

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня “Магістр”
на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ КОМБАЙНУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МґАІ-2-22
за спеціальністю 208 “Агроінженерія”

_____ Дмитро ВАХРОМИЧ

Керівник _____ Наталія ПОНОМАРЕНКО

Рецензент _____

(підпис, прізвище та ініціали)

Дніпро 2023

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2023 р.

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

Вахромич Дмитро Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 9 » листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2023 р.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О		
2	Пономаренко Н.О		
3	Пономаренко Н.О		
4	Пономаренко Н.О		
5			
6			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 20.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	<i>При мітка</i>
	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2023 р.	
	Теоретичний	до 10.10.2023 р.	
	Експериментальний	до 29.10.2023 р.	
	Охорона праці	до 15.11.2023 р.	
	Економічний	до 22.11.2023 р.	
	Демонстраційна частина	до 29.11.2023 р.	

Студент

(підпис)

ВАХРОМИЧ Дмитро

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

ПОНОМАРЕНКО Наталія

(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 поздовжніми 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

Анотація

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комбайну для збирання кукурудзи.

Магістерська робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 68 найменувань. Основна частина роботи викладена на 97 сторінках машинописного тексту, містить 42 рисунки і 12 таблиць. Метою магістерської роботи є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів качановідокремлювального апарату кукурудзо-збирального комбайна шляхом удосконалення робочого процесу відділення качанів від стебла, зниження втрат качанів та зменшення забрудненості вороху.

Для досягнення поставленої мети вирішено наступні задачі досліджень:

- проведено аналіз та патентно-інформаційний пошук сучасних конструкцій качановідокремлювальних апаратів;
- визначено основні фактори, які впливають на підвищення їх технологічної і експлуатаційної ефективності;
- проведено теоретичні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів, які дозволили визначити основні конструктивні і кінематичні параметри качановідокремлювального апарату;
- проведено експериментальні дослідження механіко-технологічних характеристик системи «стебло-качан» і окремих елементів рослин;
- визначено фактори, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу;
- визначено економічну ефективність від впровадження запропонованої конструкції у виробництво.

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

Вступ

Кукурудза є однією з найбільш цінних продовольчих та кормових культур, яка містить близько 10 - 12 % білка, 65 - 68 % крохмалю, 4 - 6 % жиру. Поживність 100 грамів янтарного зерна складає 334 Ккал, що на 20 - 25 Ккал більше, ніж у пшениці. Зерно кукурудзи широко застосовують, як сировину для харчової, переробної, медичної, мікробіологічної, хімічної промисловості та інших галузей народного господарства.

На сучасному етапі в господарствах країни кукурудзозбиральні машини більше ніж на 90 % морально та фізично застаріли, а втрати при збиранні досягають більше 15 %. Діючі на виробництві машини мають низький технічний рівень, не відповідають сучасним вимогам за показниками якості, надійності, ергономічності, а також за екологічною оцінкою.

Створення сучасних високопродуктивних кукурудзозбиральних машин неможливе без проведення теоретичних досліджень основних робочих органів, їх експериментальної перевірки, господарських випробувань та техніко-економічного аналізу ефективності проведених робіт.

Тому дослідження, спрямовані на покращення показників якості виконання технологічної операції відокремлення качанів як найбільш важливої в процесі збирання кукурудзи, з точки зору складності виконання та впливу на кінцеві результати ефективності виробництва, є актуальними.

1. Аналітичний огляд конструктивних рішень качановідокремлювальних пристроїв

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

Складність механізації процесу збирання традиційних сортів кукурудзи на зерно обумовлена їх фізико-механічними і біологічними властивостями: недостатньою стійкістю до вилягання, міцністю зв'язку качанів із стеблом, розташуванням і орієнтацією качанів по висоті.

Кукурудзу на зерно збирають в пізніші терміни, ніж інші зернові культури. До збирання приступають з настанням повної стиглості кукурудзи, коли листя і обгортки качанів усихають, а зерно стає твердим і вологість качанів складає 20-30% [2].

Збільшення термінів збирання приводить до біологічних втрат урожаю. За даними науково-дослідного інституту тваринництва України, кілограм зібраних в ранні терміни стебел стиглої кукурудзи по поживності дорівнює 0,21 кормової одиниці, містить до 10 грам переварюваного протеїну, від 5 до 7 міліграм каротину.

У перестояних на корені стеблах втрачається основна маса поживних речовин і корм з таких стебел погано засвоюється тваринами. Окрім цього, для надійного зберігання зібраної кукурудзи, потрібно щоб вологість качанів не перевищувала 23%. Для доведення качанів до необхідної вологості застосовують або природне, або штучне їх сушіння, а це у свою чергу пов'язано з великими енергетичними витратами, які досягають до 30% від загальних витрат на збирання врожаю.

На сьогоднішній день, залежно від зон вирощування і цілей використання, існує 4 технологічних схеми збирання стиглої кукурудзи: 1 - в качанах, з подальшою обробкою на стаціонарі; 2 - в качанах, з одночасним очищенням їх в полі; 3 - з обмолотом качанів; 4 - в качанах для отримання зерно стержневої суміші. У світовій практиці кукурудзу на зерно збирають

двома способами. Перший полягає в збиранні тільки зернової частини урожаю, в качанах або зобмолотом зерна, іззалишенням стебел на полі. Другий, в збиранні всього біологічного врожаю одночасно, з подрібненням стебел, очищенням качанів від обгорток або зіх обмолотом [28, 26, 65].

Технологія збирання кукурудзи першим способом, прийнята в США і інших зарубіжних країнах, де листостеблова маса не використовується як корм, містить три основні технологічні операції. Останні включають відокремлення качанів від стебел, очищення качанів від обгортки, збір качанів в транспортні засоби або обмолот. Стебла залишають в полі для подальшого подрібнення і заорювання.

У нашій країні стебла стиглої кукурудзи збирають на корм. Тому вітчизняна технологія збирання відбувається по другій технологічній схемі і включає шість основних технологічних операцій, таких як зрізування стебел, відокремлення качанів, очищення качанів від обгортки, збір качанів в транспортні засоби або їх обмолот, подрібнення листостеблової маси, збір листостеблової маси в транспортні засоби.

Основною тенденцією розвитку технологій і способів збирання кукурудзи на зерно є створення технічних засобів, що дозволяють зменшити втрати і травмованість качанів.

Технічний рівень кукурудзозбиральних машин, як і всіх сільськогосподарських машин, визначається ступенем досконалості основних робочих органів і показниками якості виконання технологічного процесу, надійності, енергоємності і матеріаломісткості. Критерії якості виконання технологічного процесу регламентуються агротехнічними вимогами на машину для збирання кукурудзи на зерно [2].

Вони повинні відображати найвищий, відповідний сучасному етапу розвитку кукурудзозбиральної техніки, рівень якісних показників, що практично досягається. Проте, в більшості випадків, як зарубіжні, так і вітчизняні кукурудзозбиральні машини навіть при максимальному наближенні не відповідають агротехнічним вимогам [34, 39, 68].

В Україні в основному застосовуються комбайни качановідокремлювальними пристроями пікерно-стриперного типу. Ця тенденція має стійкий характер.

Оскільки вказаний качановідокремлювальний апарат є основним робочим органом кукурудзозбирального комбайна, проведемо аналіз існуючих його конструкцій.

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

1.2.1. Класифікація качановідокремлювальних пристроїв. На підставі аналізу існуючих технологій збирання кукурудзи на зерно можна стверджувати, що найбільш складною і важкою з погляду технологічного забезпечення, енергоємності, технологічній і експлуатаційній надійності є операція відокремлення качанів від стебел.

Залежно від призначення і виконання технологічних операцій протягування стебел і відокремлення качанів існують різні типи конструкцій качановідокремлюючих апаратів.

Всі відомі качановідокремлювальні апарати залежно від конструктивної схеми і виконання технологічних операцій розділяються на групи і підгрупи. Нами розроблена класифікація конструкцій качановідокремлювальних апаратів (рис. 1.1.), яка дає можливість розкрити особливості технологічного процесу для кожної групи і встановити закономірності руху стебла і відокремлення качанів, визначити основні недоліки і переваги кожної конструкції.

Оскільки в основу технологічного процесу відокремлення качанів закладено протягування стебел між вальцями, що обертаються, то залежно від розташування вальців всі існуючі конструкції качановідокремлювальних апаратів можна розділити на три основні групи: 1 - з горизонтальними вальцями; 2 - з вертикальними вальцями; 3 - з поздовжніми вальцями, що мають певний кут нахилу до горизонту.

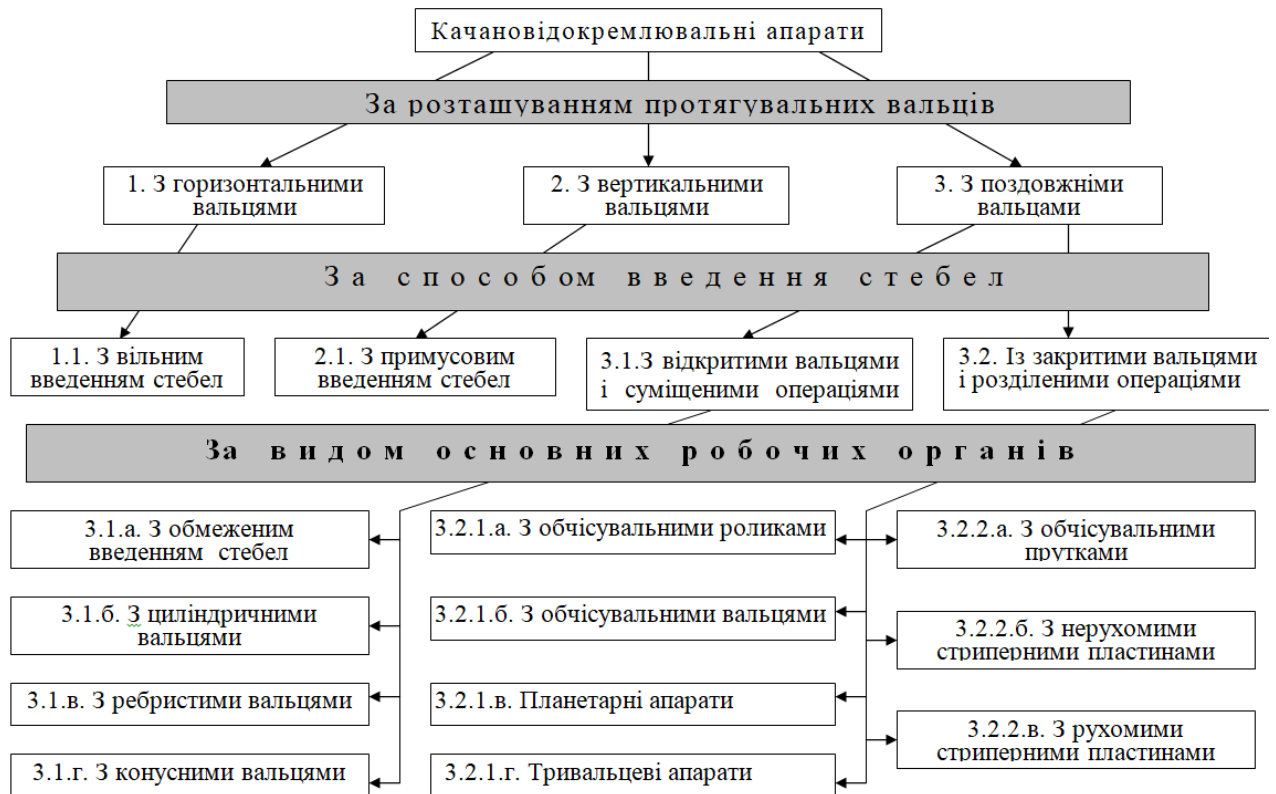


Рис. 1.1. Класифікація качановідокремлювальних апаратів.

1.2.2. Апарати з горизонтальними вальцями. До апаратів цієї групи слід віднести качановідокремлювальний апарат з вільним введенням стебел в зазор протягувальних вальців (рис. 1.2.), що встановлювався на кукурудзозбиральному комбайні УКСК-2,6. Апарат цієї групи (розроблений і детально досліджений І.І. Різниченком [46]) використовувався в жниварках суцільного зрізу. Як органи, що подають стебла в протягувальні вальці завдовжки 2650 мм і діаметром по виступах 88 мм, застосовані звичайні планчасті транспортери з притискними валиками або бітерами, а протягувальні вальці розташовані горизонтально. Для забезпечення надійності технологічного процесу, апарат має зазор, в якому кінці стебел вільні, протягувальні вальці володіють високою захоплюючою здатністю за рахунок конструктивних параметрів (число обертів вальців 631 об/хв, відстань між осями 90-120 мм).

Головною перевагою апаратів цієї групи є відносно висока універсальність, простота конструкції і невисока енергоємність, можливість

збирати кукурудзу збудь-якими розмірами міжрядь

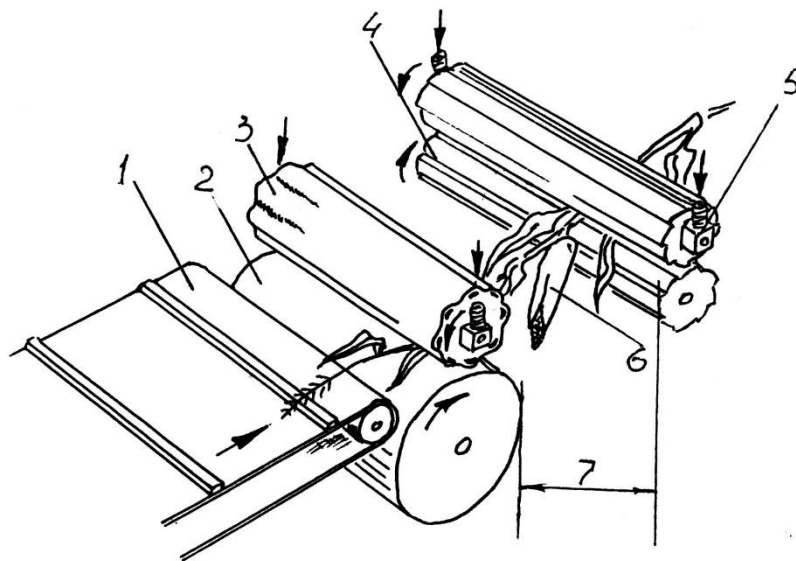


Рис. 1.2. Схема качановідокремлювального апарату звільним введенням стебел в горизонтальні протягувальні вальці:

1 - подавальний транспортер; 2 - підтримуючий валик; 3 - притискний бітер; 4 - протягувальні вальці; 5 - рухомі притискні опори; 6 - качан; 7 - проміжок для проходу відірваного качана.

До недоліків апарату з горизонтальними вальцями слід віднести підвищене пошкодження качанів внаслідок підвищеної захоплювальної здатності вальців, а також нестійкість технологічного процесу при збиранні кукурудзи звологими і зеленими стеблами. Згідно даних досліджень [4], втрати і травмованість качанів досягають відповідно 18,5% і 12,2%, що перевищує аналогічні параметри інших типів качановідокремлюючих апаратів.

1.2.3. Апарати з вертикальними вальцями. До цієї групи апаратів відноситься качановідокремлювальний апарат вітчизняного кукурудзозбирального комбайна ККХ-3 (рис. 1.3).

Це апарат з примусовим введенням стебел кукурудзи в зазор між вертикальними протягувальними вальцями, довжина яких 446 мм і діаметр кола

по виступах 78 мм. Кут нахилу вальців до горизонту, складає 65° , число обертів 1165 об/хв, відстань між осями вальців 80 мм. Примусове введення стебел в робочу щілину між вертикальними протягувальними вальцями здійснюється за допомогою ярусу подавальних ланцюгів. Такий спосіб введення дозволив понизити і зменшити пошкодження качанів у порівнянні з раніше розглянутою групою качановідокремлювальних апаратів.

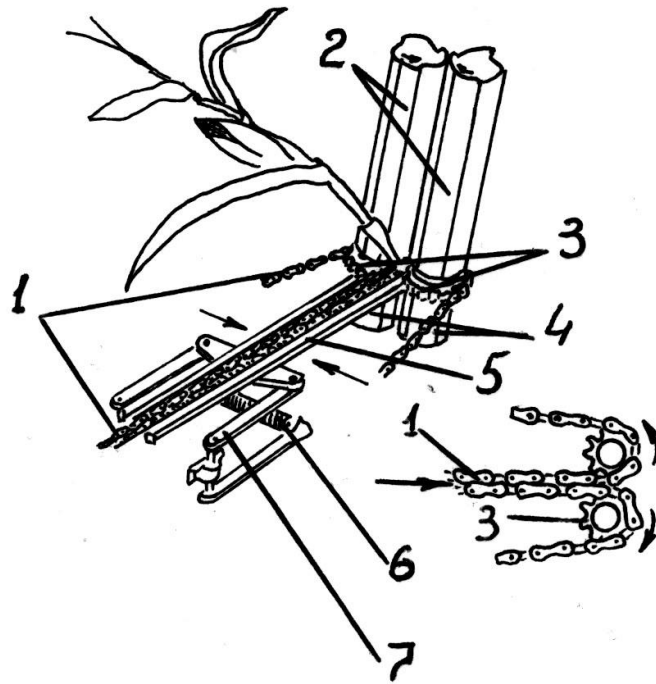


Рис. 1.3. Схема качановідокремлювального апарату з примусовим введенням стебел у вертикальні протягувальні вальці:

1 - затискні подавальні ланцюги; 2 - вертикальні уривчасті вальці; 3 - провідні зірочки подавальних ланцюгів; 4 - нижні частини уривчастих вальців; 5 - притискні планки; 6 - пружини важелів; 7 - важелів притискних планок.

Проте, не дивлячись на перераховані переваги, у качановідокремлювальних апаратів з вертикальними протягувальними вальцями спостерігається підвищене вилушування зерна, особливо в момент, коли відірвані качани повторно притискаються до вальців, що обертаються,

подальшою подачею стебел в руслах. За даними випробувань [38] вилущування зерна складає 6...15%.

1.2.4. Апарати з поздовжніми вальцями. Апарати з поздовжніми вальцями складають домінуючу групу качановідокремлювальних механізмів. Апарати даної групи встановлюються на більшості відомих кукурудзозбиральних машинах. Ця група складається з великої кількості різних підгруп качановідокремлювальних апаратів.

Першою класичною конструкцією качановідокремлювального апарату (рис. 1.4), є апарат пікерного типу, вперше застосований в американських пікер-хескерах 2ME фірми «McCormick» і 227 фірм «JOHN DEER» (рис. 1.4, 1.6).

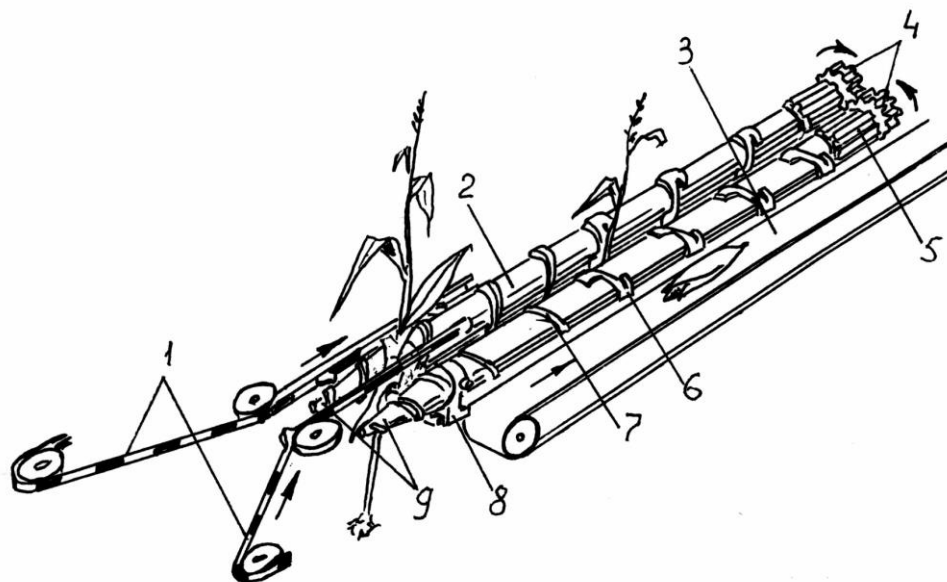


Рис. 1.4. Схема качановідокремлювального апарату пікерного типу з кулачковими вальцями:

1 - подавальні ланцюги з лапками; 2 - пікерні кулачкові протягувальні вальці; 3 - транспортер відірваних качанів; 4 - привідні шестерні протягувальних вальців; 5 - активна поверхня протягувальних вальців; 6 - кулачки робочої частини протягувальних вальців; 7 – гвинтова реборда; 8 - рухома опора; 9 - західні конуси.

Принцип дії цього апарату полягав у прокатуванні стебел кукурудзи, що стоять на корені, через зазор між вальцями, що зустрічно обертаються. У

перерахованих пікер-хескерах практично однакова схема виконання качановідокремлювальних апаратів і однаковий технологічний процес відокремлення. Відмінностями є конструктивне виконання вальців, по довжині відповідно 1050 мм і 965 мм, діаметру по виступах 93,3 мм і 76 мм, куту нахилу до горизонту 38° і 31° і числу обертів 700 і 735 об/хв.

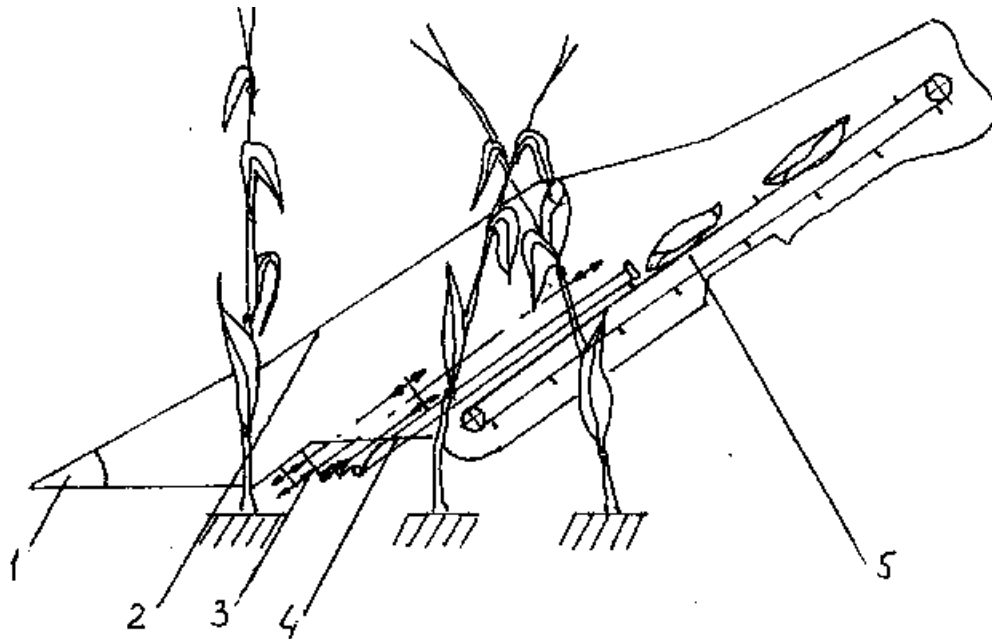


Рис. 1.5. Схема русла пікер-хескера 2ME фірми «McCormick»:

1 - шарнірні миси; 2 - дільники; 3 - захоплюючі ланцюги; 4 – уривчасті вальці; 5 - транспортер качанів.

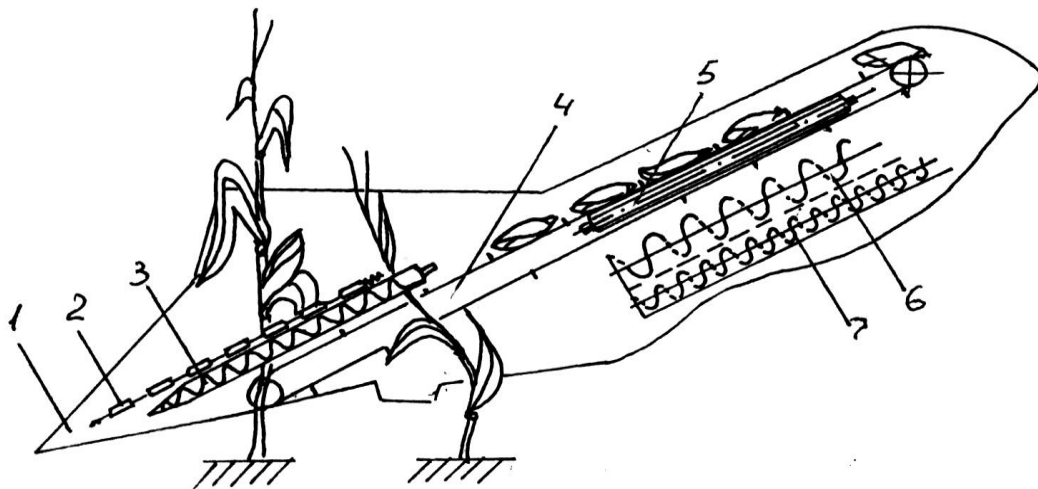


Рис. 1.6. Схема русла пікер-хескера 227 фірм «JOHN-DEER»:

1 - миси; 2 - захоплюючі ланцюги; 3 - протягувальні вальці; 4 - транспортер качанів; 5 - очисні вальці; 6 - шнековий транспортер обгортки;

7 - шнековий зерновий транспортер.

До перших вітчизняних апаратів цієї групи слід віднести апарат з обмеженою свободою введення стебел кукурудзи в зазор між поздовжніми вальцями, який установлений на кукурудзозбиральному комбайні КУ-2А (рис. 1.7). У цьому апараті була зроблена спроба використовувати позитивні якості пікерних протягувальних вальців.

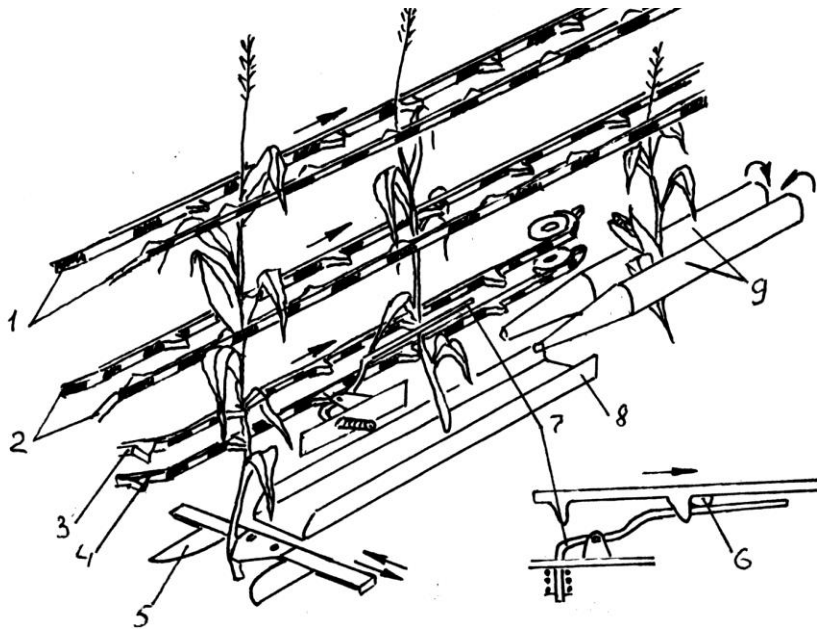


Рис. 1.7. Схема качановідокремлювального апарату з обмеженою свободою введення стебел в поздовжні похилі вальці:

1 - верхній ярус подавальних ланцюгів; 2 - середній ярус подавальних ланцюгів; 3 і 4 - нижні яруси подавальних ланцюгів; 5 - ріжучий апарат; 6 - стебло; 7 - прутковий стебло притискач; 8 - підтримуючий лоток стебел; 9 - поздовжні протягувальні вальці.

З цією метою протягувальні вальці, завдовжки 750 мм і діаметром по колу виступів 83 мм розташовані уздовж рядка під кутом до горизонту 20° , були підняті і віднесені в задню частину жнивarki. Число обертів вальців складає 603 об/хв. Підведення стебел здійснюється ярусами подавальних ланцюгів з лапками і стеблзатискачами. Більш впорядкований характер подачі стебел створює передумови до установки протягувальних вальців з менш активною поверхнею, чим у попередніх типів і дозволяє отримувати менше

пошкодження качанів.

Всі перераховані вище качановідокремлювальні апарати є апаратами першого покоління, на основі яких з'явилася сучасна група качановідокремлювальних апаратів, яку за способом виконання технологічних операцій можна розділити на два основні типи:

- з суміщеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів;
- з розділеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів.

1.2.5 Апарати з суміщеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів. До апаратів цього типу відносять такі, у яких протягування стебел і відокремлення качанів здійснюється одними робочими органами - пікерними вальцями. До конструкцій, що заслуговують на увагу, можна віднести оригінальність виконання пікерних вальців, які використовуються в американському збирачі-очищувачі фірми «MINNEAPOLIS-MOLIN» (рис. 1.8.).

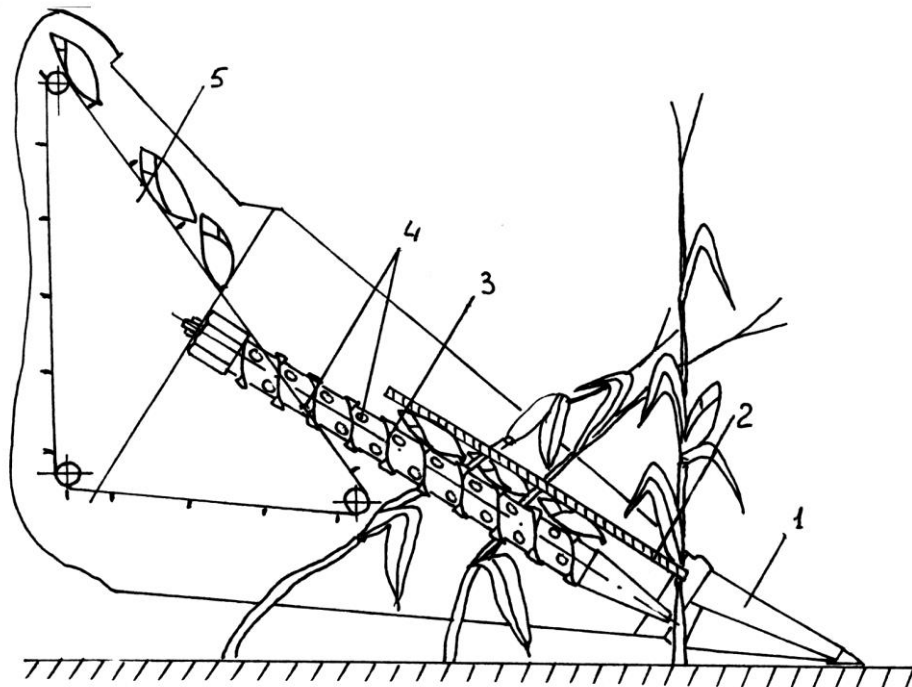


Рис. 1.8. Схема качановідокремлювального апарату збирача-очищувача фірми «MINNEAPOLIS-MOLIN»:

- 1 - миси; 2 - подавальні ланцюги; 3 - протягувальні вальці;

4 - активізатори; 5 - транспортер качанів.

На поверхні вальців є отвори, куди вставляються гумові шпильки-активатори. Довжина вальців 1360 мм, діаметр по виступах 97 мм, число обертів 520 об/хв, кут нахилу до горизонту складає 30° , крок витка гвинтової реборди 1512 мм. Стебла кукурудзи подаються ланцюгами між вальцями і переміщуються вздовж осі вальців за допомогою сил тертя, що виникають між поверхнями активаторів і стебел. Качани, стикаючись з вершинами гвинтових виступів відділяються від плодоніжок. До недоліків цього апарату слід віднести втрати і травмування качанів вальцями (до 6,5%) [34].

Для усунення перерахованих недоліків було запропоновано [68] конструкцію качановідокремлювального пристрою (рис. 1.9), який включає пару паралельних вальців, що зустрічно обертаються, забезпечених спіральною навивкою, причому виступи одного з них входять в западини іншого.

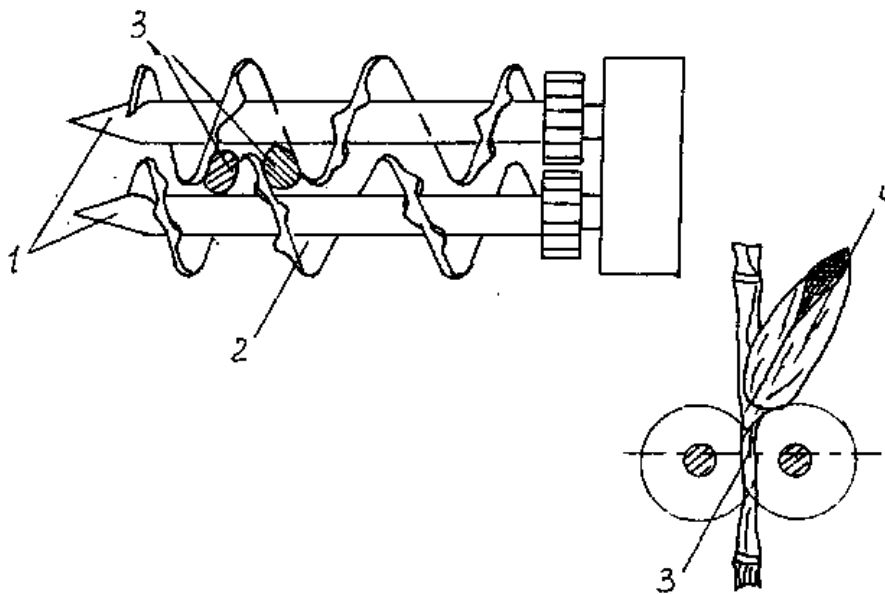


Рис. 1.9. Схема качановідокремлювального апарату фірми «Mossei-Gorris»:

1 - відокремлювальні пікерні вальці; 2 - гвинтова навивка; 3 - стебло;
4 - качан.

При переміщенні даного пристрою по рядку, стебла захоплюються вальцями і прокатуються між спіральними навивками, а оскільки щілина між

навивкою і сусіднім вальцем значно менша діаметру качана, то останній відривається від плодоніжки. Обтискання плодоніжки здійснюється аж до самої основи качана, що забезпечує не тільки відривання качана, але захоплення обгорток і їх часткове відокремлення.

Проте понизити травмованість качанів у такий спосіб не вдалося. Крім того, при збиранні вологих стебел, особливо в ранні терміни, відбувається часте забивання вальців стеблами, що знижує надійність протікання технологічного процесу.

Оригінальна конструкція пікерного качановідокремлювального апарату [34] (рис. 1.10), встановлена на французькому пікер-шелері «River-Kozali». Довжина вальців різна, - 1370 і 1275 мм, вони встановлені під кутом 30° до горизонту, їх діаметр по колу виступів рівний 95 мм, а частота обертання складає 720 об/хв. Стебла кукурудзи подавальними лапками заводяться в західні конуси пікерних кулачкових вальців, які протягуючи стебла, відривають качани.

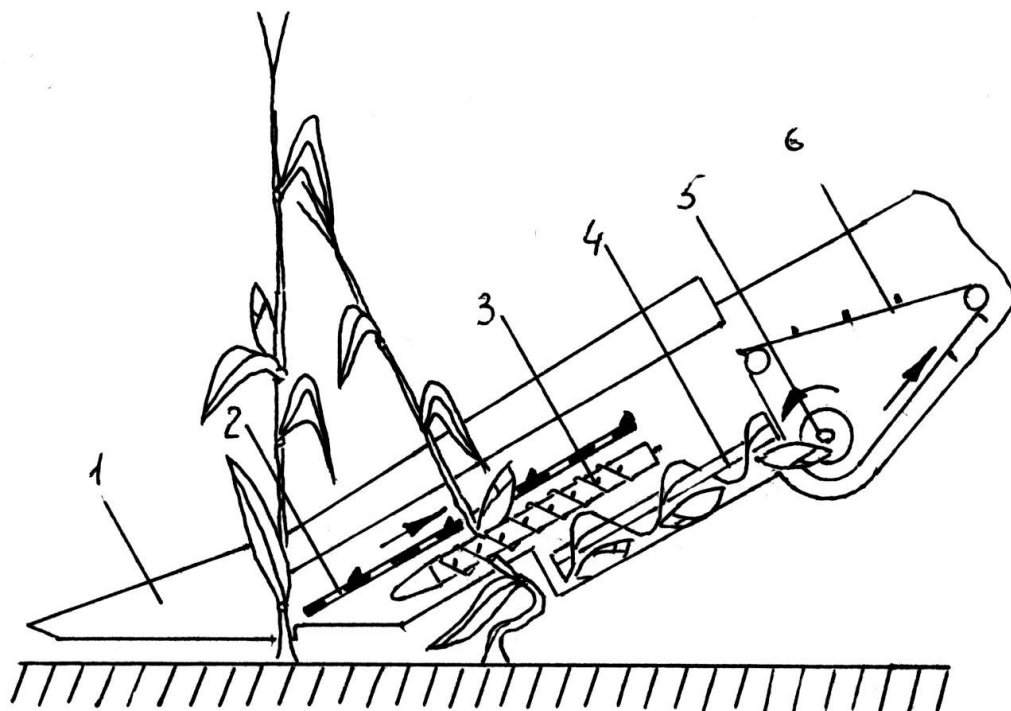


Рис. 1.10. Схема жатної частини пікер-шелера фірми «River-Kozali»:

1 - миси; 2 - подавальні ланцюги; 3 – пікерні вальці; 4 - шнековий

транспортер качанів; 5 - поперечний шнек; 6 - скребковий транспортер качанів.

Наявність гладких ділянок на вальцях дозволила дещо знизити травмованість качанів, а подавальні ланцюги з лапками значно підвищують надійність протікання технологічного процесу. Основний недолік розглянутої конструкції - підвищена травмованість качанів при відокремленні, коли нижня частина качана при зустрічі з вальцями защемляється останніми, що у свою чергу призводить до вилущування зерна.

Виходячи з вищевикладеного, можна стверджувати, що стійкість технологічного процесу в апаратах цієї групи забезпечується в основному наявністю активної поверхні, що призводить до головного недоліку пікерних качановідокремлювальних апаратів - травмування качанів унаслідок ударних навантажень і защемлення качанів протягувальними вальцями.

Тому для качановідокремлювальних апаратів, із суміщеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів, властиві недоліки вважаються за характерні і в повній мірі неусувними.

1.2.6. Апарати з розділеними операціями протягування стебел і відокремлення качанів. Для зниження травмування качанів, що виникає внаслідок удару або защемлення пікерними протягувальними вальцями, в світовій практиці з'явилися качановідокремлювальні апарати, у яких операції протягування стебел і відокремлення качанів розділені.

До апаратів цього типу відносяться стріперні качановідокремлювальні апарати (рис. 1.11), які встановлені на переважній більшості вітчизняних і зарубіжних кукурудзозбиральних машинах[34].

Так, наприклад, стріперний качановідокремлювальний апарат, який встановлений на всіх вітчизняних кукурудзозбиральних комбайнах і приставках, складається з пари протягувальних вальців з західними конусами, над якими встановлені стріперні регульовані пластини. Протягувальні вальці ребристі - з шістьма поздовжніми ребрами. Діаметр по кінцях ребер 95 мм, довжина 756 мм, частота обертання вальців 860 об/хв, кут нахилу вальців до

горизонту 33° . Стебло кукурудзи, подавальними ланцюгами заводиться в західні конуси вальців і протягується. При протягуванні стебла через щілину між стріперними пластинами, відбувається відокремлення качана, причому качани не стикаються з вальцями. У американському пікер-хескері «JOHN-DEERE-300» [67] качановідокремлювальний апарат має протягувальні вальці із західним конусами, довжина їх складає 405 мм, діаметр по ребрах на початку 102 мм, в кінці 114 мм, кут нахилу до горизонту 22° , частота обертання від 526 до 815 об/хв.

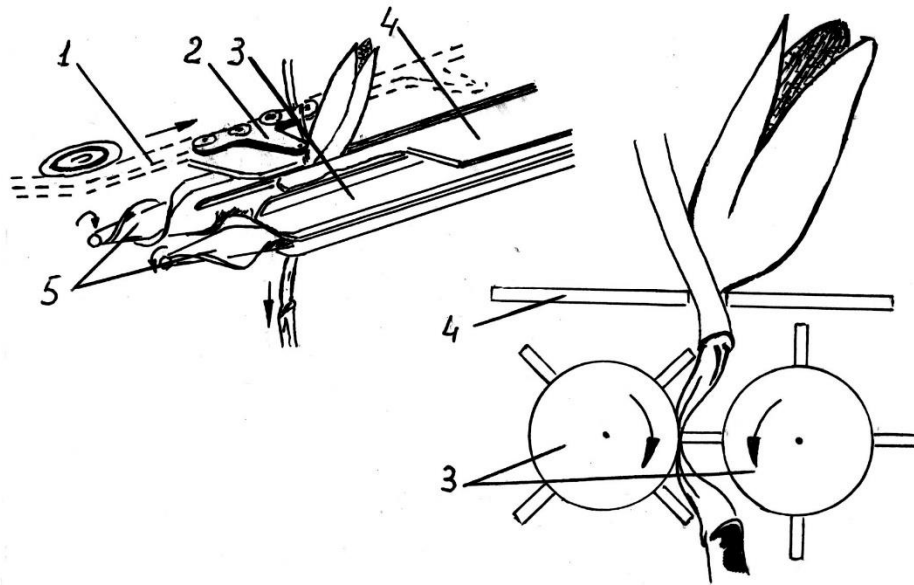


Рис. 1.11. Схема стріперного качановідокремлювального апарату:

1 - подавальний ланцюг; 2 - захоплюючі лапки; 3 - протягувальні вальці; 4 - стріперні пластини; 5 - західні конуси.

Зі всіх відомих качановідокремлювальних апаратів, стріперний дає найменше пошкодження качанів, за рахунок того, що качан відокремлюється на гладких поверхнях стріперних пластин. Ступінь травмованості качанів на стріперних апаратах знизився в 1,8 разів [67] в порівнянні з іншими качановідокремлювальними апаратами. Проте, повністю уникнути цього недоліку не вдалося. Окрім цього, при протягуванні стебел через щілину стріперних пластин, відбувається інтенсивне обчисування листя, що приводить до значного засмічення вороху качанів листям і уламками стебел. Для усунення цих недоліків в СКБ Херсонського комбайнового заводу було запропоновано

встановити над протягувальними вальцями пару додаткових обчісувальних вальців, які замінюють стріперні пластини [6]. Причому обчісувальні вальці можуть мати як вільне, так і примусове обертання (рис. 1.12). Стебла кукурудзи захоплюються подавальним ланцюгами і потрапляють в зазор між вальцями.

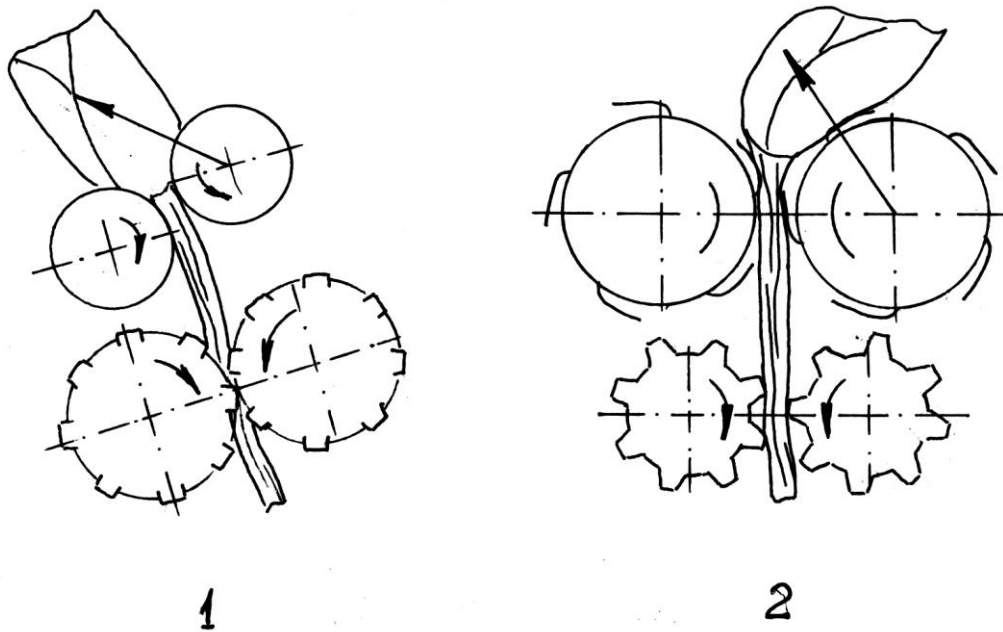


Рис. 1.12. Схема качановідокремлювальних апаратів з додатковими обчісувальними органами:

1 - качановідокремлювальний апарат з обчісувальними роликками;
2 – качановідокремлювальний апарат з додатковими обчісувальними вальцями.

Нижні вальці мають активну рифлену поверхню, верхні - гладкі. Завдяки гладкій поверхні верхніх вальців качани менше травмуються. Проте разом з цим зросло заклинювання качанів в зазорі між обчісувальними вальцями, особливо в пізні терміни збирання, коли качани орієнтовані на стеблі носиком вниз. Окрім цього, в результаті випробувань [67] з'ясувалося, що відбувається часте забивання верхніх вальців листостебловою масою, а у вальців з примусовим обертанням зросли втрати вільними качанами. Тому подальшого поширення такі апарати не набули.

Для усунення заклинювання качанів в робочому зазорі між стріперними пластинами або вальцями пропонувалося [34] в якості стріперного пристрою

використовувати струни (рис. 1.13).

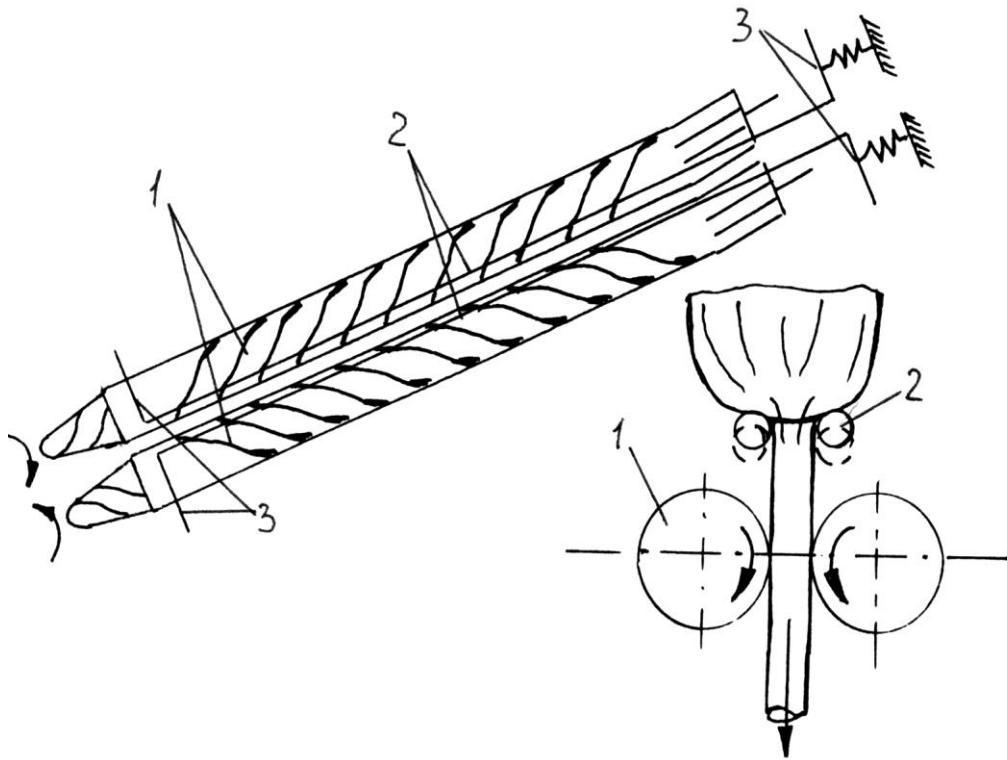


Рис. 1.13. Схема качановідокремлювального апарату автора В.А. Ткачова:
1 - протягувальні вальці; 2 - стриперний пристрій; 3 - натягувач.

При протягуванні стебла вальцями качан тисне на струни і деформує їх, внаслідок чого створюється запас пружної потенційної енергії струни. Струна випрямляється і виштовхує качан. Завдяки цьому технічному рішенню значно знижується пошкодження качанів, усувається процес забивання, проте збільшуються втрати вільними качанами. Окрім цього, при роботі даного апарату струни активно впливають на листостеблову масу, що приводить до її інтенсивного обчісування. У кукурудзозбиральному комбайні "Качан-2" [34, 67] вальці розташовані поздовжньо і виконують функції протягування стебел і відокремлення качанів (рис. 1.14). Верхній валець гладкий циліндричний, середній гладкий циліндричний з двозахідною гвинтовою ребордою, нижній валець активний із шістьма поздовжніми ребрами.

Верхній і середні вальці здійснюють відривання качанів від стебел. Наявність гладких поверхонь обумовлює мінімальне пошкодження качанів. Гвинтові реборди забезпечують переміщення стебел уздовж вальців.

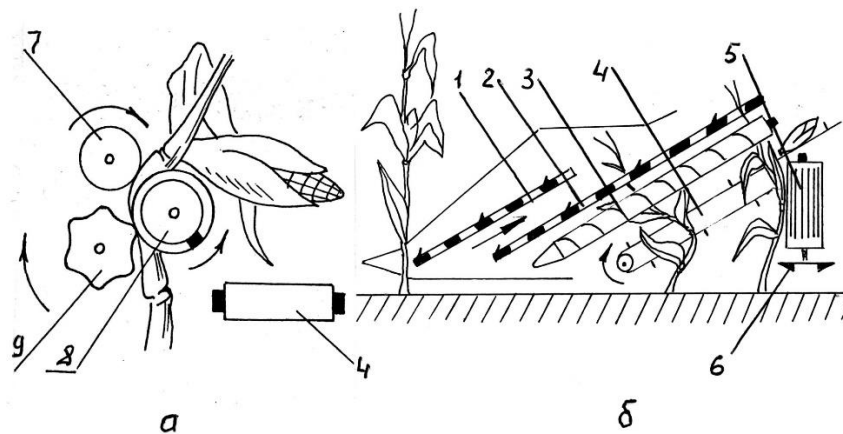


Рис. 1.14. Схема жнивної частини комбайна "Качан-2":
(а - качановідокремлювальний апарат; б - технологічна схема жнивної частини):

1 - захоплювальні ланцюги; 2 - подавальні ланцюги; 3 - уривчасті вальці;
4 - транспортер качанів; 5 - бітер; 6 - ріжучий апарат; 7 - верхній валець;
8 - середній валець з двозахідною гвинтовою ребордою; 9 - активний нижній валець.

До переваг цього апарату слід віднести те, що він не забруднює ворох качанів як пікерно-стриперний, відриває качани із значно меншими пошкодженнями в основному без плодоніжок. Донедоліків таких апаратів слід віднести недостатньо надійне введення стебел в західну частину та намотування стебел на активний протягувальний валець.

Оригінальна конструкція качановідокремлювального апарату представлена в комбайнах «ACSEEL-FLOU» моделей 1440, 1450, 1480 [34, 38], американської фірми «INTERNATIONAL HARVESTER» (рис. 1.15). У цьому апараті застосовані протягувальні вальці, що виконують і функцію подрібнювачів стебел. Стебла кукурудзи заводяться подавальними ланцюгами з лапками в робочий зазор між пластинами, протягуються і подрібнюються вальцями, а качани внаслідок їх більшого діаметру відриваються від стебел. У цьому апараті протягувальні вальці забезпечують постійний кут протягування, що підвищує стійкість процесу відокремлення качанів, а також знижують можливість обломлення верхньої частини стебел та їх обчісування, що значно підвищує чистоту вороху качанів.

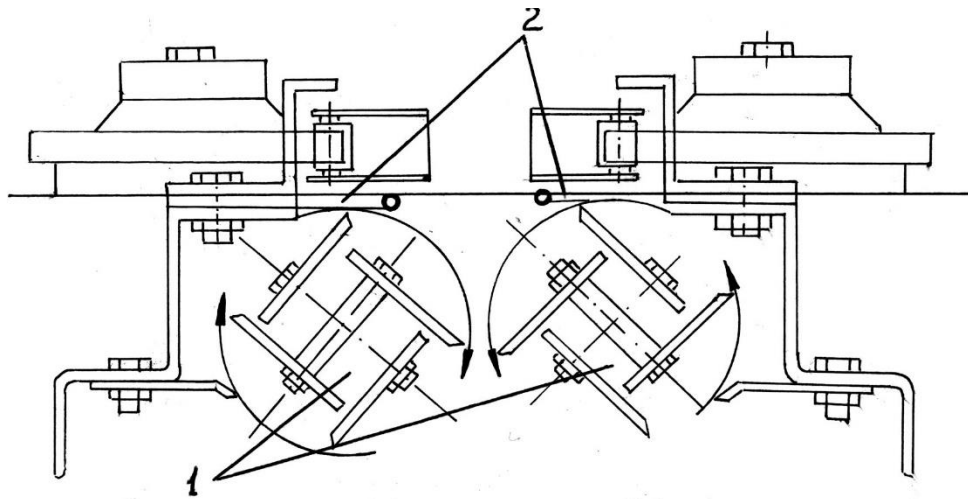


Рис. 1.15. Схема качановідокремлювального апарату фірми «INTERNATIONAL HARVESTER»:

1 - протягувальні вальці, що виконують функції подрібнювачів;
2 - стріперні пластини.

До недоліків даного апарату слід віднести високу травмованість качанів внаслідок ударних навантажень при відокремленні, а також вірогідність заклинювання качанів в робочому зазорі стріперних пластин.

Поліпшити якісні показники роботи пікерно-стріперних качановідокремлювальних апаратів пропонувалося [53] за допомогою зміни форми пікерних вальців (рис. 1.16). Протягувальні вальці мають конусну форму з напрямним елементом, дві качановідокремлювальних зони і одну стебловідділювальну. Стебла кукурудзи захоплюються подавальними ланцюгами і потрапляють в зазор між протягувальними вальцями. Ковзаючи в щілині стріперного пристрою, через конусне виконання вальців, швидкість протягування змінюватиметься від максимальних значень на початку до мінімальних наприкінці.

Таке конструктивне виконання качановідокремлювального апарату дозволяє підвищити пропускну здатність апарату за рахунок збільшення середньої швидкості прокатування і зниження пошкодження качанів за рахунок зменшення швидкості при їх відокремленні, а також скоротити втрати вільними качанами.

Недоліком даного апарату є інтенсивне обчисування листостеблової маси і заклинювання качанів в робочому зазорі стріперних пластин.

Найбільш ефективним шляхом підвищення якості виконання технологічного процесу визнана оптимізація конструкції стріперних пластин.

Конструктивна схема [66] качановідокремлювального апарату з однією рухомою пластиною (рис. 1.17) була запропонована Харківським ПКТІ сільськогосподарського машинобудування.

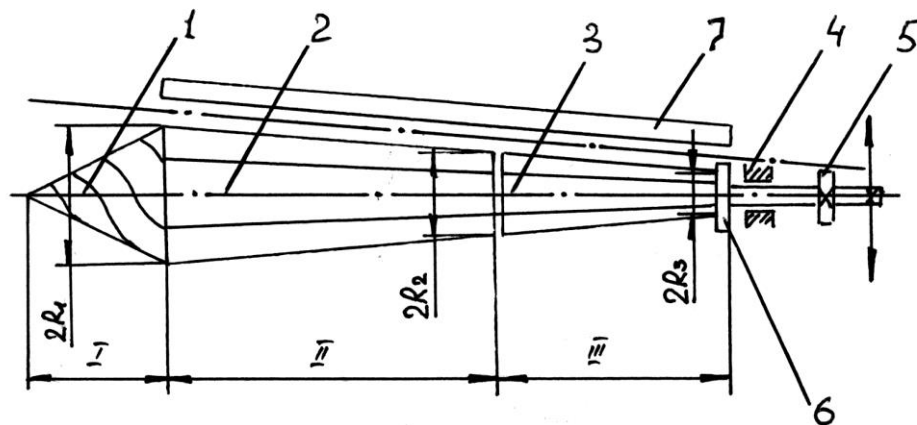


Рис. 1.16. Схема качановідокремлювального апарату з конусними вальцями:

1 - направляючий елемент; 2, 3 - качановідокремлювальні вальці; 4 - підшипниковий вузол; 5 і 6 - приводи вальців; 7 - стріперні пластини.

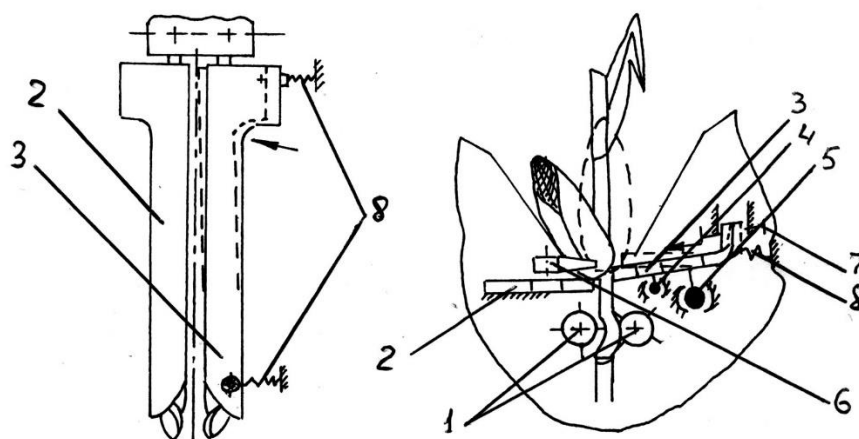


Рис. 1.17. Схема качановідокремлювального апарату Харківського ПКТІ:

1 – протягувальні вальці; 2 - нерухома пластина; 3 – рухома пластина; 4 і 5 - шарніри; 6 - подавальний ланцюг; 7 - регульовальні гвинти; 8 - пружини.

Качан, упираючись основою на рухому пластину однією стороною, нахилиється і упирається іншою стороною на нерухому пластину, одночасно рухома пластина за рахунок зусилля натиску качана повертається навколо шарнірів і, долаючи зусилля пружини, натискає на плодоніжку, підриваючи її біля основи качана. При цьому качан відокремлюється а пластина під дією пружини повертається в початкове положення. Проте, при знаходженні декількох стебел кукурудзи (до 3 штук) в робочому зазорі стріперних пластин відбувається порушення технологічного процесу, внаслідок заклинювання качанів.

Для усунення заклинювання качанів [64] було запропоновано виконати обидві стріперні пластини рухомими і забезпечити їх приводом коливань у площині, перпендикулярній осям вальців. Проте, в результаті безладного руху качанів при відокремленні, підвищувалась їх травмованість. З метою зниження травмованості качанів було запропоновано використовувати качановідокремлювальні апарати, у яких під час відокремлення кут орієнтації качана був би постійним. До таких апаратів відноситься качановідокремлювальний апарат [22], у якого в стріперних пластинах на звернених один до одного бічних сторонах виконані вирізи, причому вирізи однієї пластини зміщені по довжині щодо вирізів іншої пластини (рис. 1.18).

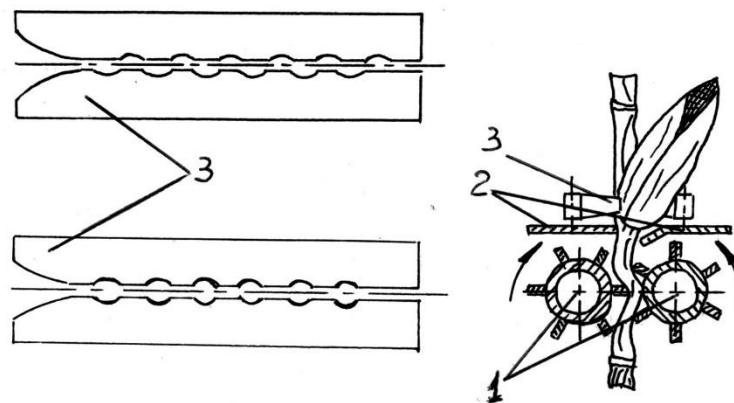


Рис. 1.18 Схема качановідокремлювального апарату Українського НДІ:

1 - протягувальні вальці; 2 - стріперні пластини; 3 - подавальні ланцюги.

Вальці, протягуючи стебло, зтягують качани у виріз пластини так, що його нижня частина майже стикається з протягувальною поверхнею вальців. Наявність вирізів на пластинах покращує якість відокремлення качанів кукурудзи від стебел за рахунок орієнтації качана. Проте, в даному апараті не виключена вірогідність обломлювання верхньої частини 1/3 стебла, що в свою чергу веде до збільшення забруднення вороху качанів, а також є високою вірогідність заклинювання качанів у вирізах стріперних пластин, що знижує надійність технологічного процесу роботи качановідокремлювального апарату.

Для підвищення надійності технологічного процесу пропонуваного качановідокремлювального апарату СКБ Херсонського комбайнового заводу була запропонована нова конструктивна схема [6, 35] (рис. 1.19).

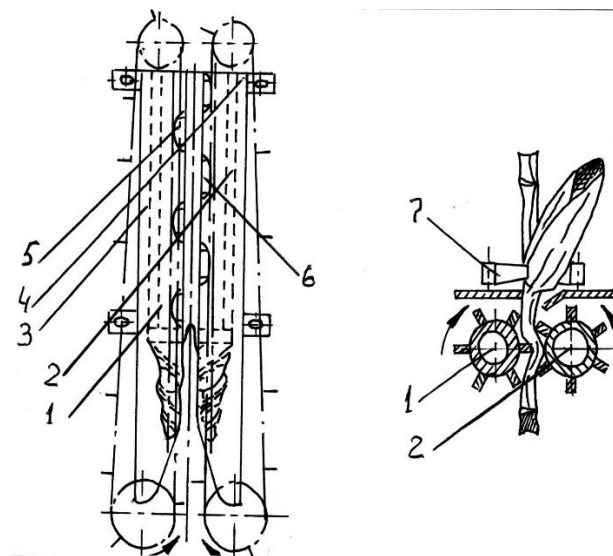


Рис. 1.19 Схема качановідокремлювального апарату ВО Херсонського комбайнового заводу:

1 і 2 - протягувальні вальці; 3 і 4 - стріперні пластини; 5 - вирізи; 6 - щитки; 7 - подавальні ланцюги.

Тут стріперні пластини мають вирізи, які зміщені по довжині відносно один відносно одного. У вирізах встановлені щитки, виконані у вигляді відгинів пластин у бік протягувальних вальців. Завдяки такій конструкції стріперних пластин знижується інтенсивність обчисування стебел та вірогідність

обломлення їх верхньої частини стеблин, що підвищує чистоту вороху качанів. Процес відокремлення качанів відбувається при складній деформації плодоніжки - її розтягуванні вальцями і додатковому вигині, що покращує якість відокремлення качанів за рахунок зниження величини зусилля, необхідного для розриву плодоніжки. Проте в даному апараті можливе заклинювання качанів в робочому зазорі між пластинами.

1.3. Висновки до розділу

1. Аналіз відомих конструкцій качановідокремлювальних пристроїв показав, що вони застаріли і не відповідають сучасному рівню агротехнічних вимог до технічних засобів для збирання кукурудзи на зерно.

2. Серійні пікerno-стриперні качановідокремлювальні пристрої, які знаходяться більше трьох десятиліть на виробництві без змін, як вітчизняного так і закордонного машинобудування, не задовольняють сучасним вимогам, що ставляться до кукурудзозбиральних машин через: високу степінь обчисування стебел низьку відокремлювальну здатність, яка викликана нестабільними умовами протікання процесу відокремлення качанів, що безсистемно змінюються; травмування качанів кромками стриперних пластин і лапками подавальних ланцюгів качанів; недостатню пропускну спроможність і надійність технологічного процесу збирання, які викликані малою транспортувальною здатністю подавальних ланцюгів і факторами, що гальмують переміщення продукту (забивання обчисаною листостебловою масою, зависання стебел на обивці жатки і заклинювання качанів).

3. Низький технічний рівень різних конструктивних схем качановідокремлювальних апаратів, які раніше розроблялися і досліджувалися в ході пошукових експериментів, можна пояснити недостатнім теоретичним обґрунтуванням особливостей технологічного процесу відокремлення качанів стриперними пластинами при протягуванні стебел кукурудзи пікernимивальцями.

2. Теоретичне обґрунтування параметрів качановідокремлювального апарату

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

При роботі пікерно-стриперного качановідокремлювального пристрою, можна умовно виділити п'ять послідовно розташованих технологічних зон (рис. 2.1) [15].

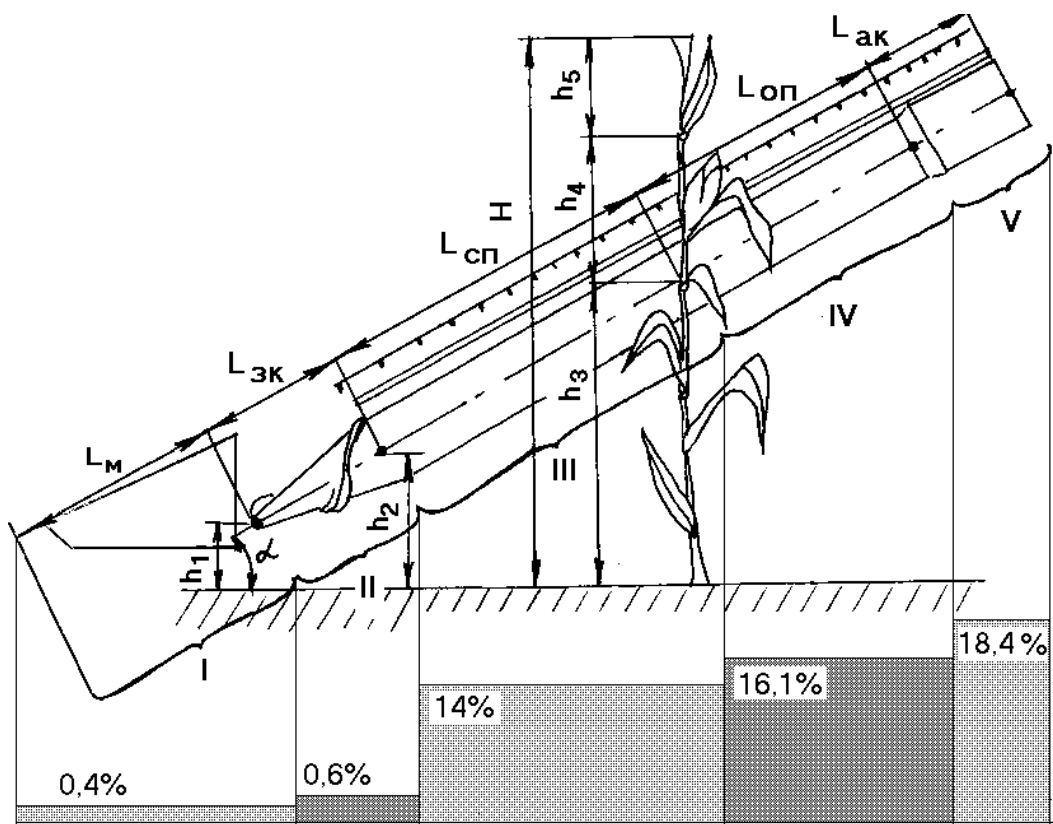


Рис. 2.1. Аналіз основних зон качановідокремлювального апарату пікерно-стриперного типу.

Перша зона L_M - орієнтації стебла кукурудзи мисами русла кукурудзозбирального комбайна. У основу теоретичного аналізу цієї зони, можна покласти дослідження П.П. Карпуші [33], який встановив, що надійність протікання технологічного процесу в цій зоні залежить від фізико-механічних властивостей стебел, а саме, від вологості і пружності стебла, а також

кінематичних параметрів протягувальних вальців, швидкості руху комбайна, що і враховується при проектуванні пікerno-стриперного качановідокремлювального апарату. В результаті дії корпусу комбайна на стебло матиме місце незначне відхилення стебла по ходу комбайна, що в основному впливає на висоту зрізування стебел, а також ступінь природного їх відхилення. Робота західної частини русла в даний час достатньою мірою вивчена.

Друга зона $L_{ЗК}$ - дії лапок подавальних ланцюгів і західних конусів протягувальних вальців на стебло, а також початку проходження стебла криволінійної ділянки стриперних пластин. Питання захвату стебел лапками подавальних ланцюгів і подачі стебел в робочий зазор розглянуті в роботах П.П. Карпуші [21] і Л.І. Анісімової [3, 4].

Третя зона $L_{СП}$ - вільного протягування стебла вальцями. Тут на стебло впливають в основному тільки протягувальні вальці. Виходячи з теорії захвату і протягування стебел вальцями [19, 39] можна визначити їх основні кінематичні параметри. Надійність протікання технологічного процесу в цій зоні залежить тільки від конструктивних параметрів і кінематичних режимів роботи протягувальних вальців.

Четверта зона $L_{ОП}$ - відокремлення качанів. Це основна зона, що впливає в значній мірі на якість виконання технологічного процесу в качановідокремлювальному апараті. Надійність протікання технологічного процесу в цій зоні залежить від взаємного розташування стриперних пластин, протягувальних вальців, фізико-механічних властивостей стебла з качанами і виникаючих динамічних навантажень. Перераховані вище параметри слід обґрунтувати в подальших дослідженнях.

П'ята зона $L_{АК}$ - транспортування відокремлених качанів. У цій зоні качани переміщуються під впливом транспортуючих органів. На якість транспортування відокремлених (зрізаних) качанів впливатимуть фізико-механічні властивості качанів, величина сили тертя, а також кінематичні параметри і режими роботи транспортуючих органів [1, 4, 33, 38].

Розділення на умовні технологічні зони проводилися згідно розбиття стебла кукурудзи на окремі його частини, де h_1 - довжина стебла від поверхні ґрунту до нижньої точки протягувальних вальців; h_2 - довжина стебла від поверхні ґрунту до точки захвату його вальцями; h_3 - мінімальна відстань розміщення качана від поверхні поля; h_4 - максимальна відстань розміщення качана від поверхні поля; h_5 - повна висота стебла.

Виходячи із теоретичного аналізу основних зон технологічного процесу протягування стебелкукурудзи і відокремлення качанів встановлено, що в ході теоретичних досліджень необхідно обґрунтувати наступні конструктивні параметри качановідокремлювального апарату, які роблять визначальний вплив на показники якості виконання технологічного процесу, а саме: діаметр твірного кола по вершинах рифів вальців, частоту обертання вальців, зазор між вершинами рифів, кутнахилу похилої стріперної пластини.

Переходимо надалі до дослідження динамічних (силових) параметрів, що діють в технологічній зоні з боку вальців на рослину кукурудзи та до визначення параметрів енергоємності роботи качановідокремлювального апарату.

2.2. Процес захвату стебла качанів пікерно-стріперним пристроєм

Як наголошувалося раніше, існуючі качановідокремлювальні апарати пікерно-стріперного типу не забезпечують якість і надійність процесу відділення качанів. Зусилля, що виникають при відділенні качанів, в більшості випадків перевищують допустимі, що приводить до збільшення травмованості останніх.

З метою зменшення виникаючих зусиль, нами пропонується забезпечити необхідну орієнтацію качана під час відділення. Після захвату стебла протягувальними вальцями качан може розташовуватися під різними кутами від 0° до 90° (рис. 2.2).

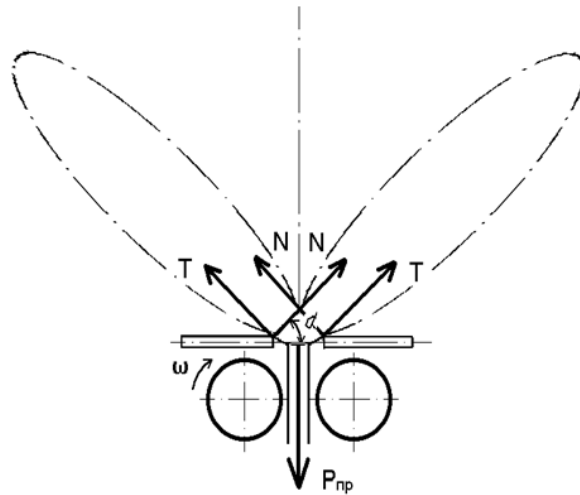


Рис. 2.2. Схема до визначення кутаорієнтації качана.

У сталому режимі протягування на качан буде діяти зусилля протягування P_{np} , яке направлене у бік обертання вальців, а в місцях контакту качана із стріперними пластинами виникають сили нормального тиску N і тертя T , які діють у зворотному напрямі. Рівняння рівноваги на декартові координати матимуть вигляд:

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

тоді

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

Замінивши $T = fN$, після підстановки можна визначити силу дії пластин на качан:

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

де f - коефіцієнт тертя качана по стріперних пластинах;

α - кут між реакцією нормального тиску і віссю стріперних пластин.

Як видно з виразу (2.3), значення нормального тиску N буде нерівнозначним. Сила, необхідна для розриву плодоніжки, змінюватиметься залежно від кута орієнтації качана. Кут орієнтації качана може змінюватися в межах від 0° до π . Якщо припустити, що коефіцієнт тертя f і сила протягування

P_{np} матимуть постійні значення, то з виразу (2.3) можна отримати графік залежності сили нормального тиску від кута орієнтації качана $\alpha - N=f(\alpha)$ (рис. 2.3).

Згідно отриманого виразу (2.3) можна відзначити, що максимальне значення сили нормального тиску N буде при $\alpha = 0^\circ$, а мінімальне при $\alpha = \pi/2 - \varphi$.

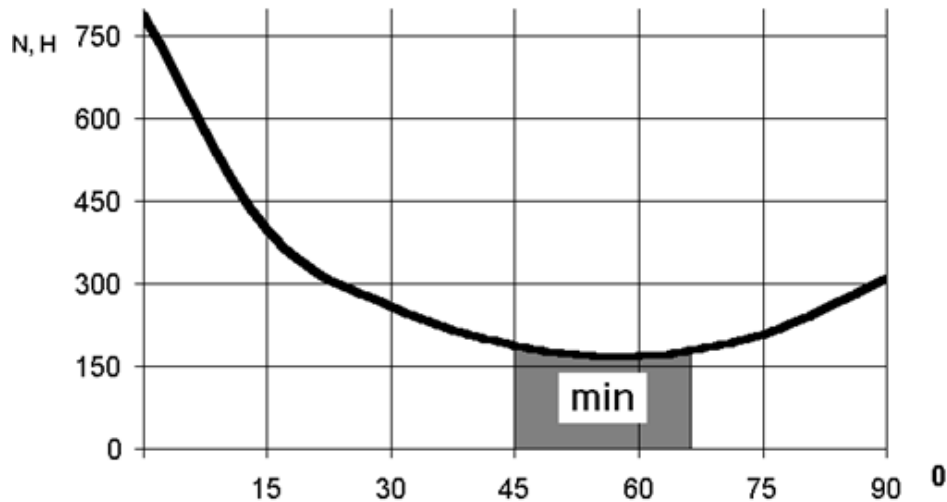


Рис 2.3. Графік залежності сили відокремлення качана від кута його орієнтації.

З графіка залежності $N = f(\alpha)$ (рис. 2.3) видно, що раціональний інтервал кута орієнтації качана знаходиться в межах від 45° до 65° , при якому тиск на качан буде мінімальним. На підставі вищевикладеного, можна зробити висновок про доцільність орієнтування качана на кут 45° - 65° , з метою поліпшення якості технологічного процесу.

Надійність процесу відокремлення качанів залежить від багатьох чинників. Проте, у відомих роботах [4, 19, 33], немає пояснення таким негативним явищам, як забивання робочої зони вальців або пластин листостебловою масою і качанами, намотування на них рослин, а також підвищене травмування качанів у вигляді вибивання зерна. Вони не враховані при обґрунтуванні одного з головних параметрів качановідокремлювального апарату - радіуса вальців R в зоні захвату (рис. 2.4), кута орієнтації качана, кута

протягування. Залежності, представлені в цих роботах, не достатні для того, щоб визначити параметри протягувальних вальців за умови гарантованого захвату стебла. Це пов'язано з тим, що з цих залежностей неможливо безпосередньо перейти до параметрів робочих органів. Грунтуючись на вищевикладеному, прирівнюючи і замінюючи кут тертя на кут захоплення, нами пропонується умова (2.4), по якій можна визначити 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*;

δ_p^{\max} - максимальний зазор між вальцями, *м*;

δ_n - початковий зазор між вальцями, *м*;

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

$\alpha_{защ}$ - кутзащемлення качана, *град*;

$\alpha_{зах}$ - кутзахвату стебла вальцями, *град*.

Ліва частина отриманого виразу (2.4) визначає максимальне значення R для відділення качанів без пошкоджень, права - мінімальне для надійного захвату стебла. Вираз справедливий, якщо брати до уваги тільки товщину стебла $d_{ст}$, а не всього рослинного шару товщиною $h_{зах} > d_{ст}$. Тому при дослідженні серійного качановідокремлювального апарату з $D_6 = 95$ мм в польових дослідах спостерігалися часті порушення технологічного процесу (заклинювання качанів). Для запобігання цим явищам права частина (2.4) повинна задовольняти наступній умові:

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

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

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

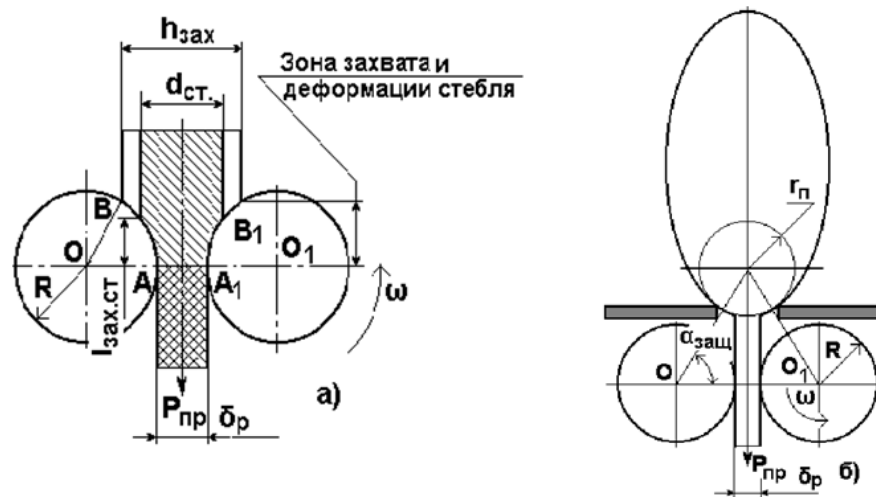


Рис. 2.4. Схеми до обґрунтування діаметра вальців D_6 качановідокремлювального апарату при протягуванні стебла (а) і відділенні качана (б).

Очевидно, що розрахункове значення радіуса R визначене по формулі (2.4) буде більше, ніж по формулі (2.5). При збільшенні R зміняться два найважливіші параметри: - довжина зони захоплення:

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

і оптимальне для відривання качана значення кута защемлення $\alpha_{защ}$, яке визначається за формулою:

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

Затягування і травмування дрібних качанів в зоні захвату стає можливим в результаті недотримання вищезазначених умов. Для підвищення якості виконання технологічного процесу запропонована схема протягувальних вальців вірфами, вершини яких при обертанні мають зону перекриття. Проте запропонована схема допускає перерізання стебла кукурुзи до відокремлення качана і в вороху качанів міститься велика кількість залишків листостеблової маси.

Для запобігання затягуванню дрібних качанів, виключення обчислення листостеблової маси, яка засмічує ворох качанів, нами висунута гіпотеза про

доцільність розробки конструкції вальців з торцевою рифленою поверхнею і гарантованим зазором S . При цьому величина вказаного зазору менша діаметра стебла рослини $d_{ст}$, що забезпечує надійне його захвату і виключає перерізання.

2.3. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів вальців качановідокремлювального пристрою

Виходячи з аналізу конструкцій качановідокремлювальних апаратів, можна виділити дві основні схеми апаратів ріжучого типу, у яких траєкторії крайніх точок ножів вальців в процесі протягування стебел накладаються, при цьому ножі обох вальців зустрічаються з певним перекриттям лез в матеріалі. Проте таке розташування ножів приводить до перерізання стебла і відхилення його від середньої лінії протягування, внаслідок чого значно погіршується якість виконання процесу протягування стебла.

Запропонована нами схема має рифи, між вершинами яких є гарантований зазор S (рис. 2.5).

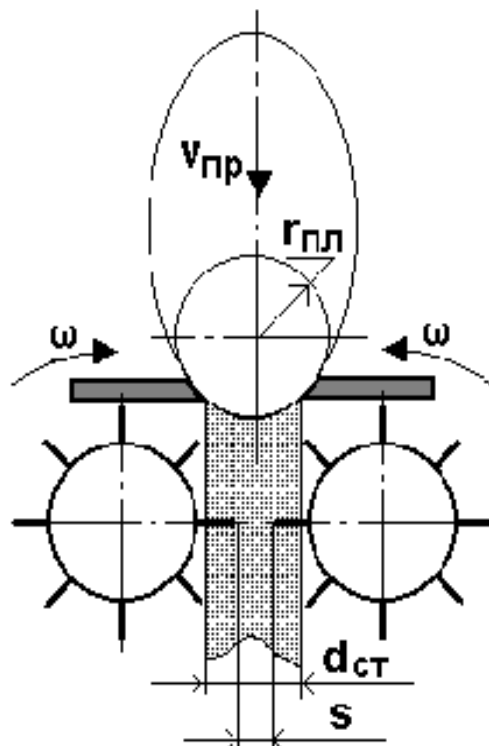


Рис. 2.5. Схема вальцевого пристрою запропонованої конструкції.

Таким чином, вальці виконують тільки транспортуючу функцію, стабілізується процес протягування стебла без його коливання, відділення качанів відбувається при їх взаємодії (ударному або статичному) із стріперними пластинами. В результаті забезпечення протягування стебел без коливань верхньої частини знижується обчісування листостеблової маси і забруднення вороху качанів.

Установка вальців з торцевими рифами забезпечуватиме протягування стебла з постійним кутом орієнтації стебла, що виключає його коливання в площині перпендикулярній осям обертання вальців, що в свою чергу знижує обчісування листостеблової маси.

Для визначення траєкторії і швидкості руху вершин рифів в протягуваному матеріалі прийемо, що рифи мають однакову здатність деформації стебла [38, 56]. Тоді траєкторія руху вершин рифів в масі буде подовженою циклоїдою (трохоїда) (рис. 2.6).

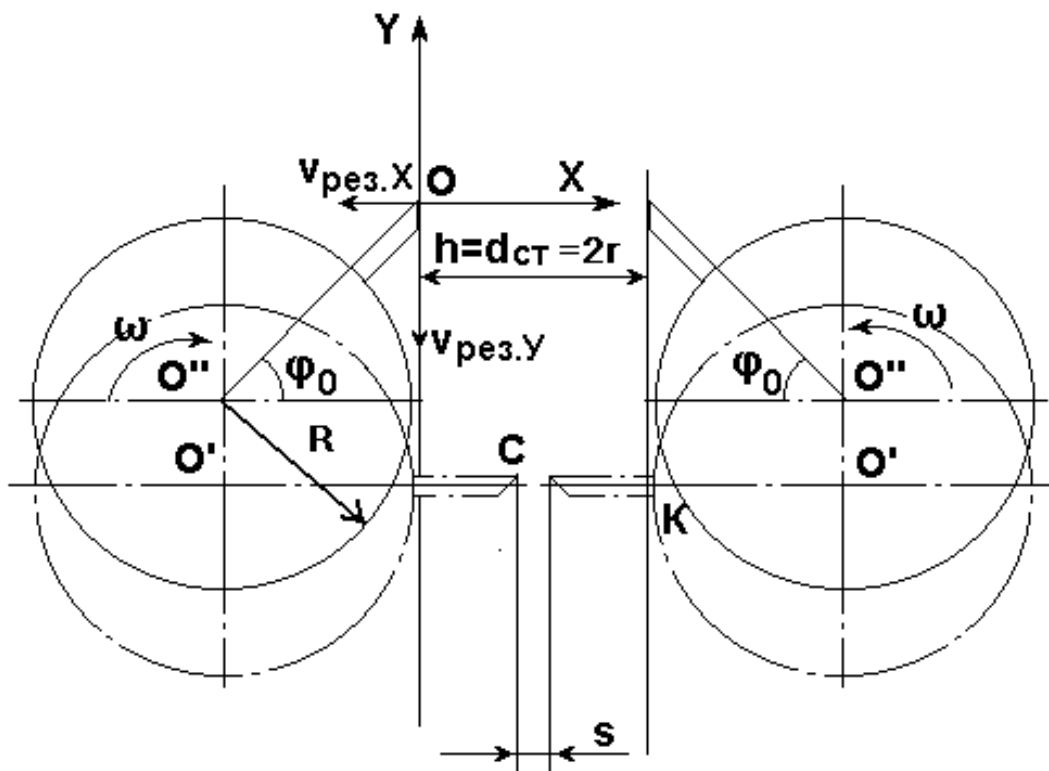


Рис. 2.6. Схема до визначення траєкторії руху вершин рифів вальцевого пристрою.

Як видно із запропонованої схеми (рис. 2.6), стебло надійно захоплюватиметься і протягуватиметься, при цьому значно знизиться інтенсивне обчісування листостеблової маси внаслідок гарантованого постійного кута протягування. Рівняння траєкторії крайньої точки рифа для лівого вальця в параметричній формі в нерухомих осях координат ox і oy запишеться в наступній формі:

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

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 є величиною, залежною від параметрів лез і взаємного розташування ножів ріжучої пари. Швидкість переміщення кромки леза в матеріалі є швидкістю різання v_{piz} , яка збігається з напрямом розрізу стебла і визначається дотичною до траєкторії руху кромки. По величині швидкість v_{piz} рівна похідній від шляху за часом, тобто

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

$$v_{piz.x} = \omega \cdot R \cdot \sin(\varphi_0 - \omega \cdot t);$$

де -
$$v_{piz.y} = \omega \cdot R \cdot \cos(\varphi_0 - \omega \cdot t) - r \cdot \omega. \quad (2.11)$$

Основним кінематичним параметром, що визначає якість виконання технологічного процесу є швидкість протягування стебла v_n . Від її величини залежить як продуктивність комбайна, так і травмування качанів. При малих частотах обертання вальців не буде забезпечена задана продуктивність, а

матимуть місце технологічні відмови у вигляді забивання вальців або пластин, а при великих значеннях швидкостей, тобто при динамічній взаємодії качана з пластиною (ударних навантаженнях), матиме місце вилущування зерен і пружне відскакування качана від стріперних пластин.

Надійна робота качановідокремлювального апарату, що виключає його забивання, обумовлюється наступною умовою:

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

де q_n - питома подача рослинної маси до вальців, $кг/с$;

q_{np} - маса протягнутого рослинного шару качановідокремлювальним апаратом в одиницю часу, $кг/с$;

Секундну подачу рослин q_n визначимо з виразу:

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

де i - число рядків, що збирає комбайн;

b_p - ширина міжряддя, $м$;

U - урожайність рослинної маси, $кг/га$;

v_k - робоча швидкість руху комбайна, $м/с$.

Згідно проведених досліджень [38] і [48] приймаємо, що для надійної роботи жатної частини, швидкість протягування v_n рослинного шару качановідокремлювальним апаратом повинна перевищувати швидкість руху комбайна по полю в 1,5 разів, тобто:

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

Підставляючи (2.14) в (2.13) отримаємо:

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

Отже, виходячи з виразу (2.15), для стійкої роботи качановідокремлювального апарату, колова швидкість протягувальних вальців v_n має складати:

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

де γ_{max} - щільність стебла в зоні протягування;

ε - коефіцієнт, що враховує використання довжини вальців або пластин;

η - коефіцієнт буксування, рівний 0,9 [4, 65].

Реальна швидкість протягування стебла між вальцями з урахуванням коефіцієнта η буде рівна:

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

Травмування качанів при зустрічі ізстриперними пластинами качановідокремлювального апарата буде виключено, якщо

$$v_{доп} \geq v_{np}. \quad (2.18)$$

де $v_{доп}$ - допустима швидкість протягування, при якій качан не травмується.

Для уточнення значень допустимої швидкості протягування при відокремленні качанів в реальних умовах необхідне проведення додаткових експериментальних досліджень.

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

Дослідження процесу руху качана на цій ділянці необхідне для з'ясування можливих варіантів відокремлення качанів від стебел. Зокрема, в роботах [33, 39, 40, 42] встановлено, що відокремлення качанів можливе внаслідок виникаючих інерційних сил.

Достатньо обґрунтований в роботах [3, 33] процес відокремлення, в основі якого забезпечення умов незатискання качана між поверхнями, проте відокремлення, пов'язане з ударом, не знайшло достатнього відображення в опублікованих теоретичних дослідженнях. Ударне явище по своїй дії неоднозначне, оскільки воно зумовлюється фізико-механічними властивостями качана, його траєкторією руху на ділянці S і дією сил на качан до і після удару.

Розглянемо найбільш типовий варіант відділення при режимі сталого руху, коли качан знаходиться на умовно безкінечному стеблі і здійснює рух на

передавальній ділянці $L_{СП} - L_{ОП}$ (рис. 2.7). Вважаючи, що траєкторія точки B мало відрізняється від прямої, переносний рух качана прийемо прямолінійним, з постійною швидкістю v_{np} , а відносний рух - обертання навколо точки B під дією сили тяжіння G . Кутову швидкість у відносному русі визначимо з умови рівності потенційної і кінетичної енергії [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 з плодоніжкою, або відстань від центру маси до точки B , мм;

α_0 - кут відхилення плодоніжки від вертикалі, град.

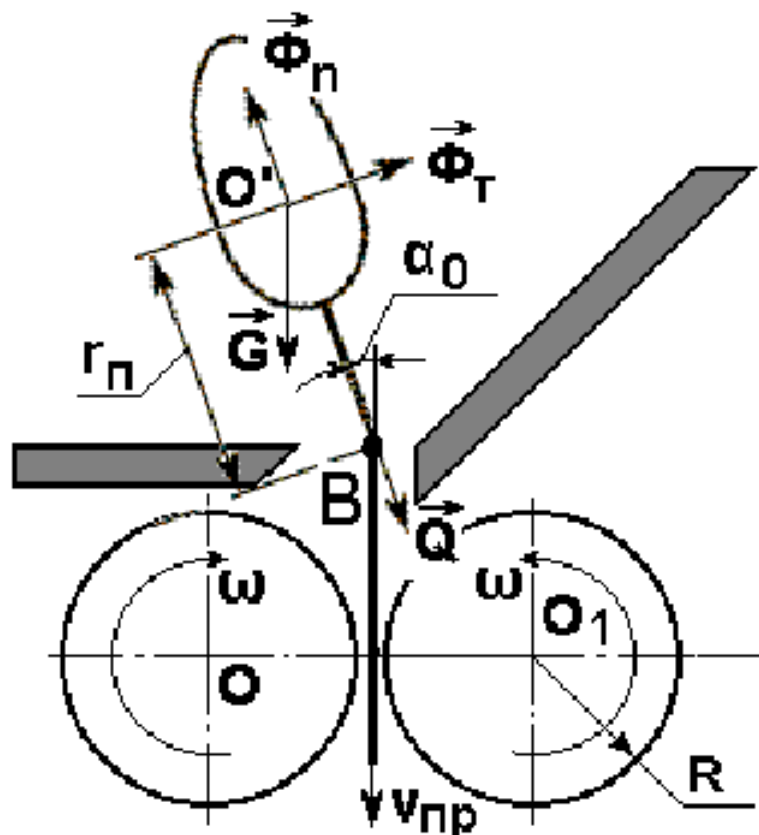


Рис. 2.7. Схема дії сил на качан при його русі в сталому режимі.

Проектуючи сили (рис. 2.7.) на напрям $\overset{1}{Q}$, отримаємо:

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

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 $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}$.

Аналізуючи рівняння (2.22), можна зробити висновок, що при русі качана на ділянці $L_{СП} - L_{ОП}$ до його контакту з робочою зоною стріперних пластин, зусилля, що виникають в плодоніжці, недостатні для його відривання, оскільки вага качана майже в 3 рази менша зусилля відривання $P_{роз}$ плодоніжки.

Якщо довжина ділянки $L_{СП} - L_{ОП}$ і маса качана виявляться такими, що качан встигне зайняти вертикальне положення, а кут нахилу стріперної пластини α_0 щодо горизонталі буде рівний нулю, то відбудеться центральний удар між качаном і стріперною пластиною.

Перед ударом лінійна відносна швидкість центра мас качана v_r буде рівна, 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 ударом буде рівною векторній сумі швидкостей протягування і центра мас

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

Кількість руху качана до удару і після нього виразимо через модулі векторів кількостей руху $\overset{1}{K}_1$ і $\overset{1}{K}_2$ (рис. 2.8)

$$\overset{r}{K}_1 = \frac{\overset{1}{G}}{g} \overset{r}{v}_a = \frac{\overset{1}{G}}{g} (\overset{r}{v}_{np} + \sqrt{2g \cdot r_n}). \quad (2.26)$$

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

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

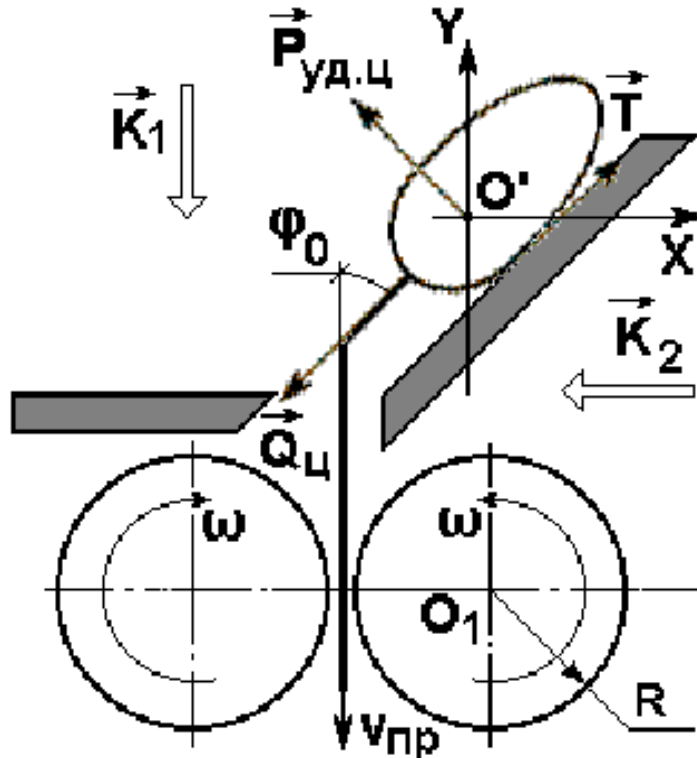


Рис. 2.8. Схема процесу відокремлення качана при центральному ударі.

У момент взаємодії качана із стріперними пластинами в сталому режимі протягування на нього діють сила удару $P_{уд.ц}$ і виникаюча сила тертя T . Так як плодоніжка качана не є абсолютно пружною, необхідно передбачити зусилля її натягнення $Q_{ц}$. При цьому відривання качана забезпечуватиметься при виконанні наступної умови $Q_{ц} \geq P_{відр}$. Нехтуючи сили тяжіння качана, відповідно до теореми про зміну кількості руху [45], отримаємо векторне рівняння:

$$\overset{I}{K}_2 - \overset{I}{K}_1 = (\overset{I}{P}_{уд.ц} + \overset{I}{T} + \overset{I}{Q}_{ц}) \cdot t_{уд}, \quad (2.28)$$

де $t_{уд}$ - час удару качана, с;

T - сила тертя качана по поверхні стріперних пластин, Н;

$Q_{ц}$ - зусилля натягу плодоніжки, Н.

Проектуючи цю векторну рівність на осі X і Y , отримаємо систему двох рівнянь з двома невідомими:

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

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

де $T = P_{y\delta,u} \cdot f$, а f - коефіцієнт тертя ковзання качана g_j поверхні пластини.

Вирішуючи ці рівняння, знаходимо силу натягу плодоніжки, H :

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

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

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

Якщо качан не зайняв до удару вертикального положення, то його удар по стріперній і похилій пластині буде косим з поворотом навколо точки защемлення, але сила цього удару буде значно меншою ніж при центральному.

2.5. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз основних етапів технологічного процесу качановідокремлювальної частини кукурудзозбирального комбайна дозволив виділити 5 основних зон: орієнтації стебла кукурудзи; захвату стебла подавальним ланцюгом з лапками; зрізування рослини, вільного протягування стебла; відокремлення качанів і їх транспортування.

2. При теоретичному дослідженні процесу взаємодії качана із стріперними пластинами качановідокремлювального апарату визначено чотири характерні варіанти відокремлення: за рахунок виникаючих інерційних сил, центрального і косоного удару, защемлення качана між пластинами.

3. Теоретичні дослідження кінематичних режимів нового пікерно-стриперного качановідокремлювального апарату дали можливість отримати аналітичні залежності, які дозволяють перейти до визначення параметрів робочих органів: діаметру протягувальних вальців D_e (2.4) і (2.5); зазору між рифами протягувальних вальців S (2.9); кута нахилу стриперної пластини α (рис. 2.3).

4. Теоретичний аналіз протягування стебла пікерними вальцями в режимі сталого руху дав можливість визначити швидкість протягування стебел, допустимих зусиль протягування, при яких мінімізується порушення виконання технологічного процесу.

5. В результаті теоретичних досліджень виявлена недостатність інформації про рядмеханіко-технологічних властивостей рослин і качанів кукурудзи, що вказує на необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень для визначення коефіцієнта відновлення качана при ударі, стійкості його до сприйняття ударних і статичних навантажень, залежності деформації стеблавід докладеного зусилля, зусилля різання стебла.

3. Програма і методика експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату

3.1. Програма експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися в 2 етапи. На першому етапі були досліджені фізико-механічні характеристики рослин кукурудзи і їх складових. На другому етапі проводилися дослідження технологічного процесу відділення качанів від стебел на оригінальній експериментальній установці в лабораторних умовах.

У програмі експериментальних досліджень передбачалося:

- визначення фізико-механічних властивостей рослин кукурудзи в період прибирання;
- дослідження впливу режимів роботи качановідокремлювального пристрою на втрати качанів, їх травмування, характер відділення, ступінь обчісування листостеблової маси;
- оцінка впливу параметрів взаємного розташування робочих органів і режимів роботи на показники якості виконання технологічного процесу відділення качанів.

3.2. Методика експериментальних досліджень

3.2.1. Загальна методика досліджень. Для визначення основних характеристик рослин кукурудзи використовувалися відомі методики та обладнання. В основу методики визначення розмірно-масових і фізико-механічних параметрів покладені рекомендації [9, 24, 28, 65], а також конкретні умови проведення дослідів з розробкою і виготовленням необхідних приладів і пристроїв.

Для отримання достатньо точної інформації про параметри об'єктів, що вивчаються, дотримувалася головна вимога вибірових спостережень: кожен член вибірки відбирався із загальної сукупності випадково. Результати

досліджень кожного значення ознаки x_i заносилися в журнал лабораторних спостережень, групувалася у варіанти x_k в порядку зростання з вказівкою числа повторень $I_{(i)}$ ознаки. Крайні значення позначені як x_{min} і x_{max} . Згідно рекомендацій [24, 46] проводилася статистична обробка та оцінка похибок отриманих результатів, при цьому показник похибок не повинен перевищувати 4,0%. Всі розрахунки виконувалися з використанням табличного процесора «Excel» і приведені в таблицях додатків.

Для розрахунку кінематичних і динамічних параметрів пікерно-стриперного качановідокремлювального апарату значний інтерес представляють такі показники, як залежність травмованості качанів від прикладеного зусилля, коефіцієнт об'ємного зім'яття стебла і качана, залежність зусилля відокремлення качана від стебла при різних кутах прикладання сили, питомий опір зламування і зрізування плодоніжки. Для математичного опису досліджуваних залежностей використовувався метод найменших квадратів з подальшою перевіркою отриманої функціональної залежності на адекватність з використанням критерію Фішера [9, 46].

Визначення чинників, що впливають на хід виконання технологічного процесу відокремлення качанів від стебел здійснювалося методом експертної оцінки («психологічний експеримент») з подальшим аналізом діаграми ранжування чинників [46]. Метод психологічного експерименту зводиться до того, що його учасникам, які працюють в різних напрямках даної галузі, пропонується розташувати чинники, що діють на об'єкт, в порядку зниження величини вагомості впливу на критерій оптимізації, тобто необхідно провести ранжування потенційно можливих чинників, приписавши їм порядкові номери (ранги) $1, 2, 3, \dots, k$.

Перед початком експерименту необхідно по можливості вибрати всі чинники, що впливають на процес качановідокремлення і вказати межі їх варіювання [7, 37, 46].

З метою скорочення об'єму експериментальних досліджень, зменшення числа переналадок лабораторної установки, кількості її робочих органів, а

також отримання об'єктивної необхідної інформації про залежність величини втрат качанів і їх травмованості, чистоти вороху качанів від одночасної зміни декількох кінематичних режимів, нами було використано трирівневе D - оптимальне планування другого порядку Бокса для п'яти незалежних чинників.

Методика планування експерименту і обробки експериментальних даних досить добре і в повному об'ємі викладена в спеціальній літературі [7, 9, 24, 46], тому в даній роботі приводиться лише опис використовуваних планів і послідовність регресійного і статистичного аналізу отриманих математичних моделей.

Основними критеріями оптимізації за якими оцінювалася якість виконання технологічного процесу були: величина травмованості качанів (ТП), втрати качанів при збиранні (ПП) і засміченість вороху качанів (ЗВ). Їх значення повинні задовольняти наступним умовам:

- величина травмованості качанів повинна наближатися до мінімального значення, тобто $ТП \rightarrow 0$;

- втрати качанів при збиранні не повинні перевищувати 1,5% згідно агротехнічних вимог [1, 49];

- величина засміченості вороху качанів повинна наближатися до мінімального значення, тобто $ЗВ \rightarrow 0\%$.

Для кожного дослідження відбиралося 100 стебел кукурудзи з повноцінними качанами, після проведення дослідження визначалися відібрані навішування і зважувалися, значення яких заносилися в журнал лабораторно-польових спостережень. Величини травмованості качанів, їх втрат, а також чистота вороху качанів визначалися на завершальному етапі кожного дослідження.

Для визначення травмованості качанів зважувалася вся маса навішування готової продукції $m_{(ВП)}$. Після чого відбиралися травмовані качани і визначалася їх маса $m_{(ТП)}$. До травмованих відносилися качани з вилущеним та травмованим зерном. Травмування качанів розраховувалося за формулою:

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

Для визначення втрат качанів, зважувалися качани, що потрапили в бункер $m_{(ПБ)}$ і качани, що залишилися на полі $m_{(ПП)}$, як на рослинах, так і на землі. Втрати качанів розраховувалися по формулі:

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

При визначенні забрудненості вороху качанів, на виході відбиралася готова продукція, після чого проводилося зважування окремо качанів $m_{(П)}$ і домішок листостеблової маси $m_{(ПП)}$. Забрудненість вороху розраховувалася по формулі:

$$ЗВ = \frac{m_{(П)}}{m_{(П)} + m_{(ПП)}} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

Після проведення дослідів і визначення основних показників якості виконання технологічного процесу, кінцевою метою експериментальних досліджень було рішення компромісної задачі, при якій на екстремальне значення одного із критеріїв оптимізації можливе накладення обмежень з боку двох інших. Для оптимізації технологічного процесу необхідно знайти математичні моделі, що описують вибрані критерії оптимізації, встановити їх оптимальне співвідношення. Це завдання відноситься до завдань нелінійного програмування і може бути представлена у вигляді [46]:

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

при $ТП \rightarrow 0$; $ПП \leq 1,5\%$; $ЗВ \rightarrow 0$.

де n - число незалежних чинників;

$B_0 \dots B''_{ij}$ - теоретичні оцінки коефіцієнтів математичної моделі.

Визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів отриманих поліномів (3.4) проводилося за відомими формулами [24]. Для визначення адекватності математичних моделей розраховувалося значення відгуку \bar{Y} у кожній точці

факторного простору $(X_0...X_{ij})$, де проводився експеримент, і обчислювалося значення дисперсії адекватності σ_n . Адекватність рівнянь регресії, що описують технологічний процес, визначалася за критерієм Фішера.

3.2.2. Методика досліджень коефіцієнта відновлення качана. На сьогоднішній день в літературних джерелах відсутні такі показники, як залежність сили відриву качанів від кута її прикладення, стійкість качанів до сприйняття ударних навантажень, коефіцієнти відновлення качанів при ударі, стійкість до руйнування плодоніжок залежно від моментів, що їх вигинають. Це пов'язано з тим, що вивченню фізико-механічних властивостей кукурудзи в світовій практиці приділялася недостатня увага. Для визначення цих показників використовувались оригінальні методики.

В процесі збирання кукурудзи на зерно, при виконанні технологічного процесу відокремлення і транспортування качанів, вони можуть піддаватися ударним навантаженням з боку окремих елементів конструкції кукурудзозбиральних машин. Для дослідження даного процесу, з метою визначення пружності ударів нами проведені досліди з визначенням коефіцієнтів відновлення качанів. Як відомо [4, 65], знаючи кут відбивання β можна визначити коефіцієнт відновлення R , зокрема, коефіцієнт відновлення експериментально визначається наступним чином

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

де h_1 - висота падіння качана, м;

h_2 - висота відбивання качана від поверхні, м.

Перетворивши формулу (3.5) стосовно умов проведення досліджень і схеми приладу отримаємо

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

де β - кут відбивання качана від досліджуваної поверхні.

3.2.3 Методика досліджень опору качанів дії ударних навантажень.

Під час протягуванні стебла пікерними вальцями, відокремлення качанів супроводжується ударом останніх по стріперних пластинах, внаслідок чого качани в більшості випадків травмуються. Вивчення опору качанів дії ударних навантажень проводилося з метою визначення допустимих навантажень, які не приводять до травмування качанів. Опір качанів ударним навантаженням визначався по відомій методиці [49] при падінні качана на досліджувану поверхню.

Після визначення середньостатистичного значення допустимої висоти падіння h розраховувалося значення критичної швидкості зіткнення качана $v_{кр}$ з поверхнею, що вивчалася. Критична швидкість зіткнення без урахування опору повітряного середовища визначалася за формулою [28], м/с:

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

Тобто критична швидкість визначалася як $v_{кр} = f(h)$. Розрахункова схема з напрямками сил, що діють на качан, представлена на рис. 3.1, де качан розглядався як еліпсоїд правильної форми масою $m_{п}$, діаметром $D_{п}$ і довжиною $L_{п}$.

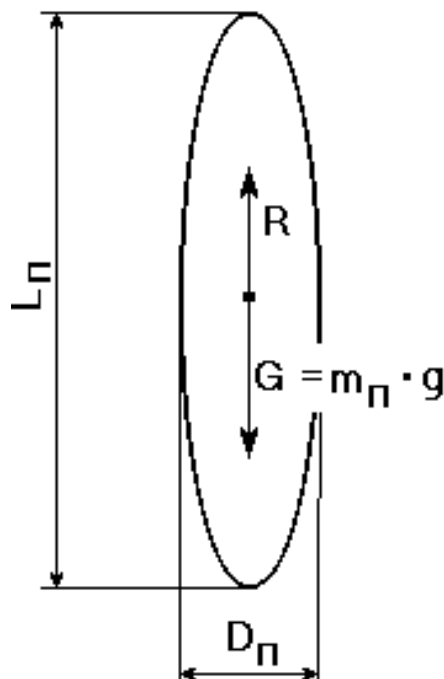


Рис. 3.1. Схема сил, що діють на качан.

3.2.4. Методика визначення опору качанів статичному стискуванню.

Стискуюче навантаження F_{cm} , що фактично діє на качан, розраховувалося за виразом

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

де m - маса вантажів, встановлених на тарілці, кг;

l_1 - відстань від тарілки з вантажами до осі гойдання коромисла, м;

l_2 - відстань від встановленого на платформі качана до осі гойдання коромисла, м.

При проведенні досліджень стискуюче зусилля прикладалося в двох напрямках: у напрямі, що співпадає з віссю качана (осьове стискування) і в напрямі, перпендикулярному їй (радіальне стискування). При цьому отримували залежність деформації качана Δ від прикладеного зусилля F_{cm} , яка має вигляд - $\Delta = f(F_{cm})$.

3.3. Прилади й обладнання

Для визначення коефіцієнта відновлення качана використовувався оригінальний прилад, схема якого приведена на рис. 3.2. Прилад складається із сталевого стрижня 2 із затиском 3 на одному кінці, який вільно обертається у вертикальній площині на осі 1. Кут відхилення стрижня від вертикалі визначався за шкалою транспортира 4. Всі деталі приладу змонтовані на штативі 5.

Для визначення сили зчеплення качана із стеблом використовувався спеціальний прилад за принципом дії аналогічний екстензометру ЕТ-5 [65]. Загальний вид приладу представлений на рисунку 3.3. Прилад складається зі встановлених на підставці 1 стійки 2, в середині яких є трубчасті направляючі 3, з'єднані поперечиною 4. На стійках 2 шарнірно змонтована плита 5, кут нахилу якої регулюється, і його величина визначається за шкалою 6. На поперечині 4 є гвинт 7, на нижній частині якого закріплена тарілка 8 і є можливість установки тягового гвинта 9 з динамометром 10.

Крім того, поперечина 4 має гніздо 11 з фіксатором 12 для кріплення стрілочного індикатора 13, за шкалою якого визначається величина деформацій. Шток індикатора взаємодіє з тарілкою 8. Нульові покази індикатора, що відповідають початку навантаження, встановлюються переміщенням тарілки 8 по різьбі гвинта 7.

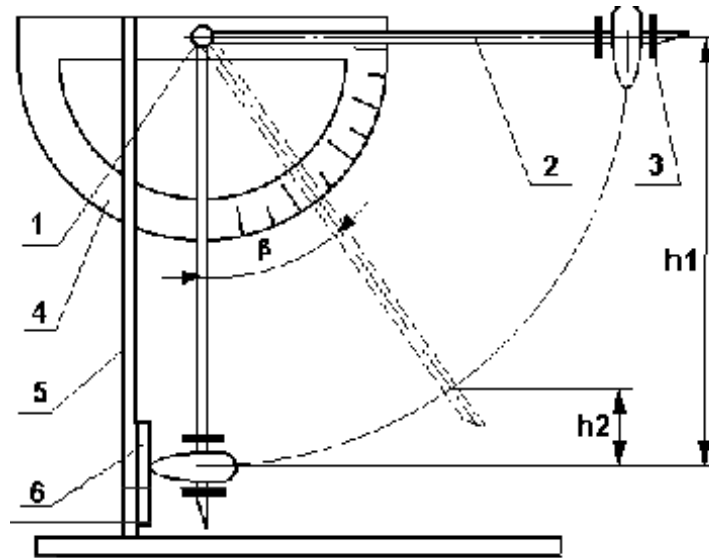


Рис. 3.2. Схема для визначення коефіцієнта відновлення.

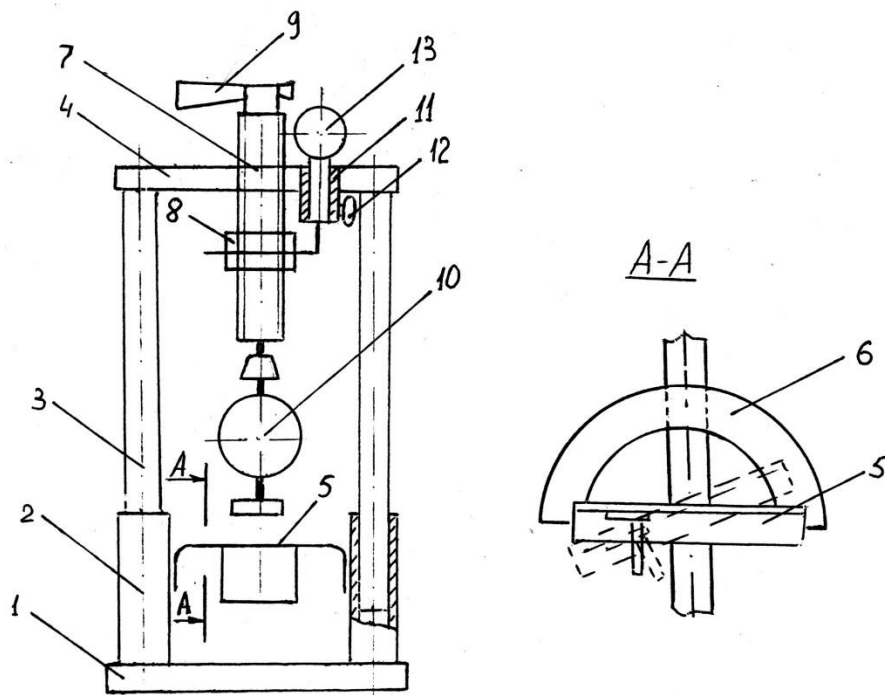


Рис. 3.3. Схема приладу для визначення зусилля відокремлення качана.

Качан із залишком стебла встановлювався під нижню поверхню плити 5, при цьому стебло пропускалося через спеціальний проріз, а сам качан бічною поверхнею орієнтувався по поверхні плити. Обертанням гвинта 7 стебло навантажували до його відриву від качана; при цьому визначалася сила зв'язку стебла з качаном. Зміна напрямку прикладеного зусилля здійснювалася поворотом плити 5 на відповідний кут (кути прикладення сили змінювалися від 0° до 90°).

Для визначення опору качанів і стебел статичному стискуванню використаний прилад Знаменського, що складається із закріплених на підставці 1 стійки 2, на яких встановлено коромисло 3, підвішене на цапфах 4. Коромисло містить стискуючу пластину 5 і тарілку для вантажів 6, яка може переміщатися по довжині коромисла і встановлюватися у фіксованих положеннях. Качан встановлювався на регульовану по висоті платформу 7. Величина деформації визначалася за стрілковим індикатором 8 і штангенциркулем 9, закріпленим на стискуючій пластині. Зміна навантаження здійснювалася збільшенням числа важків, встановлених на тарілці 6 або її переміщенням по довжині коромисла. Балансирами 10 урівноважуються коромисла при установці нульового значення зусилля стискування на початку навантаження. Схема приладу представлена на рис. 3.4.

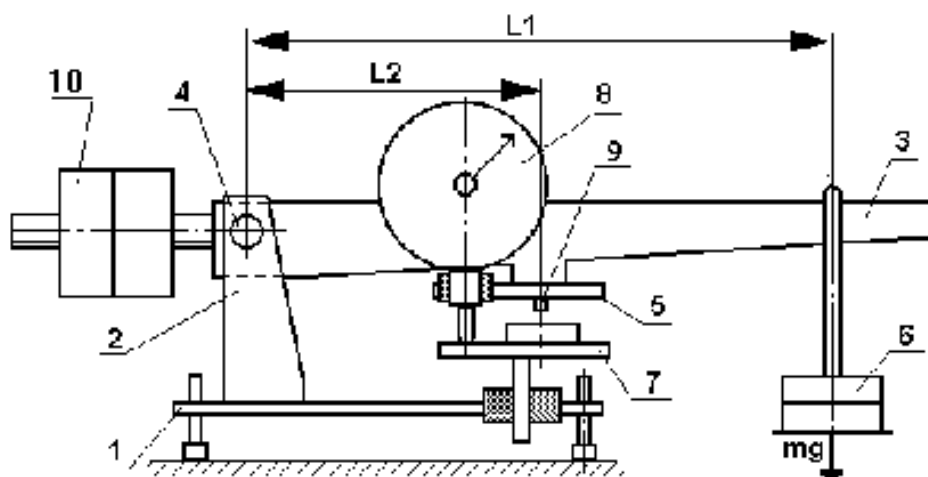


Рис. 3.4. Схема приладу для дослідження дії на качани стискуючих статичних навантажень.

Для визначення сили різання плодоніжок в статичних умовах застосовувався прилад, конструктивна схема якого приведена на рис. 3.4, з деякими змінами. Замість платформи 7 встановлювалася плита з прорізом для ножа і затискачами для плодоніжки. На стискувальну пластину 5 встановлювалися ножі з різними кутами заточування (45° , 65° , 75°). Для експерименту підбиралися плодоніжки середнім діаметром 12...15 мм. Плодоніжка поміщалася над прорізом і фіксувалася за допомогою затискачів. В процесі вантаження коромисла ніж проникав в плодоніжку, а докладене зусилля відповідало зусиллю різання.

4. Результати експериментальних досліджень качановідокремлювального апарату

4.1. Результати дослідження властивостей рослин кукурудзи

4.1.1. Розмірно-масові характеристики. Досліджувалися сорти кукурудзи «Дніпровський 281 ТБ» і «Жеребковський 90 МВ». Кукурудза на зерно вирощувалася на ділянках площею від 50 до 220 гектарів з дотриманням агротехніки, за індустріальною технологією, з міжряддям 70 см і густиною рослин 55... 62 тисяч штук на гектар.

Сорт кукурудзи «Дніпровський 281 ТБ» - середньо стиглий, високо врожайний і перевищує стандарти по врожайності на 6-8 центнерів з гектара. Висота стебла 220...240 см, кущуватість слабка, стійкість до вилягання і ламкості стебла висока. Сорт кукурудзи «Жеребковський 90 МВ» - середньостиглий, високо врожайний, перевищує стандарти по врожайності на 2...3 центнери з гектара. Висота стебла 200...220 см, стійкість до вилягання задовільна. Висота розташування качанів 80...88 см. Качан слабо конусоподібної форми, завдовжки 18-20 см, кількість рядів зерен 14...16, діаметр качана в середній частині 40 мм. Довжина плодоніжки 17 см, діаметр 14 мм. Зерно зубовидне, жовтого кольору, маса 1000 зерен 300-320 гр. Висота рослин, висота кріплення качана, відхилення стебел від осі рядка і їх полеглість, обвисання качанів визначалася за допомогою рейки, рулетки та транспортира. Узагальнені статистичні показники проведених вимірювань зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Розмірні характеристики 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

Аналізуючи результати (табл. 4.1.), можна відзначити, що досліджувані параметри варіюють в досить широких межах, особливо це стосується відхилення стебел від осі рядка. В окремих випадках цей показник склав 100 мм, хоча величина відхилення стебел від середньої лінії рядка більше 20 мм приводить до підвищення втрат при збиранні.

Після статистичної обробки результатів досліджень нами отримані залежності полеглості рослин *ПЛ* і обвисання качанів *ОП* від тривалості збирання *Д*, графічна інтерпретація яких приведена на рис. 4.1. та рис. 4.2.



Рис. 4.1. Залежність полеглості стебел від тривалості збирання:
ряд 1 - сорт Дніпровський 281 ТБ; ряд 2 - сорт Жеребковський 90 НВ.

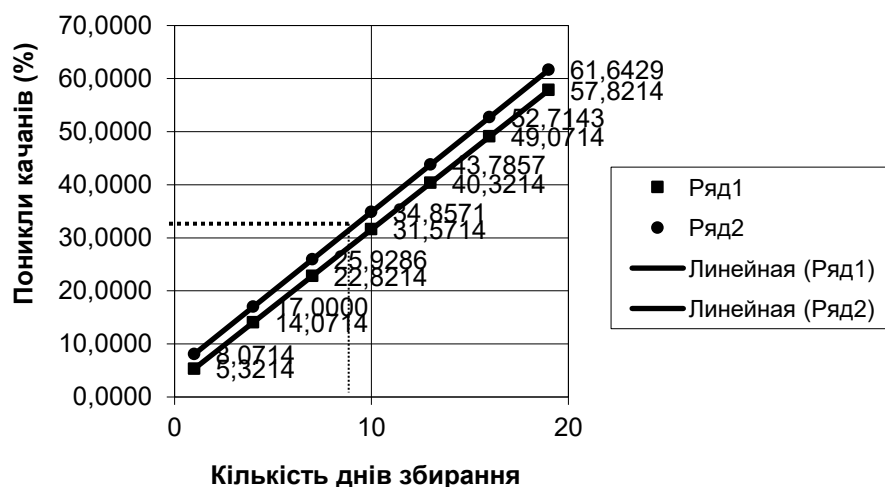


Рис. 4.2. Залежність ступеня обвисання качанів від тривалості збирання.

Аналізуючи отримані залежності можна відмітити, що у досліджуваних сортів кукурудзи стійкість до вилягання висока, проте із затягуванням термінів збирання, показники полеглості і обвисання качанів значно збільшуються. Так через 10 днів після повного дозрівання кількість полеглих рослин збільшується до 11...15%, а кількість обвислих качанів на кут $90^\circ \dots 180^\circ$ збільшується до 31...35%.

На рис. 4.3 приведена схема визначення розмірних параметрів качана та плодоніжки, узагальнені статистичні показники їх досліджень зведені в таблицях 4.2 і 4.3.

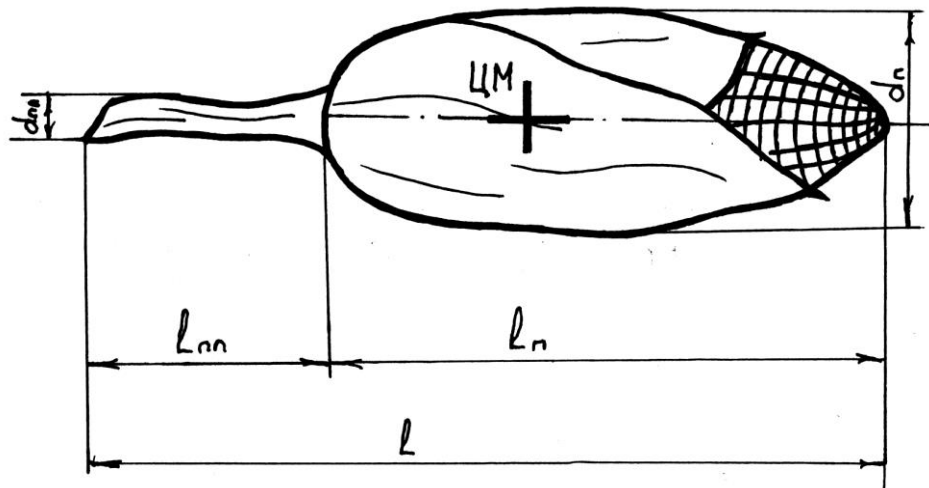


Рис. 4.3. Схема визначення розмірних параметрів качана і плодоніжки

Таблиця. 4.2.

Розмірні характеристики качанів

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.

Розмірні характеристики плодоніжки

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

Аналізуючи отримані дані (табл. 4.2. і 4.3.), слід відмітити, що розмірні параметри як качанів, так і плодоніжок коливаються в досить широких межах, що значно впливає на конструктивні параметри качановідокремлювальних систем і надійність технологічного процесу.

4.1.2. Фізико-механічні характеристики качанів і листостеблової маси. Величини коефіцієнтів тертя неможливо визначити безпосередніми вимірюваннями, тому в досліді визначалася величина кутів ковзання. У якості поверхні тертя вибиралися металева, гумова і пластмасова пластини. Досліди проводилися на приладі конструкції Щучкіна [65]. Узагальнені результати досліджень, при різній вологості зведені в таблицях 4.4. і 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

**Значення кутів і коефіцієнтів тертя ковзання складових рослини
(при вологості качанів 15%, 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

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновки, що у всіх елементів рослини найбільш високих значень коефіцієнтів тертя набуті по гумі, найменші по пластині поліамід 4. Залежно від вологості досліджуваного матеріалу значення коефіцієнтів тертя зменшуються з її зниженням по всіх поверхнях.

Результати визначення коефіцієнтів відновлення качанів кукурудзи при ударі після їх статистичної обробки приведені в таблиці 4.6.

Згідно отриманих даних можна зробити висновки, що із зменшенням вологості коефіцієнт відновлення качанів знижується по всіх поверхнях зіткнення. Це пояснюється тим, що із зменшенням вологості втрачаються пружні властивості качанів. Середні значення коефіцієнтів відновлення зменшилися з 0,389 до 0,221 при зіткненні із сталеву пластину з 0,529 до 0,425 при зіткненні з гумовою поверхнею.

Кути відбивання і коефіцієнти 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

Проведені дослідження зусиль відривання качанів дозволили зробити висновки, що вони варіюють в широких межах від 0,3 до 0,64 кН. При збільшенні кута нахилу до 90°, зусилля знижуються до 0,13...0,14 кН. Біля 84% руйнування зв'язку "плодоніжка-качан" відбувається в перетині в зоні основи качана. Графічна інтерпретація результатів дослідження представлена на рис. 4.4. і 4.5.

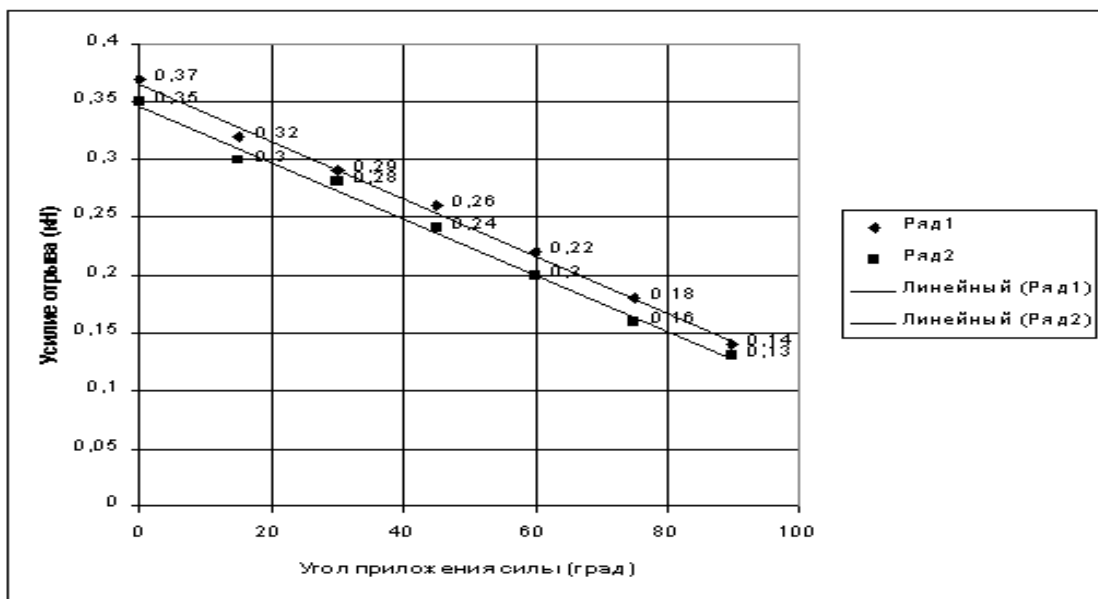
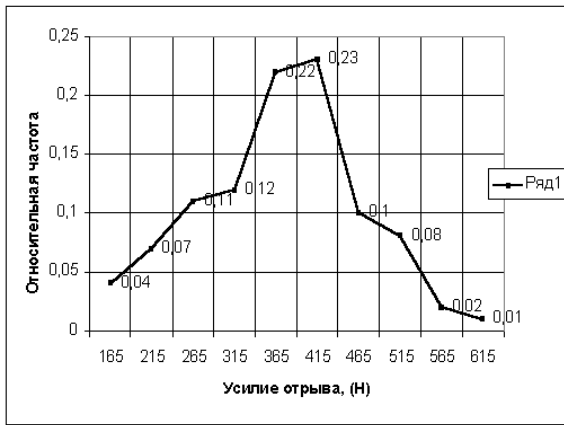
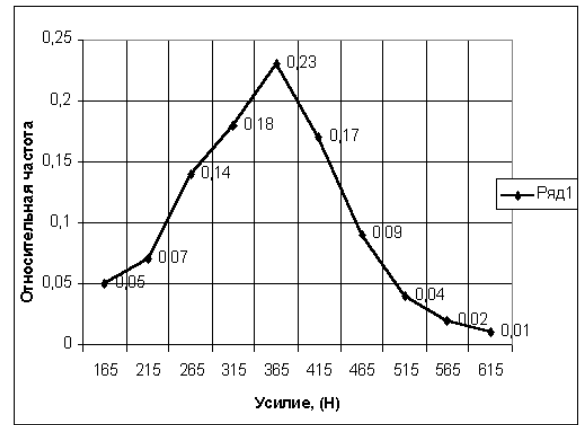


Рис. 4.4. Залежність сили відривання качана від кута її прикладення: ряд 1 - сорт Дніпровський 281 ТБ; ряд 2 - сорт Жеребковський 90 МВ.



а)

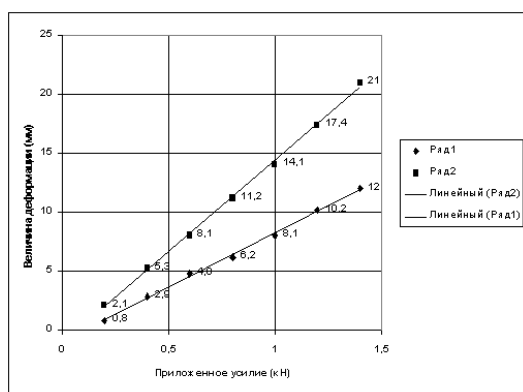


б)

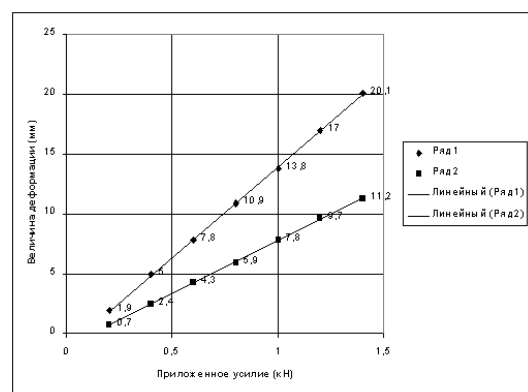
Рис. 4.5. Варіаційні криві зусиль відривання качана від плодоніжки при куті прикладання сили 0° :

а) - сорт Дніпровський 281 ТБ; б) - сорт Жеребковський 90 МВ.

Графічна інтерпретація результатів досліджень опору качана стискаючим навантаженням приведена на рис. 4.6. На підставі проведених досліджень встановлено, що качан при статичному навантаженні в радіальному напрямку володіє високим опором стискуванню. Стискування качана не викликає пошкодження зерен і залишкової деформації при зусиллях до 0,4 кН. Стискування качана силою до 0,8 кН супроводжується помітною залишковою деформацією і вилуццюванням зерен. Подальше збільшення сили стискування збільшує вилуццювання зерен, а при зусиллях 1,38-1,40 кН качан розколюється в поздовжньому напрямку.



а)



б)

Рис. 4.6. Залежність деформації качанів від прикладеного зусилля:

а) - сорт Дніпровський 281 ТБ; б) - сорт Жеребковський 90 МВ.

ряд 1 - осьове стискування; ряд 2 - радіальне стискування

Дослідження зусилля зрізу плодоніжки показали, що зусилля для відділення качана буде мінімальним при вигині плодоніжки. Це пояснюється тим, що у відмінності від простого розтягування, при вигині напруги в перетині розподіляються нерівномірно, і в місці, де концентрація напруги буде максимальною, відбувається руйнування. У літературних джерелах такий випадок не розглядався. Як об'єкт дослідження, використовувалися плодоніжки сорту Дніпровський 281 ТБ. Варіаційна крива, побудована за результатами досліджень, зображена на рис. 4.7. Середні значення експериментально отриманих даних сили різання $F_{різ}$ і розрахункової величини руйнівного напруження зведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7.

Зусилля зрізування плодоніжок

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

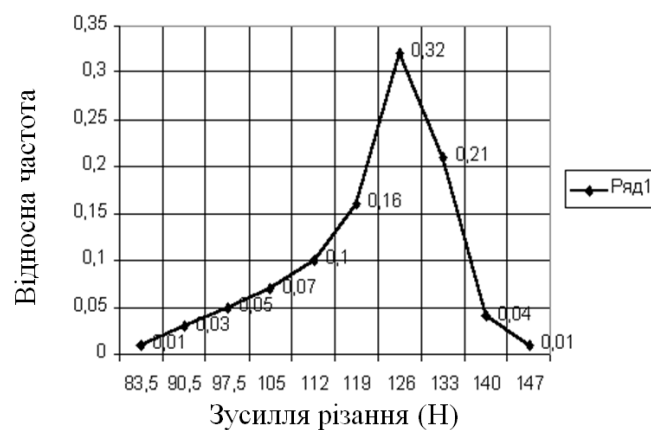


Рис. 4.7. Варіаційна крива розподілу зусиль різання.

Опір качанів дії ударних навантажень визначався за методикою наведеною в розділі 3, а критичні швидкості зіткнення качанів з матеріалом, що вивчався, визначені без урахування опору повітря і з його врахуванням приведені в таблиці 4.8.

**Критичні швидкості зіткнення качанів
з робочою поверхнею (сталева пластина), 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 видно з приведених даних таблиці 4.8, значення $v_{кр}$ для різних умов відрізняється менше ніж на 5%, тому надалі при розрахунках конструктивних і кінематичних параметрів опором повітря можна нехтувати.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновки про зниження стійкості качанів до ударних навантажень при досяганні повної стиглості. Така закономірність, при якій зерно з вищою ступеню стиглості здатне витримати менші ударні навантаження, пояснюється його пластичними властивостями, які поступово втрачаються з втратою вологи. В деяких випадках критична швидкість зіткнення не повинна перевищувати 4,2 м/с.

4.2. Експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів від стебел

4.2.1. Лабораторна установка. Лабораторна установка (рис. 4.8) - це кукурудзозбиральна приставка ППК-4-1 без подрібнювача і роторного різального апарату, яка жорстко встановлена на раму, оснащена одним експериментальним руслом і електроприводом. Живильний пристрій складається з скребкового транспортера, що рухається в горизонтальному напрямному жолобі, і до скребків якого жорстко кріпляться затискачі стебел кукурудзи. У приводі транспортера передбачено поєднання змінних зірочок ланцюгових передач для зміни швидкісних режимів роботи живильного

пристрою. Лабораторна установка імітує рух кукурудзозбирального комбайна по полю. Стебла кукурудзи кріпляться в затискачах транспортера живильного пристрою, при русі якого подаються в експериментальний качано-відокремлювальний апарат.

Швидкість руху транспортера регулюється в межах 1,8...10 км/год. Довжина робочої гілки транспортера складає 15 м, що дозволяє встановлювати одночасно до 100 стебел кукурудзи.

Встановлене експериментальне русло на лабораторній установці виготовлено на базі серійного і передбачає наступні конструктивні зміни:

- замість серійних протягувальних ребристих вальців з шістьма західними рифами використовувалися експериментальні, з шістьма торцьовими загостреними по всій довжині рифами, які працюють "риф в риф" і забезпечують надійне захвату стебел і їх протягування з постійним кутом;

- змінені стріперні пластини, одна з яких виконана із загостреною кромкою, друга оснащена регульованим гвинтовим механізмом, з можливістю установки під різними кутами (від 0° до 90°).

- над стріперними пластинами встановлений подавальний ланцюг з подовженими гумовими лапками по одному контуру з одного боку русла, який забезпечує надійне транспортування качанів і їх обертання під час відділення.



а)



б)

Рис. 4.8. Експериментальна лабораторна установка:

а) - загальний вид; б) - привід лабораторної установки.

Для дослідження основних кінематичних параметрів, що впливають на втрати качанів і їх травмування, а також чистоту вороху качанів, на

лабораторній установці передбачений ряд регулювань. Величина подачі рослин кукурудзи в експериментальне русло змінювалася за рахунок швидкості руху транспортера і кількості стебел на 1 погонний метр подавальної гілки живильного пристрою. Частота обертання протягувальних вальців змінювалася шляхом підбирання змінних зірочок на редукторі експериментального русла. Гвинтові механізми, встановлені під стріперною пластиною, дають можливість встановлювати її під різними кутами в діапазоні від 0° до 90° . Зміна кута заточування стріперної пластини проводилася за рахунок набору змінних пластин з різними кутами заточування їх кромки. Зазор між рифами змінювався за рахунок регулювального механізму русла.

В ході експериментальних досліджень нами була проведена оцінка залежності показників виконання технологічного процесу від величини подачі рослин кукурудзи, частоти обертання протягувальних вальців, кута нахилу однієї і кута загострення другої стріперних пластин, а також від зазору між рифами. Експериментальні дослідження проводилися на кукурудзі сорту Дніпровський 281 ТБ.

4.2.2. Результати експериментальних досліджень. Їх статистична і математична обробка приведені згідно методики, яка наведена в розділі 3. Після проведення "психологічного" експерименту в якості незалежних факторів вибрані наступні: X_1 - частота обертання протягувальних вальців; X_2 - подача рослинної маси (швидкість руху комбайна); X_3 - кут нахилу однієї стріперної пластини; X_4 - кут загострення другої стріперної пластини; X_5 - зазор між рифами протягувальних вальців. Реалізація плану експериментів і статистична обробка експериментальних даних на ПЕОМ дали можливість отримати математичні моделі, що описують технологічний процес качановідокремлення. Рівняння регресії після їх спрощення мають вигляд:

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

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

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

Після статистичної обробки, згідно [49], аналіз отриманих рівнянь регресії проводили із закодованими величинами незалежних факторів з використанням методу двомірних перетинів поверхонь відгуку показників якості технологічного процесу.

Аналізуючи отримані рівняння (4.1...4.3) можна зробити висновки, що на якість технологічного процесу найбільшою мірою впливають частота обертання протягувальних вальців (X_1), кут нахилу стріперної пластини (X_3), кут загострення стріперної пластини (X_4). Про це свідчать найбільші значення коефіцієнтів при цих чинниках в рівняннях регресії. Найбільше значення коефіцієнтів має частота обертання протягувальних вальців, тому для ретельнішого вивчення нами проведений аналіз поєднання цього фактора з рештою всіх факторів. Прирівнюючи до нуля значення зазору між рифами X_5 і кута нахилу стріперної пластини X_3 отримаємо

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

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

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

Проте отримані рівняння не піддаються канонічному перетворенню, оскільки вони мають по одному "зайвому" фактору. Тому для подальших перетворень прирівнюємо значення кута загострення пластини X_4 до значення рівного -1 , після чого рівняння регресії наберуть вигляду:

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

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

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

Вирішуючи системи рівнянь по кожній з математичних моделей, визначимо координати центрів поверхонь відгуку по кожному з критеріїв оптимізації і значення цільової функції в знайденому центрі Y_s :

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

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

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

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

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

Зокрема, для показника травмованості качанів отримаємо: $X_{1s} = 0,045$; $X_{2s} = 0,948$; $\alpha = 10,7^\circ$; для втрат качанів: $X'_{1s} = -0,75$; $X'_{2s} = -0,05$; $\alpha = 0,0^\circ$, для забрудненості вороху $X''_{1s} = 0,579$; $X''_{2s} = 0,344$; $\alpha = 4,3^\circ$.

Послідовно змінюючи поєднання незалежних факторів, а також провівши аналогічні наведеним вище розрахунки, будували графічні інтерпретації двомірних перетинів відгуків відповідно з поєднуваними чинниками. Двомірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні факторів X_1 і X_2 та X_1 і X_3 приведені на рисунку 4.9.

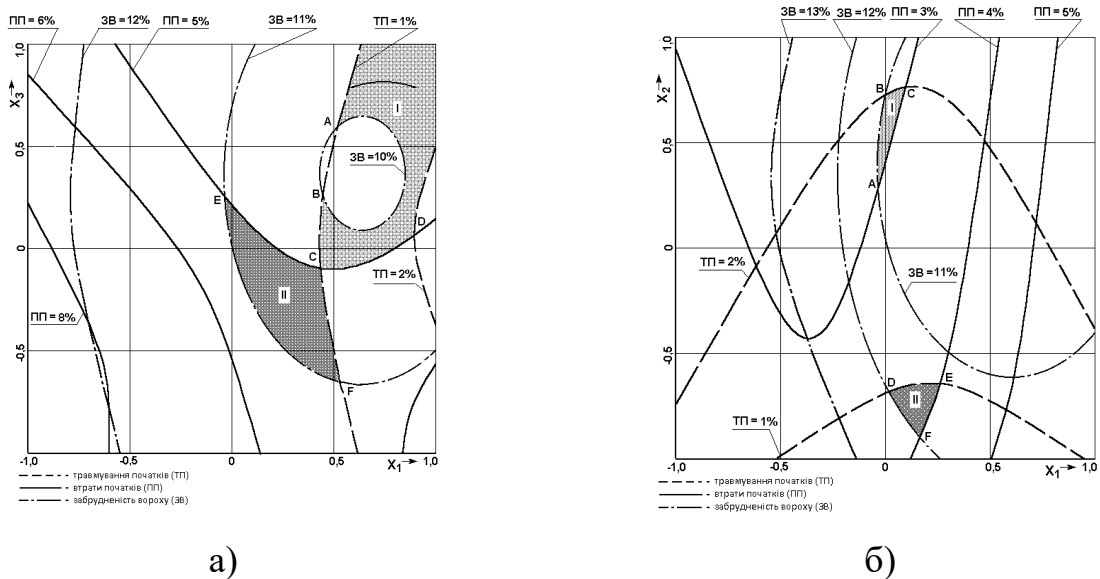


Рис. 4.9. Двомірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні факторів:

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

Розглядаючи побудовані лінії "рівного виходу" для поєднання факторів X_1 і X_2 (рис. 4.9, а), можна зробити висновки, що зони оптимального поєднання факторів обмежені дугами кривих $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ в точках А; В; С і D; Е; F. При цьому травмованість качанів знаходиться в межах $1\% < ТП < 2\%$; втрати качанів $2\% < ПП < 3\%$ і засміченість вороху качанів $11\% < ЗВ < 12\%$. Для даного технологічного режиму частота обертання протягувальних вальців не повинна перевищувати 830 об/хв, а величина подачі 15 кг/с.

Зони оптимального поєднання факторів X_1 і X_3 (рис. 4.9, б) обмежені кривими $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ в точках А; В і С, D; і С, Е, F. При цьому травмованість

качанів знаходиться в межах $1\% < ТП < 2\%$; втрати качанів будуть менше 5% і засміченість оберемка качанів в межах $9\% < ЗВ < 10\%$.

На рис. 4.10. представлені графічні зображення двовірних перетинів поверхонь відгуку критеріїв оптимізації для поєднання факторів X_1 і X_4 та X_4 і X_5 .

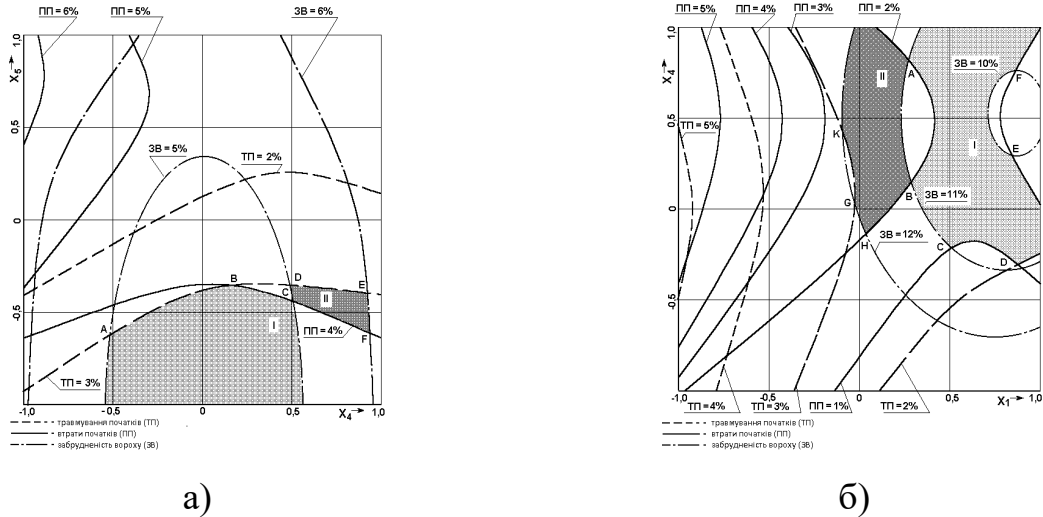


Рис. 4.10. Двовірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні чинників:

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

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

Отримані двовірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні факторів X_1 і X_2 приведені на рис. 4.10, а. Зони оптимального поєднання таких факторів обмежені кривими $ТП$; $ПП$; $ЗВ$ в точках A, B, H, G, K ; і A, B, C, D, E, F . При цьому травмованість качанів знаходиться в межах $3\% < ТП < 4\%$; втрати качанів будуть в межах $3\% < ПП < 4\%$; і засміченість вороху качанів менше $ЗВ < 12\%$.

Аналіз поєднання таких факторів, як кут загострення стріперної пластини X_4 і зазор між рифами X_5 (при $X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = 0$), графічна інтерпретація якого приведена на рис. 4.10, б, показує, що тут можна виділити дві оптимальних зони. Перша зона обмежена точками A, B, G, N , при цьому травмованість качанів буде менше 3% , втрати качанів менше 4% , а засміченість вороху буде в межах $4\% < ЗВ < 5\%$. Друга зона обмежена точками C, D, E, F , в якій травмованість залишиться на тому ж рівні, проте втрати качанів зростуть до 5% , а засміченість вороху до 6% .

4.3. Висновки до розділу

1. Розміри рослин кукурудзи і їх складових коливаються залежно від умов вирощування. Довжина качанів складає від 12,6 до 30,8 см, довжина плодоніжок від 5 до 42 см. Залежно від метеорологічних умов змінюється фаза дозрівання і відповідно маса качанів від 80 до 410 гр. В широких межах коливаються і фрикційні властивості елементів рослин кукурудзи.

2. Зусилля, необхідне для відокремлення качанів, зменшується при згинанні плодоніжки в 2,4 разу, а найменше значення буде при постійному куті орієнтації качанів 60° - 70° , при якому також знижується на 5-10% їх травмованість.

4. Качани мають відносно високу стійкість до статичних і динамічних навантажень. При досягненні повної стиглості опір качанів стискуючому статичному навантаженню зростає, проте сили стискування не повинні перевищувати критичного зусилля $P_{кр} < 50...65$ Н. Стійкість до ударних навантажень навпаки знижується із зменшенням вологості качанів - допустима критична швидкість зіткнення качана 4,2 м/с.

5. Найбільший вплив на величину якісних показників технологічного процесу (втрати качанів, їх травмованість і забрудненість вороху качанів), 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.

6. Знайдені діапазони оптимального поєднання незалежних чинників. Для забезпечення показника втрат качанів - 3...4%, їх травмованості - 2...5% і засміченості вороху не більше 10%, необхідно, щоб частота обертання протягувальних вальців була в межах 830 об/хв, кут нахилу стріперної пластини - 65° і кут загострення пластини до 25° .

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1 Аналіз процесів виникнення травм під час збирання кукурудзи

Процеси виникнення травм під час збирання кукурудзи можуть виникати у наступних випадках:

- під час проведення обслуговування трактора і комбайна;
- під час комплектування машин у машинно-тракторний агрегат;
- під час поставлення машини на зберігання;
- під час роботи агрегату в полі.

Під час проведення обслуговування машин травми виникають у випадках коли:

- не встановлені захисні пристрої на обертових деталях машин;
- внаслідок дотиків робітником до гострих кромek деталей;
- використання несправного інструменту;
- під час проведення обслуговування з працюючим двигуном, чи піднятим знаряддям.

Під час комплектування машин у машинно-тракторний агрегат травми виникають у випадках коли:

- є несправність засобів сигналізації;
- обмежується оглядовість тракториста чи допоміжного робітника;
- під час проведення комплектування немає підставок під машини.

Під час поставлення машин на зберігання:

- у випадку, коли для очищення машини немає потрібного обладнання та місця проведення;
- відсутність необхідних підставок.

Під час роботи агрегату в полі травми можуть виникати у випадках:

- раптових несправностей;
- неуважного керування агрегатом.

5.2. Моделювання процесів виникнення травм

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження. Будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій.

Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева" - "дерева" несправностей або "дерева" помилок оператора застосовують для аналізу складних систем. Аналіз умов обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відказів та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

Основні принципи побудови моделі такі. Визначається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми. Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи. Що характеризують ті чи інші події. Як правило побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня безпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві,

необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи того методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації.

При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відказів оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події.

Головна випадкова подія в даному випадку - травма, модель якої побудована на (рис. 5.1.). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовували оператори "І" та "АБО", після цього виконую набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Після визначення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій.

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2. \quad (5.1)$$

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (5.2)$$

3. Оператор "І" об'єднує n події з ймовірностями P_1 і $P_2 \dots P_n$ тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n. \quad (5.3)$$

**Результати обчислень ймовірностей випадкових подій
логіко-імітаційної моделі**

Випадкова подія, що увійшла в дану модель.	Номер події	Показник, %
1	2	3
Стан контролю з охорони праці	1	0,3
Професійний рівень працюючого	2	0,4
Помилка працюючого	3	0,58
Підставка не фіксується	4	0,7
Стан підставки не оглядався	5	0,5
Стан контролю з охорони праці	6	0,3
Досвід працюючого	7	0,4
Підставка складена з випадкових предметів	8	0,68
Підставка несправна	9	0,65
Підставка неправильно встановлена	10	0,65
Підставка неправильно виготовлена	11	0,7
Підставка встановлена не за призначенням	12	0,41
Підставка втратила стійкість	13	0,29
Підставка зруйнувалась	14	0,21
Комбайн упав з підставки	15	0,44
Під комбайном знаходився робітник	16	0,12
Травма	17	0,052

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (5.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (5.5)$$

6. Якщо оператор "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули.

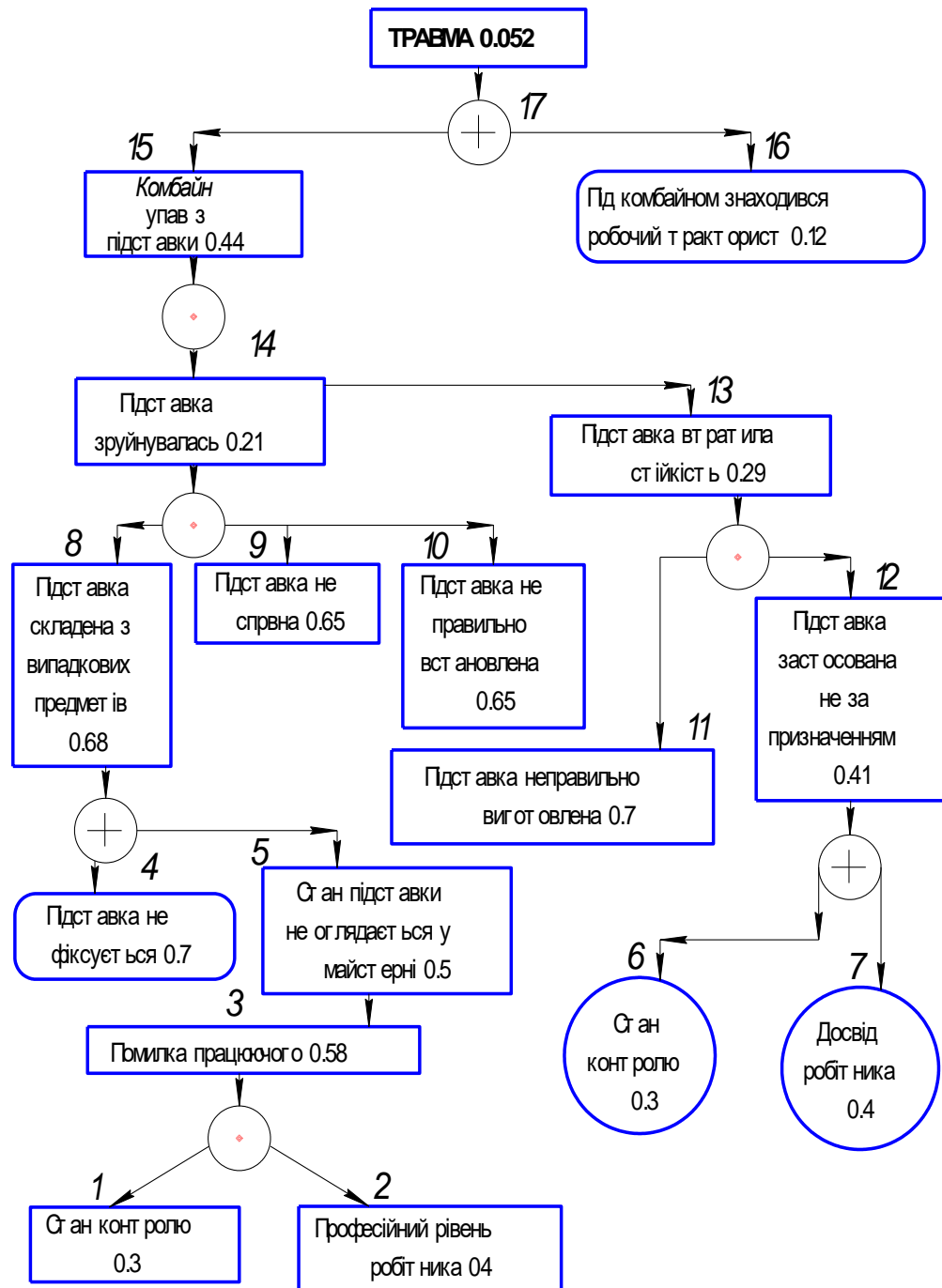


Рис. 5.1. Модель «помилки і відмов оператора».

Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

5.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання кукурудзи

Для запобігання процесів виникнення травм] під час збирання кукурудзи необхідно:

- до роботи допускати лише технічно справні машини та знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускаються до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів;

- до керування та обслуговування машин допускати лише кваліфікованих фізично здорових працівників і навчених за спеціальною програмою, що мають відповідні посвідчення й пройшли відповідні інструктажі. Забороняється допускати до роботи неповнолітніх, некваліфікованих працівників.

Комплектування машинно-тракторного агрегату повинен здійснювати тракторист-машиніст і допоміжний робітник під обов'язковим контролем бригадира, механіка або агронома. Довільна заміна чи комплектування машин без дозволу цих осіб не допускається.

Забороняється експлуатація машин без захисних пристроїв на обертових та інших деталях, які можуть створити схоплювання одягу робітників. Не дозволяється використовувати несправний інструмент, саморобні підставки та інше обладнання яке при його використанні може травмувати робітника.

Перед виконанням польових робіт поле спочатку обов'язково повинен оглянути агроном.

Після цього (за потребою) його підготовляють: видаляють велике каміння, засипають рови, ями, та інші перешкоди, а ті, що неможливо усунути позначають віхами, табличками з попереджувальними написами. Після цього поле розмічають відповідно до операційної карти. Коли працюватиме група агрегатів, то обов'язково вибирають, обладнують і позначають місце для відпочинку.

За необхідністю, якщо потрібно провести обслуговування чи ремонт під кукурудзозбиральним комбайном, то це потрібно проводити при заглушеному двигуні в надійно зафіксованому і піднятому положенні. Для цього потрібно використовувати спеціальні підставки, або пристрої.

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

6. Оцінка економічної ефективності впровадження кукурудзозбирального комбайна

6.1. Техніко-економічна ефективність кукурудзозбирального комбайна

Аналітичні вирази, отримані в ході теоретичних досліджень і проведені в лабораторних умовах експериментальні дослідження допомогли обґрунтувати основні конструктивні і кінематичні параметри качановідокремлювального апарату.

Економічний ефект від упровадження експериментального комбайна ККП-3Е з пристроєм нової конструкції є складовою частиною ефекту від експлуатації кукурудзозбирального комбайна при збиранні кукурудзи на зерно.

Економічний ефект складається з економії всіх виробничих витрат (живої праці, паливно-мастильних матеріалів, капітальних вкладень), яку отримає сільське господарство в результаті механізації процесу збирання кукурудзи на зерно.

Визначення економічного ефекту побудуємо на співставленні приведених витрат (експлуатаційних витрат, капітальних вкладень) по базовому (серійному) і модернізованому кукурудзозбиральному комбайну.

За базовий варіант приймемо серійний комбайн ККП-3, що випускається, порівняння з яким здійснимо, використовуючи методику за визначенням економічної ефективності нової техніки [47]. Після розрахунку основних економічних показників (річного економічного ефекту, терміну окупності, ступені зниження витрат ручної праці і експлуатаційних витрат) визначимо рівень важливості від використання нового качановідокремлювального апарату.

Значення продуктивності кукурудзозбирального комбайна ККП-3 за годину основного часу приймалися за даними Державних приймальних випробувань МІС. У зв'язку з малим напрацюванням експериментального кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е було отримано лише теоретичний

показник продуктивності за годину основного часу, (підвищення складає 6...8% від нормативної). Продуктивність визначалася по формулі:

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

де Q_{ca} - продуктивність комбайна, га/год;

Y - врожайність листостеблової маси кукурудзи, ц/га.

Продуктивність за годину змінного $Q_{зм}$ і експлуатаційного часу визначалася розрахунковим шляхом по наступних формулах:

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

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

де Q_0 - продуктивність за 1 годину основного часу, га;

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

K_G - коефіцієнт готовності.

Величини $K_{зм}$ і K_G - приймалися за даними агротехнічних вимог на модернізацію кукурудзозбирального комбайна [2].

Для визначення проекту оптової ціни експериментального кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е використовувалася залежність:

$$C_{о.н.} = K_c \cdot C_{о.б.} \cdot \frac{m_n}{m_b}, \quad (6.4)$$

де $C_{о.н.}$; $C_{о.б.}$ - оптова ціна відповідно нового і базового варіантів кукурудзозбирального комбайна, грн;

m_n , m_b - відповідно, маса нового і базового комбайнів, кг;

K_c - коефіцієнт, що враховує складність конструкції.

Балансова ціна кукурудзозбирального комбайна в новому і базовому варіантах визначиться як:

$$C_{нб} = K_b \cdot C_{о.н.б.}, \quad (6.5)$$

де K_b - коефіцієнт переводу оптової ціни в балансову, що враховує додаткові витрати на транспортування, дозбирання і наладку комбайна.

Річний (сезонний) об'єм роботи комбайна визначається по формулі:

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

де W_P - річне завантаження комбайна, год.

Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності базового і нового комбайнів представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1.

Вихідні дані до розрахунку 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 з основних показників, що характеризують ефективність виробничого процесу, є експлуатаційні витрати з розрахунку на 1 га зібраної площі. Для визначення експлуатаційних витрат в новому і базовому варіантах технологічного устаткування для збирання кукурудзи на зерно скористаємося формулою [47]:

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

де $3П_{н.б.}$ - заробітна платня обслуговуючого персоналу, відповідно в новому і базовому варіанті комбайнів, грн./га;

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

$P_{н.б.}$ - ремонтні відрахування, %;

$Z_{нмм}$ - витрати на паливно-мастильні матеріали, грн./га.

Заробітна платня обслуговуючого персоналу визначається по формулі:

$$3П_{н.б.} = \frac{\sum_{i=1}^n 3П_i}{Q_{зм}}, \quad (6.8)$$

де $\sum_{i=1}^n 3П_i$ - сума годинних тарифних ставок обслуговуючого персоналу.

Для розрахунку амортизаційних відрахувань на реновацію $A_{н.б.}$ і на ремонт комбайна $P_{н.б.}$ скористаємося співвідношеннями:

$$A_{н.б.} = \frac{Ц \cdot K_a}{W_{сез}}; \quad (6.9)$$

$$P_{н.б.} = \frac{Ц \cdot K_p}{W_{сез}}, \quad (6.10)$$

де K_a, K_p - нормативи амортизаційних і ремонтних відрахувань, %.

Питому витрату паливно-мастильних матеріалів, кг/га, визначимо як:

$$z_{нмм} = \frac{N \cdot C \cdot q}{Q_E}, \quad (6.11)$$

де N - потужність двигуна трактора, кВт;

C - вартість 1 кг дизельного палива, грн;

q - питома витрата палива, г/(кВт·год);

Q_E - продуктивність за одну годину експлуатаційного часу, га/год.

Питомі капіталовкладення в новий і базовий варіанти комбайнів визначимо по формулі:

$$K_{нм.б.} = \frac{Ц}{Q_E \cdot W_p}. \quad (6.12)$$

Всі розрахунки проводилися з використанням табличного процесора «Excel - 2013». Результати розрахунку експлуатаційних витрат приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2.

Експлуатаційні витрати при збиранні 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

Оскільки в механізації будь-якого виробничого процесу ставиться мета знизити витрати людської праці, то перш за все визначимо трудомісткість базового T_B і нового T_H процесів за формулою:

$$T_{\bar{b}.h} = T_M + T_P, \quad (6.13)$$

де T_M - трудовитрати тракториста, люд. · год./га;

T_P - трудовитрати робітників, обслуговуючих кукурудзозбиральний комбайн, люд. · год./га.

$$T_M = \frac{N_M}{Q_{зм}}; \quad (6.14)$$

$$T_P = \frac{N_P}{Q_{зм}},$$

де N_M, N_P - кількість обслуговуючого персоналу (механіків, робочих).

Річне зниження витрат праці E_T в порівнюваних процесах визначимо по формулі:

$$E_T = (T_{\bar{b}} - T_H) \cdot W_{сез}. \quad (6.15)$$

Ступінь зниження витрат праці буде визначений виразом:

$$C_T = \frac{T_{\bar{b}} - T_H}{T_{\bar{b}}}. \quad (6.16)$$

Річний економічний ефект від впровадження експериментального комбайна складе [47]:

$$E_p = [(I_{\bar{b}} + E \cdot K_{нт.б}) - (I_H + E \cdot K_{нт.н})] \cdot W_{сез} + E_{\text{доп}}, \quad (6.17)$$

де E - нормативний коефіцієнт ефективності, $E = 0,15$;

$E_{\text{доп}}$ - додатковий економічний ефект від зміни якості і кількості зібраної продукції:

$$E_{\text{доп}} = W_{\text{доп}} \cdot C_{\text{доп}}, \quad (6.18)$$

де $W_{\text{доп}}$ - збільшення об'єму зібраної продукції за рахунок зниження втрат (на 10..12%);

$C_{\text{доп}}$ - вартість одиниці продукції, грн..

$$W_{\text{доп}} = (ПП_{\bar{б}аз} - ПП_{нов}) \cdot W_{сез}. \quad (6.19)$$

Термін окупності експериментального кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е визначиться як:

$$Z = \frac{Ц_m}{E_p}. \quad (6.20)$$

Результати показників економічної ефективності зведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3.

**Показники економічної ефективності впровадження
кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е з новим
качановідокремлювальним пристроєм**

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

Для визначення річного економічного ефекту безпосередньо від впровадження качановідокремлювального апарату використовувалася формула

$$E_{PA} = E_p \cdot K_{ef} \cdot \frac{m_k}{m_n}, \quad (6.21)$$

де K_{ef} - коефіцієнт, що враховує ефективність роботи качановідокремлювального апарату в конструкції комбайна;

m_k і m_n - маса відповідно комбайна і пристрою.

Після визначення економічного ефекту розраховувався термін його окупності.

6.2. Висновки до розділу

1. Ефективність застосування кукурудзозбирального комбайна ККП-3Е з новим качановідокремлювальним пристроєм при збиранні кукурудзи на зерно в порівнянні з базовим (серійним) комбайном полягає в скороченні експлуатаційних витрат за рахунок підвищення продуктивності комбайна на 6..8% і покращення якісних показників виконання технологічного процесу.

2. Річний економічний ефект від впровадження експериментального комбайна складе 118960,8 грн. за сезон, від впровадження запропонованого качановідокремлювального апарату 14946,4 грн. Термін окупності комбайна складе 1,2 років. Річна економія праці складе при цьому 36,8 люд. · год..

Загальні висновки

1. Аналіз відомих конструкцій качановідокремлювальних пристроїв показав, що вони застаріли і не відповідають сучасному рівню агротехнічних вимог до технічних засобів для збирання кукурудзи на зерно через: високу степінь обчісування стебел низьку відокремлювальну здатність яка викликана нестабільними умовами протікання процесу відокремлення качанів, що безсистемно змінюються; травмування качанів кромками стріперних пластин і лапками подавальних ланцюгів качанів; недостатню пропускну спроможність і надійність технологічного процесу збирання, які викликані малою транспортуючою здатністю подавальних ланцюгів і факторами, що гальмують переміщення продукту (забивання обчесаною листостебловою масою, зависання стебел на обшивці жатки і заклинювання качанів).

2. Теоретичні дослідження кінематичних режимів нового пікерно-стріперного качановідокремлювального апарату дали можливість отримати аналітичні залежності, які дозволяють визначати параметри робочих органів: діаметр протягувальних вальців D_v ; зазор між рифами протягувальних вальців S ; кут нахилу стріперної пластини α , швидкість протягування стебел v_{np} .

3. Дослідження фізико-механічних властивостей рослин кукурудзи показали, що вони коливаються в широких межах залежно від умов вирощування: довжина качанів складає від 12,6 до 30,8 см; довжина плодоніжок від 5 до 42 см; маса качанів від 80 до 410 грам; зусилля, необхідне для відокремлення качанів, зменшується при згинанні плодоніжки в 2,4 разу, а найменше значення буде при постійному куті орієнтації качанів $60^\circ-70^\circ$; критичного зусилля $P_{кр} < 50...65$ Н, допустима критична швидкість зіткнення качана 4,2 м/с.

4. Найбільший вплив на величину якісних показників технологічного процесу (втрати качанів, їх травмованість і забрудненість вороху качанів), 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, діапазони оптимального поєднання яких наступні: частота обертання протягувальних вальців - 830 об/хв, кут нахилу стріперної пластини - 65° і кут загострення пластини до 25° .

5. Річний економічний ефект від впровадження експериментального комбайна складе 118960,8 грн. за сезон, від впровадження запропонованого качановідокремлювального апарату 14946,4 грн. Термін окупності комбайна складе 1,2 років.

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. Спирін. - 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., Солона 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.

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
КОМБАЙНУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ**

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття
освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 Агрінженерія

Виконав: ВАХРОМИЧ Дмитро

Керівник: ПОНОМАРЕНКО Наталя

2023

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2

Обґрунтування конструктивних технологічних параметрів качано-відокремлювального апарату кукурудозбирального комбайна шляхом удосконалення робочого процесу відділення качанів від стебла, зниження втрат качанів та зменшення забрудненості вороху

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

провести системно-технічний аналіз та патентно-інформаційний пошук сучасних конструкцій качано-відокремлювальних апаратів; визначити основні фактори, які впливають на підвищення їх технологічної і експлуатаційної ефективності;

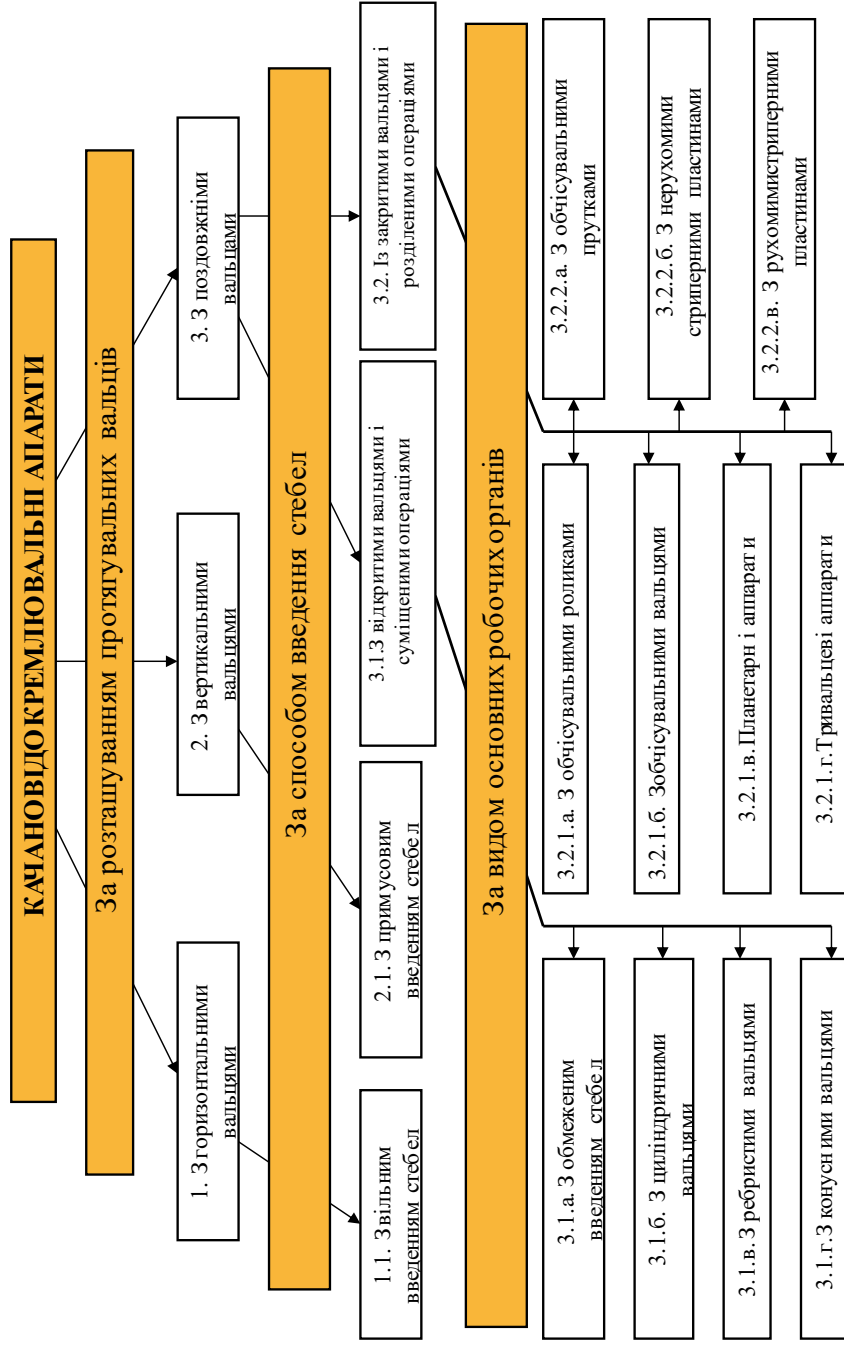
провести теоретичні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів, які дозволяють визначити основні конструктивні і кінематичні параметри качано-відокремлювального пристрою, забезпечуючи підвищення продуктивності та надійності технологічного процесу, зменшення втрат і травмованості качанів;

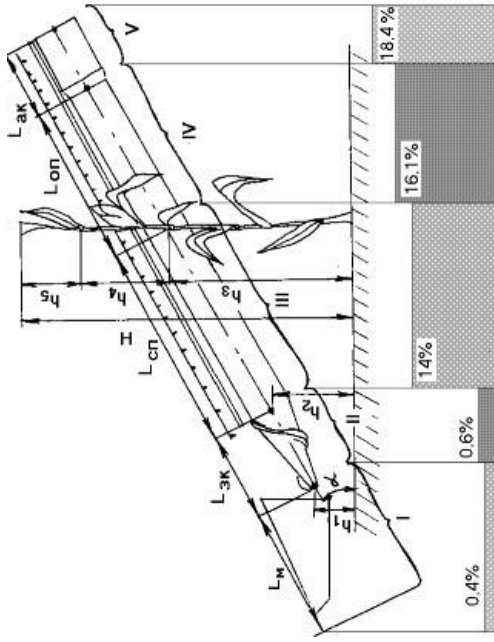
провести експериментальні дослідження механіко-технологічних характеристик системи "стебло-качан" і окремих елементів рослини; визначити фактори, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу та провести експериментальні дослідження запропонованої конструкції в лабораторних та польових умовах

визначити економічну ефективність від впровадження запропонованої конструкції у виробництво

Класифікація качановідокремлювальних апаратів

3





Перша зона L_M - орієнтації стебла кукурудзи мисами русла кукурудзозбиральної комбайна.

Друга зона $L_{зк}$ - дії лапок подавальних ланцюгів і західних конусів протягувальних вальців на стебло.

Третя зона $L_{сп}$ - вільного протягування стебла вальцями.

Четверта зона $L_{оп}$ - відокремлення качанів.

П'ята зона $L_{ак}$ - транспортування відокремлених качанів.

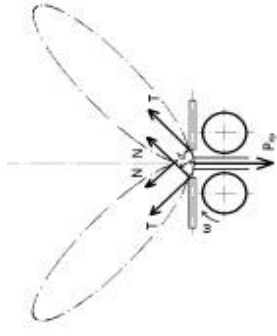
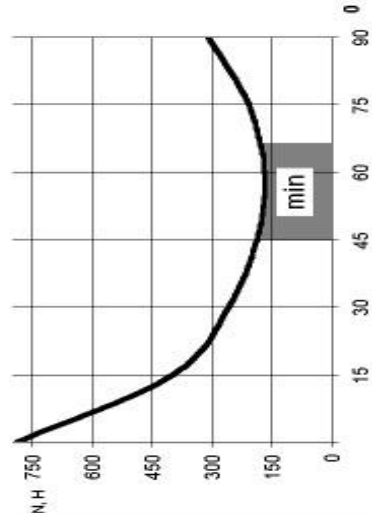


Схема до визначення кута орієнтації качана

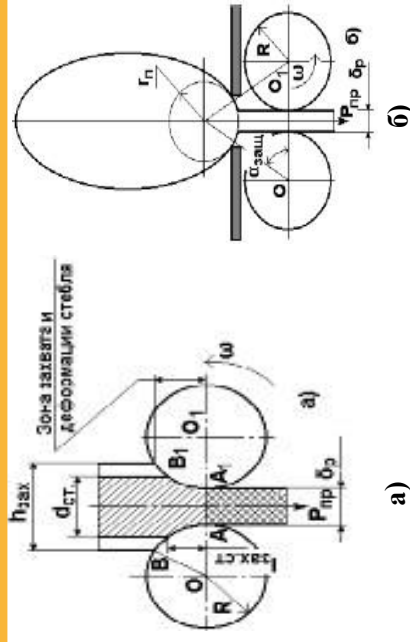
Сила дії пластин на качан

$$N = \frac{P_{г,0}}{2(\sin\alpha + f \cdot \cos\alpha)}$$



$$45^\circ < \alpha < 65^\circ$$

Графік залежності сили відокремлення качана від кута його орієнтації



а)

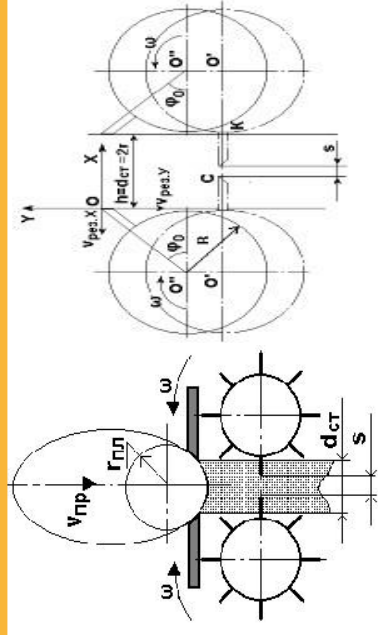


Схема процесу протягування стебла

Схеми до обрuntuвання діаметра вальців δ качановідокремлювального апарату при протягуванні стебла (а) і відділенні качана (б).

Радіус протягу вальних вальців

$$\frac{2r_{i/в} \cdot \cos \alpha_{\text{вал}} - \delta_{\text{вал}}^{\text{max}}}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{\text{вал}})} \geq R \geq \frac{\delta_{\text{вал}}^{\text{max}} - \delta}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{\text{вал}})}$$

$$R = \frac{h_{\text{вал}} - \delta}{2 \cdot (1 - \cos \alpha_{\text{вал}})}$$

$$\cos \alpha_{\text{вал}} = \frac{R + \frac{\delta}{2}}{R + r_{i/в}}$$

Схема дії сил та відокремлення качана

$$v_{\text{rmax}} = \sqrt{2g \cdot r_n}$$

$$r_{K_1} = \frac{G r}{g} = \frac{G r}{g} (v_{\text{пр}} + \sqrt{2g \cdot r_n}) \quad \vec{E}_r = \frac{G}{g} \cdot \vec{v}_{\text{пр}} \cdot \sin \varphi_0$$

$$P_{\text{ваг}} = Q_{\text{в}} \cdot \cos \varphi_0 + \frac{K_{\text{в}}}{t_{\text{ваг}}}$$

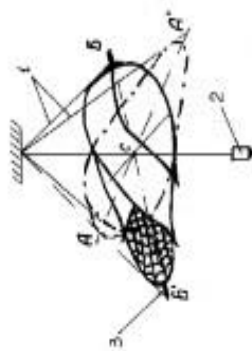
Результати досліджень розмірночасових параметрів качана і плодоніжки

Розмірні характеристики качана

Сорт	Значення параметра, що досліджується											
	Довжина качана, мм			Діаметр качана в середній частині, мм			Відстань від центра маси до основи качана, мм			Вага качана, г		
	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.	min	max	ср.
Дніпровський 281 ТВ	162	308	235	39	54	46,5	46	138	101	210	350	280
Жеребоківський 90 МВ	126	284	205	35	49	42	48	105	76,5	225	375	300

Розмірні характеристики плодоніжки

Сорт	Значення параметра, що досліджується					
	Довжина плодоніжки, мм			Діаметр плодоніжки, мм		
	min	max	min	max	ср.	ср.
Дніпровський 281 ТВ	40,5	370	200,7	6	18	12
Жеребоківський 90 МВ	50,8	420	230,9	9	20	14,5





а)

б) Експериментальна лабораторна установка:

а) - загальний вид; б) - привід лабораторної установки.

Критерії оптимізації

ТП - травмування качанів;

ІІІ - втраги качанів;

ЗВ - забрудненість воруху

Чинники, що досліджуються

X_1 - частота обертання протягувальних вальців;

X_2 - величина подачі рослин (продуктивність);

X_3 - кут нахилу стриперної пластини;

X_4 - кут загострення стриперної пластини;

X_5 - зазор між рифами.

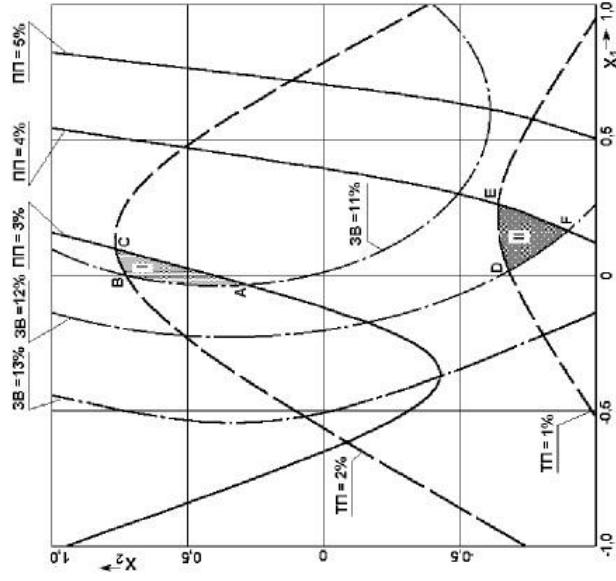
Рівняння математичних моделей показників якості виконання технологічного процесу

$$\begin{aligned} \text{ТП} = & 3,079 + 0,709 \cdot X_1 - 0,190 \cdot X_2^2 - 0,340 \cdot X_3^2 - 0,490 \cdot X_4^2 - 0,240 \cdot X_5^2 + 0,611 \cdot X_1 - \\ & - 0,376 \cdot X_2 - 0,291 \cdot X_3 + 0,700 \cdot X_4 + 0,909 \cdot X_5 + 0,353 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,77 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,340 \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ & + 0,653 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,021 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,059 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,096 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,115 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,190 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,059 \cdot X_4 \cdot X_5, \end{aligned}$$

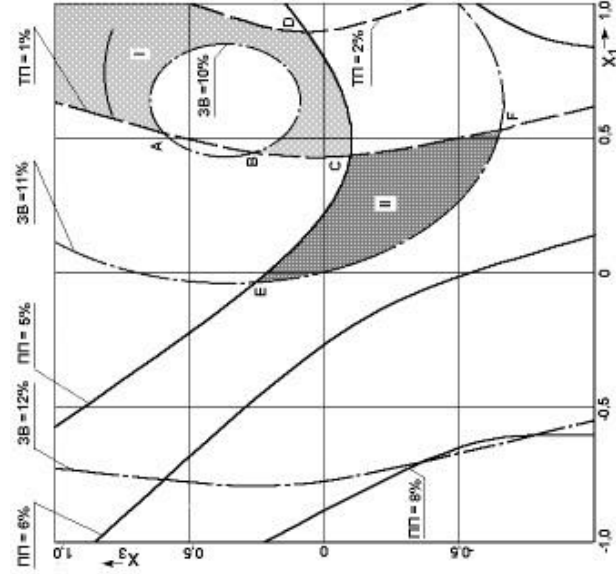
$$\begin{aligned} \text{ІІІ} = & 4,839 + 1,702 \cdot X_1 - 0,047 \cdot X_2^2 - 0,698 \cdot X_3^2 - 0,848 \cdot X_4^2 - 0,802 \cdot X_5^2 + 1,838 \cdot X_1 - \\ & - 0,105 \cdot X_2 - 1,062 \cdot X_3 + 0,829 \cdot X_4 + 0,397 \cdot X_5 + 0,181 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,056 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,313 \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ & + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,043 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,388 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,025 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,55 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,075 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,694 \cdot X_4 \cdot X_5, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ЗВ} = & 5,800 + 2,392 \cdot X_1 - 0,858 \cdot X_2^2 - 0,992 \cdot X_3^2 - 1,542 \cdot X_4^2 + 0,292 \cdot X_5^2 + 3,347 \cdot X_1 - \\ & - 0,049 \cdot X_2 - 1,211 \cdot X_3 + 0,179 \cdot X_4 + 1,588 \cdot X_5 + 0,181 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,056 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,313 \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ & + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,053 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,441 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,109 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,472 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,046 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,134 \cdot X_4 \cdot X_5, \end{aligned}$$

Двомірні перерізи поверхонь відгуку при X_1 і X_2



Двомірні перерізи поверхонь відгуку при X_1 і X_3



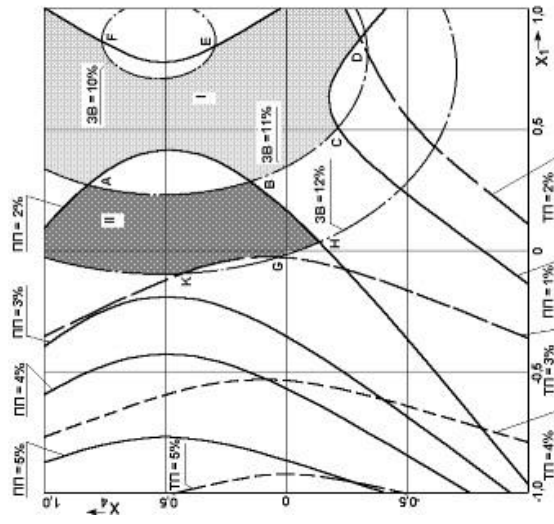
Рівняння регресії ($X_3 = 00$; $X_4 = -1$; $X_5 = 0$)

$$\begin{aligned} \text{ТП} &= 1,889 + 0,709 \cdot X_1 - 0,190 \cdot X_2 + 0,271 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,376 X_2^2 + 0,353 X_1 \cdot X_2 \\ \text{ПП} &= 3,161 + 1,702 X_1 + 1,525 X_2 + 0,388 X_2^2 \\ \text{ЗВ} &= 7,342 + 2,392 X_1 + 0,859 X_2^2 + 2,681347 X_1 + 0,441 X_2 + 0,259 X_1 \cdot X_2 \end{aligned}$$

Рівняння регресії ($X_2 = 1$; $X_4 = -1$; $X_5 = -1$)

$$\begin{aligned} \text{ТП} &= 0,174 + 0,709 X_1 - 0,340 X_3 - 0,219 X_1 \cdot X_3 - 0,481 X_3 + 0,771 X_1 \cdot X_3 \\ \text{ПП} &= 3,873 + 1,702 X_1 - 0,698 X_3 + 1,525 X_1 \cdot X_3 - 1,612 X_3^2 \\ \text{ЗВ} &= 7,345 + 2,392 X_1 + 0,992 X_3 + 2,94 X_1 \cdot X_3 - 0,739 X_3^2 \end{aligned}$$

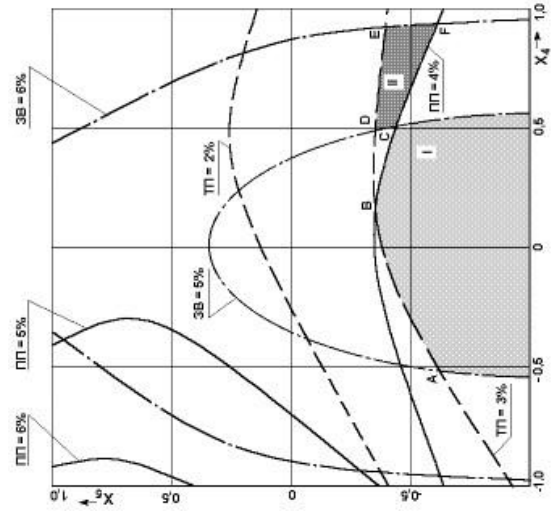
Двомірні перерізи поверхонь відгуку при X_1 і X_4



Рівняння регресії ($X_2 = 1; X_3 = -1$)

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= 0,543 + 0,709\bar{X}_1 - 0,490\bar{X}_4 + 0,700\bar{X}_1^2 + 1,082\bar{X}_1 + 0,340\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_4 \\ \text{ПП} &= 3,484 + 1,702\bar{X}_1 - 0,848\bar{X}_4 + 1,838\bar{X}_1 + 1,073\bar{X}_1 + 0,313 + 0,340\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_4 \\ \text{ЗВ} &= 5,143 + 2,392\bar{X}_1 + 1,542\bar{X}_4 + 3,606\bar{X}_1 + 0,666\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_4 \end{aligned}$$

Двомірні перерізи поверхонь відгуку при X_4 і X_5



Рівняння регресії ($X_1 = 0; X_2 = 0; X_3 = 0$)

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= 3,079 - 0,490\bar{X}_4 - 0,240\bar{X}_5 + 0,700\bar{X}_4^2 + 0,099\bar{X}_5 \\ \text{ПП} &= 4,839 - 0,848\bar{X}_4 + 0,802\bar{X}_5 + 0,829\bar{X}_4 + 0,397\bar{X}_5 + 0,694\bar{X}_4 \cdot \bar{X}_5 \\ \text{ЗВ} &= 5,800 + 1,542\bar{X}_4 + 0,292\bar{X}_5 + 1,588\bar{X}_4 \end{aligned}$$

1. Аналіз відомих конструкцій качановідкремлювальнихпаратів показав, що вони застаріли і не відповідають сучасному рівню агротехнічних вимог до технічних засобів для збирання кукурудзяного зерно через високу степінь обчислення стебел і низьку відокремлювальну здатність, яка викликана нестабільними, умовами протікання процесу відокремлення качанів, що безсистемно змінюються травмування качанів кромками стріперних пластин і лапками подавальних ланцюгів качанів; недостатню пропускну спроможність надійність технологічного процесу збирання, які викликані відносно малою транспортуючою здатністю подавальних ланцюгів і факторами, що гальмують переміщення продукту (забивання обчесаною листостебловою масою, зависання стебел на облицюваннях і заклинювання качанів).
2. Теоретичні дослідження кінематичних режимів нового пікно-стріперного качановідкремлювального апарату дали можливість отримати аналітичні залежності, які дозволяють визначати параметри робочих органів: діаметр протягувальних вальців D_6 ; зазор між рифами протягувальних вальців S ; кут нахилу стріперної пластини α , швидкість протягування стебел $v_{пр}$.
3. Дослідження фізико-механічних властивостей рослини кукурудзи показали, що вони коливаються в широких межах залежно від умов вирощування довжина качанів складає від 12,6 до 30,8 см; довжина плодоніжки від 5 до 42 см; маса качанів від 80 до 410 гр; зусилля, необхідне для відокремлення качанів, зменшується при згинанні плодоніжки в 2,4 рази, а найменше значення буде при постійному куті орієнтації качанів $60^\circ - 70^\circ$; критичного зусилля $P_{кр} < 50 \dots 65 \text{ Н}$ допустима критична швидкість зігнення качана 4,2 м/с. Найбільший вплив на величину якісних показників технологічного процесу (втраги качанів, їх травмованості забрудненість борошу качанів), 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, діапазони оптимального поєднання яких наступні частота обертання протягувальних вальців - 830 об/хв, кут нахилу стріперної пластини - 65° і кут загострення пластини до 25° .
4. Річний економічний ефект від впровадження експериментального комбайна складе 118960,8 грн. за сезон, від впровадження запропонованого качановідкремлювального апарату 14946,4 грн. Термін окупності комбайна складе 1 рік.