкцією рифленої поверхні та взаємним розташуванням елементів рифів. Швидкість переміщення ріжучої кромки в рослинному матеріалі відповідає швидкості різання v_{piz} . Вона спрямована вздовж лінії розрізу й визначається дотичною до траєкторії руху вершини рифа. За своєю величиною швидкість різання дорівнює похідній шляху за часом:

$$v_{piz} = \frac{ds}{dt} = \sqrt{v_{piz.x}^2 + v_{piz.y}^2}, \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} v_{piz.x} &= \omega \cdot R \cdot \sin(\varphi_0 - \omega \cdot t); \\ \text{де -} \quad v_{piz.y} &= \omega \cdot R \cdot \cos(\varphi_0 - \omega \cdot t) - r \cdot \omega. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Одним із ключових кінематичних параметрів, що визначає стабільність та якість роботи качановідокремлювального апарата, є швидкість протягування стебла v_n . Саме від її величини залежить продуктивність комбайна та рівень травмування качанів.

Якщо частота обертання вальців є занадто низькою, агрегат не зможе забезпечити необхідну пропускну здатність, що призведе до технологічних збоїв – зокрема, забивання стріперних пластин або робочої щілини між вальцями.

За надмірно високих швидкостей протягування відбувається динамічний контакт качана зі стріперними пластинами, тобто виникають ударні навантаження. У таких умовах спостерігається підвищене вилущування зерен та можливе відскакування качана від поверхні пластини через пружну деформацію.

Щоб забезпечити безвідмовне функціонування качановідокрем-

лювального апарата та виключити його забивання, повинна виконуватися така умова:

$$q_n = q_{np}, \quad (2.12)$$

де q_n – питома подача рослинної маси до протягувальних вальців, кг/с;

q_{np} – кількість рослинного матеріалу, що фактично проходить через качановідокремлювальний апарат за одиницю часу, кг/с.

Секундну подачу рослинної маси q_n можна визначити з такого виразу:

$$q_n = 0,1 \cdot i \cdot b_p \cdot U \cdot v_k, \quad (2.13)$$

де i – кількість рядків, що одночасно охоплює комбайн;

b_p – ширина міжряддя, м ;

U – урожайність рослинної маси, кг/га;

v_k – робоча швидкість руху комбайна, м/с.

За результатами досліджень [38, 48] встановлено, що для стійкої та безвідмовної роботи жатної частини швидкість протягування v_n шару рослин у качановідокремлювальному апараті повинна щонайменше у 1,5 рази перевищувати швидкість руху машини по полю. Отже, умова надійного функціонування матиме вигляд:

$$\lambda \geq \frac{v_n}{v_k} = 1,5. \quad (2.14)$$

Після підстановки виразу (2.14) у формулу (2.13) отримуємо наступну залежність:

$$q_n = 0,15 \cdot i \cdot b_p \cdot U \cdot v_n. \quad (2.15)$$

Отже, на підставі виразу (2.15) можна стверджувати, що для забезпечення стабільної й безвідмовної роботи качановідокремлювального апарата колова швидкість протягувальних вальців v_n повинна дорівнювати:

$$v_n \geq \frac{q_n}{\gamma_{\max} \cdot \delta \cdot p^{\max} \cdot L \cdot \varepsilon \cdot \eta}, \quad (2.16)$$

де $\gamma_{\max}$ – максимальна щільність стеблової маси в зоні протягування;

ε – коефіцієнт, що характеризує ступінь використання робочої довжини

вальців чи стриперних пластин;

η – коефіцієнт буксування, який приймається рівним 0,9 [4, 65].

Тоді фактична швидкість протягування стебла між вальцями з урахуванням коефіцієнта буксування η визначатиметься так:

$$v_{np} = v_n \cdot \eta. \quad (2.17)$$

Травмування качанів під час їх контакту зі стриперними пластинами качановідокремлювального апарата не відбуватиметься за умови, що:

$$v_{don} \geq v_{np}. \quad (2.18)$$

де v_{don} – гранично допустима швидкість протягування, за якої відділення качана відбувається без його пошкодження.

Для точнішого визначення значення допустимої швидкості протягування в умовах реальної експлуатації потрібне проведення додаткових експериментальних досліджень.

2.4. Умови руху качана на ділянці «вільне протягування - відокремлення качанів

Дослідження характеру руху качана на цій ділянці є необхідним для визначення можливих механізмів його відокремлення від стебла. Зокрема, у працях [33, 39, 40, 42] показано, що відрив качанів може відбуватися під дією інерційних сил. У роботах [3, 33] досить ґрунтовно описано процес відокремлення, заснований на забезпеченні умов, за яких качан не затискається між робочими поверхнями. Проте ударний механізм відокремлення, попри його важливість, залишився недостатньо висвітленим у теоретичних дослідженнях. Це пояснюється складністю самого явища, адже його перебіг визначається фізико-механічними властивостями качана, його траєкторією руху на ділянці S а також характером дії сил до удару та після нього.

Розглянемо найпоширеніший варіант відривання качана за умов сталого руху, коли качан залишається на умовно нескінченному стеблі та переміщується по ділянці $L_{СП} - L_{ОП}$ (рис. 2.7). Припустімо, що траєкторія точки

B незначно відхиляється від прямої, тому переносний рух качана можна вважати прямолінійним зі сталою швидкістю v_{np} . Відносний рух відбувається у вигляді обертання качана навколо точки B під дією сили ваги G .

Кутову швидкість у відносному русі визначимо, виходячи з умови рівності потенційної та кінетичної енергій [45], тоді:

$$G \cdot r_n \cdot \sin \alpha_0 = \frac{G}{2g} \cdot \omega^2 \cdot r_n^2, \quad (2.19)$$

звідки

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{r_n} \cdot \sin \alpha_0}, \quad (2.20)$$

де r_n – кінематична довжина качана разом із плодоніжкою, тобто відстань від центра маси качана до точки B , мм;

α_0 – кут відхилення плодоніжки від вертикальної осі, градусів.

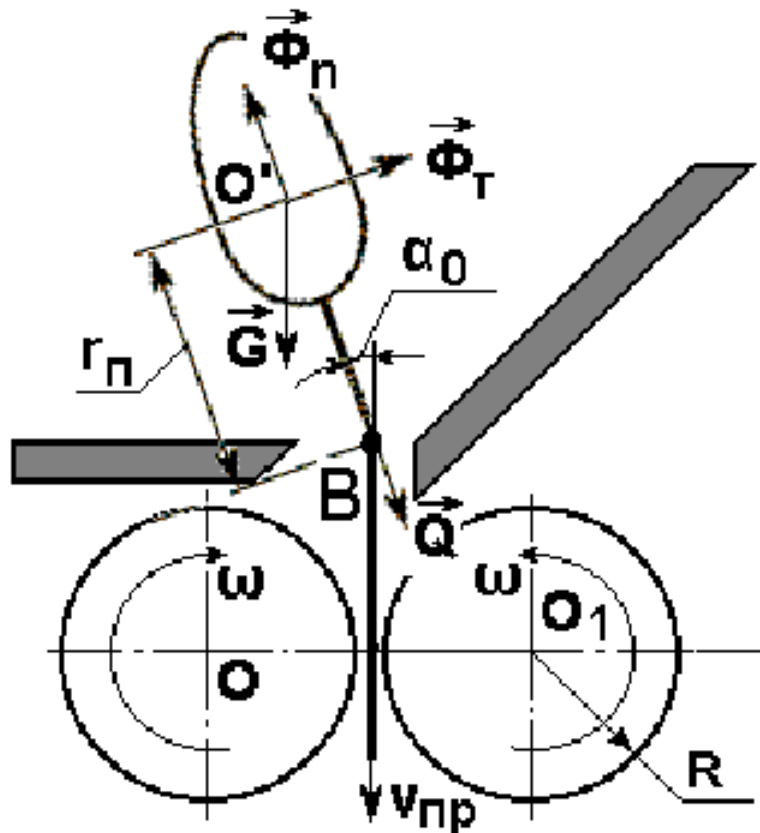


Рисунок 2.7 – Схематичне відображення силової взаємодії, що діє на качан під

час його руху в усталеному режимі.

Проектуючи діючі сили (рис. 2.7) на відповідний напрямок $\overset{1}{Q}$, можна записати таку залежність:

$$\overset{1}{Q} = \overset{1}{\Phi}_n + \overset{1}{G} \cdot \sin \alpha_0 = \frac{\overset{1}{G}}{g} \cdot \omega^2 \cdot r_n + \overset{1}{G} \cdot \sin \alpha_0, \quad (2.21)$$

Підставивши значення ω із (2.20), отримаємо

$$\overset{1}{Q} = 3 \cdot \overset{1}{G} \cdot \sin \alpha_0, \quad (2.22)$$

Із (2.22) отримуємо, що $\overset{1}{Q}_{\max} = 3\overset{1}{G}$, при $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}$.

Аналіз рівняння (2.22) свідчить, що під час руху качана по ділянці $L_{СП}$ - $L_{ОП}$ до моменту його контакту з робочою частиною стріперних пластин, зусиль, що виникають у плодоніжці, недостатньо для відривання качана. Це пояснюється тим, що власна вага качана у середньому майже втричі менша за силу розриву плодоніжки $P_{роз}$.

Якщо ж довжина ділянки $L_{СП}$ - $L_{ОП}$ і маса качана такі, що він устигне повернутися у вертикальне положення, а стріперна пластина матиме нульовий кут нахилу α_0 то зіткнення відбудеться у формі центрального удару між качаном і пластиною.

У цьому випадку перед ударом лінійна відносна швидкість центра мас качана v_r становитиме, м/с:

$$v_r = \omega \cdot r_n = \sqrt{\frac{2g}{r_n} \cdot \sin \alpha_0} \cdot r_n = \sqrt{2g \cdot r_n \sin \alpha_0}. \quad (2.23)$$

Її максимальне значення буде при $\alpha_0 = \pi/2$, тобто:

$$v_{r\max} = \sqrt{2g \cdot r_n}. \quad (2.24)$$

Абсолютна швидкість качана перед моментом удару визначається як векторна сума швидкості протягування та швидкості переміщення його центра мас:

$$\overset{1}{V}_a = \overset{1}{V}_{np} + \overset{1}{V}_{r\max}. \quad (2.25)$$

Кількість руху качана до моменту удару та після нього можна подати через модулі відповідних векторів імпульсів $\vec{K}_1$ і $\vec{K}_2$ (рис. 2.8):

$$\vec{K}_1 = \frac{G}{g} \vec{v}_a = \frac{G}{g} (\vec{v}_{np} + \sqrt{2g \cdot r_n}). \quad (2.26)$$

$$\vec{K}_2 = \frac{G}{g} \cdot \vec{v}_{np} \cdot \sin \varphi_0, \quad (2.27)$$

де φ_0 - кут повороту плодоніжки у момент удару, *град.*

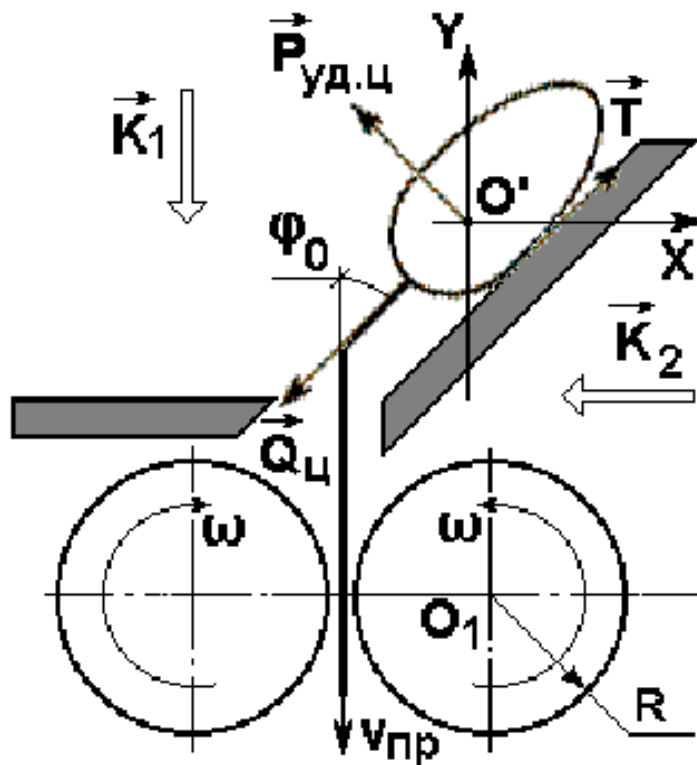


Рисунок 2.8 – Схематичне відображення процесу відокремлення качана в умовах центрального удару.

У момент контакту качана зі стриперними пластинами, за умов сталого режиму протягування, на нього діють ударна сила $P_{уд.ц}$ та сила тертя T . Оскільки плодоніжка не може розглядатися як абсолютно пружний елемент, у процесі деформації виникає зусилля її натягування $Q_{ц}$. Відривання качана можливе лише за умови виконання нерівності $Q_{ц} \geq P_{відр.}$. Знехтувавши дією сили ваги качана та скориставшись теоремою про зміну кількості руху [45],

можна записати векторне рівняння взаємодії у такій формі:

$$\vec{K}_2 - \vec{K}_1 = (\vec{P}_{y\partial.u} + \vec{T} + \vec{Q}_u) \cdot t_{y\partial}, \quad (2.28)$$

де $t_{y\partial}$ – тривалість ударної взаємодії качана зі стриперною пластиною, с;

T – сила тертя, що діє на качан з боку поверхні стриперних пластин, Н;

Q_u – зусилля натягу плодоніжки під час удару, Н.

Проектуючи наведене векторне рівняння на осі X і Y , отримуємо систему двох рівнянь із двома невідомими величинами:

$$\frac{K_1}{t_{y\partial}} = -P_{y\partial.u} + Q_u \cdot \cos \varphi_0; \quad (2.29)$$

$$\frac{K_2}{t_{y\partial}} = T + Q_u \cdot \sin \varphi_0, \quad (2.30)$$

де $T = P_{y\partial.u} \cdot f$, а f – коефіцієнт ковзного тертя качана по поверхні стриперної пластини.

Розв'язавши подану систему рівнянь, отримаємо вираз для визначення сили натягу плодоніжки:

$$Q_u = \frac{\frac{1}{t_{y\partial}} (K_2 - K_1 \cdot f)}{\sin \varphi_0 + f \cdot \cos \varphi_0}. \quad (2.31)$$

З (2.29) визначимо ударну силу при центральному ударі, H :

$$P_{y\partial.u} = Q_u \cdot \cos \varphi_0 + \frac{K_1}{t_{y\partial}}, \quad (2.32)$$

Якщо до моменту контакту зі стриперною чи похилою пластиною качан не встигає перейти у вертикальне положення, то удар відбувається під кутом, із додатковим обертанням навколо точки защемлення. У такому випадку величина ударного навантаження буде істотно меншою, ніж при центральному зіткненні.

2.5. Висновки до розділу

Проведений аналіз ключових етапів технологічного процесу роботи качановідокремлювальної частини кукурудзозбирального комбайна дав змогу виокремити п'ять основних зон: орієнтацію стебла; його захоплення подавальним ланцюгом із лапками; зрізування та вільне протягування стебла; відокремлення качанів; подальше транспортування відокремленого продукту.

Теоретичне вивчення взаємодії качана зі стриперними пластинами дозволило ідентифікувати чотири характерні механізми відділення: інерційне відривання, центральний удар, косий удар із обертанням та розрив плодоніжки внаслідок защемлення між пластинами.

Дослідження кінематичних параметрів модернізованого пікерно-стриперного апарата дало можливість отримати аналітичні залежності для визначення основних конструктивних параметрів робочих органів: діаметра протягувальних вальців D_e (формули 2.4 і 2.5), величини зазору між рифами S (формула 2.9), а також раціонального кута нахилу стриперної пластини (рис. 2.3).

Теоретичний аналіз процесу протягування стебла протягувальними вальцями в умовах сталого руху дав змогу встановити необхідну швидкість протягування та допустимі рівні зусиль, за яких виключаються порушення технологічного процесу й мінімізується травмування качанів.

За результатами проведених досліджень встановлено нестачу інформації щодо низки механіко-технологічних властивостей рослинної сировини, зокрема коефіцієнта відновлення качана після удару, його здатності витримувати статичні та динамічні навантаження, залежності деформації стебла від прикладеної сили та параметрів різання. Це підкреслює необхідність подальших експериментальних досліджень для уточнення цих характеристик і підвищення надійності теоретичних моделей.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження виконувалися у два послідовні етапи. Під час першого етапу було вивчено фізико-механічні властивості рослин кукурудзи та основних елементів її структури. На другому етапі здійснювалися дослідження процесу відокремлення качанів від стебел на спеціально розробленій експериментальній установці, що працювала в лабораторних умовах.

Програма експериментальних робіт включала такі завдання:

1. встановлення фізико-механічних характеристик рослин кукурудзи у період збирання врожаю;
2. дослідження впливу робочих режимів качановідокремлювального механізму на рівень втрат качанів, ступінь їх пошкодження, особливості процесу відокремлення та інтенсивність обчисовування листостеблової маси;
3. визначення залежності якісних показників роботи апарата від конструктивного розташування робочих органів та обраних режимів його функціонування.

3.2. Методика експериментальних досліджень

3.2.1. Загальна методика досліджень

Для встановлення основних характеристик рослин кукурудзи застосовувалися відомі методики та спеціалізоване обладнання. Методика визначення розмірно-масових та фізико-механічних параметрів базувалася на рекомендаціях [9, 24, 28, 65], а також враховувала умови проведення досліджень із розробленням та виготовленням необхідних вимірювальних пристроїв.

Для забезпечення достовірності результатів дотримувалися ключового

принципу вибіркового спостереження – випадкового добору кожного елемента вибірки. Отримані значення x_i фіксувалися в журналі спостережень і групувалися у варіанти x_k за зростанням із зазначенням кількості повторів $I(i)$. Граничні значення визначалися як $x_{\min}$ та $x_{\max}$. Відповідно до рекомендацій [24, 46] здійснювалася статистична обробка даних і оцінювання похибок, значення яких не повинно перевищувати 4,0%. Усі розрахунки виконувалися за допомогою табличного процесора «Excel» і наведені в таблицях додатків.

Для визначення кінематичних і динамічних характеристик пікерно-стриперного качановідокремлювального апарата найбільший інтерес становили показники: залежність травмованості качанів від прикладеного зусилля, коефіцієнт об'ємного зминання стебла і качана, величина зусилля відокремлення качана при різних кутах дії сили, питомий опір зламування та зрізування плодоніжки. Математичний опис досліджуваних залежностей виконували методом найменших квадратів із подальшою перевіркою адекватності моделі за критерієм Фішера [9].

Вплив чинників на процес відокремлення качанів визначався методом експертної оцінки («психологічний експеримент») із побудовою діаграми ранжування [46]. Суть методу полягала у впорядкуванні чинників за ступенем впливу на критерій оптимізації шляхом присвоєння їм відповідних рангів 1, 2, 3 ... k. Перед початком експерименту формувався перелік суттєвих чинників та визначалися межі їх варіювання [7].

З метою зменшення обсягу експериментів, кількості переналаштувань лабораторної установки та водночас отримання всебічної інформації про вплив кінематичних параметрів на втрати качанів, їх травмованість та ступінь засміченості вороху, застосовувалося трирівневе D-оптимальне планування другого порядку Бокса для п'яти незалежних параметрів.

Методика планування експерименту та обробки результатів детально описана у фаховій літературі [7, 9, 24, 46], тому в роботі наведено лише структуру використаних планів та послідовність регресійного й статистичного аналізу побудованих моделей.

Основними критеріями оптимізації технологічного процесу прийнято:

травмованість качанів (ТП), яка повинна прямувати до мінімального значення ($ТП \rightarrow 0$);

втрати качанів (ПП), що не мають перевищувати 1,5% згідно агротехнічних вимог [1, 49];

засміченість вороху качанів (ЗВ), значення якої також має бути мінімальним ($ЗВ \rightarrow 0$).

Для кожного варіанта дослідів відбирали 100 стебел кукурудзи з повноцінними качанами. Після оброблення матеріалу визначалися маси відібраних проб, що заносилися в журнал спостережень. На завершальному етапі дослідів визначали травмованість, втрати та чистоту вороху.

Для оцінки травмованості качанів зважувалася загальна маса готової продукції $m_{(ВП)}$, після чого відокремлювали травмовані качани, визначали їх масу $m_{(ТР)}$ – до них відносили качани з вишкребаним або пошкодженим зерном. Розрахунок показника травмованості здійснювався за формулою:

$$ТП = \frac{m_{(ТР)}}{m_{(ВП)}} \cdot 100\%. \quad (3.1)$$

Для визначення величини втрат качанів здійснювали зважування двох груп продукції: качанів, що надійшли до бункера комбайна – $m_{(ПБ)}$ та качанів, що залишилися на полі – $m_{(ПП)}$, включно з тими, що залишилися на рослинах або впали на ґрунт. Після фіксації маси кожної групи втрати качанів обчислювали за формулою:

$$ПП = \frac{m_{(ПП)}}{m_{(ПБ)}} \cdot 100\%. \quad (3.2)$$

Для оцінювання рівня забрудненості вороху качанів на виході відбірника здійснювали відбір готової продукції. Після цього окремо зважували масу качанів – $m_{(П)}$ та масу домішок листостеблової маси – $m_{(ПР)}$. Отримані дані використовували для розрахунку забрудненості вороху за формулою:

$$ЧВ = \frac{m_{(II)}}{m_{(II)} + m_{(III)}} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

Після завершення експериментів та визначення основних показників якості роботи качановідокремлювального апарата, наступним ключовим етапом стала постановка та розв'язання компромісної задачі оптимізації. Її сутність полягає в тому, що досягнення екстремального значення одного критерію оптимізації може вимагати врахування певних обмежень, накладених двома іншими критеріями.

Для підвищення ефективності технологічного процесу необхідно отримати математичні моделі, що адекватно описують обрані критерії оптимізації, а також визначити їх оптимальне взаємне співвідношення. Такий підхід належить до задач нелінійного програмування і може бути поданий у формалізованому вигляді [46]:

$$\begin{aligned} ТП &= B_0 + \sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^n B_{ij} \cdot X_i^2; \\ ПП &= B'_0 + \sum_{i=1}^n B'_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B'_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^n B'_{ij} \cdot X_i^2; \\ ЗВ &= B''_0 + \sum_{i=1}^n B''_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B''_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^n B''_{ij} \cdot X_i^2; \end{aligned} \quad (3.4)$$

У разі, коли ТП прямує до нуля, ПП не перевищує 1,5%, а ЗВ наближається до нуля, проводиться подальший аналіз моделі.

Тут n позначає кількість незалежних факторів, а $B_0 \dots B_{ij}$ – це розраховані теоретичні значення коефіцієнтів побудованої математичної моделі.

Оцінку довірчих інтервалів для знайдених коефіцієнтів поліномів (3.4) виконували за класичними методиками, наведеними в [24]. Для встановлення відповідності отриманих математичних моделей реальному технологічному процесу визначали значення відгуку в кожній комбінації факторних рівнів ($X_0 \dots X_{ij}$), де проводилися дослідження, після чого обчислювали дисперсію адекватності σ_n .

Перевірку адекватності рівнянь регресії, які описують поведінку технологічного процесу, проводили із застосуванням критерію Фішера, що дало

змогу оцінити якість отриманих моделей.

3.2.2. Методика досліджень коефіцієнта відновлення качана

На сьогодні у наукових публікаціях практично не наведено даних щодо таких характеристик, як залежність сили відриву качанів від кута її прикладання, ударостійкість качанів, коефіцієнти їх відновлення після удару, а також міцність плодоніжок при дії вигинальних моментів. Така відсутність інформації пояснюється тим, що фізико-механічні властивості кукурудзи в світовій науковій практиці досліджувалися недостатньо. Тому для встановлення цих параметрів були розроблені та застосовані оригінальні експериментальні методики.

Під час збирання кукурудзи на зерно, у процесі відокремлення та подальшого транспортування качанів, вони можуть зазнавати дії ударних навантажень від робочих органів кукурудзозбиральних агрегатів. Для аналізу цього явища та визначення пружних властивостей ударної взаємодії нами було проведено експериментальні дослідження з визначення коефіцієнтів відновлення качанів. Відомо [4, 65], що, встановивши кут відбивання β можна розрахувати коефіцієнт відновлення R . Експериментальний спосіб його визначення передбачає таку послідовність:

$$R = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}, \quad (3.5)$$

де h_1 – висота, з якої здійснюється вільне падіння качана, м;

h_2 – висота, на яку качан піднімається після відбивання від опорної поверхні, м.

Після перетворення формули (3.5) з урахуванням умов проведення експерименту та конструктивної схеми застосованого вимірювального пристрою одержуємо таку залежність:

$$R = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{h_1 - h_1 \cdot \cos \beta}{h_1}} = \sqrt{1 - \cos \beta}, \quad (3.6)$$

де β – кут, під яким качан відбивається від досліджуваної поверхні.

3.2.3 Методика досліджень опору качанів дії ударних навантажень

Під час протягування стебла пікерними вальцями процес відокремлення качанів супроводжується їхнім ударом об стріперні пластини, що часто призводить до пошкоджень. Дослідження ударної стійкості качанів проводили з метою встановлення допустимих рівнів навантажень, які не спричиняють їх травмування. Опір качанів до дії ударних імпульсів визначали за стандартною методикою [49], яка передбачає падіння качана на спеціально підготовлену досліджувану поверхню.

Після отримання середньостатистичного значення максимально допустимої висоти падіння h обчислювали критичну швидкість зіткнення качана з поверхнею $v_{кр}$ що підлягала оцінюванню. Критичну швидкість, за умови нехтування аеродинамічним опором, визначали за формулою [28], м/с:

$$v_{кр} = \sqrt{2 \cdot q \cdot h}. \quad (3.7)$$

Отже, критичну швидкість визначали як функціональну залежність $v_{кр} = f(h)$. Розрахункова схема із зазначенням напрямків сил, що діють на качан під час зіткнення, подана на рис. 3.1.

У моделі качан розглядався як еліпсоїд правильної геометричної форми з масою $m_{п}$, зовнішнім діаметром $D_{п}$ та довжиною $L_{п}$.

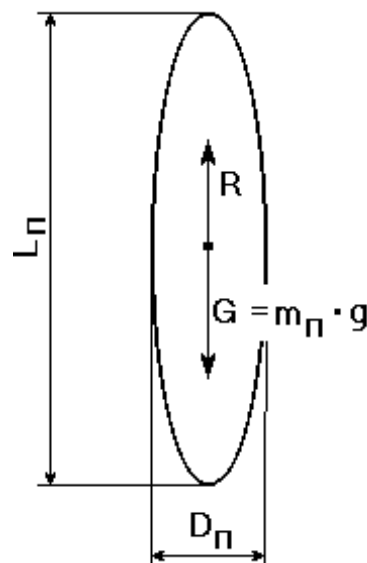


Рисунок 3.1 – Схематичне відображення системи сил, що діють на качан.

3.2.4. Методика визначення опору качанів статичному стискуванню

Сила стискання F_{cm} , яка фактично прикладається до качана в процесі взаємодії, визначалась за таким виразом:

$$F_{cm} = q \cdot m \cdot \frac{l_1}{l_2}, \quad (3.8)$$

де m – маса вантажів, розміщених на тарілці, кг;

l_1 – відстань від тарілки з вантажами до осі обертання коромисла, м;

l_2 – відстань від закріпленого на платформі качана до осі гойдання коромисла, м.

У ході експериментальних досліджень стискує навантаження прикладали у двох напрямках: уздовж осі качана (осьове стискування) та перпендикулярно до неї (радіальне стискування). У результаті реєстрували залежність деформації качана Δ від прикладеного навантаження F_{cm} , яка описується функціональною залежністю – $\Delta = f(F_{cm})$.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ

4.1. Результати дослідження властивостей рослин кукурудзи

4.1.1. Розмірно-масові характеристики

У дослідження були включені два гібриди кукурудзи: «Дніпровський 281 ТБ» та «Жеребковський 90 МВ». Вирощування кукурудзи на зерно здійснювалось на площах від 50 до 220 га із дотриманням усіх вимог агротехнології та застосуванням індустріальної технології вирощування. Ширина міжрядь становила 70 см, густина стояння рослин – 55–62 тис. шт./га.

Гібрид «Дніпровський 281 ТБ» належить до середньостиглих, характеризується високою продуктивністю та перевищує стандартні показники врожайності на 6–8 ц/га. Середня висота рослин – 220–240 см, рівень кущистості невисокий, сорт має добру стійкість до вилягання та ламкості стебел.

Гібрид «Жеребковський 90 МВ» також є середньостиглим і високоврожайним, перевищуючи стандарт за врожайністю на 2–3 ц/га. Висота рослин знаходиться в межах 200–220 см, стійкість до вилягання оцінюється як задовільна. Качан формується на висоті 80–88 см, має слабо конусоподібну форму, довжину 18–20 см, діаметр у середній частині близько 40 мм і містить 14–16 рядів зерен. Довжина плодоніжки становить 17 см, діаметр – 14 мм. Зернівка зубоподібна, жовтого кольору, маса 1000 зерен – 300–320 г.

Висоту рослин, рівень кріплення качана, кут відхилення стебла від лінії рядка, ступінь полеглистості та характер обвисання качанів визначали за допомогою рейки, рулетки та транспортира. Узагальнені результати вимірювань наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні розмірні параметри рослин кукурудзи

Сорт	Значення досліджуваного параметра, мм								
	Висота рослини			Висота кріплення качана			Відхилення від осі рядка		
	min	max	сер.	min	max	сер.	min	max	сер.
Дніпровський 281 ТБ	1200	2450	1820,5	550	1300	920,5	6	100	53
Жеребковський 90 МВ	1000	2400	1700	400	1250	820,5	2	62	32

Аналіз даних таблиці 4.1 свідчить, що досліджувані морфологічні показники мають значну варіабельність. Особливо це помітно щодо відхилення стебел від осі рядка: у деяких рослин цей параметр досягав 100 мм, тоді як перевищення 20 мм уже суттєво збільшує втрати під час збирання.

За результатами статистичної обробки експериментальних даних були отримані залежності полеглості рослин ПЛ та обвисання качанів ОП від тривалості збирання Д. Графічне відображення цих функцій наведено на рис. 4.1 і рис. 4.2.



Рисунок 4.1 – Графічна залежність ступеня полеглості стебел від тривалості періоду збирання:

ряд 1 – сорт Дніпровський 281 ТБ; ряд 2 – сорт Жеребківський 90 НВ.



Рисунок 4.2 – Графічна залежність ступеня обвисання качанів від тривалості збирання.

За результатами аналізу встановлено, що обидва досліджувані сорти кукурудзи характеризуються високою стійкістю до вилягання. Проте зі збільшенням строків збирання спостерігається суттєве зростання показників полеглості та обвисання качанів. Зокрема, уже через 10 днів після настання повної стиглості частка полеглих рослин зростає до 11–15%, а кількість качанів, що обвисли під кутом 90° ... 180° , досягає 31–35%.

На рис. 4.3 наведено схему вимірювання розмірних параметрів качана та плодоніжки, а узагальнені статистичні результати цих вимірювань подано в таблицях 4.2 і 4.3.

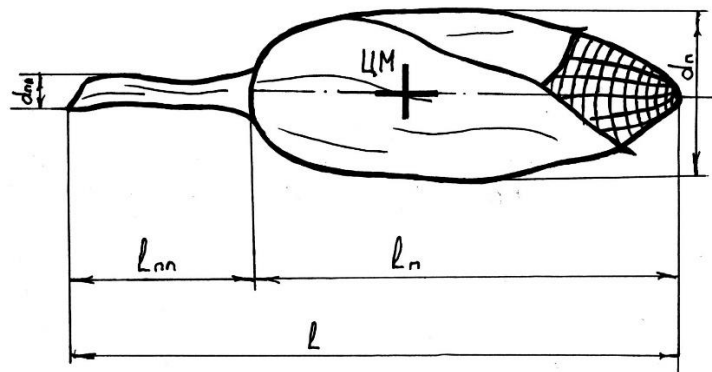


Рисунок 4.3 – Схематичне зображення, що використовується для визначення геометричних параметрів качана та його плодоніжки.

Таблиця 4.2 – Геометричні параметри качанів кукурудзи

Сорт [*]	Значення досліджуваного параметра											
	Довжина качана, мм			Діаметр качана в середній частині, мм			Відстань від центру мас до основи, мм			Маса качана, грам		
	min	max	сер.	min	max	сер.	min	max	сер.	min	max	сер.
1	162	308	235	39	54	46,5	46	138	101	210	350	280
2	126	284	205	35	49	42	48	105	76,5	225	375	300

^{*}1 - Дніпровський 281 ТБ; 2 - Жеребковський 90 МВ.

Таблиця 4.3 – Геометричні параметри плодоніжки кукурудзяного качана

Сорт	Значення досліджуваного параметра, мм					
	Довжина плодоніжки			Діаметр плодоніжки		
	min	max	сер.	min	max	сер.
Дніпровський 281 ТБ	40,5	370	200,7	6	18	12
Жеребковський 90 МВ	50,8	420	230,9	9	20	14,5

Аналіз результатів, поданих у таблицях 4.2 та 4.3, показує, що розмірні характеристики як качанів, так і плодоніжок мають значну мінливість. Така варіабельність істотно впливає на вибір оптимальних конструктивних параметрів систем для відокремлення качанів та визначає рівень надійності виконання технологічного процесу.

4.1.2. Фізико-механічні характеристики качанів і листостеблової маси

Оскільки безпосередньо виміряти коефіцієнти тертя практично неможливо, у ході досліджень визначали кути ковзання качанів по різних поверхнях. Як контактні матеріали використовували металеву, гумову та пластмасову пластини. Експерименти проводили на приладі конструкції Щучкіна [65]. Узагальнені результати випробувань за різних рівнів вологості наведені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 – Значення кутів і коефіцієнтів тертя ковзання різних компонентів рослини (при вологості качанів 25%, листостеблової маси 60%)

Матеріал поверхні тертя	Сорт досліджуваної культури					
	Дніпровський 281 ТБ					
	качан в обг.		стебло		обгортка	
	кут тертя	коэф-т кочен.	кут тертя	коэф-т кочен.	кут тертя	коэф-т кочен.
Металева пластина	24°	0,44	32°	0,63	35°	0,68
Гумова пластина	29°	0,55	49°	0,86	42°	0,92
Пластина поліамід 4	21°	0,38	30°	0,58	33°	0,64

Таблиця 4.5 – Кути та коефіцієнти тертя ковзання основних елементів рослини (за вологості качанів 15% і листостеблової маси 25%)

Матеріал поверхні тертя	Сорт досліджуваної культури					
	Дніпровський 281 ТБ					
	качан в обг.		стебло		обгортка	
	кут тертя	кут кочен.	кут тертя	кут кочен.	кут тертя	кут кочен.
Металева пластина	22°	0,40	29°	0,56	31°	0,62
Гумова пластина	27°	0,51	32°	0,63	39°	0,82
Пластина поліамід 4	19°	0,34	27°	0,52	30°	0,58

Аналіз отриманих результатів свідчить, що максимальні значення коефіцієнтів тертя для всіх досліджуваних елементів рослини зафіксовані при взаємодії з гумовою поверхнею, тоді як мінімальні – під час ковзання по пластині з поліаміду-4. Крім того, простежується чітка тенденція: зі зменшенням вологості матеріалу коефіцієнти тертя знижуються для всіх типів контактних поверхонь.

У таблиці 4.6 наведені результати статистично опрацьованих досліджень коефіцієнтів відновлення качанів кукурудзи під час ударної взаємодії.

На основі отриманих даних встановлено, що зменшення вологості призводить до зниження коефіцієнта відновлення для всіх досліджуваних поверхонь зіткнення. Це пояснюється втратою пружних властивостей качанів у міру висихання. Зокрема, середні значення коефіцієнта відновлення зменшилися з 0,389 до 0,221 при ударі об сталю пластину та з 0,529 до 0,425 при контакті з гумовою поверхнею.

Таблиця 4.6 – Показники кутів відбивання та коефіцієнтів відновлення качанів

Сорт культури, що вивчається	Поверхня зіткнення							
	Сталева пластина				Гумова пластина			
	Кут відбивання			К-ф відн.	Кут відбивання			К-ф відн.
	min	max	сер.		min	max	сер.	
Дніпровський 281 ТБ (вологість зерна 50%)	28°	36°	32°	0,389	41°	47°	44°	0,529
Дніпровський 281 ТБ (вологість зерна 25%)	14°	22°	18°	0,221	31°	39°	35°	0,425

Результати досліджень зусиль відривання качанів показали, що їх величина змінюється в досить широких межах – від 0,30 до 0,64 кН. Із збільшенням кута відхилення до 90° значення цього зусилля помітно зменшується і становить лише 0,13...0,14 кН. Приблизно 84% випадків руйнування зв'язку «плодоніжка – качан» припадає на місце їх з'єднання в зоні основи качана. Графічне відображення отриманих залежностей наведено на рис. 4.4 та 4.5.

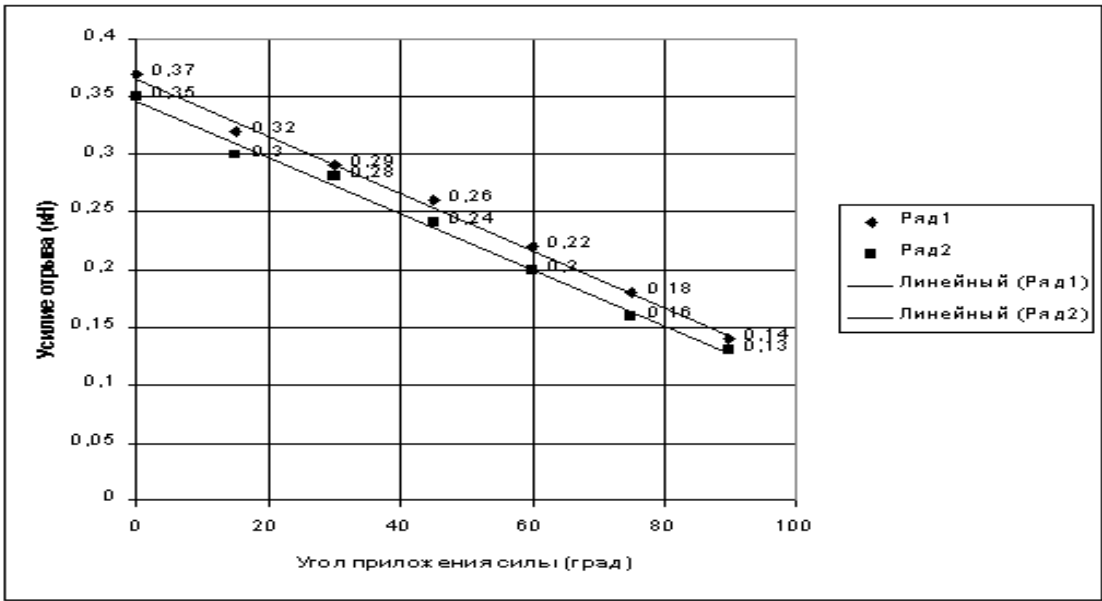
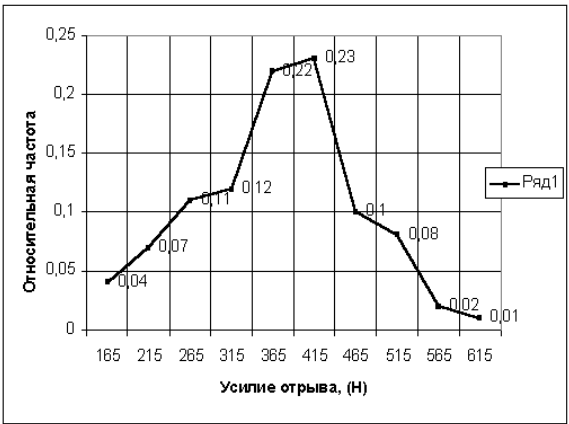
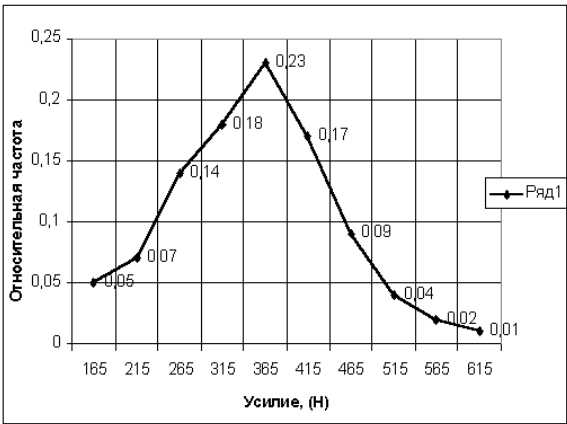


Рисунок 4.4 – Графічна залежність сили відривання качана від кута прикладення сили:

ряд 1 – сорт Дніпровський 281 ТБ; ряд 2 – сорт Жеребківський 90 МВ.



а)



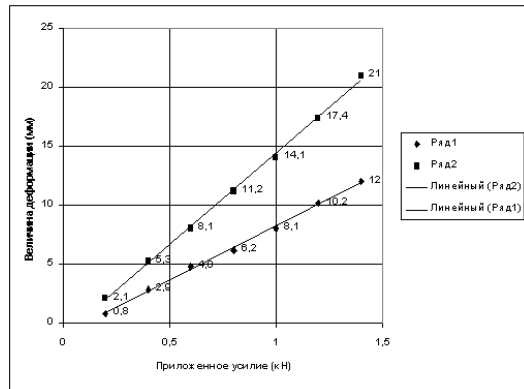
б)

Рисунок 4.5 – Варіаційні криві сили відривання качана від плодоніжки за умови прикладення сили під кутом 0°:

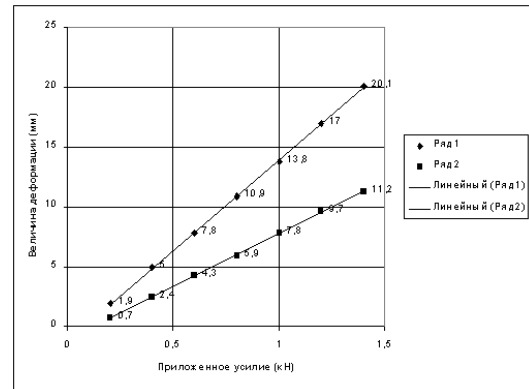
а – сорт Дніпровський 281 ТБ; б – сорт Жеребківський 90 МВ.

Графічне відображення результатів досліджень опору качана стискаючим навантаженням подано на рис. 4.6. На основі проведених випробувань встановлено, що під дією статичного навантаження у радіальному напрямку качан проявляє значну стійкість до стискування. При навантаженнях до 0,4 кН

деформація не призводить до пошкодження зерен та не залишає помітних залишкових змін форми. Застосування сили в межах до 0,8 кН вже викликає відчутну залишкову деформацію та часткове вилущування зерен. Подальше збільшення навантаження підсилює інтенсивність вилущування, а при зусиллях 1,38–1,40 кН відбувається розколювання качана вздовж осі.



а)



б)

Рисунок 4.6 – Графічна залежність деформації качанів від прикладеного навантаження:

а – сорт Дніпровський 281 ТБ; б – сорт Жеребківський 90 МВ;
ряд 1 – осьове стискування; ряд 2 – радіальне стискування.

Результати дослідження зусилля зрізу плодоніжки свідчать, що найменше зусилля, необхідне для відокремлення качана, спостерігається під час вигину плодоніжки. Це пов'язано з тим, що на відміну від осьового розтягування, при вигині напруження в перерізі розподіляються нерівномірно, і руйнування відбувається у зоні максимальної концентрації напруг. У наукових джерелах такий механізм руйнування практично не згадується.

Для дослідження були використані плодоніжки сорту Дніпровський 281 ТБ. Варіаційна крива, побудована за результатами експериментів, наведена на рис. 4.7. Узагальнені середні значення експериментально визначеної сили різання $F_{різ}$ та розрахованого руйнівного напруження представлені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Показники зусиль, необхідних для зрізування плодоніжок

Об'єкт досліджень	Значення показників					
	Зусилля різання, H			Руйнівні напруж. в перетині, $МПа$		
	min	max	сер.	min	max	сер.
Плодоніжка середнього діаметру 14 мм	80	150	115	1,13	2,12	1,62

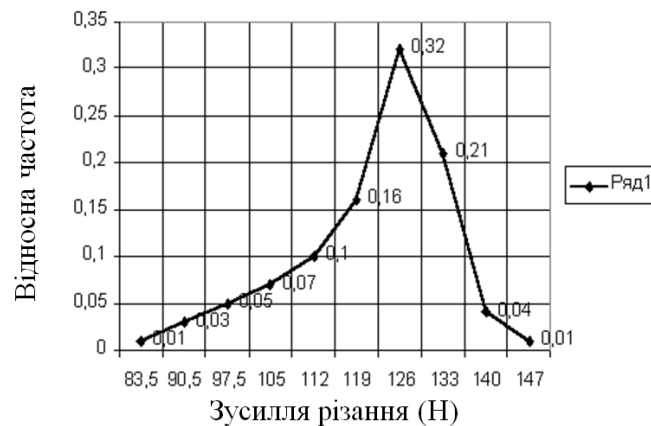


Рисунок 4.7 – Варіаційна крива розподілу зусиль, що виникають під час різання.

Опір качанів до ударних навантажень оцінювали за методикою, описаною в розділі 3. Критичні швидкості зіткнення качанів із досліджуваними матеріалами визначали як без урахування опору повітря, так і з його врахуванням. Отримані результати наведено в таблиці 4.8. Таблиця 4.8.

Таблиця 4.8 – Граничні швидкості зіткнення качанів із робочою поверхнею (сталевою пластиною), м/с

Сорт кукурудзи	Без врахування опору повітря			З врахуванням опору повітря		
	min	max	сер.	min	max	сер.
Дніпровський 281 ТБ (вологість 50%)	5,4	7,1	6,25	5,28	6,66	5,97
Дніпровський 281 ТБ (вологість 30%)	4,2	5,9	5,05	4,05	5,59	4,82

Як свідчать дані таблиці 4.8, різниця значень критичної швидкості $v_{кр}$ за різних умов не перевищує 5%. Тому під час подальших розрахунків

конструктивних і кінематичних параметрів вплив опору повітря можна вважати незначним і ним допустимо знехтувати.

З проведених досліджень встановлено, що стійкість качанів до ударних навантажень помітно зменшується у фазі повної стиглості. Така тенденція пояснюється тим, що зі зниженням вологості зерно втрачає пластичні властивості й стає менш здатним поглинати ударну енергію. У деяких випадках критична швидкість зіткнення не повинна перевищувати 4,2 м/с, щоб уникнути пошкоджень.

4.2. Експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів від стебел

4.2.1. Лабораторна установка

Лабораторна установка (рис. 4.8) являє собою кукурудзозбиральну приставку ППК-4-1, модифіковану шляхом демонтажу подрібнювача та роторного різального апарата та жорстко закріплену на металевій рамі. Комплекс обладнаний одним експериментальним руслом і електроприводом. Живильний вузол включає скребковий транспортер, що переміщується в горизонтальному напрямному жолобі; до його скребоків жорстко прикріплені затискачі, у яких фіксуються стебла кукурудзи. Можливість зміни швидкісних режимів забезпечується встановленими в приводі транспортера змінними зірочками ланцюгової передачі.

Установка імітує роботу кукурудзозбирального комбайна в польових умовах: стебла, закріплені в затискачах живильного транспортера, під час руху подаються до експериментального качановідокремлювального апарата.

Швидкість руху транспортера регулюється в діапазоні **1,8...10 км/год**, а довжина робочої гілки **15 м** дозволяє одночасно розміщувати до **100 стебел**.

Експериментальне русло, виготовлене на основі серійної конструкції, включає такі конструктивні удосконалення:

замість стандартних ребристих протягувальних вальців із шістьма

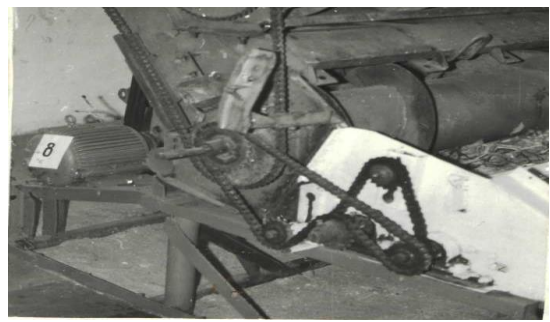
західними рифами застосовано експериментальні вальці із шістьма торцевими загостреними рифами по всій довжині, що працюють у режимі «риф у риф», забезпечуючи надійне захоплення і протягування стебел зі сталим кутом;

стриперні пластини замінено: одна виконана із загостреною ріжучою кромкою, інша обладнана гвинтовим регулювальним механізмом, що дозволяє змінювати кут їх установа в межах 0° – 90° ;

над стріперними пластинами змонтовано подавальний ланцюг з подовженими гумовими лапками, розташований по одному контуру з одного боку русла, який забезпечує стабільне транспортування та обертання качанів під час їх відокремлення.



а)



б)

Рисунок 4.8 – Експериментальна лабораторна установка:

а – загальний вигляд; б – приводна частина установки.

Для дослідження ключових кінематичних параметрів, що впливають на втрати качанів, їх травмування та чистоту вороху, лабораторна установка оснащена низкою регулювальних вузлів. Подача рослин у робочу зону змінювалась шляхом регулювання швидкості руху транспортера та кількості стебел на один погонний метр подавальної гілки живильного пристрою.

Частоту обертання протягувальних вальців змінювали шляхом добору змінних зірочок, встановлених на редукторі експериментального русла. Стриперна пластина, обладнана гвинтовим регулювальним механізмом, могла встановлюватися під будь-яким кутом у межах 0° ... 90° . Кут загострення другої стріперної пластини змінювався через використання комплекту змінних

пластин із різними кутами заточування робочої кромки. Зазор між рифами вальців коригували за допомогою регулювального механізму русла.

У процесі експериментальних випробувань було проаналізовано вплив подачі рослин кукурудзи, частоти обертання протягувальних вальців, кута нахилу однієї та кута загострення іншої стріперних пластин, а також величини зазору між рифами на якість виконання технологічного процесу. Дослідження проводили на качанах кукурудзи сорту Дніпровський 281 ТБ.

4.2.2. Результати експериментальних досліджень

Статистичну та математичну обробку отриманих результатів виконано відповідно до методики, наведеної в розділі 3. Після проведення попереднього («психологічного») експерименту як основні незалежні фактори були обрані такі параметри:

X_1 – частота обертання протягувальних вальців;

X_2 – подача рослинної маси (еквівалент швидкості руху комбайна);

X_3 – кут нахилу першої стріперної пластини;

X_4 – кут загострення другої стріперної пластини;

X_5 – зазор між рифами протягувальних вальців.

Реалізація плану експериментів і подальша статистична обробка даних на ПЕОМ дали змогу отримати математичні моделі, що комплексно описують перебіг процесу відокремлення качанів. Після спрощення рівнянь регресії вони набули такого вигляду:

$$\begin{aligned} ТП = & 3,079 + 0,709 \cdot X_1^2 - 0,190 \cdot X_2^2 - 0,340 \cdot X_3^2 - 0,490 \cdot X_4^2 - 0,240 \cdot X_5^2 \\ & + 0,611 \cdot X_1 - 0,376 \cdot X_2 - 0,291 \cdot X_3 + 0,700 \cdot X_4 + 0,909 \cdot X_5 + 0,396 \cdot X_1 \cdot X_2 \\ & + 0,771 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,340 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,653 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,190 X_3 \cdot X_5. \end{aligned} \quad 4.1)$$

$$\begin{aligned} ПП = & 4,839 + 1,702 \cdot X_1^2 - 0,047 \cdot X_2^2 - 0,698 \cdot X_3^2 - 0,848 \cdot X_4^2 - 0,802 \cdot X_5^2 + \\ & + 1,838 \cdot X_1 - 0,105 \cdot X_2 - 1,062 \cdot X_3 + 0,829 X_4 + 0,397 X_5 + 0,181 X_1 \cdot X_2 - \\ & - 0,056 X_1 \cdot X_3 + 0,313 X_1 \cdot X_4 + 0,388 X_2 \cdot X_4 + 0,55 X_3 \cdot X_4 + 0,694 X_4 \cdot X_5. \end{aligned} \quad 4.2)$$

$$\begin{aligned}
3B = & 5,800 + 2,392X_1^2 - 0,858X_2^2 - 0,992X_3^2 - \\
& 1,542X_4^2 + 0,292X_5^2 + 3,347X_1 - 1,211X_3 + 1,588X_5 + \\
& + 0,259X_1 \cdot X_2 + 0,172X_1 \cdot X_4 - 0,441X_2 \cdot X_4 - 0,472X_3 \cdot X_4.
\end{aligned}
\tag{4.3}$$

Після проведення статистичної обробки результатів відповідно до рекомендацій [49], аналіз одержаних рівнянь регресії здійснювали в закодованому просторі факторів із використанням методу двовимірних перетинів поверхонь відгуку, що відображають зміну показників якості технологічного процесу.

Аналіз рівнянь (4.1...4.3) показує, що найбільший вплив на якість виконання технологічного процесу чинять такі фактори: частота обертання протягувальних вальців (X_1), кут нахилу стріперної пластини (X_3) та кут загострення другої стріперної пластини (X_4). Це підтверджується найбільшими числовими значеннями відповідних коефіцієнтів у рівняннях регресії. Серед них провідну роль відіграє саме частота обертання протягувальних вальців, що зумовило необхідність поглибленого аналізу її поєднаного впливу з іншими факторами.

Прирівнюючи до нуля значення зазору між рифами X_5 та кута нахилу стріперної пластини X_3 , одержуємо:

$$\begin{aligned}
ТП = & 3,079 + 0,709 \cdot X_1^2 - 0,190 \cdot X_2^2 - 0,340 \cdot X_3^2 - \\
& 0,490 \cdot X_4^2 + 0,611 \cdot X_1 - 0,376 \cdot X_2 + 0,700 \cdot X_4 + \\
& + 0,396 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,340 \cdot X_1 \cdot X_4.
\end{aligned}
\tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
ПП = & 4,839 + 1,702 \cdot X_1^2 - 0,047 \cdot X_2^2 + 1,838 \cdot X_1 + \\
& + 0,829X_4 + 0,313X_1 \cdot X_4 + 0,388X_2 \cdot X_4.
\end{aligned}
\tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}
3B = & 5,800 + 2,392X_1^2 - 0,858X_2^2 - 1,542X_4^2 + 3,347X_1 + \\
& + 0,259X_1 \cdot X_2 + 0,172X_1 \cdot X_4 - 0,441X_2 \cdot X_4.
\end{aligned}
\tag{4.6}$$

Однак отримані рівняння неможливо звести до канонічної форми, оскільки кожне з них містить по одному «надлишковому» фактору. З цієї причини для подальших перетворень значення кута загострення стріперної

пластини X_4 приймемо рівним -1 . За цієї умови рівняння регресії набувають такого вигляду:

$$ТП = 1,889 + 0,709 \cdot X_1^2 - 0,190 \cdot X_2^2 + 0,271 \cdot X_1 - 0,376 \cdot X_2 + 0,396 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (4.7)$$

$$ІІІ = 3,161 + 1,702 \cdot X_1^2 + 1,525 \cdot X_1 + 0,388 \cdot X.$$

$$ЗВ = 7,342 + 2,392 \cdot X_1^2 - 0,859 \cdot X_2^2 + 2,681 \cdot X_1 + 0,441 \cdot X_2 + 0,259 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (4.9)$$

Розв'язавши системи рівнянь для кожної з отриманих математичних моделей, визначають координати центрів поверхонь відгуку відповідно до кожного критерію оптимізації, а також обчислюють значення цільової функції у знайдений точці Y_s :

$$\begin{cases} \frac{dТП}{dX_1} = 1,418 \times_1 + 0,396 \times X_2 + 0,271 = 0. \\ \frac{dТП}{dX_2} = 0,396 \times X_1 - 0,38 \times X_2 - 0,376 = 0. \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\begin{cases} \frac{dІІІ}{dX_1} = 3,404 \cdot X_1 + 1,525 = 0. \\ \frac{dІІІ}{dX_2} = -0,388 = 0. \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\begin{cases} \frac{dЗВ}{dX_1} = 4,784 \cdot X_1 + 0,259 \cdot X_2 + 2,681 = 0. \\ \frac{dЗВ}{dX_2} = 0,259 \cdot X_1 + 1,718 \cdot X_2 + 0,441 = 0. \end{cases} \quad (4.12)$$

Кут повороту осей в центрі координат математичної моделі в канонічній формі визначається за формулою:

$$\arctg 2\alpha = \frac{B_{12}}{B_{11} - B_{22}}. \quad (4.13)$$

Для показника травмованості качанів отримано такі значення: $X_{1s} = 0,045$; $X_{2s} = 0,948$; $\alpha = 10,7^\circ$.

Для величини втрат качанів визначено: $X'_{1s} = -0,75$; $X'_{2s} = -0,05$; $\alpha = 0,0^\circ$.

Для забрудненості вороху: $X''_{1s} = 0,579$; $X''_{2s} = 0,344$; $\alpha = 4,3^\circ$.

Поступово змінюючи комбінації незалежних факторів та виконавши аналогічні до наведених вище розрахунків процедури, було побудовано графічні інтерпретації двовимірних перетинів поверхонь відгуку відповідно до поєднаних чинників. Двовірні проєкції поверхонь відгуку для пар факторів X_1 і X_2 та X_1 і X_3 приведені на рисунку 4.9.

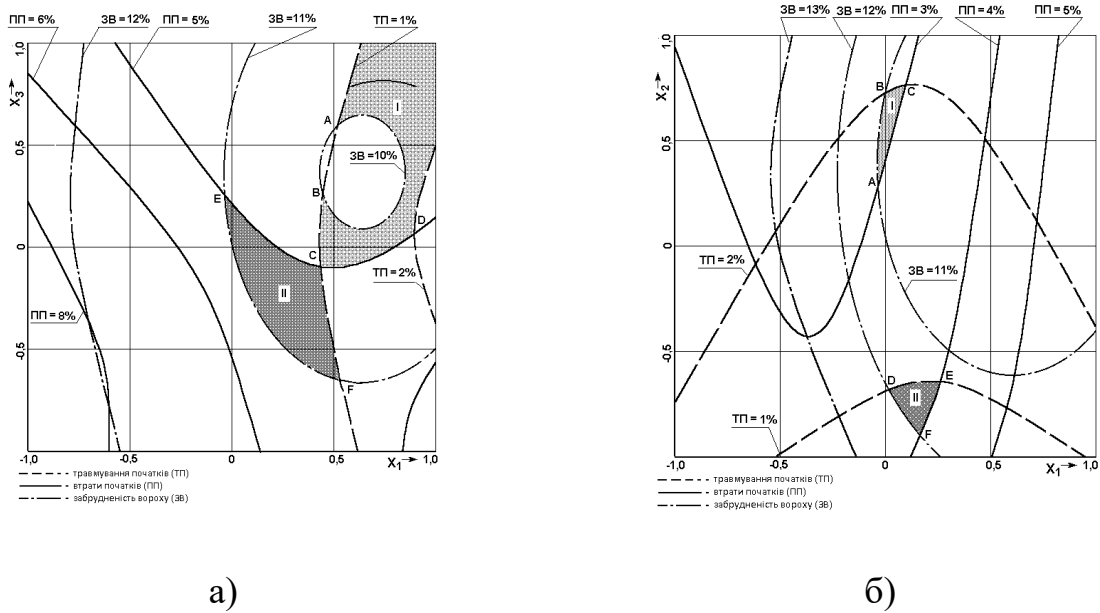


Рисунок 4.9 – Двовимірні перетини поверхонь відгуку для різних поєднань факторів.

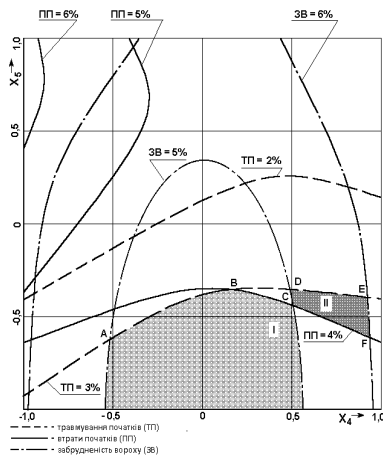
а) - X_1 і X_2 (при $X_3 = 0$; $X_4 = -1$; $X_5 = 0$);

б) - X_1 і X_3 (при $X_2 = 1$; $X_4 = -1$; $X_5 = -1$).

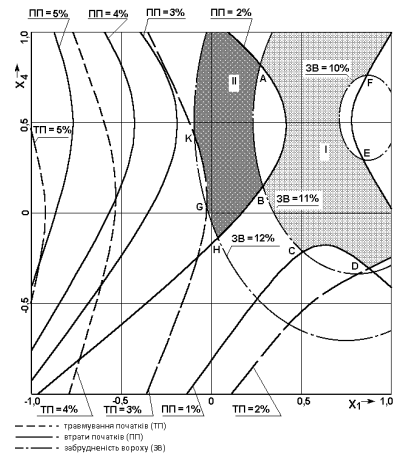
Аналізуючи отримані ізолінії «рівного виходу» для поєднання факторів X_1 і X_2 (рис. 4.9, а), можна дійти висновку, що області оптимальних режимів обмежуються дугами кривих $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ в точках А; В; С і D; Е; F. У цих межах травмованість качанів становить $1\% < ТП < 2\%$; втрати качанів $2\% < ПП < 3\%$ і засміченість вороху качанів $11\% < ЗВ < 12\%$. Для забезпечення такого технологічного режиму частота обертання протягувальних вальців не повинна перевищувати 830 об/хв, а подача рослинної маси має бути близько 15 кг/с.

Області оптимальних поєднань факторів X_1 і X_3 (рис. 4.9, б) визначаються кривими $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ що формують межі в точках A ; B і C , D ; і C , E , F . цьому діапазоні травмованість качанів становить $1\% < ТП < 2\%$; цьому діапазоні травмованість качанів становить $9\% < ЗВ < 10\%$.

На рис. 4.10 наведені двовірні перетини поверхонь відгуку відповідних критеріїв оптимізації для комбінацій факторів X_1 і X_4 та X_4 і X_5 .



а)



б)

Рисунок 4.10 – Двовимірні перетини поверхонь відгуку для відповідних комбінацій чинників:

а) - X_1 і X_4 (при $X_2 = 1$; $X_3 = 1$; $X_5 = -1$),

б) - X_4 і X_5 (при $X_2 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$).

Двовірні перетини поверхонь відгуку для поєднання факторів X_1 і X_2 подано на рис. 4.10, а. Оптимальні зони їх сполучення обмежуються кривими $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ в точках A , B , H , G , K ; і A , B , C , D , E , F . У зазначених межах рівень травмування качанів становить $3\% < ТП < 4\%$; втрати – $3\% < ПП < 4\%$; і засміченість вороху – $ЗВ < 12\%$.

Аналіз поєднання факторів X_4 (кут загострення стриперної пластини) та X_5 (зазор між рифами), проведений за умов $X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$ (рис. 4.10, б), свідчить про наявність двох оптимальних зон. Перша зона, обмежена точками A , B , $З$, G , N , характеризується травмованістю менше 3%, втратами качанів

менше 4%, а засміченістю вороху в межах $4\% < 3B < 5\%$. Друга зона, визначена точками *C, D, E, F*, зберігає аналогічний рівень травмованості, проте втрати качанів збільшуються до 5%, а засміченість вороху – до 6%.

4.3. Висновки до розділу

Розміри рослин кукурудзи та їх елементів значною мірою залежать від умов вирощування. Довжина качанів змінюється в межах 12,6–30,8 см, а довжина плодоніжок – від 5 до 42 см. Метереологічні умови впливають на строки досягання, що, своєю чергою, зумовлює зміну маси качанів від 80 до 410 г. У широких діапазонах варіюють і фрикційні характеристики різних елементів кукурудзяної рослини.

Необхідне зусилля для відокремлення качана суттєво зменшується за умови згинання плодоніжки. У цьому випадку воно знижується майже у 2,4 раза. Найменші значення зусиль, а також зменшення рівня травмованості качанів на 5–10%, спостерігаються за постійного кута їх орієнтації у межах 60° – 70° .

Качани кукурудзи характеризуються високою стійкістю до статичних та динамічних навантажень. У фазі повної стиглості їх опір до статичного стиску зростає, однак прикладене навантаження не повинно перевищувати критичного значення $P_{кр} < 50 \dots 65 \text{ Н}$. На відміну від статичного навантаження, ударна міцність знижується зі зменшенням вологості качанів. Допустима критична швидкість ударного зіткнення качана становить не більше 4,2 м/с.

Найбільш суттєвий вплив на ключові якісні показники роботи качановідокремлювального апарата (втрати качанів, їх травмованість та засміченість вороху) мають такі незалежні фактори:

- X_1 – частота обертання протягувальних вальців;
- X_2 – подача рослинної маси;
- X_3 – кут нахилу стріперної пластини;
- X_4 – кут загострення стріперної пластини;
- X_5 – зазор між рифами вальців.

Встановлено оптимальні діапазони поєднання незалежних параметрів. Для забезпечення втрат качанів на рівні 3...4%, травмованості – 2...5%, а засміченості вороху – не більше 10%, необхідно дотримуватися таких параметрів:

- частота обертання протягувальних вальців – близько 830 об/хв;
- кут нахилу стриперної пластини – приблизно 65°;
- кут загострення стриперної пластини – до 25°.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз виникнення травматизму під час збирання кукурудзи

Травмонебезпечні ситуації під час збирання кукурудзи можуть виникати в таких випадках:

- під час технічного обслуговування трактора або комбайна;
- у процесі комплектування машин у машинно-тракторний агрегат;
- при постановці техніки на зберігання;
- під час роботи агрегату в польових умовах.
- травмонебезпечні ситуації під час обслуговування машин
- травми можуть виникати, якщо:
 - на обертових деталях відсутні або зняті захисні кожухи;
 - працівник торкається гострих кромek або необроблених елементів конструкції;
- застосовується несправний або непридатний інструмент;
- обслуговування виконується при працюючому двигуні або піднятій робочій машині.
 - під час комплектування машин у тракторний агрегат
 - небезпечні ситуації виникають, коли:
 - несправні або відсутні засоби світлової та звукової сигналізації;
 - у тракториста чи допоміжного робітника обмежена оглядовість;
 - відсутні стійкі підставки під машини під час виконання робіт.
 - під час постановки машин на зберігання

Травми можливі у випадках, коли:

- немає спеціально обладнаного місця або пристроїв для очищення машини;
- відсутні необхідні підставки для фіксації агрегату.
- під час роботи агрегату в полі

- травмонебезпечні ситуації можуть траплятися внаслідок:
- раптових технічних відмов або поломок;
- неуважного чи некваліфікованого керування агрегатом.

5.2. Розробка заходів щодо зменшення травматизму під час збирання кукурудзи

Для запобігання виникненню травмонебезпечних ситуацій під час збирання кукурудзи необхідно дотримуватися таких вимог:

- до роботи допускаються лише технічно справні машини та знаряддя, які повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані або довго невикористовувані машини можуть працювати лише після обкатки та ретельної перевірки всіх вузлів і механізмів;
- керувати й обслуговувати техніку повинні тільки кваліфіковані, фізично здорові працівники, які пройшли навчання за відповідною програмою, мають посвідчення та пройшли всі необхідні інструктажі. Забороняється допускати до роботи неповнолітніх або некваліфікованих осіб.

Комплектування машинно-тракторного агрегату має виконувати тракторист-машиніст та допоміжний робітник під контролем бригадира, механіка або агронома. Самовільна заміна машин або їх компонування без дозволу відповідальних осіб не допускається.

Забороняється експлуатувати техніку без захисних кожухів на обертових деталях чи елементах, які можуть захопити одяг працівника. Не дозволяється застосовувати несправний інструмент, нестійкі або саморобні підставки та інше обладнання, що може становити загрозу для оператора.

Перед проведенням польових робіт агроном повинен обов'язково оглянути поле. За необхідності виконують підготовчі роботи: прибирають великі камені, засипають рови та ями, інші небезпечні місця позначають віхами або попереджувальними табличками. Після цього поле розмічають згідно з операційною картою. Якщо передбачається робота групи агрегатів, визначають, обладнують і маркують спеціальне місце для відпочинку.

У разі потреби виконання технічного обслуговування або ремонту під кукурудзозбиральним комбайном, роботи слід проводити тільки при заглушеному двигуні і після надійної фіксації машини в піднятому положенні. Для підпирання застосовують лише спеціальні підставки чи сертифіковані пристрої.

Під час руху агрегату категорично забороняється виконувати будь-які регулювання, ліквідовувати несправності або очищати робочі органи.

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

6.1. Техніко-економічна ефективність кукурудзозбирального комбайна

Для запобігання виникненню травмонебезпечних ситуацій під час збирання кукурудзи необхідно дотримуватися таких вимог:

- до роботи допускаються лише технічно справні машини та знаряддя, які повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані або довго невикористовувані машини можуть працювати лише після обкатки та ретельної перевірки всіх вузлів і механізмів;

- керувати й обслуговувати техніку повинні тільки кваліфіковані, фізично здорові працівники, які пройшли навчання за відповідною програмою, мають посвідчення та пройшли всі необхідні інструктажі. Забороняється допускати до роботи неповнолітніх або некваліфікованих осіб.

Комплектування машинно-тракторного агрегату має виконувати тракторист-машиніст та допоміжний робітник під контролем бригадира, механіка або агронома. Самовільна заміна машин або їх компонування без дозволу відповідальних осіб не допускається.

Забороняється експлуатувати техніку без захисних кожухів на обертових деталях чи елементах, які можуть захопити одяг працівника. Не дозволяється застосовувати несправний інструмент, нестійкі або саморобні підставки та інше обладнання, що може становити загрозу для оператора.

Перед проведенням польових робіт агроном повинен обов'язково оглянути поле. За необхідності виконують підготовчі роботи: прибирають великі камені, засипають рови та ями, інші небезпечні місця позначають віхами або попереджувальними табличками. Після цього поле розмічають згідно з операційною картою. Якщо передбачається робота групи агрегатів, визначають, обладнують і маркують спеціальне місце для відпочинку.

У разі потреби виконання технічного обслуговування або ремонту під кукурудзозбиральним комбайном, роботи слід проводити тільки при

заглушеному двигуні і після надійної фіксації машини в піднятому положенні. Для підпирання застосовують лише спеціальні підставки чи сертифіковані пристрої.

Під час руху агрегату категорично забороняється виконувати будь-які регулювання, ліквідовувати несправності або очищати робочі органи:

$$Q = Q_{ca} \cdot U \quad (6.1)$$

де Q_{ca} – продуктивність комбайна в гектарному вимірі, га/год;

U – урожайність листостеблової маси кукурудзи, ц/га.

Продуктивність за годину змінного та експлуатаційного часу $Q_{зм}$ визначали розрахунковим методом за такими формулами:

$$Q_{зм} = Q_0 \cdot K_{зм}; \quad (6.2)$$

$$Q_E = Q_0 \cdot K_{зм} \cdot K_T; \quad (6.3)$$

де Q_0 – продуктивність комбайна за 1 годину основного часу, га;

$K_{зм}$ – коефіцієнт використання робочого часу зміни;

K_T – коефіцієнт технічної готовності машини.

Значення коефіцієнтів $K_{зм}$ і K_T приймали відповідно до агротехнічних вимог щодо модернізації кукурудзозбирального комбайна [2].

Для визначення проєктної оптової ціни експериментального кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е застосовували таку залежність:

$$\Pi_{OH} = K_c \cdot \Pi_{OB} \cdot \frac{m_H}{m_6}, \quad (6.4)$$

де Π_{OH} ; Π_{OB} – оптова ціна відповідно нового і базового варіантів кукурудзозбирального комбайна, грн;

m_H , m_6 – відповідно, маса нового і базового комбайнів, кг;

K_c – коефіцієнт, що враховує складність конструкції.

Балансову вартість кукурудзозбирального комбайна для нового та базового варіантів можна визначити за наступним співвідношенням:

$$\Pi_{H6} = K_6 \cdot \Pi_{OH}, \quad (6.5)$$

де K_6 – коефіцієнт, що перераховує оптову ціну у балансову, враховуючи

додаткові витрати на транспортування, остаточне збирання та налагодження комбайна.

Річний (або сезонний) обсяг роботи комбайна визначають за формулою:

$$W_{сез} = Q_{зм} \cdot W_p, \quad (6.6)$$

де W_p – річний фонд завантаження комбайна, год.

Вихідні параметри, необхідні для проведення розрахунків економічної ефективності як базового, так і модернізованого комбайнів, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Початкові показники для обчислення економічної ефективності

Найменування показників	Позначення	Базовий	Новий
Продуктивність за 1 годину основного часу, га/год	Q_0	3.02	3.26
Продуктивність за 1 годину змінного часу, га/год	$Q_{зм}$	2.18	2.76
Продуктивність за 1 годину експлуатаційного часу, га/год	Q	1.83	2.58
Річне завантаження, год.	W_p	170	170
Оптова ціна, грн..	C_0	124000	127100
Балансова ціна, грн.	C	126400	129810

Одним із ключових показників ефективності виробничого процесу є експлуатаційні витрати, розраховані на 1 га зібраної площі. Для порівняння експлуатаційних витрат у базовому та модернізованому варіантах технологічного обладнання для збирання кукурудзи на зерно скористаємося залежністю, наведеною в [47]:

$$E_{н.б.} = 3\Pi_{н.б.} + A_{н.б.} + P_{н.б.} + 3_{нмм}, \quad (6.7)$$

де $3\Pi_{н.б.}$ – заробітна плата обслуговуючого персоналу для нового та базового варіантів комбайна, грн/га;

$A_{н.б.}$ – амортизаційні відрахування, %;

$P_{н.б.}$ – витрати на ремонт і технічне обслуговування, %;

$3_{нмм}$ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн/га.

Техніко-економічні показники наведено в Додатку А. Усі розрахунки виконувалися з використанням табличного процесора Microsoft Excel.

Підсумкові значення експлуатаційних витрат подано в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники експлуатаційних витрат під час збирання кукурудзи на зерно, грн/га

Найменування показника	Базовий	Новий
Амортизаційні відрахування	117,4	103,7
Ремонтні відрахування	114,4	101,6
Заробітна платня	471	455
Витрати на паливно-мастильні матеріали	557,68	536,72
Питомі кап. вкладення	527,1	515,6

Таблиця 6.3 – Основні показники економічної ефективності впровадження кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е, оснащеного модернізованим качановідокремлювальним апаратом

Найменування	Познач.	Величина
Річна економія праці, люд.·год	E_P	36,8
Ступінь зниження витрат праці, %	C_T	24,2
Річний економічний ефект від впровадження комбайна, грн.	E_P	118960,8
Річний економічний ефект від впровадження нового качановідокремлювального апарату, грн.	E_{PA}	14946,4
Термін окупності комбайна, років	Z	1,2
Термін окупності нового качановідокремлювального апарату, років	Z_C	1,05

Після встановлення величини економічного ефекту було виконано розрахунок строку його окупності.

6.2. Висновки до розділу

1. Застосування кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е, оснащеного модернізованим качановідокремлювальним пристроєм, забезпечує підвищення ефективності збирання кукурудзи на зерно порівняно з базовою (серійною) машиною. Основний економічний ефект досягається завдяки зменшенню експлуатаційних витрат, що обумовлено зростанням продуктивності комбайна на 6...8% та покращенням якісних показників виконання технологічного процесу.

2. Річний економічний ефект від використання експериментального комбайна становить 118 960,8 грн за сезон, а впровадження запропонованого качановідокремлювального апарата забезпечує додаткову економію в розмірі 14 946,4 грн. Термін окупності комбайна – 1,2 року, а річне скорочення витрат праці досягає 36,8 люд·год.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих конструкцій качановідокремлювальних апаратів показав їх невідповідність сучасним агротехнічним вимогам. Більшість із них морально застаріли та характеризуються низкою суттєвих недоліків: значним рівнем обчісування стебел; недостатньою стабільністю процесу відокремлення качанів, що спричиняє його нерівномірність; травмуванням качанів унаслідок взаємодії з крайками стріперних пластин та лапками подавальних ланцюгів; обмеженою пропускною здатністю та зниженим рівнем надійності через низьку транспортуючу можливість подавальних ланцюгів і появу факторів, що гальмують рух рослинної маси (зависання стебел на корпусних елементах жатки, забивання листостебловою масою та заклинювання качанів).

2. У ході теоретичного обґрунтування роботи нового пікерно-стріперного качановідокремлювального апарата отримано аналітичні залежності, які дають змогу визначити оптимальні конструктивні та кінематичні параметри його робочих органів, а саме: діаметр протягувальних вальців D_6 ; зазор між рифами вальців S ; кут нахилу стріперної пластини α ; швидкість протягування стебел v_{np} .

3. Дослідження фізико-механічних властивостей рослин кукурудзи засвідчили значний діапазон їх варіацій, що зумовлено умовами вирощування. Установлено, що довжина качанів змінюється в межах 12,6–30,8 см, довжина плодоніжок – від 5 до 42 см, маса качанів – 80–410 г. Зусилля відокремлення качанів зменшується майже у 2,4 раза при згинанні плодоніжки. Мінімальні значення цього зусилля спостерігаються за орієнтації качана під кутом 60° – 70° . Критичне зусилля становить $P_{кр} < 50 \dots 65 \text{ Н}$, а допустима швидкість ударного зіткнення – не більше 4,2 м/с.

4. На якісні показники процесу відокремлення качанів найбільше впливають такі незалежні фактори:

- X_1 – частота обертання протягувальних вальців;
- X_2 – подача рослинної маси;

- X_3 – кут нахилу стриперної пластини;
- X_4 – кут загострення стриперної пластини;
- X_5 – зазор між рифами вальців.

Для забезпечення мінімальних втрат качанів (3–4%), рівня травмованості (2–5%) та засміченості вороху (до 10%) оптимальними є такі значення параметрів: частота обертання вальців – близько 830 об/хв; кут нахилу стриперної пластини – приблизно 65° ; кут її загострення – до 25° .

5. Розрахунки економічної ефективності підтвердили доцільність впровадження модернізованого комбайна та розробленого качановідокремлювального апарата. Річний економічний ефект від використання експериментального комбайна становить 118 960,8 грн за сезон, а від упровадження нового апарата – 14 946,4 грн. Орієнтовний термін окупності комбайна складає 1,2 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Булгаков В.М. Використання прямого методу граничних елементів при досліджуванні коливальних пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетнік, А.Г. Куценко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». - №1(84). - 2017. С.8-14.
2. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. / Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2022 р. Вип. 1 (73).
3. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. - Вінниця: Нова книга, 2020. 667 с.
4. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2022. С.5-9.
5. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спірін. - Вінниця: ВДАУ - „Тірас”. 2023. - 68 с.
6. 10. Гольдшмідт О.В., Бондаренко О.В. Аналіз технологічного процесу відокремлення качанів кукурудзи. “Вісник ХДТУ сільського господарства”. Вип. 7, 2021. с. 239 - 245.
7. 11. Гребенюк Г.І. Енергетична оцінка та шляхи зниження енергомісткості робочих органів кукурудзозбиральних машин. “Вісник аграрної науки Причорномор’я”. Вип. 3, 2018. с. 126 - 130.
8. Гребенюк Г.І. Шляхи розширення технологічних можливостей та ефективності кукурудзозбиральних комбайнів. “Вісник аграрної науки Причорномор’я”. Вип. 5, 2018. с. 116 - 121.
9. Гребенюк Г.І., Кузенко Д.В., Бондаренко О.В. Аспекти дослідження кукурудзозбиральних машин на зерно. “Вісник аграрної науки”. Вип. 6, 2019. с.

134 - 139.

10. Гребенюк Г.І., Кузенко Д.В., Бондаренко О.В. Конструктивно-технологічні передумови вдосконалення качановідокремлювальних пристроїв кукурудзозбиральних машин. “Вісник аграрної науки” Вип. 7, 2019. - с. 104 - 108.

11. Гряник С. Д. Охорона праці: К., Урожай. 2014. 328 с.

12. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. - №3 (95). - Вінниця. - 2016. С. 89-93.

13. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навч. посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. - Вінниця: ВНАУ, 2018. - 254 с.

14. Іванов М.І., Гунько І.В., Ковальова І.М., Худолій О.І. Аналіз технологічних систем. Навчальний посібник. Частина 1. Вінниця.2020. 113с.

15. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко *[та ін.] ... М-во аграр. політики України , Вінниц. держ. аграр. ун-т; . - Київ : Хай-Тек Прес, 2021. 616 с.

16. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. - Київ : Хай-Тек Прес, 2023.528 с.

17. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. - К.: «Хай-Тек-Прес», 2021. 340 с.

18. Кузенко Д.В., Бондаренко О.В., Тимошук В.Ю. Теоретичний аналіз підвищення якісних показників качановідокремлювальних апаратів. “Вісник аграрної науки Причорномор’я”. Вип. 9. 2020. с. 88 - 92.

19. Кузенко Д.В. Результати теоретичного дослідження динаміки руйнування обгортки качанів у процесі їх відокремлення від стебел. Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. -Львів: Львів. держ. агроуніверситет, 2017.-№11.с.84-89.

20. Кузенко Д.В., Василенко І.І. Моделювання процесу переміщення качана за одностороннього відокремлення. Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2018.-№12.- Т.1. с.124-129

21. Кузенко Д.В. Експериментальні дослідження вібраційного качановідокремлювального механізму. Міжвідомчий тематичний науковий збірник: Механізація та електрифікація сільського господарства. Випуск 92. - Глеваха, 2018. с. 164-171

22. Лехман В.І. Рубльов Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві - К.: Урожай, 2013. 272 с.

23. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полєвода / За ред.. В.С. Павленка. - Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2019. 110 с.

24. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С. Павленка. - К.: «Хай-Тек Прес», 2019. 140 с.

25. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За ред.. В.С. Павленка. - К.: «Хай-Тек Прес», 2018. - 128 с.

26. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. - Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. - 200 с.

27. Солоня О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солоня, І.М. Купчук - Вінниця: ВНАУ, 2017. 116 с.

28. Солоня О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солоня, І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. - Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.

29. Солоня О.В. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солоня, І.М. Купчук - Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.