

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ  
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів качановідокремлюваного пристрою багатofакторної дії”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61  
Спеціальності 208 „Агроінженерія”  
(шифр і назва)

Пуцак Василь Ігорович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Рис В.І.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Сукач О.М.  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ  
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доц. Андрій ШАРИБУРА  
“ 12” вересня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на дипломну роботу студенту  
Пуцаку Василю Ігоровичу

1. Тема роботи: **„Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів качановідокремлюваного пристрою багатofакторної дії”**

Керівник роботи: Рис В.І., к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2024 року.

3. Вихідні дані: Технічна характеристика жаток для збирання кукурудзи на зерно та качановідокремлюючих пристроїв. Методика опрацювання статистичних даних. Початкові дані розрахунків.

4. Перелік питань, які необхідно розробити  
ВСТУП

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

3. ПРОГРАМА Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ  
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

ДОДАТКИ

Перелік графічного матеріалу: тема – 1-й слайд; мета роботи та завдання дослідження – 2-й слайд; аналіз конструктивно-технологічних схем качановідокремлюючих апаратів – 3-й; пропонувані качановідокремлювальний апарат – 4-й; обґрунтування кінематичних режимів роботи – 5-й слайд; теоретичне обґрунтування параметрів стріперної пластин – 6-й слайд; прилади і устаткування – 7-й слайд; результати дослідження властивостей рослин кукурудзи - 8-й слайд; дослідження зусилля зрізу плодоніжки – 9-й слайд; критичні швидкості зіткнення качанів з робочою поверхнею(сталеві пластина) – 10-й слайд; експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів від стебел – 10-й слайд; висновки – 12 слайд.

#### 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	Рис В.І. доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Написання розділу: «Сучасний стан питання та задачі досліджень»	12.09.24-15.09.24	
2.	Виконання розділу «Теоретичне обґрунтування качановідокремлювального пристрою»	16.09.24-01.10.24	
3.	Виконання розділу «Програма й методика досліджень»	15.10.24-30.10.24	
4.	Написання розділу: «Результати експериментальних досліджень»	02.10.24-14.11.24	
5.	Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	15.11.24-24.11.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки	25.11.24-30.11.24	
7	Завершення роботи в цілому	01.12.24-5.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ Василь ПУЩАК  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Василь РИС  
(підпис)

УДК 631.355.

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів качановідокремлюваного пристрою багатofакторної дії. Пушак В.І. Дипломна робота.- Дубляни: ЛНУП, кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені проф. Олександра Семковича, 2024. 74 стор. текст. част.; 5 таблиць; 34 рисунки; 24 бібліографічних назв.

Проведено аналіз сучасного стану механізації збирання кукурудзи на зерно, засобів механізації для виконання технологічного процесу відокремлення качанів, на основі чого обґрунтовано необхідність розробки конструктивно технологічної нового качановідокремлювального пристрою багатofакторної дії.

Проведений аналіз кінематичних режимів роботи запропонованого качановідокремлювального пристрою. На основі огляду відомих кривих та теоретичних досліджень обґрунтовані параметри криволінійності похилої стріперної пластини нового качановідокремлювального пристрою.

Наведені результати експериментальних досліджень окремих фізико-механічних властивостей рослин кукурудзи, та взаємозалежності між ними. Розроблені заходи з техніки безпеки.

Ключові слова: повнота збирання кукурудзи, стебло, качан, плодоніжка, качановідокремлювальний пристрій, пікерні протягувальні вальці, стріперні пластини, ударні навантаження.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Сучасний стан механізації збирання кукурудзи на зерно.....	9
1.2 Аналіз конструктивно-технологічних схем качановідокремлюючих апаратів .....	11
Висновки до розділу. ....	26
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	28
2.1 Обґрунтування кінематичних режимів роботи .....	28
2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів стриперної пластини .....	33
3. ПРОГРАМА Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	39
3.1 Програма експериментальних досліджень. ....	39
3.2 Методика експериментальних досліджень.....	39
3.2.1 Загальна методика досліджень. ....	39
3.2.2 Методика досліджень коефіцієнта відновлення качана кукурудзи. ....	44
3.2.3 Методика досліджень опору качанів дії ударних навантажень. ....	45
3.2.4. Методика визначення опору качанів статичному стискуванню. ....	46
3.3 Прилади і устаткування .....	46
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	50
4.1 Результати дослідження властивостей рослин кукурудзи.....	50
4.2 Експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення качанів від стебел.....	56
4.2.1 Лабораторна установка.....	56
Висновки до розділу 4. ....	62

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	64
5.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно та обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій .....	64
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення травм та розробка моделі травмонебезпечних і аварійних ситуацій при збиранні кукурудзи па зерно .....	65
5.3 Обґрунтування інженерно-технічних рекомендацій відносно безпечного перебігу процесу збирання кукурудзи на зерно .....	68
5.4. Захист цивільного населення .....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	71
СПИСОК ВПОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	73
ДОДАТКИ.....	75

## ВСТУП

Актуальність теми. Кукурудза є однією з найбільш розповшених сільськогосподарських культур. Дана культура за кількістю відведених площ займає третє місце після пшениці та ячменю. Так згідно оперативних зведень Мінагрополітики України в минулому році під посіви цієї культури було відведено 22,2 млн.га. валовий збір зерна кукурудзи становив 8,2 млн. тонн. Зерно кукурудзи широко застосовують, як сировину для харчової, переробної, медичної, мікробіологічної, хімічної промисловості та інших галузей народного господарства. Також кукурудза має досить велику енергетичну цінність. На сьогоднішній день в таких країнах як Швеція, та США розроблені теплоенергетичні установки, які використовують зерно кукурудзи як паливо. При згорянні зерна кукурудзи виділяється близько 17 МДж теплової енергії, скажімо таку саму енергетичну цінність має вугільний пил, який відомий як один із найкалорійніших видів палива. Тому вирощування кукурудзи має досить велике значення.

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.

Мета досліджень: обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів

качановідокремлювального апарату кукурудзозбирального комбайна за рахунок 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 качановідокремлювальних 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 качановідокремлювального 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 рослин;
- визначити фактори, які найбільше впливають на якість виконання технологічного процесу та розробити методику проведення експериментальних досліджень запропонованої конструкції в лабораторних та польових умовах;

Об’єкт досліджень: технологічний процес протягування стебел кукурудзи і відокремлення качанів пристроєм з похилою стріперною пластиною

Предмет досліджень: компоновка та конструкція качановідокремлювального апарата з похилою стріперною пластиною.

Методи досліджень: при вирішенні поставлених задач досліджень використовувалися класичні методи теоретичної механіки, опору матеріалів, математичного аналізу та моделювання. Вивчення механіко-технологічних властивостей рослин кукурудзи проводилося з використанням методів математичної статистики та регресійного аналізу на ПЕОМ.

Практичне значення полягає в тому, що запропонована конструкція качановідокремлювального апарата дозволить підвищити продуктивність кукурудзозбирального комбайна в 1,2...1,5 рази, знизити травмованість качанів,



виключити втрати вільними качанами, підвищити якість очищення та чистоту вороху на 15 — 20 %, а також зменшити енергоємність технологічного процесу.

У роботі отримано вихідні дані та аналітичні вирази для розрахунків та проектування пікерно-стриперних апаратів, які забезпечать надійне введення стебел та якісне відокремлення качанів.

Особистий внесок магістранта: основні положення та результати дипломної роботи отримано самостійно, а саме:

патентно-інформаційний пошук існуючих технологій збирання кукурудзи на зерно та існуючих конструкцій качановідокремлювальних апаратів;

теоретичне обґрунтування кінематичних, динамічних та геометричних параметрів запропонованого пікерно-стриперного апарата;

результати досліджень розмірно — масових характеристик основних параметрів рослин кукурудзи та їх статистичну обробку.

# 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Сучасний стан механізації збирання кукурудзи на зерно

Збирання врожаю - великий та трудомісткий процес. Якість та продуктивне використання техніки в першу чергу залежать від правильної підготовки машин, чіткої роботи агрегатів і транспортних засобів. В залежності від зон виробництва та мети використання кукурудзи існує декілька технологічних схем:

збирання з доробкою качанів в стаціонарі;

збирання зернозбиральними комбайнами із приставкою і комбайном "Херсонєць-200" з молотаркою та попереднім обмолотом качанів;

збирання кукурудзозбиральними комбайнами з одночасною обмолотом качанів;

збирання комбайнами зі спеціальним пристосуванням для отримання зерно-стержневої суміші.

Збирання по другій схемі в теперішній час являється основою для більшості зон виробництва кукурудзи на спіле зерно. Врожай збирають кукурудзозбиральними комбайнами "Херсонєць-7" і "Херсонєць-200". В останні роки в зв'язку з застосуванням та широким впровадженням у виробництво ранньоспілих гібридів, а також гібридів середньо спілої групи зі швидким висиханням зерна широке поширення отримує третя схема, з одночасним обмолотом качанів. Це в два рази підвищує продуктивність збиральних агрегатів, значно зменшує кількість технологічних операцій, скорочує транспортні затрати, набагато спрощує організацію збиральних робіт.

Четверту схему збирання все ширше застосовують в багатьох кукурудзосіючих країнах. Воно здійснюється в двох варіантах; мілке подрібнення зерно-стержневої маси на полі спеціальними машинами або пристосуванням та первинне подрібнення суміші комбайнами, обладнаними агрегатами для відриву і часткової очистки качанів. Для цієї мети можна використати перебудовані молотильні апарати та молоткові дробарки.

Кукурудзу на зерно збирають при вологості зерна від 20 до 35-40%. Максимальна місткість сухої речовини в зерні накопичується при вологості 20,8-28%.

Без обмолоту качанів кукурудзу збирають при вологості зерна 35-40%, а з обмолотом - 30%. При більш високій вологості погіршується вимолот з качанів, травмується зерно, знижується продуктивність збиральних агрегатів. найбільш якісний обмолот при вологості зерна 20-22%

Щоб не допустити запізнення зі збиранням і втрат врожаю, багато господарств збирають качани, а в міру їх підсихання переходять на пряме комбайнування, використовуючи зернозбиральні комбайни із відповідною приставкою.

Для зберігання вологого зерна його збирають при вологості 25-35% зернозбиральними комбайнами з приставками, а зерно-стрижневу суміш -35-40%. Час збирання одного гібриду не повинен перевищувати 5-7 днів. Затягування приводить до значних втрат. Пошуками наукових організацій встановлено, що втрати зерна кукурудзи при врожайності 40ц/га в залежності від строків збирання змінюються в таких межах на 10-тий день збирання складає 0,4% 15-тий день - 4%, 20-тий день — 9-10%, 25-тий день - 13%, 30-тий - 17% і 35-тий день - 23% При запізненні з початком збирання і збільшення строків її проведення, а також при Зниженні вологості зерна до 20% втрати врожаю збільшуються в 2-4 рази у зрівнянні з агротехнічними допустимими строками збирання. Це викликано тим, що при зниженні вологості зерна збільшується вишулушування його з початком під впливом робочих органів комбайна. Повнота збору при збиранні в качанах повинна бути не менше 97%, в тому числі допускається наявність зерна в подрібненій листостеблової маси до 2,5% При збиранні з одночасним обмолотом зерна, повнота збору повинна складати 98%.

Врожай треба збирати в оптимально стиснуті строки, що дозволяє скоротити втрати зерна при високій якості продукції. Правильний вибір технологічної схеми збирання з урахуванням біологічних особливостей гібридів, умов їх росту, а також забезпеченості н технічними засобами дасть можливість

найбільш раціонально збирати врожай, при найменших втратах.

Ланка по підготовці посівів складається з двох-трьох робітників, в задачу яких входять розмітка загонів, проведення збирання кукурудзи з поворотних полос і бокових сторін поля; збирання кукурудзи з прокосів при розбивці поля на загони; прокошування, якщо необхідно, для транспортних магістралей поперек поля; вирівнювання гранту на поворотних полосах, Поле готують за 15-20 днів до початку збирання, використовуючи при цьому необхідну збиральну техніку.

## **1.2 Аналіз конструктивно-технологічних схем качановідокремлюючих апаратів**

Апарати однофакторної дії. Домінуючу групу складають апарати з повздовжніми вальцями качановідокремлювальних апаратів. Апарати цієї групи встановлюються на більшість відомих кукурудзозбиральних машин. Ця група складається з великої кількості підгруп качановідокремлювальних апаратів.

Перші качановідокремлювальні апарати цього типу з явилися у 50-х роках. Одною з перших класичних конструкцій є апарат пікерного типу, вперше застосований в американських пікер-хескерах. Принципом дії даного апарату оснований на прокатуванні стебел кукурудзи, які стоять качанів від стебел, зазор зустрічно обертових уривчастих вальців. Відокремлення качанів в цих апаратах здійснюється за рахунок зусилля виштовхування, яке створюється при взаємодії качана із вальцями. В результаті експериментальних досліджень нами встановлено, що плодоніжка в місці з'єднання з качаном має значний запас міцності тому під час процесу відокремлення на качан діє зусилля защемлення між вальцями, яке значно підсилюється зусиллям від протягування стебел до моменту відриву плодоніжки. В такому випадку відрив плодоніжки носить ймовірнісний характер, на качан діють не тільки ударні навантаження, які виникають під час зіткнення качана з вальцями але й зусилля інтенсивного стискання, яке залежить від діаметра качана та виду поверхні пікерних вальців. Що в свою чергу призводять до пошкодження та значних втрат качанів та

вимолочування зерна.

В даному апараті з метою використання позитивних якостей пікерних уривчастих вальців довжиною 750 мм і діаметром на окружності виступів 83 мм, розташовані вздовж рядка, під кутом до обрію 200, були підняті і віднесені в задню частину жатної частини. В передній частині встановлений апарат який зрізує стебла, а підведення стебел здійснюється ярусами ланцюгів з лапками і стеблезатискачами. Приведена конструкція за рахунок більш впорядкованої подачі стебел дає можливість встановити уривчасті вальці з менш активною поверхнею, ніж у попередніх типів і дозволяє одержувати менше пошкодження качанів. Однак по травмуванню качанів ці апарати також знаходяться на низькому рівні за рахунок неупорядкованості введення качанів в робочу зону відокремлюючи вальців, орієнтація качана і розрив плодоніжки носить досить ймовірнісний характер. В процесі підведення і протягування, на стебла діють три яруси подаючих вальців які в свою чергу значно порушують розташування качанів, а наявність багатоярусних ланцюгів з стебло зачепами, похилого лотка значно ускладнюють конструкцію качановідокремлювального апарата. За даними Південно-Української УМВС втрати і травмованість качанів знаходяться на одному рівні із апаратами американських пікер-хескерів. Однак у порівнянні з апаратами із вертикальними вальцями вимолочування зерна з качанів знизилась у 1,8 - 2 рази.

Приведені вище качановідокремлювальні апарати є апаратами першого покоління. Аналізуючи результати їх роботи стало очевидним, що перспективними з них є качановідокремлювальні апарати з повздовжніми вальцями, але метою являється створення більш продуктивних апаратів, які повинні забезпечити зниження травмованості, підвищення повноти збирання врожаю. В зв'язку з цим з'явилась більш проста група качановідокремлювальних апаратів що за способом виконання технологічних операцій можна розділити на два типи: зі сполученими операціями протягування стебел і відриванням качанів, з роздільними операціями протягування і відокремлення качанів.

До апаратів зі сполученими операціями протягування стебел і відділення

качанів відносять такі у яких протягування стебел і відокремлення качанів здійснюється одними робочими органами — пікерними вальцями. Така конструкція на яку слід звернути увагу, застосована в американському збирачі-очиснику "Minneapolis — Molin" (рис 1.1.). Вальці литі чавунні, передня частина котушка — гладка, середня частина гвинтова, з ребордою, задня частина — з спеціальними виступами-кулачками, розташованими також по гвинтовій лінії. Крім того, на поверхні вальців мають отвори, куди вставляються шини активізатори під час руху комбайна стебла кукурудзи подаються ланцюгами між вальцями і переміщуються вздовж вальців за допомогою бічних поверхонь. Що виникають між поверхнями активізаторів і стебел. Качани стискаючись вершками гвинтових виступів відокремлюються від плодоніжок.

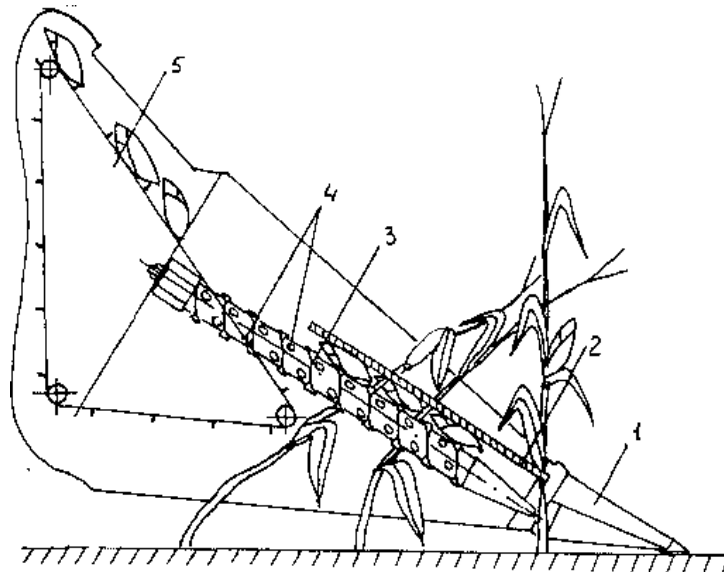


Рисунок 1.1 – Схема качановідокремлювального апарату збирача-очишувача фірми “MINNEAPOLIS-MOLIN”: 1 - миси; 2 - подаючі ланцюги; 3 - відриваючі вальці; 4 - активізатори; 5 - транспортер качанів.

Недоліками даного апарату являється висока степінь травмування качанів, тому як основними зусиллями для відокремлення качанів від стебел служать зусилля розтягування плодоніжки при цьому за рахунок активізації поверхні відокремлювальних вальців значно підвищується дія вальців на качан, защемлення качанів між вальцями, різко зростають ударні навантаження. За

даними КНДІТІМА втрати в руслі склали понад 6,5 %.

Над вдосконаленням і розробкою нових типів качановідокремлювальних апаратів працювало багато провідних вчених. В роботі П.П. Картуша [1] розглянуті основні типи очікувальних апаратів та їх силова взаємодія з відокремлювальним матеріалом. Відокремлення може здійснюватись за допомогою вальців і очісувальних пластин (стриперних). При цьому вальці можуть бути активними, які примусово обертаються на зустріч один одному і пасивними. Перший тип качановідокремлювального апарату двохвальцевий з циліндричними вальцями (рис. 1.2.).

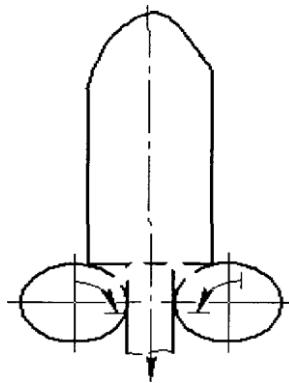


Рисунок 1.2 – Схема двохвальцевого з циліндричними вальцями качановідокремлювального апарату

В приведеному апараті технологічний процес здійснюється за рахунок зусилля виштовхування качанів циліндричними вальцями під час обертання останніх. Тому як зазор між вальцями менший за діаметр кореневої частини качана в момент зіткнення качана з вальцями інтенсивно діє зусилля обтискання, яке залежить від типу поверхні циліндричних вальців (коефіцієнту тертя) і діаметра частини клапана. В результаті експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей кукурудзи ми з'ясували, що діаметр качанів може коливатися від 1230 до 2820 мм, тому при попаданні качанів з меншим діаметром частини — має місце захоплення і протягування качанів крізь робочу щілину протягувальних вальців, що в свою чергу призводить до підвищення втрат качанів та травмування зерна.

Аналізуючи роботу качановідокремлювального апарату першого типу можна зробити висновок що на плодоніжку в процесі взаємодії між собою системи качан — стебло (плодоніжка) — вальці діє тільки зусилля розтягування.

Спроба зменшення негативних факторів які мають місце в качановідокремлювальних апаратах першого типу вирішується в апараті з обчісувальними роликами, який включає в себе пару активних протягувальних вальців і рифами які обертаються назустріч один одному і пару пасивних вальців з гладкою поверхнею (валики).

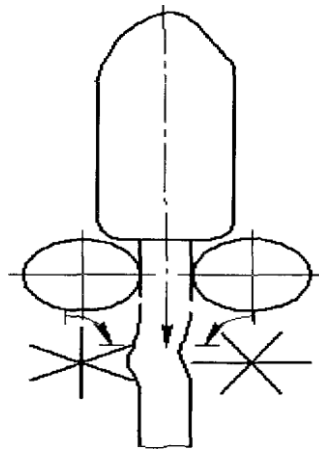


Рисунок 1.3 – Схема качановідокремлювального апарату з очікувальними роликами

Під час технологічного процесу активні рифлені вальці протягують стебло крізь робочу щілину, утворену гладкими циліндричними вальцями, качани нижньою частиною упираються в ролики і відокремлюються від стебел.

Недоліком даного апарату являється ймовірнісний характер розриву плодоніжки. Яка має досить високий запас міцності і качани відриваються разом із верхніми частинами стебел, що призводить до забруднення вороху рослинними рештками і ускладнення технологічного процесу очищення. Також мають місце втрати врожаю вільними качанами за рахунок їх вистрілювання.

Першою класичною конструкцією качановідокремлювального апарату, є апарат піккерного типу, який вперше було застосовано в американських піккер-хескерах 2ME фірми “McCORMICK” і 227 фірми “John-Deere” (рис. 1.4, 1.5).



Принцип дії цього апарату полягав в протягуванні стебел кукурудзи крізь щілину відриваючих вальців, що зустрічно обертаються. В перерахованих пікер-хескерах практично однаковий технологічний процес відділення качанів. Відмінності представляють собою лише конструктивні виконання відриваючих вальців, по довжині відповідно 1050 мм і 965 мм, діаметру по виступах 93,3 мм і 76 мм, куту нахилу до горизонту 380 і 310 і числу оборотів 700 і 735 об/хв. За даними випробувань на Південноукраїнській МІС, при відхиленні в ширині міжрядь понад 5 см, якість роботи значно знижується, оскільки стебла кукурудзи не потрапляючи в русла, залишаються прим'ятими до землі, що веде до збільшення втрат.

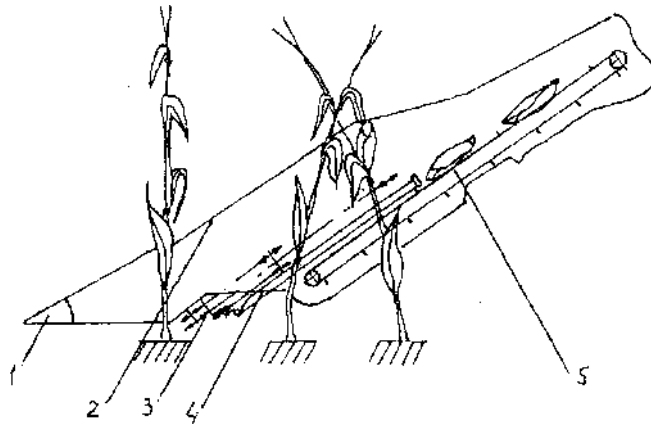


Рисунок 1.4 – Схема русла пікер-хескера 2МЕ фірми “McCORMICK”: 1 - шарнірні мисс, 2 - дільники; 3 - захоплюючі ланцюги, 4 - відриваючі вальці; 5 - транспортер качанів.

Основним недоліком даного типу качановідокремлюючих апаратів являється те, що процес протягування стеблостою і відокремлення качанів — суміщені, тобто крім функції протягування стебел, вальці також виконують функцію відокремлення качанів. Це призводить до підвищення рівня травмованості вихідного продукту.

Для збирання всього біологічного врожаю кукурудзи, використовуються кукурудзозбиральні комбайни і приставки до зернозбиральних комбайнів, що здійснюють одночасно збирання зернової і не зернової частин урожаю. Отже, ці

машини складніші за будовою, ніж машини, що призначені для збирання тільки зернової частини, значно більш матеріало- і енергоємні, оскільки на зрізування і подрібнення стебел витрачається близько 40% споживаної машиною потужності. Їх складність полягає в тому, що необхідно універсальною машиною за один прохід прибрати з поля два різні продукти - качани і листостеблову масу.

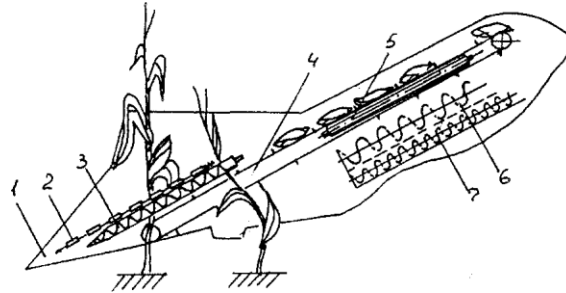


Рисунок 1.5 – Схема русла пікер-хескера 227 фірми “John-Deere”: 1 - миси; 2 - захоплюючі ланцюги; 3 - відриваючі вальці; 4 - транспортер качанів, 5 - очисні вальці; 6 - шнековий транспортер обгорток; 7 - шнековий зерновий транспортер.

При цьому, качани повинні бути очищені від обгорток або обмолочені на зерно, а стебла і листя - подрібнені для силосування. Перші машини для збирання всього біологічного врожаю з'явилися в 60 роках. До них відноситься комбайн УКСК-2,6. До особливостей качановідокремлювального апарату комбайну УКСК-2,6 слід віднести можливість вільного введення стебел в щілину між відриваючими вальцями (рис. 1.6). В якості органів, що подають стебла до відриваючих вальців завдовжки 2650 мм і діаметром по виступах 88 мм, застосовано звичайні планчасті транспортери з притискними валами або бітерами, а відриваючі вальці розташовані горизонтально. Для забезпечення надійності технологічного процесу, апарат має зазор, в якому кінці стебел вільні, відриваючі вальці володіють високою захоплюючою здатністю.

Головною перевагою даного качановідокремлювального апарату є відносно висока універсальність, простота пристрою і невисока енергоємність, можливість збирати кукурудзу з будь-якими розмірами міжрядь. До недоліків

апарату з горизонтальними вальцями слід віднести підвищене пошкодження качанів в результаті підвищеної захоплюючої здатності вальців, а також нестійкість технологічного процесу при збиранні кукурудзи з вологими і зеленими стеблами.

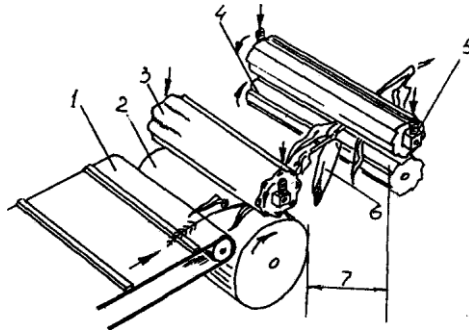


Рисунок 1.6 – Схема качановідокремлювального апарату з вільним введенням стебел в горизонтальні відриваючі вальці: 1 — подаючий транспортер, 2 — підтримуючий вал, 3 — притискний бітер; 4 — відриваючі вальці; 5 — рухомі притискні опори, 6 — качан; 7 — проміжок для проходу відірваного качана.

Згідно даних Південноукраїнської МВС [11], втрати і травмованість качанів досягають відповідно 18,5% і 12,2%, що перевищує аналогічні параметри інших типів качановідокремлювальних апаратів.

Набутий досвід використання вище перерахованих машин являвся поштовхом для подальшого розвитку комбайнобудування. Як результат тривалих наукових і експериментальних досліджень — є поява кукурудзозбирального комбайну “Початок-2”. В цьому комбайні вальці розташовані вздовж рядка і виконують функції протягування стебел і відокремлення качанів (рис. 1.7). Качановідокремлювальний апарат складається з трьох вальців. Верхній валець має гладку циліндричну форму, середній — гладку циліндричну форму з двохзахідною гвинтовою ребордою, нижній валець активний з шістьма поздовжніми ребрами. Верхній і середній вальці здійснюють відрив качанів від стебел. Наявність складних поверхонь обумовлює мінімальне пошкодження качанів. Гвинтові реборди забезпечують переміщення стебел

уздовж вальців.

Діаметр вальців по виступах: верхнього – 65 мм, середнього - 93 мм, нижнього - 91 мм Довжина вальців: верхнього - 1108 мм, середнього і нижнього - 1058 мм Частота обертання: верхнього - 1010 об/хв, середнього і нижнього - 707 об/хв. Зазори між вальцями регулюються. До переваг цього апарату слід віднести те, що він не забруднює ворох як пікерно-стриперний, відриває качани із значно меншими пошкодженнями, в основному без плодоніжок. Проте і він має ряд недоліків, таких як недостатньо надійне введення стебел в західну частину, намотування стебел на активний протягуючий валець. Через перераховані вище недоліки, схема комбайна “Початок-2” не отримала подальшого розвитку.

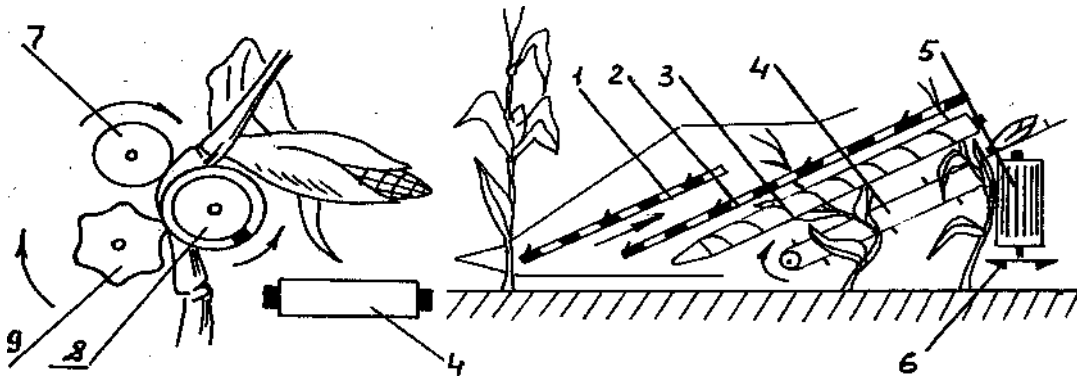


Рисунок 1.7 – Схема русла комбайна “Початок-2” (а-качановідокремлювальний апарат; б - технологічна схема русла): 1 - захоплюючі ланцюги, 2 - подаючі ланцюги; 3 - відриваючі вальці, 4 - транспортер качанів; 5 – бітер; 6 - ріжучий апарат; 7 - верхній валець; 8 - середній валець з двохзахідною гвинтовою ребордою; 9 - активний нижній валець.

На протязі десяти років, починаючи з 1974 року, появляється нове покоління кукурудзозбиральної техніки (ККП-3, КСКУ-6, КМД-6, ППК-4), з пікерно-стриперними качановідокремлювальними апаратами, принципова схема яких наведена на рис. 1.8.

Ця система знайшла застосування також і в США, але значно пізніше пікерної і являється її більш удосконаленою модифікацією, що успішно

конкурує з першою як по продуктивності, так і по повноті збирання врожаю. Ці апарати прості по конструкції, надійні в виконанні технологічного процесу, дають мінімальне пошкодження качанів. Однак, в результаті протягування стебел між пластинами відбувається не тільки відрив качанів, але й очісування зі стебел листя. Це обумовлює збільшення засміченості врожаю качанів листям і верхівками стебел.

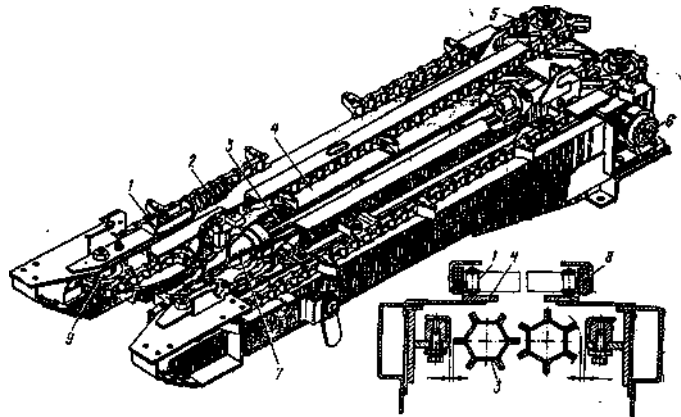


Рисунок 1.8 – Схема пікerno-стреперного качановідокремлювального апарата: 1 - транспортуючий ланцюг; 2 - натяжний пристрій входної зірочки, 3 - протягуючі вальці; 4 - стріперні пластини; 5 - ведуча зірочка транспортуючого ланцюга; 6 - привідний вал апарату; 7 - західний конус протягуючого вальця, 8 - входна зірочка.

Широко розповсюджений у сучасних кукурудзозбиральних машинах стріперний апарат, що містить качановідокремлювальні пластини, скидальні ланцюги, й протягувальні вальці, має ряд недоліків.

Першим його недоліком є відсутність очищення качанів від обгорткових листів. Для усунення цього недоліку кукурудзозбиральні машини обладнані качаноочисниками. Що ж стосується приставок, що навішуються на зернозбиральні комбайни, то наявність при обмолоті качанів сорочки з обгорткових листів, з одного боку, знижує ушкодження зерна, з іншого боку - збільшує його втрати сходом із соломотряса. Останнє відбувається за рахунок того, що обгортка, накручуючись на стрижень качана, перешкоджає вільному виходу зерна через соломотряс.

Другим істотним недоліком цих апаратів є обмеження по швидкості обертання протягувальних вальців, негативно позначається на підвищенні продуктивності збирання кукурудзи. Це пов'язане з тим, що при збільшенні колової швидкості вальців зростає ударний імпульс при взаємодії качана й пластин, що сприяє ушкодженню основи качана й зниженню врожайності за рахунок втрат зерна.

Апарати багатофакторної дії. Тому з метою зменшення сили з'єднання качана з плодоніжкою (стеблами) зроблена спроба вдосконалення качановідокремлювального апарату шляхом встановлення конусних вальців (рис. 1.9.)

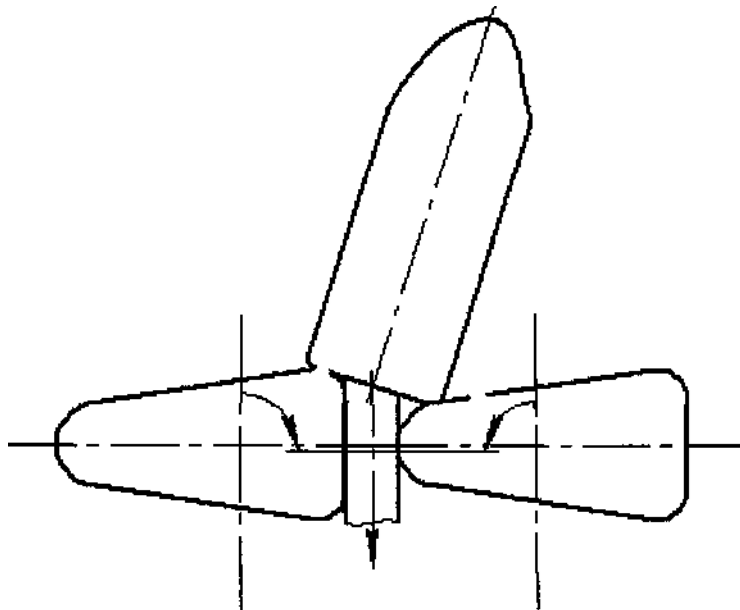


Рисунок 1.9 – Схема качановідокремлювального апарату з конусними вальцями

В процесі взаємодії качана з протягувальними вальцями такої форми забезпечується коливання качана у вертикальній площині тим самим відбувається згинання плодоніжки і створення в зоні її згину критичного зусилля і призводить до її руйнування (розриву). Під час протягування стебел крізь робочу щілину протягувальних вальців стебло здійснює коливальний рух, качан за вагою відносно до стебла має відносно малий момент інерції, це в свою чергу призводить до ймовірного характеру орієнтації качана. Очевидно що форма протягувальних вальців апарату другого типу має значний значний

коефіцієнт тертя, тому підвищується дія вальців на качан в момент відокремлення (закушування), що призводить до підвищення втрат і травмування зерна.

До технологічних недоліків цих апаратів можна віднести те, що відділення качана від плодоніжки проводиться в основному за рахунок прямого розтягання, виконуваного протягу вальними вальцями.

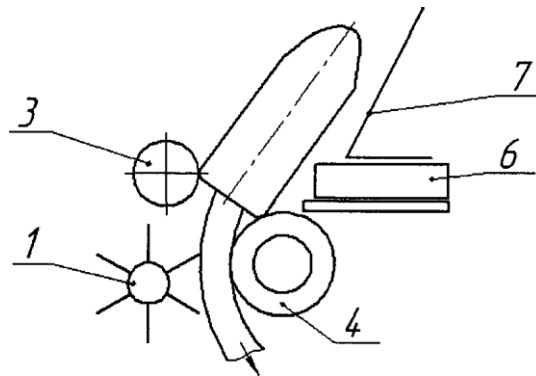


Рисунок 1.10 – Схема трьохвальцевого качановідокремлювального апарату

Заслужують уваги качановідокремлювальні системи розглянуті в літературі [3,5,10]. Розглянутий трьохвальцевий качановідокремлювальний апарат (рис. 1.10.), в якому протягування стебел здійснюється нижнім активним ребристим вальцем 1, що працює в парі із середнім (з гвинтовою ребордою) вальцем 3 в парі з тим же середнім вальцем 4.

Протягувальна здатність апарату в даному випадку забезпечується активністю нижнього вальця, що має на поверхні ребра. В той же час мінімальність пошкодження качанів забезпечує відсутність на робочих поверхнях качановідокремлювальних вальців (верхнього і нижнього) будь-яких активізуючих виступів.

З метою покращення виконання технологічного процесу відокремлення качанів трьохвальцевим качановідокремлювальним апаратом середній валець (рис. 1.10) доцільно активізувати як протягуючий, за рахунок виконання його з рифами, та виключенні його з процесу качановідокремлення та установкою над активізованими вальцями пластини, що спільно з верхніми вальцем виконувала б функцію качановідокремлювальної пари (рис 1.11.)

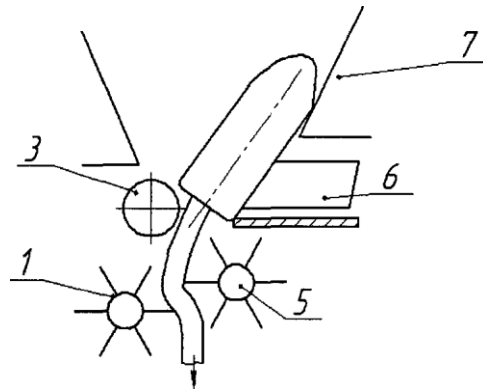


Рисунок 1.11 – Схема трьохвальцевого качановідокремлювально апарату з додатково встановленою пластиною: 1- ребристий валець 3,4-середні вальці

Приведені вище качановідокремлювальні трьох вальцеві системи за даними експериментальних досліджень по основних показниках таких, як ступінь очистки качанів від обгорток становить 82,4 %, за вмістом листостеблових домішок у вороху неочищених качанів - 2%. Проте основним недоліком за яким ці системи не отримали широкого застосування це втрати качанів качанів та травмування зерна — 8 %, цей фактор має місце, тому що відокремлювальні вальці обертаються і поверхня вальця має певний коефіцієнт тертя, який значно підсилюється силою протягування стебла, яка створюється протягу вальними вальцями.

Одним з напрямків вдосконалення качановідокремлюючих апаратів являється розробка пікерно — стріперного качановідокремлювального апарату, який включає в себе пару протягувальних вальців з рифами, та пару стріперних пластин, які встановлені над вальцями і утворюють робочу щілину.

Також на нашу думку заслуговують уваги пікерно - стріперні качановідокремлюючі апарати з додатково встановленими дисками, та пікерно - стріпері качановідокремлюючі апарати з додатково встановленим контуром ременів.[ 3,5,10]

Качановідокремлювальний апарат з додатково встановленими дисками містить: протягувальні вальці, 1, качановідокремлювальні пластини 2 і скидальні ланцюги 3 (рис. 1.12). Апарат обладнаний парою дисків 4 з відстанню між ними,



рівним середньому діаметру качана, установлених у зоні проходу стебел і примусово обертових у напрямку подачі стебел. Диски 4 розташовано на валу 5, який приводиться від ланцюгової передачі 6. Для запобігання забивання простору між дисками один з них обмежений пружиною 7. Диски можуть бути виконані таким чином, щоб їх зовнішні кромки 8 були відігнуті в зовнішню сторону, а внутрішні стінки 9 виконані конічними. Примусове обертання в напрямку подачі переміщує качан до качановідокремлюючих пластин, дещо пригальмовуючи його. Відгин зовнішніх крамок дисків у зовнішню сторону сприяє кращому входженню качанів у зазор між дисками, а виконання внутрішніх стінок конічними - кращої фіксації качанів різного діаметра.

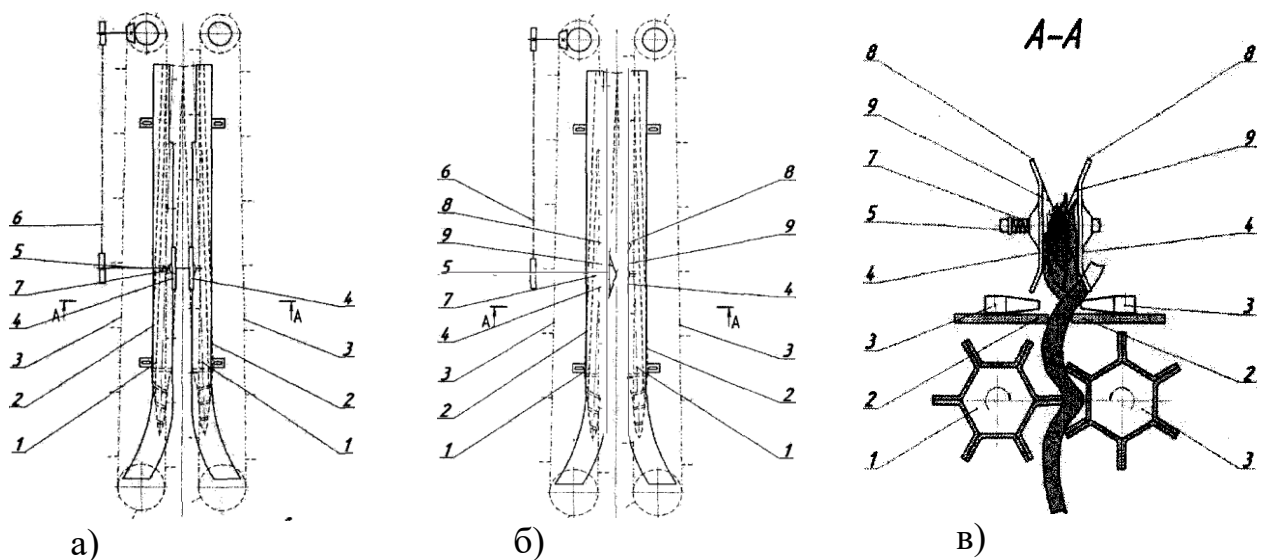


Рисунок 1.12 — Качановідокремлювальні апарати з різними варіантами дисків (вигляд зверху): а - без відтягу зовнішніх крамок; б - з відгином зовнішніх крамок; в- розріз А-А (вигляд спереду): 1 - протягувальні вальці; 2 - качановідокремлювальні пластини; 3 - скидувальні ланцюги; 4 - диски; 5 - вал; 6 - ланцюгова передача; 7 - пружина; 8 - зовнішні кромки дисків; 9 - внутрішні стінки.

Причому один з дисків підпружинений для безперешкодного проходу качанів у випадку заклинювання

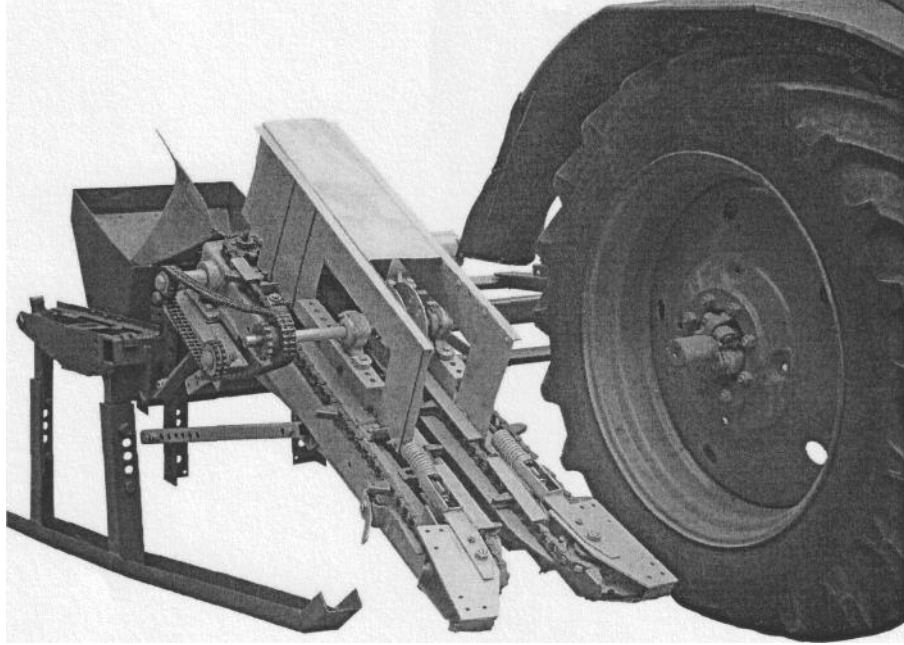


Рисунок 1.13 – Качановідокремлювальний апарат з обертовими дисками

В основу обґрунтування конструкції качановідокремлювального апарата з додатково встановленим контуром ременів покладена наступна робоча гіпотеза: установка додаткового контуру ременів дозволить зменшити ударний імпульс качана об ремінь за рахунок його деформації, а завдяки створенню сили тертя між качаном і ременем можна очікувати збільшення очищення качанів від обгортки. Крім того, наявність двох типів зусиль, що діють на плодоніжку - розтягу під дією протягувальних вальців, і згину, що виникає при контакті з ременем, дозволить знизити втрати на відокремлення качана.(рис. 1.14)

Пропонований качановідокремлювальний апарат працює в такий спосіб . Заведені в апарат лапками 4 подавальних ланцюгів, 3 стебла протягуються вальцями 1, що обертаються назустріч один одному. При цьому качан, потрапляючи в простір між контурами ременів 7, захоплюється ними. При взаємодії качана з ременем відбувається розтяг плодоніжки з згином, що зменшує зусилля відриву.

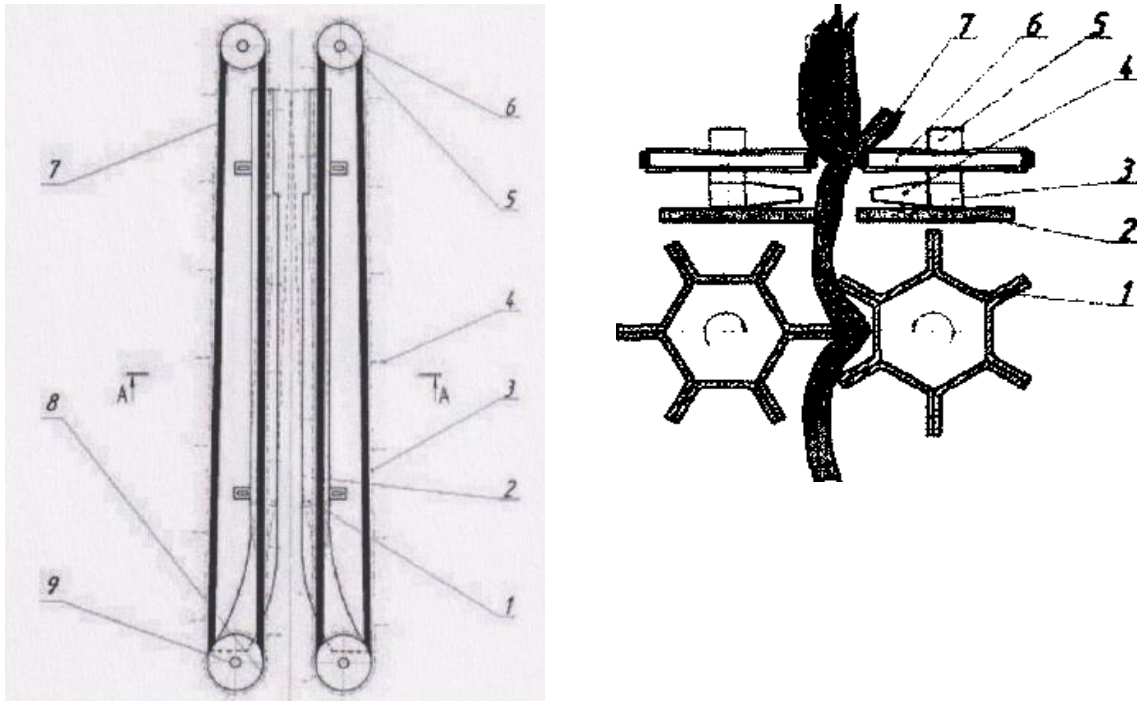


Рисунок 1.14 – Качановідокремлювальний апарат: а - вид зверху; б – розріз А-А: 1 - протягувальний валець; 2 - качановідокремлювальна пластика; 3 - подавальний ланцюг, 4 - лапка ланцюга; 5 - вал; 6 - ведучий шків; 7 - ремінь; 8 - ведений шків; 9 – вісь.

Але основним недоліком цих качановідокремлювальних систем являється те що тут не враховане явище орієнтації качана у робочій зоні, та досить імовірнісний характер потрапляння його на робочі органи.

Цим переліком вичерпуються кукурудзозбиральні системи, що знайшли свого часу широке застосування в світовій і вітчизняній практиці. Всі інші не проявляють цікавості в силу відсутності перевал перед вищезгаданими.

### **Висновки до розділу.**

Аналіз існуючих конструкцій, та конструктивно технологічних схем качановідокремлювальних пристроїв однофакторної та багатофакторної дії показав, що незадовільні показники якості виконання технологічного процесу відокремлення качанів пояснюються в основному однофакторною дією робочих елементів пристроїв.

Запропоновані і розроблювані апарати багатофакторної дії в силу

недостатнього їх теоретичного обґрунтування нероботоздатні і не знайшли широкого застосування.

Виходячи з вищенаведеного бачиться доцільним обґрунтування параметрів та розробка конструкції качановідокремлювального пристрою багатофакторної дії.

## 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КАЧАНОВІДОКРЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Обґрунтування кінематичних режимів роботи

При обґрунтуванні параметрів качановідокремлювальних пристроїв сучасних кукурудзозбиральних машин особливе значення має вибір оптимальних швидкісних режимів їх роботи. Так із збільшенням швидкості протягування стебел підвищується пропускна здатність, а отже і продуктивність машини. Однак, таке збільшення має границі, тому що із збільшенням швидкості підвищується травмованість качанів, а також втрати урожаю відірваними і загубленими на полі качанами. Зокрема, в процесі випробування качановідокремлювальних апаратів багатофакторної дії встановлено, що в них значна частина качанів відокремлюється від плодоніжки при односторонньому ударі по горизонтальній стріперній пластині, в результаті якого виникає ефект «вистрілювання качанів». Очевидно, що в цьому випадку, в результаті високої швидкості протягування стебел, процес переорієнтації качанів в робочій зоні і укладання їх на похилу стріперну пластину не завершується, тобто не забезпечуються умови гнучкого і прогнозованого режиму відокремлення. Тому, для забезпечення умов багатофакторної дії робочих елементів качановідокремлювального пристрою на систему «стебло - плодоніжка - качан», швидкість протягування стебел повинна бути обмеженою в залежності від фізико-механічних властивостей рослин і конструктивних особливостей качановідокремлювальних апаратів.

Виходячи з вище наведеного аналізу для ліквідації недоліків роботи серійних кукурудзозбиральних машин, а саме покращення якості відокремлення, зниження травмованості качанів, спрощення конструкції машин та зменшення металомісткості і енергомісткості кукурудзозбиральних комбайнів нами пропонується конструктивно-технологічна схема модернізованого русла зображеного на рис. 2.1, яка представляю собою функціональне поєднання в одній конструкції горизонтальної та похилої криволінійної пластини. Тобто

особливістю запропонованого качановідокремлювального механізму являється розміщення стріперних пластин в різних площинах, одна з них в горизонтальній, а друга під кутом до горизонту. Причому похила пластина має криволінійну поверхню, по якій обкочується бокова поверхня качана, чим забезпечується направлений рух нижньої частини качана з плодоніжкою на загострене лезо горизонтальної пластини.

При такому поєднанні елементів качановідокремлювального механізму створюються різні види зусиль, направлені на руйнування плодоніжки переважно в топці з'єднання її з качаном: зусилля розриву, зусилля згинання і різання. Слід зауважити, що сам процес суміщення зазначених видів залежить від фізико-механічних властивостей рослин, особливо плодоніжки. Так, коли зусилля розриву досягають значення достатнього для руйнування плодоніжки до моменту нахилу качана, то відокремлення відбувається без зусиль згинання в противному разі при нахилі качана на похилу пластину виникають зусилля згинання до моменту руйнування плодоніжки. І, на кінець, при недостатніх значеннях зусиль розтягування і згинання, плодоніжка в місці з'єднання її з качаном перерізається.

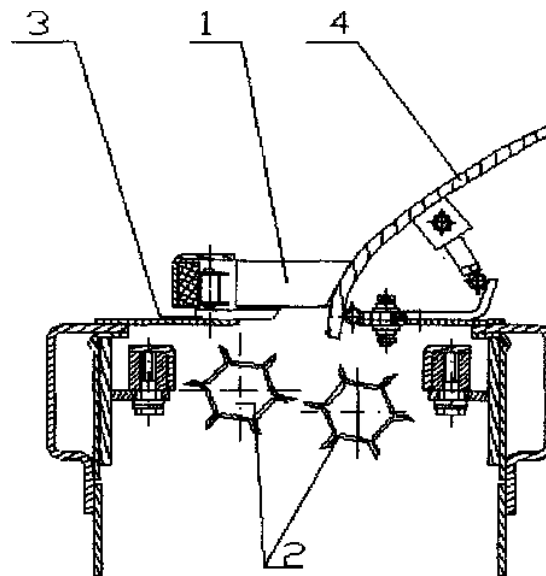


Рисунок 2.1 – Схема комбінованого русла кукурудзозбирального комбайна  
1-ланцюговий транспортер, 2- протягувальні вальці, 3-пластина горизонтальна,  
4-пластина криволінійна.

Як видно, даним механізмом забезпечується гнучкий технологічний процес відокремлення качанів

Слід зауважити, що процес суміщення зазначених видів зусиль, в першу чергу, залежить від фізико-механічних властивостей елементів рослин кукурудзи - качанів та плодоніжок. Саме від величини інерційних характеристик качанів та міцності плодоніжки буде залежати від якого виду зусиль руйнується зв'язок — "плодоніжка-качан".

З іншого боку, умовою забезпечення багатофакторної дії робочих елементів качановідокремлювального механізму на плодоніжку та качан є завершення процесу переорієнтації качана в робочій зоні, коли останній взаємодіє з горизонтальною та похилою пластинами.

Проте, в залежності від швидкості протягування, орієнтації качанів в просторі та їх інерційних характеристик, може мати місце відокремлення качанів при односторонньому ударі їх по горизонтальній стриперній пластині. Це пояснюється виникненням явища "захльостування" качанів на торці горизонтальної стриперної пластини в результаті виникнення значних інерційних сил. Тому, виходячи із поставленої задачі, глибокому і детальному аналізу підлягає процес переорієнтації качана в робочій зоні для з'ясування найбільш сприятливих швидкісних режимів роботи механізму, які сприятимуть його завершенню.

При протягуванні стебел кукурудзи в робочій щілині виникають зусилля взаємодії робочих елементів качановідокремлювального механізму з елементами рослин (стебло, плодоніжка, качан), які викликають переміщення качанів. При цьому напрямок їх переміщень має непередбачуваний характер і, в першу чергу, залежатиме від початкового розташування качанів на стеблі до його протягування. Тому описати математично ці переміщення без певних спрощень дуже важко.

Щоб дати математичну модель переміщення качана, близьку до дійсності, припускаємо наступне: стебло і плодоніжка жорсткі і нерозтяжні елементи, а відривання відбувається тільки в результаті розривання плодоніжки при

розтягуванні; опором повітря можна знехтувати; качан здійснює плоскопаралельний рух, тобто швидкість протягування стебел набагато більша від швидкості поздовжнього переміщення.

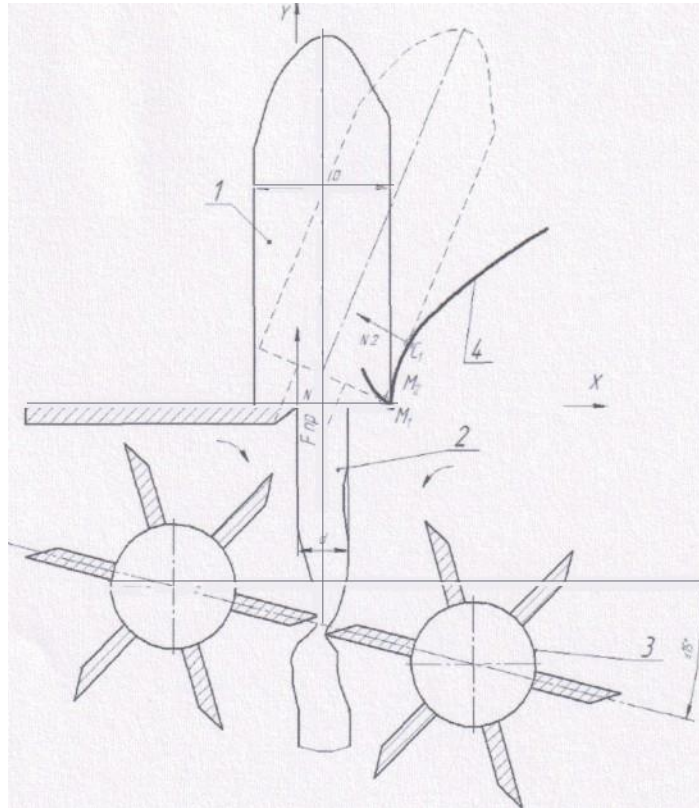


Рисунок 2.2 – Кінематика руху качана: 1- качан; 2- плодоніжка; 3 — протягувальні вальці, 4 — криволінійна поверхня

Найбільш несприятливими, з точки зору виникнення явища одностороннього відокремлення від удару, буде вертикальне положення качана в момент удару, а його початкова кутова швидкість  $\omega > 0 = 0$ . Всі інші положення качана в момент удару будуть менш небезпечними для явища одностороннього відокремлення.

Для побудови моделі переміщення качана розглянемо рух качана відносно нерухомої декартової системи координат  $XOY$  (рис. 2.3.)

На качан (рис. 2.3.) діє система сил:  $F_n$  - сила протягування;  $N$  - нормальна реакція пластини;  $F_T = fN$  - сила тертя ( $f$  - коефіцієнт тертя ковзання);  $G$  - вага качана.



Враховуючи, що здійснює плоскопаралельний рух, складемо диференціальні рівняння його руху, які опишуть рух центра мас і обертальний рух навколо центра мас [1,12,20-22]:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_c}{dt^2} = N \sin \varphi - F_T \cos \varphi \\ m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = -F_n - mg + N \cdot \cos \varphi + F_T \cdot \sin \varphi \\ I_c \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = F \cdot h \cdot \sin \varphi - N \cdot l - F_T \cdot h \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $I_c$  - момент інерції качана відносно осі, яка походить через центр мас  $C$ , перпендикулярно до площини рисунка.

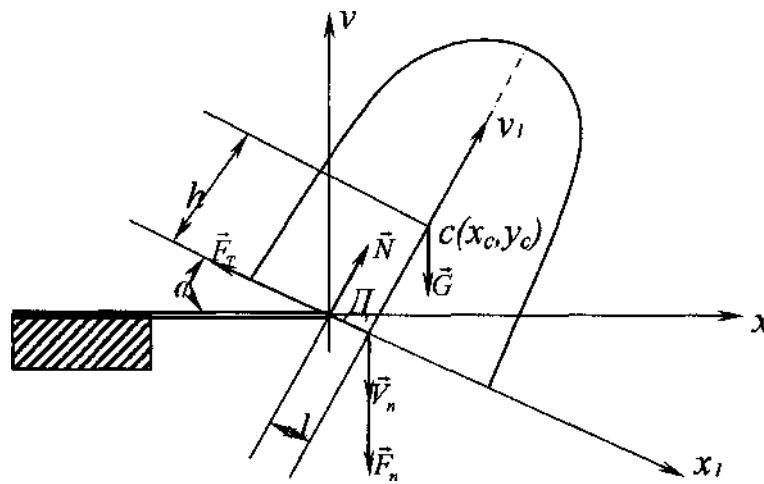


Рисунок 2.3 – Схема переміщення качана при взаємодії із стріперною пластиною.

Скориставшись схемою (рис. 2.3.) та прийнявши, що точка  $O$  (приєднання плодоніжки до основи качана) рухається вертикально вниз із сталою швидкістю  $V_o = V_n$  а швидкість точки  $D$  завжди направлена вздовж осі  $X_1$ , то при плоскому русі запишемо [1,12,20-22]:

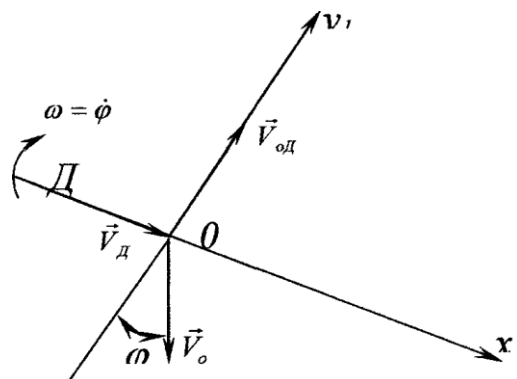


Рисунок 2.4 – Схема до визначення швидкісних характеристик процесу.

Проектуючи рівність (2.2.) на осі  $x_1$  і  $y_1$  отримаємо

$$\begin{cases} V_d = V_n \cdot \sin \varphi \\ V_{oD} = -V \cdot \cos \varphi = \varphi \cdot l \end{cases} \quad (2.3)$$

Із залежностей (2.3.) отримаємо, що

$$\varphi = -\frac{V \cdot \cos \varphi}{l} \quad (2.4)$$

а при  $t_o = 0 \rightarrow \varphi = 0$  і  $l = l_{min}$  будемо мати:

$$\varphi_{t=0} = -\frac{V}{l_{min}} \quad (2.5)$$

де  $l_{min} = \frac{d}{2}$  половина діаметра плодоніжки, мм.

Як видно з виразу (2.5), максимальну кутову швидкість качан набуде при початковому положенні в момент часу  $t_o = 0 \rightarrow \varphi = 0$  і  $l = l_{min}$ .

Прийmemo за миттєвий полюс точку  $O$ , прискорення якої рівне нулю  $a_o = 0$ , запишемо рівняння для прискорення точки  $C$ :

$$a_c = a_o + a_{co}^{доц} + a_{co}^{об} \quad (2.6)$$

де  $a_{co}^{доц} = \omega^2 \cdot h$  - напрямлене від точки  $C$  до  $O$ ;

$a_{co}^{об} = \xi \cdot h$  - перпендикулярне до  $h$  і вважаємо, що напрямлене вліво.

Спроекуємо рівність (2.5.) на осі  $x$  і  $y$

$$\begin{cases} a_{cx} = x_c = -\varphi^2 \cdot h \cdot \sin \varphi - \varphi \cdot h \cdot \cos \varphi \\ a_{cy} = y_c = -\varphi^2 \cdot h \cdot \cos \varphi + \varphi \cdot h \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (2.7)$$

Підставивши вирази (2.7) і (2.5) в рівняння (2.1), отримаємо [1,12,20-22]:

$$\begin{cases} -m \cdot h \cdot (\varphi^2 \cdot \sin \varphi + \varphi \cdot \cos \varphi) = N(\sin \varphi - f \cdot \cos \varphi) \\ m \cdot h \cdot (\varphi \cdot \sin \varphi - \varphi^2 \cdot \cos \varphi) = N(\cos \varphi + f \cdot \sin \varphi) - F_n - mg \\ l_c \cdot \varphi = F \cdot h \cdot \sin \varphi - N \cdot \left(-\frac{V \cdot \cos \varphi}{\varphi} + f \cdot h\right) \end{cases} \quad (2.8)$$

З отриманої система трьох рівнянь, ми можемо визначити: змінні сили  $N$  і  $F_n$  і кут  $\varphi(t)$ .

## 2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів стріперної пластини

В приведеній конструкції качановідокремлювального механізму певні труднощі виклало обґрунтування форми і розмірів криволінійної поверхні. Як виявилось вони будуть залежати в першу чергу від початкового положення качана, яке визначається початком направленою подавання точки різання на

лезо і від умов, які визначають траєкторію руху точки різання.

Для з'ясування цих умов нами проведений аналіз технологічного процесу. Для оптимального протікання технологічного процесу відокремлення качанів при такому поєднанні робочих органів необхідне виконання наступної умови - траєкторія руху точки  $P$  — тобто початкової точки відокремлення повинна задаватися прямою лінією. Тобто криволінійна поверхня повинна забезпечувати такі параметри криволінійності при яких буде виконуватись вище наведена умова.

З геометричної точки зору систему «качан-плодоніжка» умовно можна розглядати як поєднання двох циліндрів відповідно з діаметрами  $D$  та  $d$ . Процес руйнування плодоніжки фактично буде відбуватися у горизонтальній площині яку фактично ми можемо задати відрізком  $PM$ . В даному випадку відрізок  $PM$  буде дорівнювати половині суми діаметрів плодоніжки та качана. А твірна качана буде являтися перпендикуляром до відрізка  $PM$ . Тобто слід забезпечити такі параметри криволінійності при яких, обкочування відрізка  $MC$  забезпечить прямолінійний рух точки  $P$ .

Аналіз параметрів запропонованої схеми вказує на те, що велике значення має форма криволінійної пластини. Для цього доцільно використати одну із відомих кривих з певними властивостями

Наприклад основною властивістю еліпса є те, що сума відстаней від двох заданих фокусів до всіх точок — стала величина. Рівняння еліпса записується так [1,12,20-22]:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.9)$$

Гіпербола - характеризується тим, що абсолютна величина різниці відстаней до фокусів є сталою величиною, та меншою за відстань між фокусами. Рівняння гіперболи має наступний вигляд:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.10)$$

Лемніската — крива, добуток відстаней від кожної з точок якої до фокусів - задана величина. Рівняння кривої [1,12,20-22]:

$$(x^2 + y^2)^2 - 2a^2(x^2 - y^2) = 0 \quad (2.11)$$

Основними властивостями цих кривих, є те, що вони характеризуються певними залежностями відстаней від всіх точок кривої до двох фіксованих точок, що носять назву фокусів, а тому їх важко параметризувати під конкретні умови протікання нашого технологічного процесу.

Виходячи із проведеного теоретичного аналізу в подальших дослідженнях нами були використана крива - трактриса. Унікальністю такої кривої при її використанні для побудови необхідної нам криволінійної поверхні є те, що траєкторія руху точки контакту плодоніжки із різальним лезом представляє собою пряму лінію.

Параметричне рівняння трактриси має вигляд:

$$\begin{cases} x = \frac{D}{a \cos t} + a l g t g t / 2 \\ y = a \sin t \end{cases} \quad R = a \cdot c t g t \quad (2.12)$$

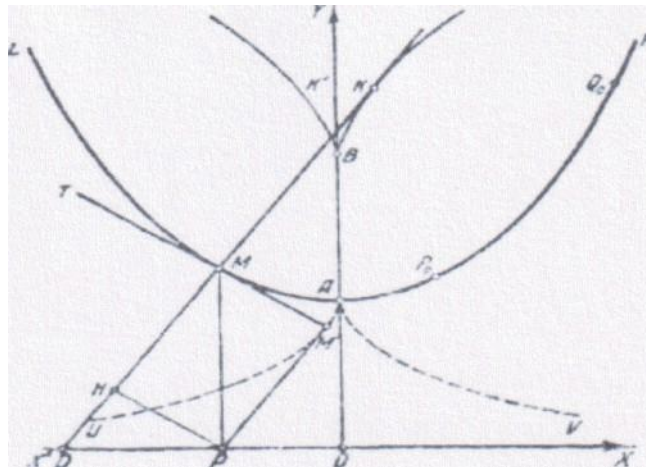


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення побудови радіуса кривизни еволюти трактриси

Трактриса - крива, для якої довжина відрізка дотичної від точки дотику M до точки P перетину з даною прямою - стала величина, але якщо криволінійна поверхня буде являти собою не що інше як еволюту цієї кривої, то в нас будуть виконуватись всі умови оптимального протікання технологічного процесу відривання качанів

Рівняння трактриси приведені до конкретних умов має вигляд:

$$y = \frac{D+d}{2} \cdot \ln \sqrt{\frac{\frac{D+d}{2} + (\frac{D+d}{2})^2 - x^2}{x}} + \sqrt{\left(\frac{D+d}{2}\right)} \quad (2.13)$$

Параметричне рівняння трактриси — траєкторія руху основи качана:

$$\begin{cases} y = \frac{D+d}{2} \cdot \cos \varphi + \frac{D+d}{2} \cdot l \\ x = \frac{D+d}{2} \cdot \sin \varphi \end{cases} \quad (2.14)$$

Прийнявши до уваги, що відрізок  $MP = \frac{D+d}{2} = A$ , де  $D$ - діаметр основи качана,  $d$  — діаметр плодоніжки та підставивши його значення в (2.14) - отримаємо:

Як видно з приведеної схеми (рис. 2.2.) по криволінійній пластині обкочується бокова поверхня качана. Якщо умовно прийняти кут між боковиною качана і його основою рівним  $90^\circ$ , то рівняння криволінійної поверхні буде представляти собою рівняння еволюти трактриси.

Еволюта трактриси являє собою криволінійну поверхню для якої пряма  $MC$  буде дотичною. Для знаходження рівняння еволюти візьмемо другу похідну від рівняння трактриси:

$$y = \frac{D+d}{2} \cdot \ln \frac{\frac{D+d}{2} + \sqrt{\frac{D+d}{2} - x^2}}{x} + \sqrt{\frac{D+d}{2} - x^2} \quad (2.16)$$

Рівняння трактриси приймає вигляд:

$$y = A \cdot \ln \frac{A + \sqrt{A^2 - x^2}}{x} + \sqrt{A^2 - x^2} = A(\ln(A + \sqrt{A^2 - x^2}) - \ln x) + \sqrt{A^2 - x^2} \quad (2.17)$$

$$y'_x = A \left( \frac{1}{A + \sqrt{A^2 - x^2}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{A^2 - x^2}} (-2x) - \frac{1}{x} \right) + \frac{1}{2\sqrt{A^2 - x^2}} \cdot (-2x) = A \left( \frac{-x}{(A + \sqrt{A^2 - x^2})\sqrt{A^2 - x^2}} - \frac{1}{x} \right) - \frac{x}{\sqrt{A^2 - x^2}} = -\frac{\sqrt{A^2 + x^2}}{x\sqrt{A^2 - x^2}} \quad (2.18)$$

$$y''_{xx} = -\left( \frac{\sqrt{A^2 + x^2}}{x\sqrt{A^2 - x^2}} \right) = \dots = \frac{A^2(A^2 - 3x^2)}{x^2 \cdot \sqrt{(A^2 - x^2)^3}} \quad (2.19)$$

Знаходимо радіус кривизни трактриси

$$R = \frac{l}{K}, \text{ де } K = \frac{|\psi'' \varphi' - \psi' \varphi''|}{[\varphi'^2 + \psi'^2]^{3/2}} \quad (2.20)$$

$$x = \varphi(t); y = \psi(t) \quad (2.21)$$

Тоді:

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\left|\frac{d^2y}{dx^2}\right|} \quad (2.22)$$

Звідси

$$x = \frac{D+d}{2} \sin \varphi \quad (2.23)$$

$$\begin{cases} x = A \sin \varphi \\ y = A \cos \varphi + A \ln \tan \frac{\varphi}{2} \end{cases} \quad (2.24)$$

$$y = \frac{D+d}{2} \cos \varphi + \frac{D+d}{2} \ln \tan \frac{\varphi}{2} \quad (2.25)$$

$$\begin{cases} y_{\varphi}^{\cdot} = -A \sin \varphi + A \frac{1}{\tan \frac{\varphi}{2}} \cdot \frac{1}{\sin^2 \frac{\varphi}{2}} \cdot \frac{1}{2} \\ x_{\varphi}^{\cdot} = A \cos \varphi \end{cases} \quad (2.26)$$

Здійснивши певні математичні перетворення отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_{\varphi}^{\cdot} = A \frac{\cos^2 \varphi}{\sin \varphi} \\ x_{\varphi}^{\cdot} = A \cos \varphi \end{cases} \quad (2.27)$$

$$y_x^{\cdot} = \frac{y_{\varphi}^{\cdot}}{x_{\varphi}^{\cdot}} = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} = \cot \varphi \quad (2.28)$$

$$(y_x^{\cdot})_{\varphi}^{\cdot} = (\cot \varphi)_{\varphi}^{\cdot} = -\frac{1}{\sin^2 \varphi} \quad (2.29)$$

$$y_{xx}^{\cdot\cdot} = \frac{(y_x^{\cdot})_{\varphi}^{\cdot}}{x_{\varphi}^{\cdot}} = -\frac{1}{\sin^2 \varphi \cdot A \cos \varphi} = \frac{1}{A \sin^2 \varphi \cdot \cos \varphi} \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{[a + \cot^2 \varphi]^2}{\left| -\frac{1}{A \sin^2 \varphi \cos \varphi} \right|} = [1 + \cot^2 \varphi]^2 \cdot A \sin^2 \varphi \cos \varphi \\ &= \left(1 + \frac{\cos^2 \varphi}{\sin^2 \varphi}\right)^2 \cdot A \sin^2 \varphi \cos \varphi = \left(\frac{\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi}{\sin^2 \varphi}\right)^2 \cdot A \sin^2 \varphi \cos \varphi \\ &= \frac{1}{\sin^3 \varphi} \cdot A \sin^2 \varphi \cos \varphi = A \cot \varphi \end{aligned}$$

Отже таким чином ми вивели рівняння еволюти звівши його до наступного вигляду

$$R = A \cot(\varphi) \quad (2.31)$$

$$A = \frac{D+d}{2}$$

де:  $D$  — діаметр основи качана,  $d$  — діаметр плодоніжки

Як видно, при цьому точка контакту рухається по прямій, а точка при вершині описує трактрису. І як було відмічено, боковина качана повинна обкочуватись по еволюті трактриси.

### **3. ПРОГРАМА Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1 Програма експериментальних досліджень.**

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

У програмі експериментальних досліджень передбачається:

- визначення фізико-механічних властивостей рослин кукурудзи в період збирання;
- дослідження впливу режимів роботи нового качановідокремлювального апарату 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. В основу методики визначення розмірно-масових і фізико-механічних параметрів покладені відомі рекомендації, а також конкретні умови проведення досвідів з розробкою й виготовленням необхідних приладів і обладнань.

Для одержання досить точної інформації про параметри досліджуваних об'єктів, дотримувалася головна вимога вибіркового спостереження: кожний план вибірки відбирався із загальної сукупності випадково. Результати досліджень кожного значення ознаки  $x_i$  заносилися в журнал лабораторних спостережень,



групувалася у варіанти  $x_k$  у порядку зростання із вказівкою числа повторень  $I(i)$  ознаки. Крайні значення позначені як  $x_{\min}$  і  $x_{\max}$ . Згідно рекомендацій загальне число вибірок  $n$  по кожному з ознак бралася не менш 50. При цьому:

$$n = \sum_{s=1}^n I(i) \quad (3.1)$$

Статистичний ряд ознаки  $x$  розбивався на ряд класів  $N_k$ . Згідно [16,25]  $N_k = 10$  при цьому  $n \geq 50$ . Крок класу визначався з вираження:

$$t = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N_k} \quad (3.2)$$

При цьому границі для будь-якого  $k$ -ого класу визначалися:

нижня границя

$$x_{k-1} = x_{\min} + t(k - 1) \quad (3.3)$$

верхня границя

$$x_k = x_{k-1} + t \quad (3.4)$$

Відносна частота спостережень по будь-якому  $k$ -ому класу

$$P_k = \frac{n_k}{n} \quad (3.5)$$

де  $n$  – число варіант, що попадають в  $k$ -й клас.

Контрольна формула для перевірки проведених обчислень:

$$\sum_{k=1} P_k = 1 \quad (3.6)$$

Середнє арифметичне значення ознаки по класах :

$$x_{k.c.p} = \frac{x_{k-1} + x_k}{2} \quad (3.7)$$

Числову характеристику центру статистичного розподілу дискретних значень генеральної сукупності визначають по формулі середньостатистичного значення:

$$x_a = \sum_{k=1}^N x_{k.c.p} \cdot P_k \quad (3.8)$$

Оцінку розкиду (розсіювання) значень випадкової величини  $x$  навколо середньостатистичного значення  $x_a$  визначалася по формулі середнього квадрата відхилення (дисперсії)  $S$ :

$$S = \sum_{k=1}^N (x_{k.c.p} - x_a)^2 \cdot P_k \quad (3.9)$$

Для порівняння розкиду значень близько центру розподілу й випадкової

величини, визначаємо середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{S} \quad (3.10)$$

а також коефіцієнт варіації або мінливості ознаки  $v$ :

$$v = \left( \frac{\sigma}{x_{cp}} \right) \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Показник погрішності (помилки) досвіду визначався:

$$\rho = \pm \frac{\sigma}{x_a \cdot \sqrt{n}} \quad (3.12)$$

По рекомендаціях показник погрішності досліду не повинен перевищувати 4,0%. Усі розрахунки виконувалися з використанням табличного процесора «ЕхсеІ» і наведені в таблицях додатків.

Для розрахунку кінематичних і динамічних параметрів пікерно-стриперного качановідокремлювального апарата значний інтерес представляють такі показники, як залежність травмованості качанів від прикладеного зусилля, коефіцієнт об'ємного зминання стебла й качана, залежність зусилля відділення качана від стебла при різних кутах додатка сили, питомий опір плодоніжки зламу, зрізу.

Для математичного опису досліджуваних залежностей використовувався метод найменших квадратів з наступною перевіркою отриманої функціональної залежності на адекватність із використанням критерію Фішера. Визначення функціональної залежності  $y = f(x)$  досліджуваного ознаки здійснювалося при  $j$  фіксованих значеннях аргументу, причому  $j \geq 4$ . Повторність проведення досвіду в кожній крапці фасованого значення аргумента  $n = 5$ .

За результатами проведення досвідів розраховувалося середнє значення функції в кожній крапці, тобто

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (3.13)$$

визначався критерій Кохрена підтвердзувальний рівноточність отриманих результатів [16,25].

На наступному етапі обробки експериментальних даних робилося припущення про можливість опису отриманої залежності функцією першому

ступеня виду:

$$y = ax + b \quad (3.14)$$

після чого перевірялася адекватність за критерієм Фішера  $F_k$ . При виконанні умови  $F_{\text{табл}} \geq F_k$ , при заданім числі ступенів вільності, гіпотеза адекватності опису досліджуваної залежності функцією виду (3.14) ухвалюється з рекомендованим для досліджень у сільському господарстві рівнем значимості 0,95.

У тому випадку, якщо  $F_{\text{табл}} > F_k$  гіпотеза про лінійний характер досліджуваної залежності відкидалася й використовувався опис її вираженням виду:

$$y = ax^2 + bx + c \quad \text{або} \quad y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (3.15)$$

з повторною перевіркою адекватності.

На першому етапі статистичної обробки результатів опитування обчислюється коефіцієнт конкордації  $W$ .

Значення коефіцієнта конкордації змінюється в інтервалі від 0 до 1, і чим більше його значення, тим більше погодженість думок у фахівців.

Після обчислення коефіцієнта конкордації визначають його значимість за критерієм Пірсона (критерій  $\chi^2$  - розподілу для рівня значимості 0,95 і при числі ступенів волі  $t = 12$  у нашому випадку більше табличного,  $\chi_{\text{роз}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2$  ( $\chi_{\text{табл}}^2 = 26,217$ ) коефіцієнт конкордації значиме відрізняється від нуля й можна затверджувати, що погодженість дослідників не є випадковою.

З метою скорочення об'єму експериментальних досліджень, зменшення числа переналагоджень лабораторної установки, числа її робочих органів, а також одержання об'єктивної необхідної інформації про залежність величини втрат качанів і їх травмованість, чистоти купи качанів від одночасної зміни декількох кінематичних режимів, нами було використано трьохрівневе  $D$  - оптимальне планування другого порядку боксу для п'яти незалежних факторів

Методика планування експерименту й обробки експериментальних даних досить добре й у повному об'ємі викладена в спеціальній літературі [16,19,25], тому в дійсній роботі приводиться лише опис використовуваних планів і

послідовність регресійного й статистичного аналізу отриманих математичних моделей.

Для кожного досвіду відбиралося 100 стебел кукурудзи з повноцінними качанами, після проведення досвіду визначалися відібрані навішення й зважувалися, значення яких заносилися в журнал лабораторно-польових спостережень.

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

$$ТП = \frac{m_{ТР}}{m_{ВП}} \cdot 100\% \quad (3.16)$$

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

$$ПП = \frac{m_{ПП}}{m_{ПБ}} \cdot 100\% \quad (3.17)$$

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

$$ЧВ = \frac{m_{П}}{m_{П} + m_{ПР}} \cdot 100\% \quad (3.18)$$

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 [16]:

$$\begin{aligned}
 \text{ТП} &= B_0 + \sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=j}^n B_{ij} \cdot X_i^2 \\
 \text{ПП} &= B_0' + \sum_{i=1}^n B_i' \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B_{ij}' \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=j}^n B_{ij}' \cdot X_i^2 \\
 \text{ПП} &= B_0'' + \sum_{i=1}^n B_i'' \cdot X_i + \sum_{i<j}^n B_{ij}'' \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=j}^n B_{ij}'' \cdot X_i^2
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

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

де  $n$  - число незалежних чинників;

$B_0 \dots B_{ij}$  - теоретичні оцінки коефіцієнтів математичної моделі. Визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів отриманих поліномів (3.19) проводилося за відомими формулами [16,19,25]. Для визначення адекватності математичних моделей розраховувалося значення відгуку  $\bar{Y}$  у кожній точці факторного простору ( $X_0 \dots X_{ij}$ ), де проводився експеримент, і обчислювалося значення дисперсії адекватності  $\sigma_n$ . Адекватність рівнянь регресії, що описують технологічний процес, визначалася за критерієм Фішера.

### 3.2.2 Методика досліджень коефіцієнта відновлення качана кукурудзи.

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 нами заплановано використовувати 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 планується провести досліди з визначенням коефіцієнтів відновлення качанів. Як відомо, знаючи кут відбивання  $\beta$  можна

визначити коефіцієнт відновлення  $R$ , зокрема, коефіцієнт відновлення експериментально визначається наступним чином

$$R = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (3.20)$$

де  $h_1$  — висота падіння качана;

$h_2$  — висота відбивання качана від поверхні.

Перетворивши формулу (3.20) стосовно умов проведення досліджень і схеми приладу отримаємо

$$R = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{h_1 - h_1 \cdot \cos\beta}{h_1}} = \sqrt{1 - \cos\beta} \quad (3.20)$$

де  $\beta$  - кут відбивання качана від досліджуваної поверхні.

### 3.2.3 Методика досліджень опору качанів дії ударних навантажень.

При протягуванні стебла пікерними вальцями, відокремлення качанів супроводжується ударом останніх по стріперних пластинах, внаслідок качани в більшості випадків травмуються. Вивчення опору качанів дії ударних навантажень планується проводитись з метою визначення допустимих навантажень, які не приводять до травмування качанів. Опір качанів ударним навантаженням пропонується визначати по відомій методиці [21] при падінні качана на досліджувану поверхню.

Після визначення середньостатистичного значення допустимої висоти падіння  $h$  розраховувати значення критичної швидкості зіткнення качана  $v_{кр}$  поверхнею, що вивчається. Критична швидкість зіткнення без урахування опору повітряного середовища визначається за формулою [22]

$$v_{кр} = \sqrt{2 \cdot q \cdot h} \quad (3.22)$$

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

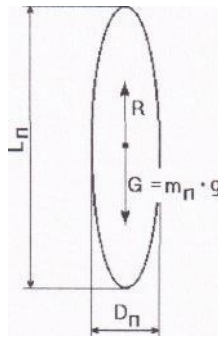


Рисунок 3.1 – Схема сил, що діють, на качан

### 3.2.4. Методика визначення опору качанів статичному стискуванню.

Стискуюче навантаження  $F_{cm}$ , що фактично діє на качан, планується розраховуватися за виразом

$$F_{ст} = q \cdot m \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (3.23)$$

де  $m$  — маса вантажів, встановлених на тарілці, кг;

$l_1$  — відстань від тарілки з вантажами до вісі гойдання коромисла;

$l_2$  — відстань від встановленого на платформі качана до вісі гойдання коромисла.

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

### 3.3 Прилади і устаткування

Для визначення коефіцієнта відновлення качана планується використовувати оригінальний прилад, схема якого приведена на рис. 3.1. Прилад складається із сталевго стрижня 2 із затиском 3 на одному кінці, який вільно обертається у вертикальній площині на осі 1. Кут відхилення стрижня від вертикалі визначається за шкалою транспортира 4. Всі деталі приладу змонтовані на штативі 5.

Для визначення сили зчеплення качана із стеблом використовується

спеціальний прилад за принципом дії аналогічний екстензометру ЕТ-5 [11]. Загальний вид приладу представлений на рис. 3.2. Прилад складається зі встановлених на підставці 1 стійки 2, всередині якої 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, відповідні початку вантаження, встановлюються переміщенням тарілки 8 по різьбі гвинта 7.

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

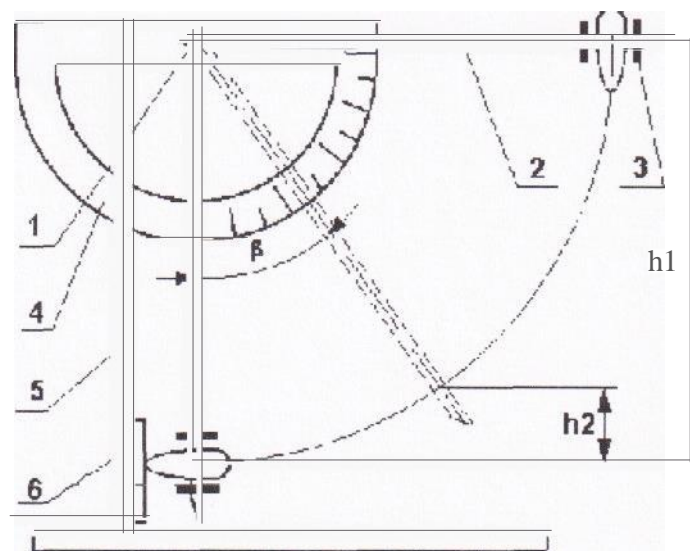


Рисунок 3.1 – Схема приладу для визначення коефіцієнта відновлення  
Для визначення опору качанів і стебел статичному стискуванню



планується використати 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 встановлюється на регульовану по висоті платформу 7. Величина деформацій визначалася за стрілковим індикатором 8 і штангенциркулем 9, закріпленим на стискуючій пластині.

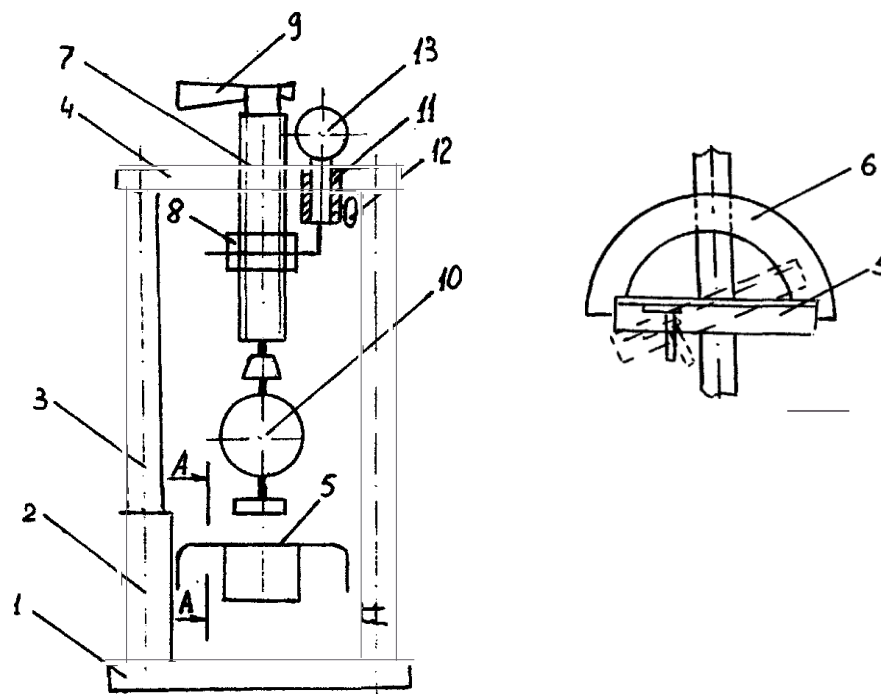


Рисунок 3.2 – Схема приладу для визначення зусилля відокремлення качана

Зміна навантаження, що діє на качан, здійснюється збільшенням числа важків, встановлених на тарілці 6 або її переміщенням по довжині коромисла. Балансири 10 служать для урівноваження коромисла при установці нульового значення стискуючого зусилля на початку навантаження. Схема приладу представлена на рис. 3.4.

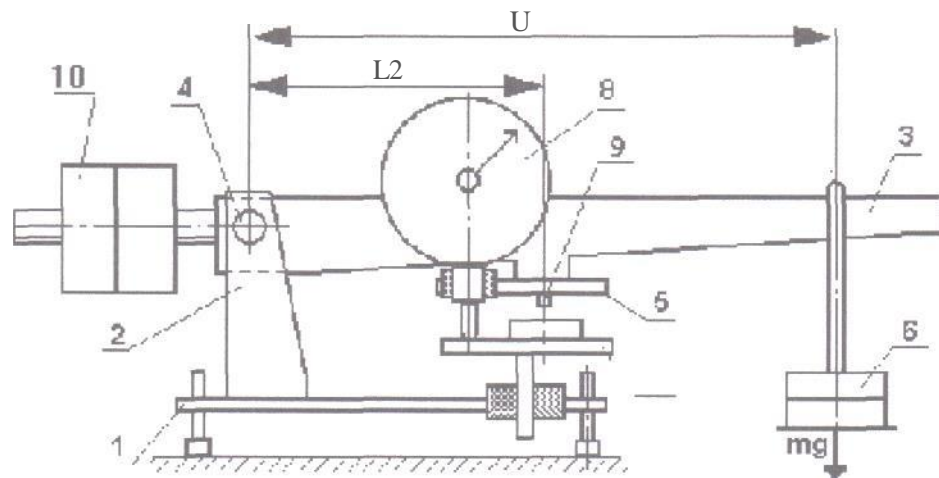


Рисунок 3.3 – Схема приладу для дослідження дії на качани стискуючих статичних навантажень

Для визначення сили різання плодоніжок в статичних умовах пропонується застосовувати прилад, конструктивна схема якого приведена на рис. 3.3, з деякими змінами. Замість платформи 7 встановлюється плита з прорізом для ножа і затискачами для плодоніжки. На стискуючу пластину 5 встановлюються ножі з різними кутами заточування ( $45^{\circ}$ ,  $65^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ). Для експерименту підбираються плодоніжки середнім діаметром 12... 15 мм. Плодоніжка поміщається над прорізом і фіксується за допомогою затискачів. В процесі навантаження коромисла ніж проникає в плодоніжку, а прикладене зусилля відповідає зусиллю різання.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Результати дослідження властивостей рослин кукурудзи

На першому етапі нами вивчалися лише фізико — механічні властивості рослин кукурудзи, зокрема їх розмірно масові параметри, які мають визначальний вплив на якісні показники роботи

Розмірно-масові характеристики. Досліджувався сорт кукурудзи 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 Жеребковський 90 МВ - середньо стиглий, високо врожайний, перевищує стандарти по врожайності на 2... 3 центнери з гектара. Висота стебла 154... 282 см, стійкість до вилягання задовільна. Висота розташування качанів 63... 128 см. Качан слабо конусоподібної форми, завдовжки 14-21 см, кількість рядів зерен 14... 16. Довжина плодоніжки 18 см, діаметр 7 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, рулетка та транспортира. Узагальнені статистичні показники проведених вимірювань зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розмірні характеристики рослин кукурудзи

Сорт	Значення досліджуваного параметра, мм								
	Висота рослин			Висота кріплення качана			Кут нахилу качана		
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>
Жеребковський 90 МВ	1540	2820	2008	630	1280	947	28	65	45

Аналізуючи результати (табл. 4.1.), можна відзначити, що досліджувані

параметри варіюють в досить широкіх межах, особливо це стосується висоти стебла. В окремих випадках цей показник склав 2820 мм, хоча середня висота стеблостою 2008 мм.

Також нами побудовано гістограми розподілу досліджуваних параметрів та встановлені закони розподілу досліджуваних величин.

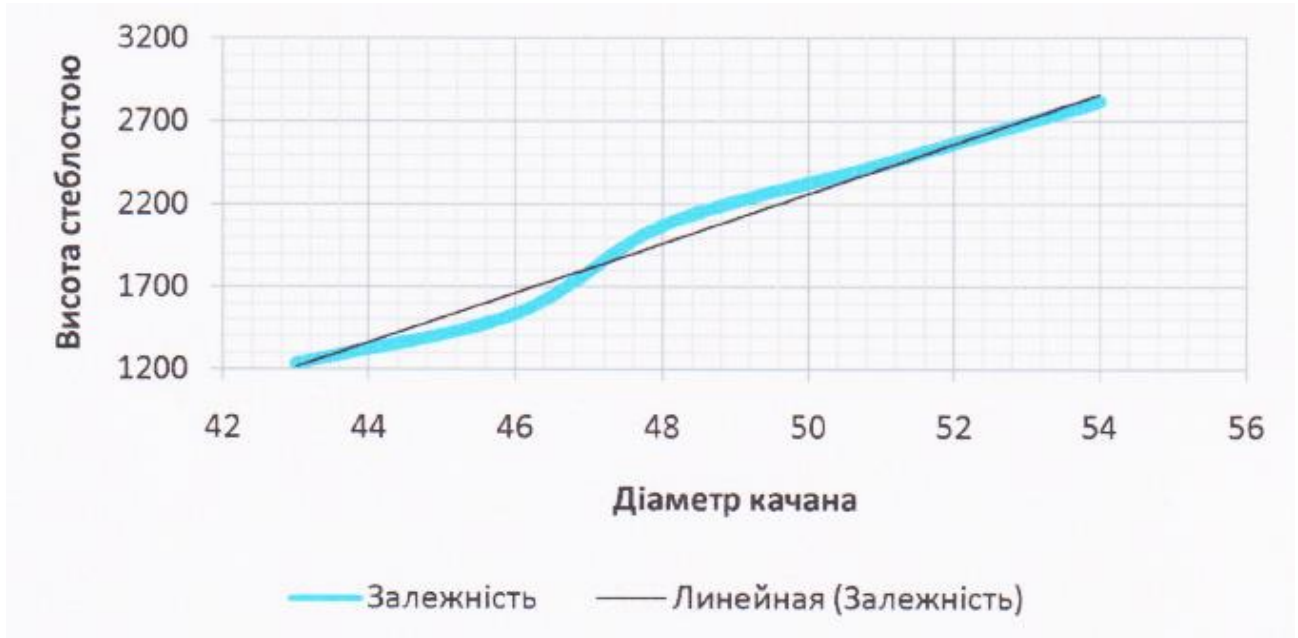


Рисунок 4.1 – Апроксимована залежність діаметра качана від висоти стеблостою

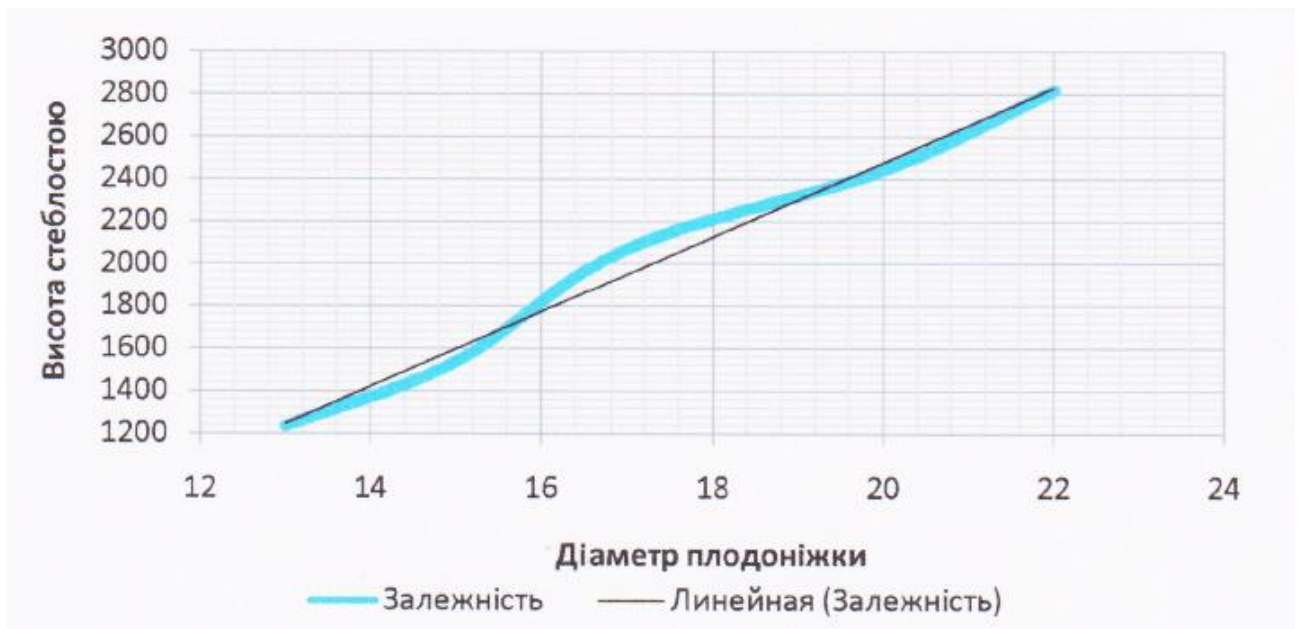


Рисунок 4.2 – Апроксимована залежність діаметра плодоніжки від висоти стеблостою.

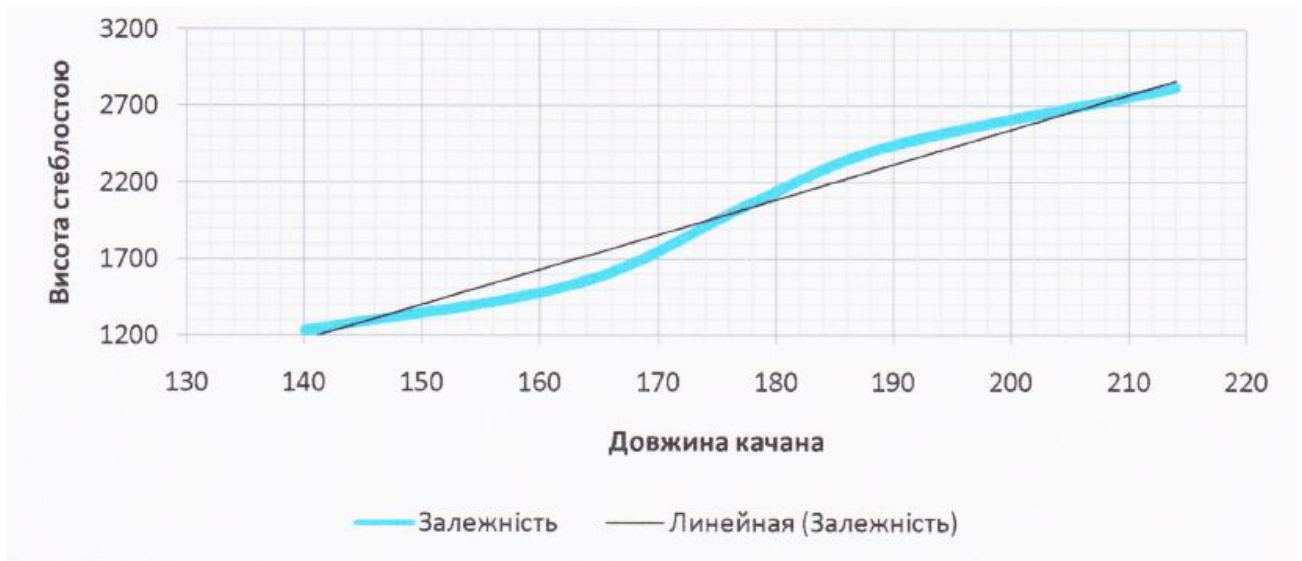


Рисунок 4.3 – Апроксимована залежність довжини качана від висоти стеблостою

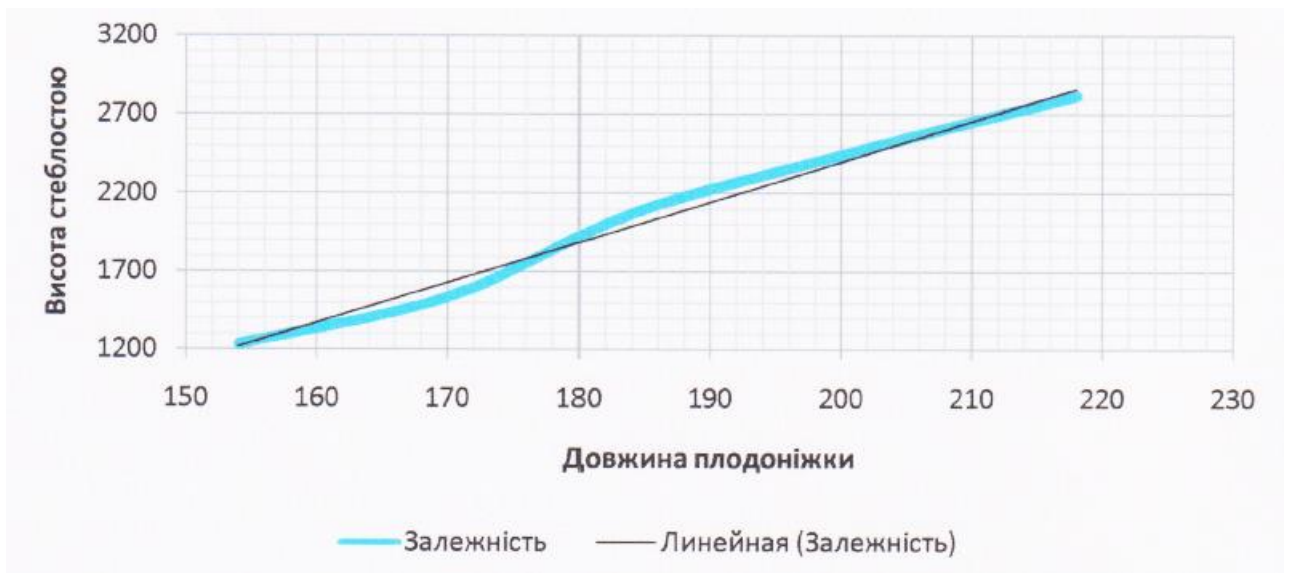


Рисунок 4.4 – Апроксимована залежність довжини плодоніжки від висоти стеблостою.

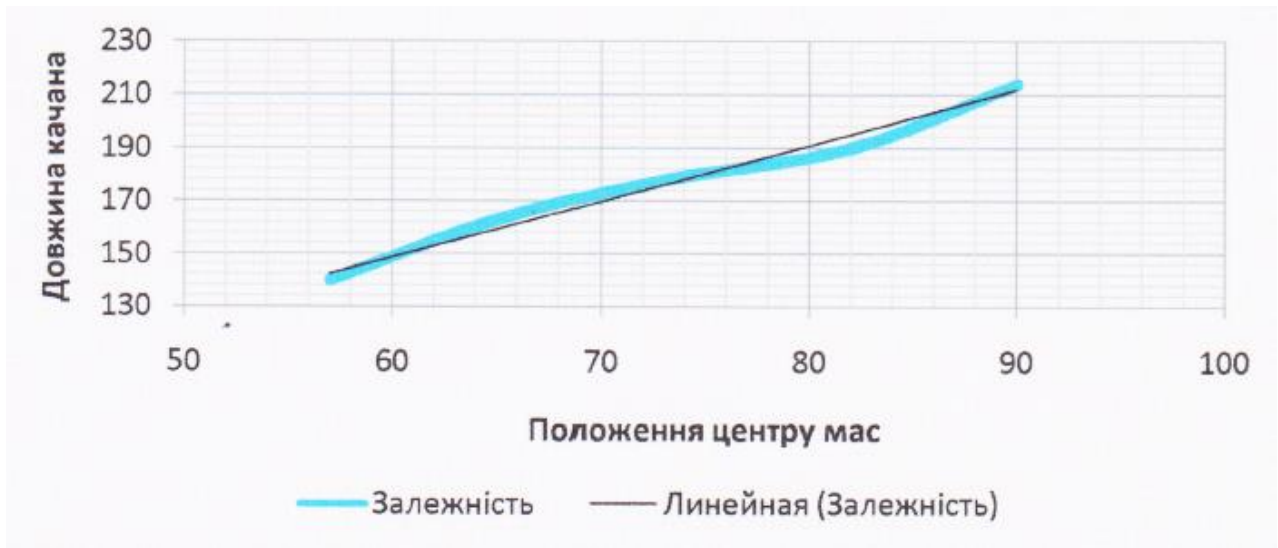


Рисунок 4.5 – Апроксимована залежність положення центру мас від довжини качана.

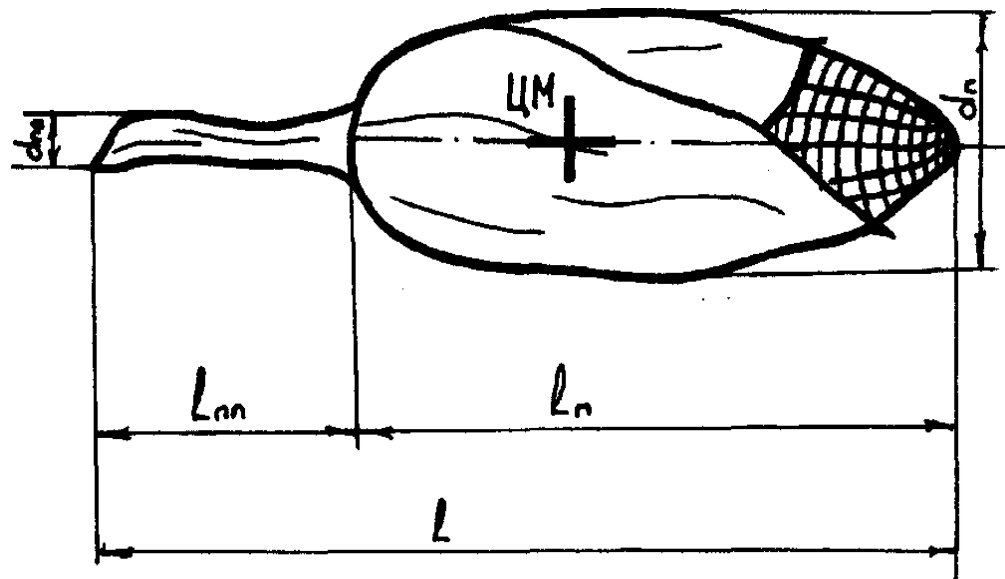


Рисунок 4.6 – Схема визначення розмірних параметрів качана і плодоніжки

На рис. 4.6 приведена схема визначення розмірних параметрів качана та плодоніжки, узагальнені статистичні показники їх досліджень зведені в табл. 4.2 і 4.3.

Таблиця 4.2 – Розмірні характеристики качанів

Значення досліджуваного параметра, мм											
Довжина качана,			Діаметр основи качана,			Відстань від центру мас до основи, мм			Висота стебла, см		
<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>
140	178	214	43	51	48	57	73	90	123	282	207

Таблиця 4.3 – Розмірні характеристики плодоніжки

Значення досліджуваного параметра, мм					
Довжина плодоніжки			Діаметр плодоніжки		
<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>сер.</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>сер.</i>
154	220	184	13	17	22

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 капановідокремлювальних систем і надійність технологічного процесу.

Дослідження зусилля зрізу плодоніжки показали, що зусилля для відділення качана буде мінімальним при згині плодоніжки. Це пояснюється тим, що у відмінності від простого розтягування, при згині напруження в перетині розподіляються нерівномірно, і в місці де концентрація напружень буде максимальною відбувається руйнування. У літературних джерелах такий випадок не розглядався. Як об'єкт дослідження використовувалися плодоніжки сорту Жеребковський 90 МВ. Варіаційна крива, побудована за результатами досліджень зображена на рис. 4.7. Середні значення експериментально отриманих даних сили різання  $F_{риз}$  і розрахункової величини руйнівного напруження зведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Зусилля зрізування плодоніжок

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

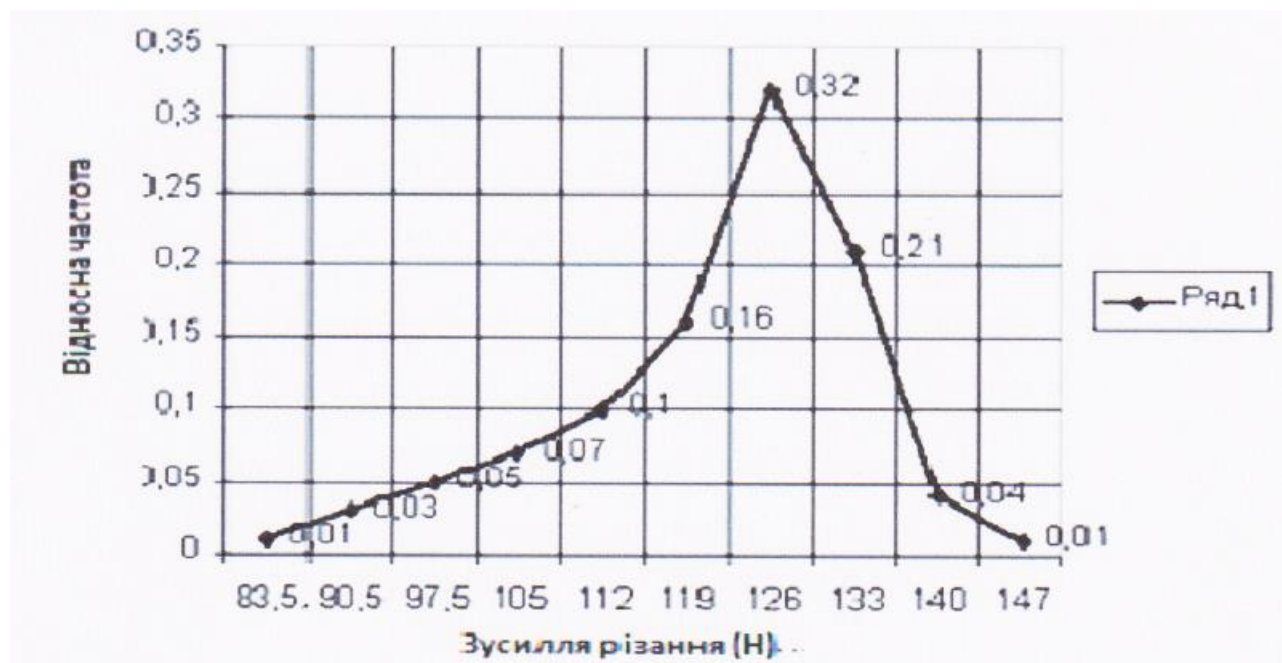


Рисунок 4.7 – Варіаційна крива розподілу зусиль різання

Опір качанів дії ударних навантажень визначався за методикою наведеною в розділі 3, а криничні швидкості зіткнення качанів з матеріалом, що вивчався, визначені без урахування опору повітря і з його врахуванням приведені в табл. 4.8. Як видно з приведених даних табл. 4.8, значення  $v_{кр}$  для різних умов відрізняються менше ніж на 5%, тому надалі при розрахунках конструктивних і кінематичних параметрів опором повітря можна нехтувати.

За наслідками проведення 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 межові навантаження пояснюється пластичними властивостями, які поступово втрачаються з втратою вологи. В деяких випадках критична швидкість зіткнення не повинна перевищувати 4.2

Таблиця 4.5 – Критичні швидкості зіткнення качанів з робочою поверхнею(сталева пластина), м/с

Сорт кукурудзи	Без врахування опору повітря			З врахуванням опору повітря		
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>сер.</i>
Жеребковський 90 МВ (вологість 50%)	5,4	7,1	6,25	5,28	6,66	5,97
Жеребковський 90 МВ (вологість 30%)	4,2	5,9	5,05	4,05	5,59	4,82

## 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 роторного різального апарату, яка жорстко встановлена на раму, оснащена одним експериментальним руслom електроприводом. Живильний пристрій складається з скребкового транспортера, до скребоків якого жорстко кріпляться затискачі стебел кукурудзи, що рухається в горизонтальному напрямному жолобі. 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 качановідокремлювальний апарат.

Швидкість руху транспортера регулюється в межах 1,8...10 км/год. Довжина робочої гілки транспортера складе 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 торцевими загостреними по всій довжині рифами, які працюють "риф в риф" і забезпечують надійне захоплення стебел і їх протягування з постійним кутом;

- зміщені стріперні пластини, одна з яких виконана із загостреною кромкою, друга оснащена регульованим гвинтовим механізмом, з можливістю установки під різними кутами (від 00 до 900).

- 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)

Рисунок 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 за рахунок набору 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 Жеребковський 90 МВ.

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: 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:

$$\begin{aligned} \text{ТП} = & 3,079 + 0,709X_1^2 - 0,190X_2^2 - 0,340X_3^2 - 0,490X_4^2 - 0,240X_5^2 + \\ & 0,611X_1 - 0,376X_2 - 0,291X_3 + 0,700X_4 + 0,909X_5 + 0,396X_1X_2 + 0,771X_1X_3 + \\ & 0,340X_1X_4 + 0,653X_1X_5 + 0,190X_3X_5. \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \text{ПП} = & 4,839 + 1,702X_1^2 - 0,047X_2^2 - 0,698X_3^2 - 0,848X_4^2 - 0,802X_5^2 + \\ & 1,838X_1 - 0,105X_2 - 1,062X_3 + 0,829X_4 + 0,397X_5 + 0,181X_1X_2 - 0,056X_1X_3 + \\ & 0,313X_1X_4 + 0,388X_2X_4 + 0,55X_3X_4 + 0,694X_4X_5 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{ЗВ} = & 5,800 + 2,392X_1^2 - 0,858X_2^2 - 0,992X_3^2 - 1,542X_4^2 - 0,292X_5^2 + \\ & 3,347X_1 - 1,211X_3 + 1,588X_5 + 0,259X_1X_2 - 0,172X_1X_4 - 0,441X_2X_4 - \\ & 0,472X_3X_4 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Після статистичної обробки, згідно [25] 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

$$\begin{aligned} \text{ТП} = & 3,079 + 0,709X_1^2 - 0,190X_2^2 - 0,340X_3^2 - 0,490X_4^2 + 0,611X_1 - \\ & 0,376X_2 + 0,700X_4 + 0,396X_1X_2 + 0,340X_1X_4 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} \text{ПП} = & 4,839 + 1,702X_1^2 - 0,047 + 1,838X_1 + 0,829X_4 + 0,313X_1X_4 + \\ & 0,388X_2X_4 \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \text{ЗВ} = & 5,800 + 2,392X_1^2 - 0,858X_2^2 - 1,542X_4^2 + 3,347X_1 + 0,259X_1X_2 - \\ & 0,172X_1X_4 - 0,441X_2X_4 \end{aligned} \quad (4.6)$$

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:

$$\text{ТП} = 1,889 + 0,709X_1^2 - 0,190X_2^2 + 0,271X_1 - 0,376X_2 + 0,396X_1X_2 \quad (4.7)$$

$$\text{ПП} = 3,161 + 1,702X_1^2 + 1,525X_1 + 0,388X \quad (4.8)$$

$$\text{ЗВ} = 7,342 + 2,392X_1^2 - 0,859X_2^2 + 2,681X_1 + 0,441X_2 + 0,259X_1X_2 \quad (4.9)$$

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  $Y_s$ :

$$\begin{cases} \frac{dT\Pi}{dX_1} = 1.418 \cdot X_1 + 0.396 \cdot X_2 + 0.271 = 0 \\ \frac{dT\Pi}{dX_2} = 0.396 \cdot X_1 - 0.38 \cdot X_2 - 0.376 = 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\begin{cases} \frac{d\Pi\Pi}{dX_1} = 3,404 \cdot X_1 + 1.525 = 0 \\ \frac{d\Pi\Pi}{dX_2} = -0.388 = 0 \end{cases} \quad (4.11)$$

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

Кут повороту осей в центрі координат математичної моделі в канонічній формі визначається по формулі:

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

Зокрема, для показника травмованості качанів отримаємо:  $X_{1s} = 0.045$ ;  $X_{2s} = 0,948$ ;  $\alpha = 10,7^0$ ; для втрат качанів:  $X'_{1s} = -0.75$ ;  $X'_{2s} = -0.05$ ;  $\alpha = 0,0^0$ , для забрудненості вороху  $X''_{1s} = 0,579$ ;  $X''_{2s} = 0,344$ ;  $\alpha = 4,3^0$

Послідовно змінюючи поєднання незалежних факторів, а також провівши аналогічні наведення 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 рис. 4.9.

При цьому травмованість качанів знаходиться в межах  $1\% < T\Pi < 2\%$ ; втрати качанів  $2\% < \Pi\Pi < 3\%$  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  $T\Pi$ ;  $\Pi\Pi$ ;  $ЗВ$  в точках А; В і С, D; і С, Е, F. При цьому травмованість качанів знаходиться в межах  $1\% < T\Pi < 2\%$ ; втрати качанів будуть менше 5% і засміченість оберемка качанів в межах  $9\% < ЗВ < 10\%$ .

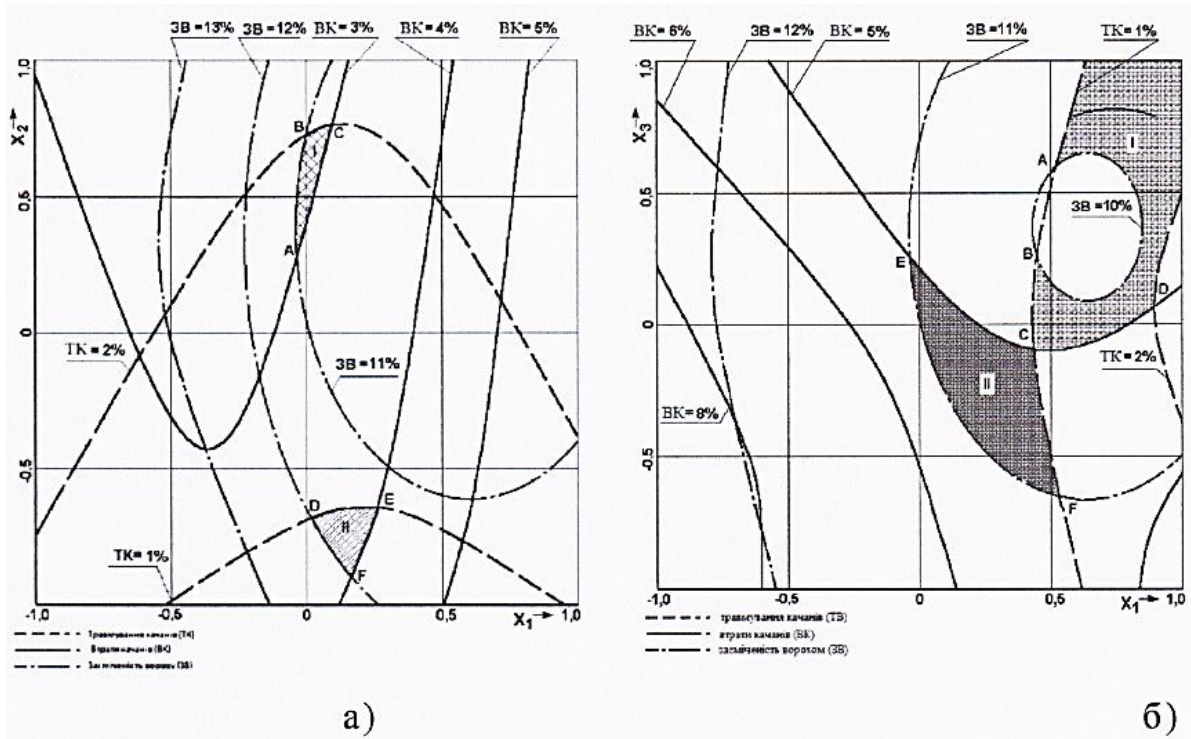


Рисунок 4.9 – Двовірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні факторів:

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

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

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  $X_5$ . 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 А, В, Н, G, К; і А, В, С, 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 такт факторів як кут загострення стріперної пластини  $X_4$  і зазору між рифами  $X_5$  (при  $X_1=0$ ;  $X_2 = 0$ ;  $X_3 = 0$ ), графічна інтерпретація якого приведена на рис. 4.10,6, показує, що тут можна виділити дві оптимальних зони.

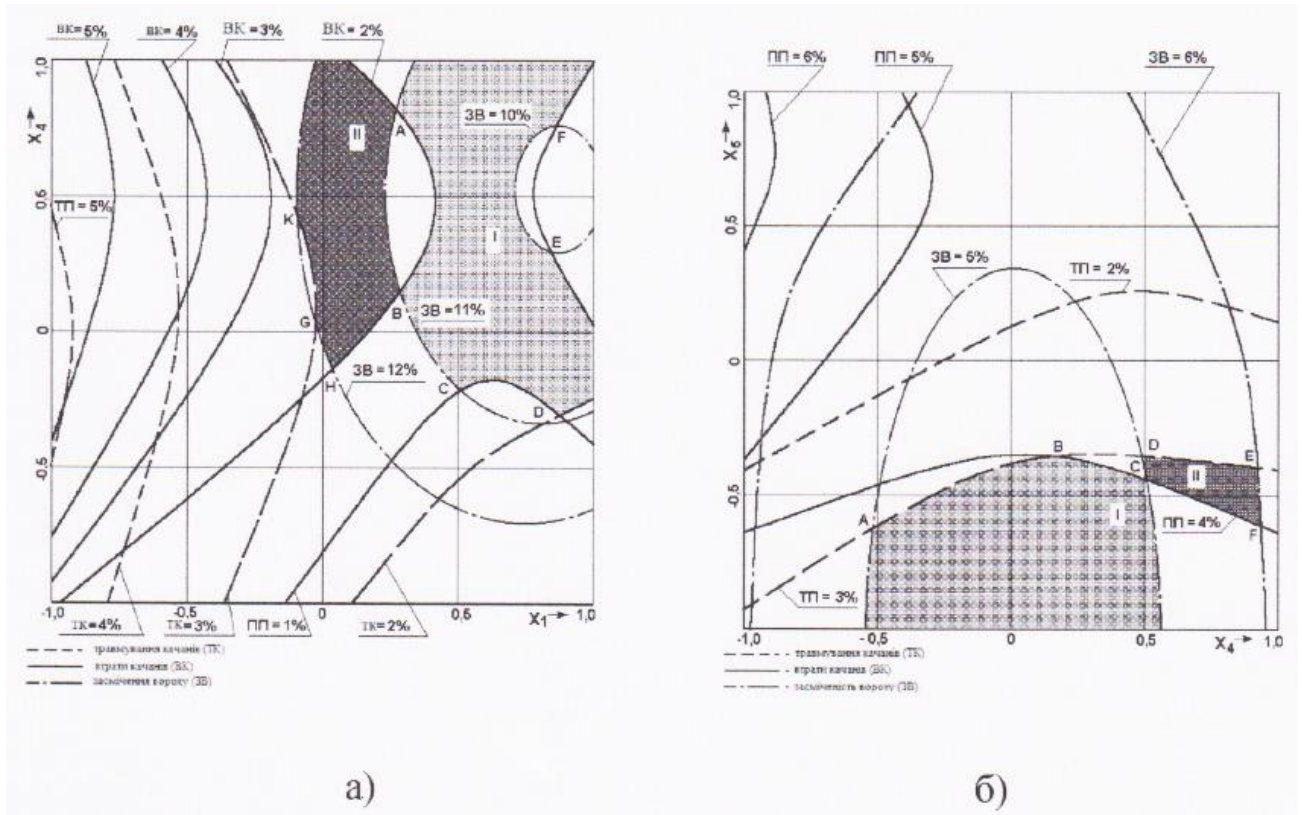


Рисунок 4.10 – Двомірні перетини поверхонь відгуку при поєднанні чинників:

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

б) –  $X_4$  і  $X_5$  (при  $X_1=0$ ;  $X_2=0$ ;  $X_3=0$ )

Перша зона обмежена точками А, В, 3, 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 С, D, E, F, в якій травмованість залишиться на тому ж рівні, проте втрати качанів зростуть до 5%, а засміченість вороху до 6%.

#### Висновки до розділу 4.

1. Розміри рослин кукурудзи і його складових коливаються залежно від умов вирощування. Довжина качанів складає від 14 до 23 см, довжина плодоніжок від 154 до 220 см.

2. Проведено статистичну обробку отриманих досліджень розмірно масових рослин кукурудзи, та встановлено, що варіація отриманих даних

відбувається за нормальним законом розподілу

3. Проаналізовано, залежності між основними параметрами рослин кукурудзи що впливають на технологічний процес відокремлення качанів та отримано апроксимовані залежності одного параметра від іншого встановлено, що встановлена залежність являється прямолінійною.

4. Зусилля, необхідне для відокремлення качанів, зменшується при згинанні плодоніжки в 2,4 разу, а найменше значення буде при постійному куті орієнтації качанів  $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$ , при якому також знижується на 5-10% їх трудомісткість

5. Качани володіють відносно високою стійкістю до статичних і динамічних навантажень. При досягненні повної стиглості опір качанів стискувачу статичному навантаженню зростає, проте сили стискування не повинні перевищувати критичного зусилля  $P_{кр} < 50 \dots 65 \text{ Н}$ . Стійкість до ударних навантажень навпаки знижується із зменшенням вологості качанів - допустила критична швидкість зіткнення качана 4,2 м/с.

6. Найбільший вплив на величину якісних показників технологічного процесу (втрати качанів, їх травмованість і забрудненість вороху качанів), при криволінійності похилої пластини 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.

7. 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 -  $65^{\circ}$  і кут загострення пластини до  $25^{\circ}$ .



## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно та обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій

В період збирання кукурудзи на зерно задіяна різноманітна сільськогосподарська техніка Інтенсивно її використовують під час збирання. До роботи з машинами і знаряддями допускаються особи, ознайомлені з будовою машин, процесами роботи і мають посвідчення на право працювати на них. Перед початком роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки і виробничої санітарії.

Технологічний процес збирання кукурудзи на зерно включає в себе наступні операції [2,14,15]:

- комбайнування;
- заміна причепів під качани;
- транспортування причепів з качанами;
- вивантаження причепів.

При виконанні вище наведених операцій можуть виникати наступні травмонебезпечні чинники:

- комбайнування:
  - технічна несправність машини;
  - регулювання робочих органів в процесі роботи машини;
  - відсутність захисних кожухів на провідних елементах машини;
  - знаходження сторонніх осіб в зоні роботи машини;
- заміна причепів під качани:
  - технічна несправність транспортних засобів;
  - перевищення допустимої швидкості руху;
  - нетверезий стан водія;
  - рух трактора без команди причіплювача
- транспортування причепів з качанами:
  - технічна несправність транспортних засобів;

перевищення допустимої швидкості руху;

нетверезий стан водія;

порушення правил дорожнього руху.

– вивантаження причепів:

технічна несправність машини;

регулювання робочих органів в процесі роботи машини;

нетверезий стан водія;

знаходження сторонніх осіб в зоні роботи машини.

Виявлені та обґрунтовані чинники травмонебезпечних ситуацій при збиранні кукурудзи дадуть можливість уникнути нещасних випадків.

## **5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення травм та розробка моделі травмонебезпечних і аварійних ситуацій при збиранні кукурудзи па зерно**

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи даного 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 відмов 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 використовують оператори "І" та "АБО", після цього виконують 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 всі базові події, що визначають межу моделі .

Після обчислення 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, застосовуючи формули:

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:

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

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:

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

3. Оператор "І" об'єднує  $n$  події з ймовірностями  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  тоді ймовірність вихідної події  $P$  буде

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

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

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

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

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

Якщо до оператора "АБО" входять потири 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. 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.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 5.2).

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (5.4), одержимо ймовірність події 3:

$$P_3 = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,5.$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_8 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,65.$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,65 + 0,65 - 0,65 \cdot 0,65 = 0,38.$$

$$P_{14} = P_8 + P_9 + P_{10} - P_8 \cdot P_9 - P_8 \cdot P_{10} - P_9 \cdot P_{10} + P_8 \cdot P_9 \cdot P_{10} = 0,58 + 0,65 + 0,65 - 0,58 \cdot 0,65 - 0,58 \cdot 0,65 - 0,65 \cdot 0,65 + 0,58 \cdot 0,65 \cdot 0,65 = 0,16.$$

$$P_{15} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,86 + 0,16 - 0,86 \cdot 0,16 = 0,47.$$

$$P_{17} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,47 \cdot 0,1 = 0,047.$$

Таким чином на робочому місці під час технічного обслуговування жатки кукурудозбирального комбайна при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 4,7 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість підставок за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки - до 1.

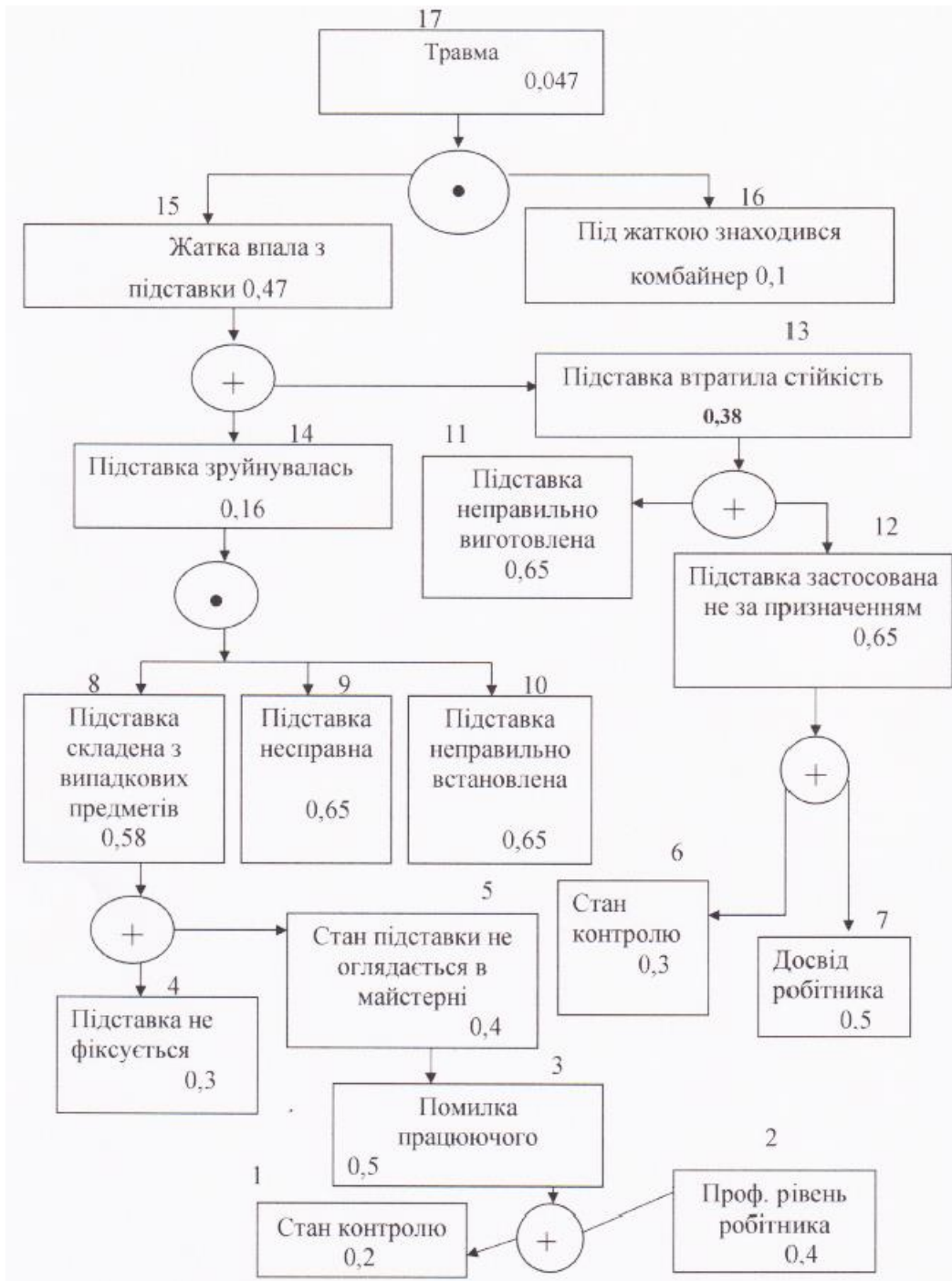


Рисунок 5.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при технічному обслуговуванні жатки комбайна КСКУ-6М

### 5.3 Обґрунтування інженерно-технічних рекомендацій відносно безпечного перебігу процесу збирання кукурудзи на зерно

Вимоги безпеки під час збирання кукурудзи на зерно:

комбайн повинен під'їжджати до причепів плавно, на малих обертах двигуна. На шляху руху комбайна не повинні перебувати люди. Гідросистема

комбайна повинна бути справною Перед початком руху агрегату оператор повинен подати сигнал для людей, що перебувають поруч. Заборонено працювати на машинах без захисних огорожень і щитків.

при підтягуванні запобіжних муфт забороняється стояти напроти кінця валу. Регулювання проводить справним інструментом. Забороняється очищати руками миси, елеватори, барабан, транспортери;

під час роботи не дозволяється передавали керування агрегату особам, які не закріплені за даною машиною, незалежно від того, яку посаду вони

забороняється під час руху агрегату перевіряти і регулювати робочі органи і механізми, усувати несправності, змащувати комбайн, очищати миси, транспортери, елеватори, барабан; різальний апарат

очищення і регулювання дозволяється виконувати тільки при заглушеному двигуні;

в місцях розворотів агрегату не дозволяється знаходження людей і транспортних засобів;

при транспортних переїздах вивантажувальні пристрої комбайна слід установити в транспортне положення. Забороняється перевозити людей на комбайні. Не дозволяється переїжджати під лінією електропередач, якщо відстань від найвищої точки комбайна до нижнього електропроводу менше ніж 2 метри.

#### **5.4. Захист цивільного населення**

Будь-хто із цивільного населення має право на захист свого життя та здоров'я від наслідків аварій, катастроф, значних пожеж, а також стихійного лиха. Гарантом такого права є створена Державою система цивільної оборони, мета якої захист населення від небезпечних наслідків аварій та катастроф техногенного та військового характеру.

Такі заходи включають в себе [24]:

управління діяльністю робітників та службовців, населення при загрозі та виникненні надзвичайних ситуацій;

захист населення від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха;  
забезпечення населення питною водою, продовольчими товарами,  
предметами першої необхідності;  
захист продовольства, харчової сировини, фуражу, водо джерел від  
радіаційного, хімічного та біологічного забруднення;  
житлове забезпечення та працевлаштування;  
комунально-побутове та медичне обслуговування;  
навчання населення способам захисту і діях в надзвичайних ситуаціях;  
санітарну обробку, знезараження території, споруд, транспортних засобів,  
обладнання, сировини, матеріалів і готової продукції;  
підготовка сил та засобів ведення рятувальних та інших невідкладних  
робіт в районах лиха і осередках ураження;  
забезпечення населення інформацію про характер і рівень небезпеки,  
порядок поведінки, морально-психологічну підготовку і заходи, щодо  
підтримання високої психологічної стійкості людей в екстремальних умовах;  
заходи, спрямовані на попередження, запобігання або послаблення  
несприятливих для людей екологічних наслідків надзвичайних ситуацій та інші.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих конструкцій, та конструктивно технологічних схем качановідокремлювальних пристроїв однофакторної та багатофакторної дії показав, що недоліки в незадовільних показниках якості виконання технологічного процесу відокремлення качанів пояснюється в основному однофакторною дією робочих елементів пристроїв.

2. Запропоновані і розроблювані апарати багатофакторної дії в силу недостатнього їх теоретичного обґрунтування нероботоздатні і не знайшли широкого застосування.

3. Виходячи з вищенаведеного бачиться доцільним обґрунтування параметрів та розробка конструкції

4. Запропонованою конструкцією качановідокремлювального пристрою

5. Кінематичний режим роботи, швидкість протягування та взаємне розташування робочих елементів визначаються завершення переорієнтації качана в робочій зоні.

6. Найбільш оптимальна робоча поверхня криволінійної пластини описується рівнянням еволюти трактиси (залежності 2.31, 2.32)

7. Найбільший вплив на величину якісних показників технологічного процесу (втрати качанів, їх травмованість і забрудненість вороху качанів), при криволінійності похилої пластини мають такі незалежні фактори:  $J_t$  - частота обертання протягувальних вальців;  $X_y$  - подача рослинної маси;  $X_3$  - кут нахилу стріперної пластини;  $X_4$  - кут загострення стріперної пластини;  $X_5$  - зазор між рифами вальців.

8. 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 .

9. Ефективність застосування кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6М



з новим качановідокремлювальним апаратом 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.

## СПИСОК ВПКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарсв В.Т., Рудік О.О. та ін.. Удосконалення качановідокремлюючих систем кукурудзозбиральних машин. Техніка АПК, Київ, 2001, № 1-2.
2. Винокуров Л. Е.; Васильчик М. В.; Гаман М. В. Основи охорони праці. Київ.: Вікторія. 2001. 254 с.
3. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. та ін. Сільськогосподарські машини. Київ.: Урожай, 2004. 448 с.
4. Войтюк Д.Г. Дипломне та курсове проектування. Київ: Урожай, 1994, с.445.
5. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 2004, 558 с.
6. Гречкосій О. М. та ін. Довідник сільського інженера. Київ.: Урожай, 1988. 360 с.
7. ДСТУ 321 - 96. Система конструкторської документації. Терміни та позначення основних понять. Введ. 01.01.97.
8. Ільченко В. Ю., Карасьов П. І. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ.: Урожай, 1993. 286 с.
9. Ільченко В.Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ:Вища школа., 1993.
10. Комбайн кукурудзозбиральний самохідний КСКУ-6. Технічне описання та експлуатація. ВАТ “Херсонські комбайни”, Херсон, 1986. 166 с.
11. Кузенко Д.В. Аналіз технологічного процесу і силової взаємодії качанів з робочими елементами качановідокремлювального механізму. Вісник аграрної науки Причорномор'я. вип.2(16),с.233-240. Миколаїв, 2002.
12. 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, 2007. №11. с.84-89.
13. Кузенко Д.В. Сучасний стан та напрямки технологічного

вдосконалення вітчизняних кукурудзозбиральних машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії, випуск 2, том 14, Мелітополь, 2001.

14. Лехман С. Д. та ін. Довідник з охорони праці в сільському господарстві (запитання і відповіді). Київ.: Урожай, 1990. 400

15. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. -273 с.

16. Основи наукових досліджень. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №2 і №3 для студентів факультету механізації сільського господарства. Львів. 1998. 38с.

17. Охорона праці в сільському господарстві. Довідник. Київ. Агросвіт 2000. 214 с.

18. Погорілець О.М. Зернозбиральні комбайни. Київ: Урожай 1994. 227 с

19. с. Гайдучок В. М., Затхей Б. І., Лінник М. К. Теорія і технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. Львів : Афіша, 2005. 232 с.

20. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. Київ: Урожай, 2012. 364 с.

21. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Київ: Урожай, 2021. – 384 с.

22. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

23. Сільськогосподарські машини. Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. / Рибарук В. Я., Ріпка І. І. Львів, ЛДАУ, 1998. 264 с.

24. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Київ: Урожай. 1994. 360 с.

25. Ткач Є. І., Сторожук В. П. Загальна теорія статистики: підручник [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 442 с.

26. Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. Київ: НМК ВО, 1991. 199 с.

## **ДОДАТКИ**

Таблиця 1 – Протокол досліджень розмірно - масових характеристик рослин кукурудзи

№Ф	Висота стебла	Товщина стебла на висоті зрізу	Висота кріплення качана	К-сть качанів	Кут нахилу качана	Довжина плодоніжки	Діаметр плодоніжки	Довжина качана	Діаметри качана на відстанях від основи			Діаметр основи	Положення центру маси
									6см	12см	18см		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
1	1650	16	950	1	38	154	13	176	44	30		46	65
2	1790	20	1100	1	45	162	16	152	49	32	21	49	86
3	1750	20	980	1	38	164	14	185	44	19	17	46	72
4	1680	17	840	1	40	156	15	205	51	44	36	51	73
5	1680	15	870	1	35	158	17	140	45	34		45	72
6	1780	20	890	i	49	167	18	163	49	34	16	49	69
7	2580	23	1180	1	41	210	14	163	44	38		51	78
8	1235	17	930	1	42	146	16	168	50	40	37	50	82
9	1980	20	660	1	50	182	22	202	45	42	44	45	81
10	1320	16	1260	1	65	147	20	157	53	49	32	53	90
11	1520	17	870	1	49	162	15	174	50	46		50	72
12	1520	19	940	1	37	163	16	154	50	40	37	50	75
13	1540	17	770	1	41	165	16	163	49	32	21	49	74
14	1653	16	840	1	53	171	19	174	44	19	17	47	62

## Додаток А Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	1680	16	930	1	41	172	18	182	52	45	32	52	82
16	1720	17	940	i	54	171	18	174	50	40	37	50	75
17	1740	22	980	1	53	172	19	168	49	32	21	49	74
18	1750	21	950	1	54	174	20	172	44	19	17	46	73
19	1820	20	760	1	38	178	13	170	44	30		51	85
20	1830	16	885	1	49	178	18	200	47	44	37	47	85
21	1870	21	750	i	37	179	20	166	49	34	16	48	72
22	1870	19	865	1	28	180	22	173	50	46		50	82
23	1870	18	905	1	41	176	18	157	44	38		47	78
24	1885	21	800	1	38	182	17	180	51	46		51	64
25	1890	21	750	1	51	181	22	160	49	34	16	48	66
26	1935	15	905	1	41	197	18	168	44	38		46	78
27	1945	20	1050	1	50	182	21	154	44	19	17	52	81
28	1950	23	895	1	42	187	18	162	49	32	21	47	71
29	1960	20	760	1	49	200	22	153	44	19	17	52	90
30	1980	16	815	1	47	180	17	180	51	46		51	59
31	2020	21	1065	1	38	170	21	170	44	30		47	68

## Додаток А Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32	2540	22	1180	1	53	197	16	153	49	32	21	48	90
33	2570	20	980	1	35	185	15	185	52	48	12	52	72
34	2320	23	800	1	38	180	17	180	51	45		51	57
35	2740	18	1180	1	60	196	22	197	54	48	32	54	64
36	1650	13	820	1	55	196	22	198	49	46	15	48	73
37	1790	17	880	1	46	200	18	155	47	44	37	47	87
38	1950	19	865	1	48	193	15	193	50	46	15	50	90
39	2134	20	1110	i	32	168	22	198	49	34	16	48	68
40	2134	20	870	1	48	174	15	156	50	46		48	67
41	2690	23	940	1	53	210	21	180	50	40	37	50	82
42	2140	19	950	1	45	197	18	165	49	32	21	52	86
43	2140	22	860	1	49	197	19	185	44	19	17	48	62
45	2590	19	940	1	51	178	19	175	50	40	37	52	75
46	2610	22	860	1	45	157	17	164	49	32	21	47	74
47	2640	21	1020	1	52	203	20	185	44	19	17	45	78
48	1950	19	800	1	38	182	17	182	51	46		51	78
49	1920	18	870	1	56	196	18	145	49	34	16	48	62

## Додаток А Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
50	1940	18	630	1	41	197	18	152	44	38		46	78
51	1965	18	790	1	60	214	17	214	54	48	32	48	64
52	2165	21	1110	1	55	188	19	175	49	46	15	52	68
53	2165	18	1010	1	43	197	18	184	49	34	16	45	71
54	2165	19	1020	1я	50	185	15	182	50	46		50	63
55	2165	18	1030	1	41	196	18	157	44	38		47	78
56	2165	15	1020	1	49	201	21	204	44	19	17	44	70
57	2165	18	1260	1	32	196	19	211	49	34	16	49	73
58	1650	16	865	1	38	163	13	143	44	30		43	66
59	1720	18	770	1	45	193	16	193	49	32	21	49	74
60	1810	21	650	1	65	218	22	158	53	49	32	53	90
61	1830	20	870	1	51	175	15	175	50	46		50	67
62	1760	19	940	1	52	211	17	200	50	40	37	50	84
63	1450	13	770	1	45	190	16	190	49	32	21	49	74
64	1630	17	700	1	49	183	19	183	44	19	17	44	87
65	1520	20	700	1	31	185	20	185	44	19	17	46	70
66	2170	21	960	1	40	215	15	157	51	44	36	51	73

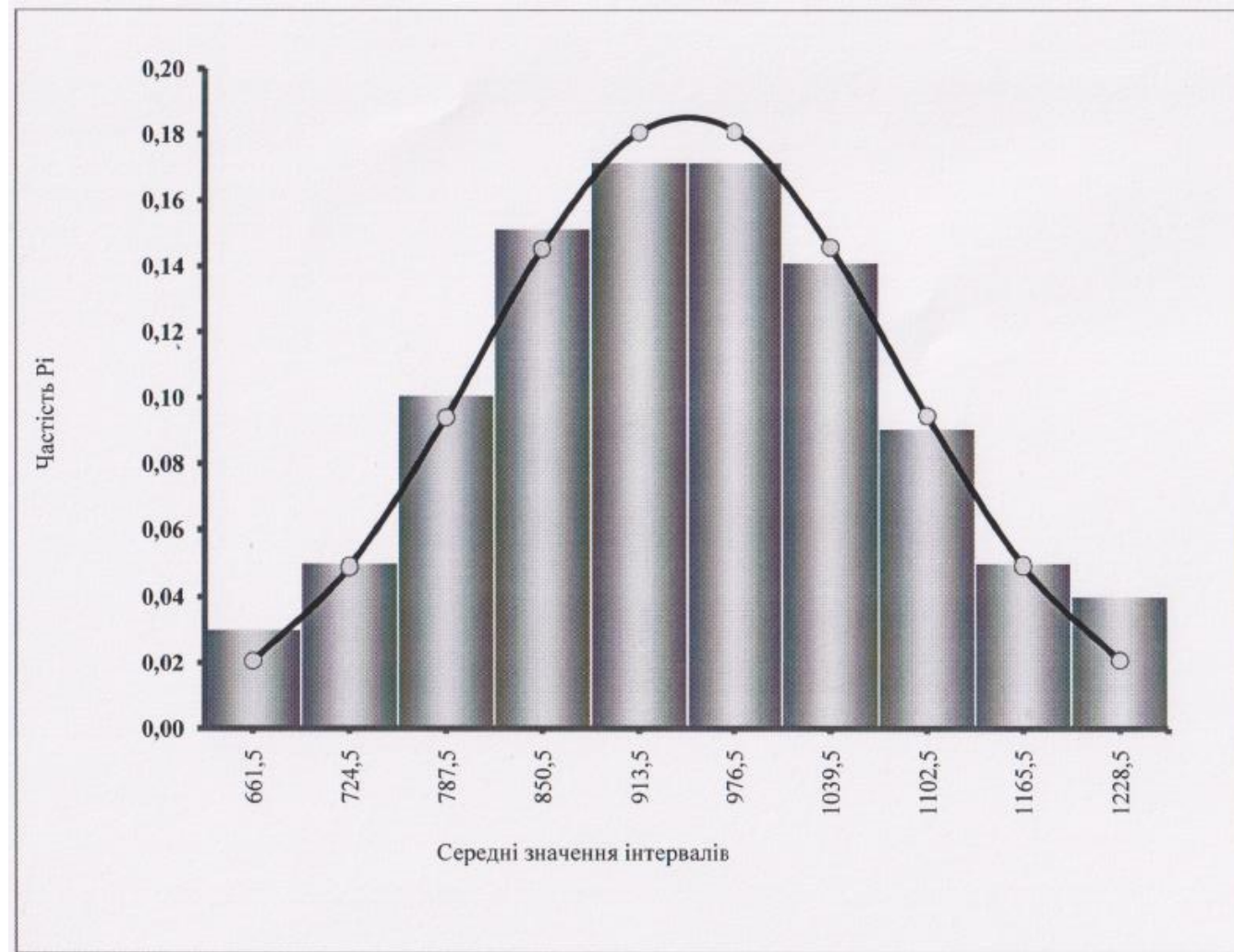


## Додаток А Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
67	2170	17	985	1	35	145	17	145	45	34		47	60
68	2170	18	960	1	48	175	19	192	49	34	16	49	68
69	2170	18	990	1	41	177	17	195	44	38		47	78
70	2170	19	1000	1	46	174	15	174	50	46		53	67
71	2170	19	940	1	45	210	16	210	50	40	37	54	75
72	2170	22	950	1	45	208	16	208	49	32	21	49	74
73	2170	16	905	i	53	185	14	185	44	19	17	53	67
74	2220	19	865	1	47	192	15	192	50	46	15	50	65
75	2220	18	980	1	51	190	14	152	49	34	16	49	63
76	2224	19	950	J	38	206	22	206	50	46		50	67
77	2230	19	940	1	45	210	16	202	50	40	37	52	70
78	2230	23	960	1	45	194	16	194	49	32	21	49	74
79	2230	16	980	1	42	185	20	158	44	19	17	51	88
80	2230	19	940	1	45	216	18	168	50	40	37	50	72
81	2230	17	1040	1	45	190	17	190	49	32	21	51	74
82	2240	21	700	1	41	183	17	183	44	19	17	48	73
83	2240	19	940	1	45	210	20	167	50	40	37	SO	72

## Додаток А Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
84	2250	20	1080	1	45	196	19	166	49	32	21	49	74
85	2250	17	1120	1	49	185	21	185	44	19	17	48	79
86	2250	17	1120	1	50	187	14	187	44	19	17	46	66
87	2440	19	1150	1	40	215	15	164	51	44	36	51	73
88	2440	17	1120	1	35	178	17	178	45	34		45	60
89	2445	18	1260	1	32	191	18	191	49	34	16	47	62
90	2450	18	1090	1	41	190	17	190	44	38		48	78
91	2440	19	1030	1	39	175	15	175	50	46		50	67
92	2445	19	1050	1	45	214	16	214	50	40	37	48	75
93	2455	15	1070	1	45	195	16	195	49	32	21	48	74
94	2445	13	1080	1	54	185	14	185	44	19	17	45	82
95	2445	17	980	1	38	174	17	195	51	46		51	77
96	2280	18	1040	1	52	164	14	178	49	34	16	48	62
97	2445	18	1060	1	41	148	14	174	44	38		46	78
98	2445	18	1040	1	60	212	16	183	54	48	32	49	64
99	2820	21	1230	1	55	175	19	182	49	46	15	49	59
100	2820	23	1150	1	32	158	14	181	49	34	16	49	85



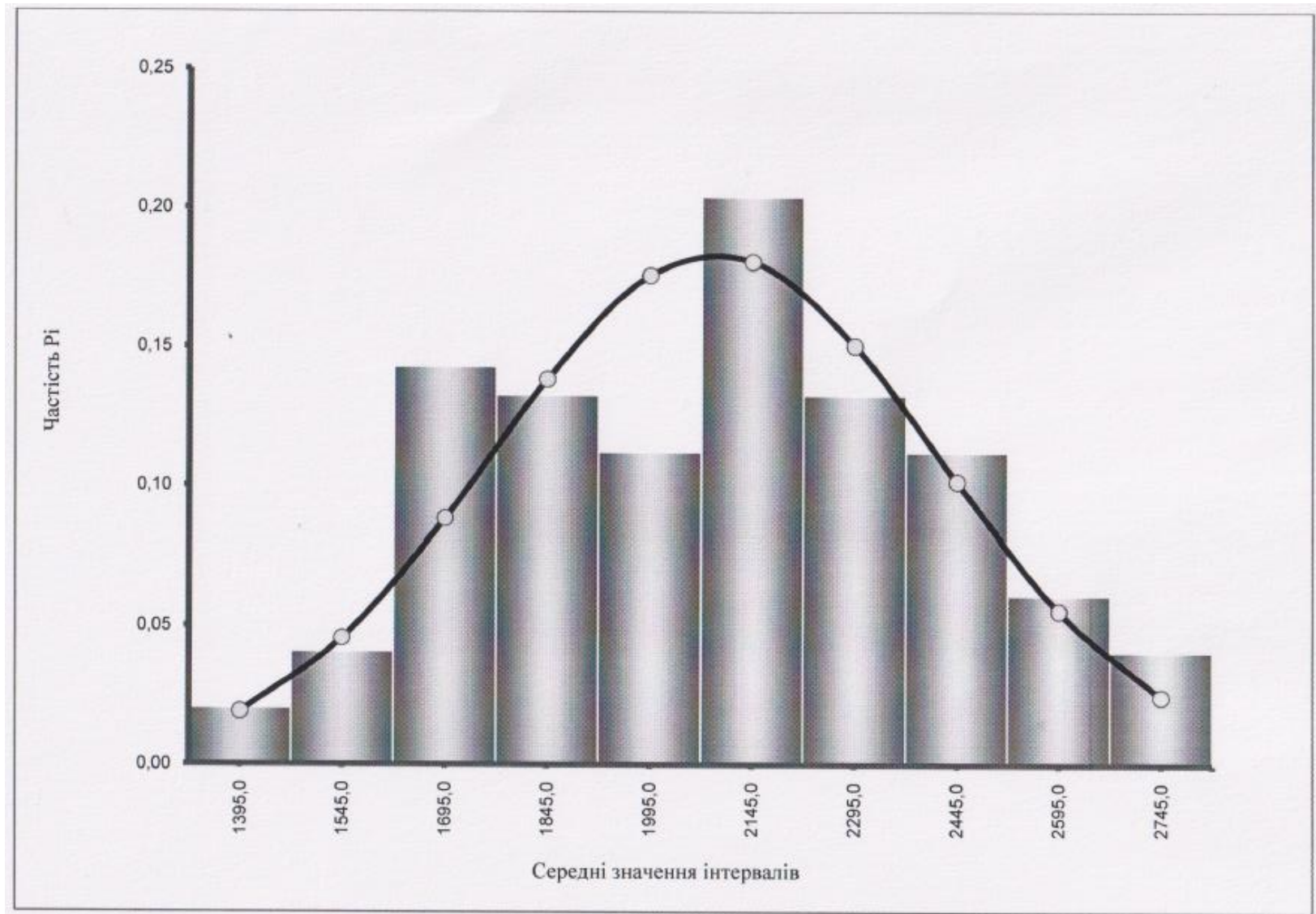
Додаток Б Гістограма розподілу значень висоти кріплення качана

Таблиця обґрунтування закону розподілу значень висоти кріплення качана

№	Униз	Уверх	Yi	M(i)	Pi	Yi* Pi	(Yi-Yc)^2*Pi	f(y)	Теоретична частість
1	630,0	693,0	662	3	0,030	20,045	2440,993	0,00032690	0,021
2	693,0	753,0	725	5	0,051	36,591	2462,660	0,00077880	0,049
3	756,0	819,0	788	10	0,101	79,545	2515,816	0,00149384	0,094
4	819,0	882,0	851	15	0,152	128,864	1362,195	0,00230699	0,145
5	882,0	945,0	914	17	0,172	156,864	173,846	0,00286849	0,181
6	945,0	1008,0	977	17	0,172	167,682	166,962	0,00287163	0,181
7	1008,0	1071,0	1040	14	0,141	147,000	1254,374	0,00231457	0,146
8	1071,0	1134,0	1103	9	0,091	100,227	2246,011	0,002	0,095
9	1134,0	1197,0	1166	5	0,051	58,864	2448,487	0,001	0,049
10	1197,0	12d0,0	1229	4	0,040	49,636	3240,078	0,000	0,021
				99	1	945,318	18311,421		0,981

Закон розподілу - Нормальний

Математичне сподівання	<b>M</b>	945,318	Число ступенів вільності	<b>r</b>	7
Дисперсія	<b>D</b>	18311,421	Рівень значимості	<b>a</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>s</b>	135,320	Хі-квадрат розрахункове	<b>X<sup>2</sup></b>	2,483
Коефіцієнт варіації	<b>n</b>	0,143	Хі-квадрат табличне	<b>(X*)<sup>2</sup></b>	12,017
Параметр мірила	<b>a</b>	955,122	Коефіцієнт	<b>Kb</b>	0,950
Параметр форми	<b>b</b>	6,528	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,142
	Коефіцієнт	b/a	0,007		



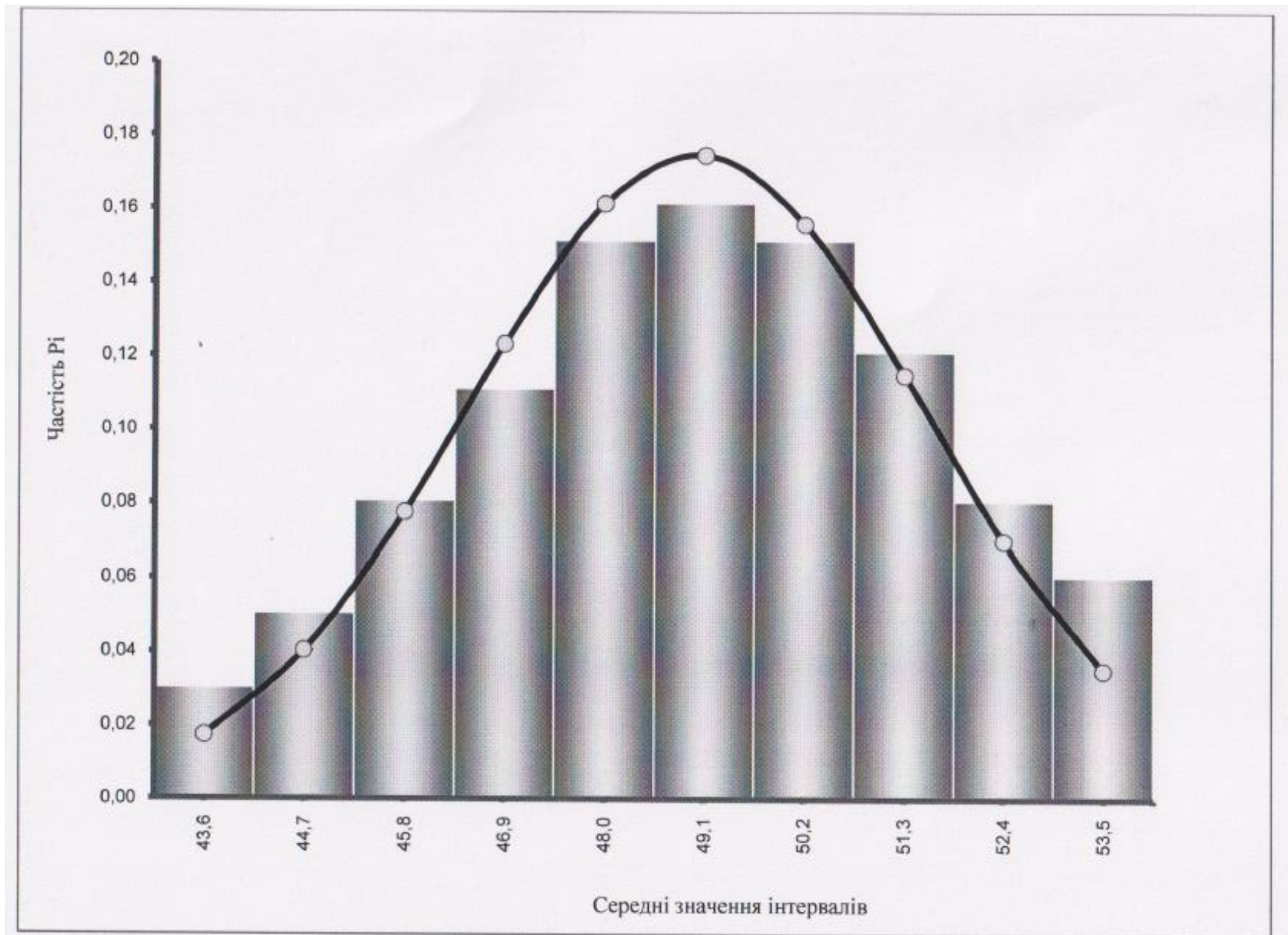
Додаток В Гістограма розподілу значень висоти стеблостою

Таблиця обґрунтування закону розподілу значень висоти кріплення качана

№	Униз	Уверх	Yi	M(i)	Pi	Yi* Pi	(Yi-Yc)^2*Pi	f(y)	Теоретична частість
1	1320,0	1470,0	1395	2	0,020	28,469	9854,759	0,00012714	0,019
2	1470,0	1620,0	1545	4	0,041	63,061	12118,930	0,00030389	0,046
3	1620,0	1770,0	1695	14	0,143	242,143	22277,771	0,00058828	0,088
4	1770,0	1920,0	1845	13	0,133	244,745	7955,869	0,00092230	0,138
5	1920,0	2070,0	1995	11	0,112	223,929	1010,835	0,00117110	0,173
6	2070,0	2220,0	2145	20	0,204	437,755	619,640	0,00120432	0,181
7	2220,0	2370,0	2295	13	0,133	304,439	5580,296	0,00100304	0,150
8	2370,0	2520,0	2445	11	0,112	274,439	14153,796	0,001	0,101
9	2520,0	2670,0	2595	6	0,061	158,878	15620,086	0,000	0,055
10	2670,0	2820,0	2745	4	0,041	112,041	17516,681	0,000	0,025
				98	1	2089,898	106708,663		0,979

Закон розподілу - Нормальний

Математичне сподівання	<b>M</b>	2089,898	Число ступенів вільності	<b>r</b>	7
Дисперсія	<b>D</b>	106708,663	Рівень значимості	<b>a</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>s</b>	326,663	Хі-квадрат розрахункове	<b>X<sup>2</sup></b>	7,373
Коефіцієнт варіації	<b>n</b>	0,156	Хі-квадрат табличне	<b>(X*)<sup>2</sup></b>	12,017
Параметр мірила	<b>b</b>	2142,081	Коефіцієнт	<b>Kb</b>	0,945
Параметр форми	<b>b</b>	6,214	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,152
			Коефіцієнт	<b>b/a</b>	0,003



Додаток Г Гістограма розподілу значень діаметрів качанів

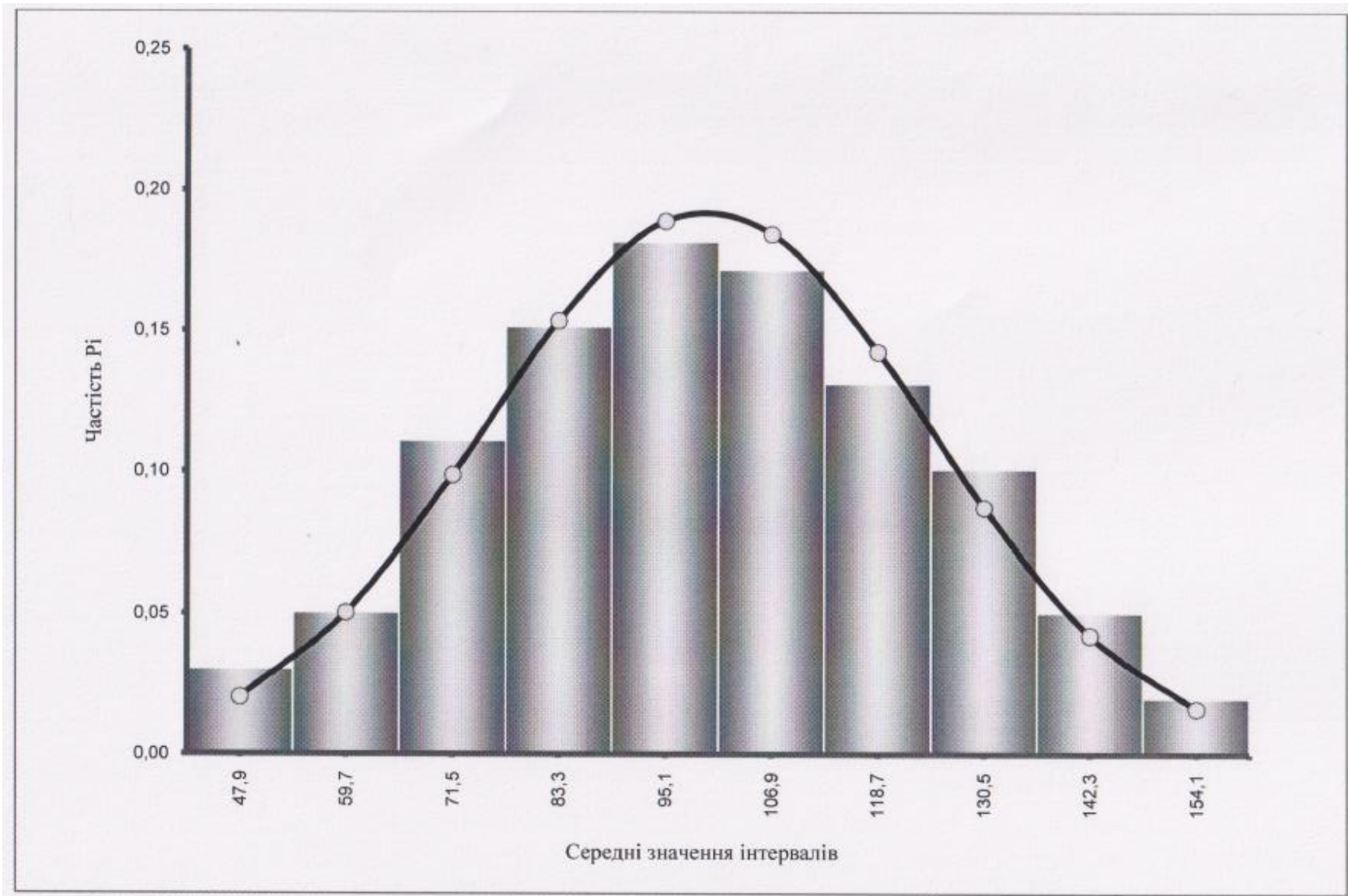
Таблиця обґрунтування закону розподілу значень діаметрів качанів

№	Униз	Уверх	Yi	M(i)	Pi	Yi* Pi	(Yi-Yc)^2*Pi	f(y)	Теоретична частість
1	43,0	44,1	44	3	0,030	1,320	0,884	0,01575355	0,017
2	44,1	45,2	45	5	0,051	2,255	0,934	0,03669710	0,040
3	45,2	46,3	46	8	0,081	3,697	0,827	0,07056520	0,078
4	46,3	47,4	47	11	0,111	5,206	0,490	0,11200949	0,123
5	47,4	48,5	48	15	0,152	7,265	0,152	0,14676567	0,161
6	48,5	49,6	49	16	0,162	7,927	0,002	0,15874481	0,175
7	49,6	50,7	50	15	0,152	7,598	0,218	0,14173595	0,156
8	50,7	51,8	51	12	0,121	6,212	0,641	0,104	0,115
9	51,8	52,9	52	8	0,081	4,230	0,934	0,064	0,070
10	52,9	54,0	53	6	0,061	3,239	1,227	0,032	0,035
				99	1	48,950	6,309		0,970

Закон розподілу - Нормальний

Математичне сподівання	<b>M</b>	48,950	Число ступенів вільності	<b>r</b>	7
Дисперсія	<b>D</b>	6,309	Рівень значимості	<b>a</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>s</b>	2,512	Хі-квадрат розрахункове	<b>X<sup>2</sup></b>	3,548
Коефіцієнт варіації	<b>n</b>	0,051	Хі-квадрат табличне	<b>(X*)<sup>2</sup></b>	12,017
Параметр мірила	<b>a</b>	37,858	Коефіцієнт	<b>Kb</b>	0,995
Параметр форми	<b>b</b>	9,257	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,066
			Коефіцієнт	<b>b/a</b>	0,245





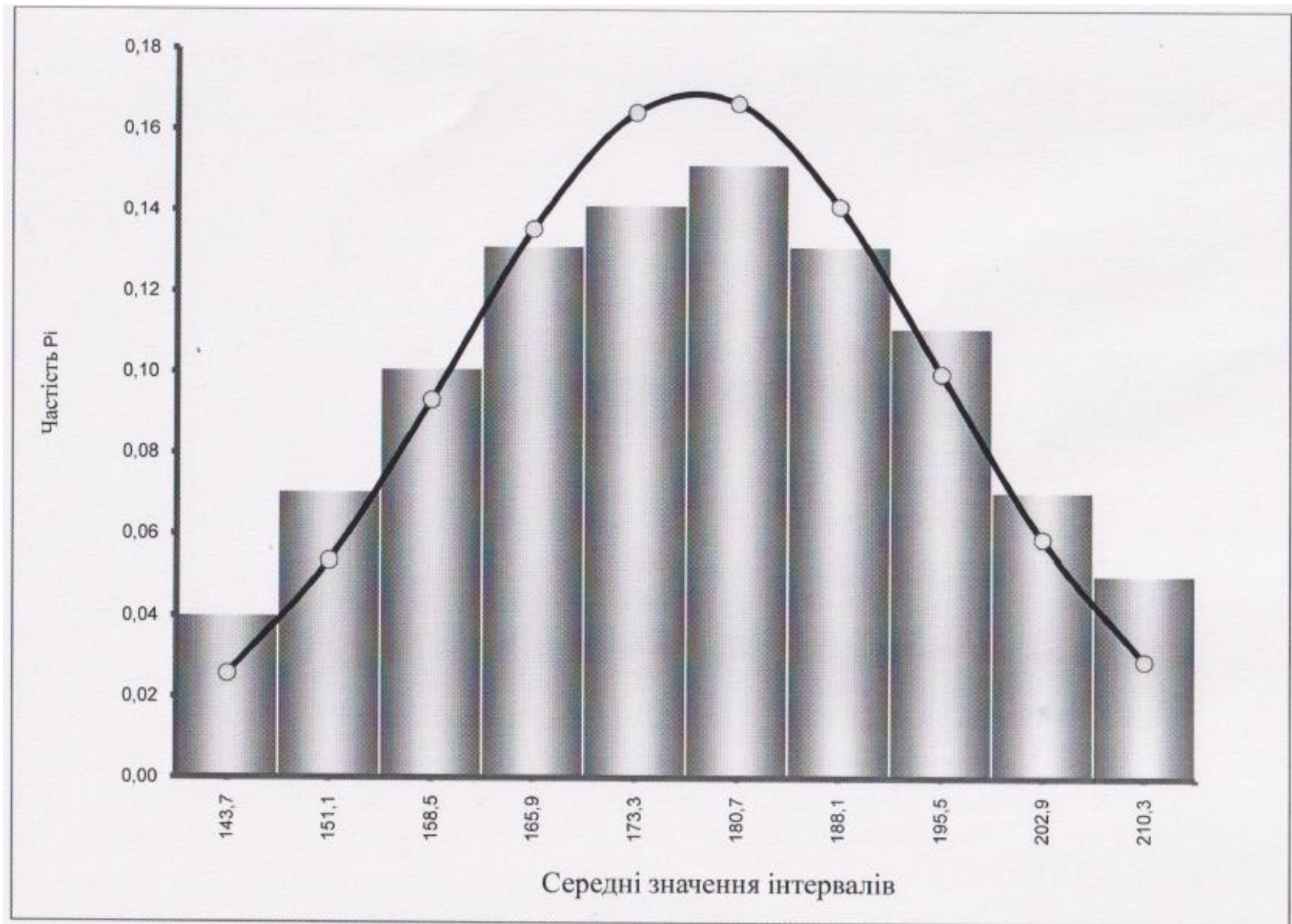
Додаток Д Гістограма розподілу значень діаметрів плодоніжок

Таблиця обгрунтування закону розподілу значень діаметрів плодоніжок

№	Униз	Уверх	Yi	M(i)	Pi	Yi* Pi	(Yi-Yc)^2*Pi	f(y)	Теоретична частість
1	42,0	53,8	48	3	0,030	1,452	81,463	0,00172709	0,020
2	53,8	35,6	60	5	0,051	3,015	81,004	0,00427225	0,050
3	65,6	77,4	72	11	0,111	7,944	88,664	0,00837499	0,099
4	77,4	89,2	83	15	0,152	12,621	40,993	0,01301062	0,154
5	89,2	101,0	95	18	0,182	17,291	3,929	0,01601763	0,189
6	101,0	112,d	107	17	0,172	18,357	8,782	0,015d2733	0,184
7	112,8	124,6	119	13	0,131	15,587	47,162	0,01208251	0,143
8	124,6	136,4	131	10	0,101	13,182	95,521	0,007	0,087
9	136,4	148,2	142	5	0,051	7,187	91,446	0,004	0,042
10	148,2	160,0	154	2	0,020	3,113	59,679	0,001	0,016
				99	1	99,748	598,642		0,985

Закон розподілу - Нормальний

Математичне сподівання	<b>M</b>	99,748	Число ступенів вільності	<b>r</b>	7
Дисперсія	<b>D</b>	598,642	Рівень значимості	<b>a</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>s</b>	24,4d7	Хі-квадрат розрахункове	<b>X<sup>2</sup></b>	1,289
Коефіцієнт варіації	<b>n</b>	0,245	Хі-квадрат табличне	<b>(X*)<sup>2</sup></b>	12,017
Параметр мірила	<b>a</b>	108,327	Квефіцієнт	<b>Kb</b>	0.915
Параметр форми	<b>b</b>	4,490	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,226
			Коефіцієнт	<b>b/a</b>	0,041



Додаток Е Гістограма розподілу значень довжин качанів

Таблиця обґрунтування закону розподілу значень довжин качанів

№	Униз	Уверх	Yi	M(i)	Pi	Yi* Pi	(Yi-Yc)^2*Pi	f(y)	Теоретична частість
1	140,0	147,4	144	4	0,040	5,806	46,325	0,00347734	0,026
2	147,4	154,8	151	7	0,071	10,684	49,507	0,00724030	0,054
3	154,8	162,2	159	10	0,101	16,010	36,698	0,01259268	0,093
4	162,2	169,6	166	13	0,131	21,785	17,855	0,01829501	0,135
5	169,6	177,0	173	14	0,141	24,507	2,567	0,02220241	0,164
6	177,0	184,4	181	15	0,152	27,379	1,493	0,02250715	0,167
7	184,4	191,8	188	13	0,131	24,700	14,586	0,01905871	0,141
8	191,8	199,2	196	11	0,111	21,722	35,758	0,013	0,100
9	199,2	206,6	203	7	0,071	14,346	45,400	0,008	0,059
10	206,6	214,0	210	5	0,051	10,621	54,135	0,004	0,029
				99	1	177,561	304,323		0,968

Закон розподілу -Нормальний

Математичне сподівання	<b>M</b>	177,561	Число ступенів вільності	<b>r</b>	7
Дисперсія	<b>D</b>	304,323	Рівень значимості	<b>a</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>s</b>	17,445	Хі-квадрат розрахункове	<b>X<sup>2</sup></b>	3,885
Коефіцієнт варіації	<b>n</b>	0,098	Хі-квадрат табличне	<b>(X*)<sup>2</sup></b>	12,017
Параметр мірила	<b>a</b>	166,456	Коефіцієнт	<b>Kb</b>	0,970
Параметр форми	<b>b</b>	7,738	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,105
			Коефіцієнт	<b>b/a</b>	0,046

